



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**EVALUACIÓN DE RIESGOS MEDIANTE LA
MEDICIÓN DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN AL
RUIDO EN UNA OBRA DE CONSTRUCCIÓN
DE UN TÚNEL DE ACUERDO CON EL
R.D. 286/2006**

Alumno: Manuel Uceda Rodríguez

Tutor: Prof. D. José Alberto Maroto Centeno
Depto.: Departamento de Física

Junio, 2017

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado tiene por objetivo fundamental la determinación de la exposición al nivel de ruido de los trabajadores empleados en la construcción de un túnel de carretera en la CA-181 a su paso por la localidad de Camijanes, en la parte occidental de Cantabria; para ello hemos seguido las directrices del Real Decreto 286/2006 y la metodología de medición de la norma UNE-EN ISO 9612:2009.

En el desarrollo de este trabajo, hemos profundizado en la problemática asociada a la seguridad y salud de los trabajadores, centrándonos en la evaluación de los efectos nocivos que el ruido puede producir; así mismo, en los casos en que ha sido necesario, hemos analizado los medios actualmente disponibles para reducirlo hasta los límites especificados en el mencionado Real Decreto.

En este estudio técnico, junto a una completa descripción de la obra objeto de estudio, es decir, geología y geotecnia del terreno, proceso de ejecución, maquinaria utilizada, y diseño del trazado, todo ello acompañado de los necesarios planos y anexos, se ha optado, dada la diversidad de puestos de trabajo involucrados en la obra, por utilizar la estrategia de medición basada en el muestreo durante el trabajo. Esta elección, ha supuesto un avance sustancial frente a Trabajos Fin de Grado anteriores, al tiempo que ha exigido un esfuerzo suplementario.

ABSTRACT

The purpose of this degree final project is to determine the noise exposition level of workers employed into the construction of a road tunnel on the CA-181 as it passes through the town of Camijanes, in the western part of Cantabria. For this we have followed the rules of the Royal Decree 286/2006 and the methodology of measurement of the UNE-EN ISO 9612:2009.

In the development of this project, we have deepened in the problematic associated with the health and safety of workers, focusing on the evaluation of the harmful effects that the noise can produce; Likewise, in those cases where it has been necessary, we have analyzed the means currently available to reduce it to the limits specified in the Royal Decree.

In this technical study, together with a complete description of the work under study, geology and geotechnics of the terrain, execution process, machinery used, and design of layout, all accompanied by the necessary plans and annexes, we have been opted to use the measurement strategy based on sampling during work, given the diversity of jobs involved on the work. This election has meant a substantial advance compared to previous degree final projects, while requiring an additional effort.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1	Objetivo.....	9
1.2	Antecedentes	10
1.3	Emplazamiento y características	11
1.3.1	Localización	11
1.3.2	Geología	13
1.3.3	Clasificación geomecánica del macizo y abrasividad	14
1.3.4	Descripción del trazado	15
1.3.5	Sección transversal.....	16
1.3.6	Proceso constructivo.....	17
2	LEGISLACIÓN SOBRE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.....	21
2.1	Introducción	21
2.2	Legislación europea en materia de contaminación acústica	22
2.3	Legislación nacional en materia de contaminación acústica.....	22
2.4	Real decreto 286/2006	23
3	DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO.....	38
3.1	Objeto y campo de aplicación	38
3.2	Instrumentos para la evaluación del ruido.....	38
3.2.1	Sonómetro	39
3.2.2	Sonómetro integrador-promediador.....	39
3.2.3	Dosímetro personal.....	40
3.3	Descripción de la maquinaria y los puestos de trabajo.....	41
3.3.1	Maquinaria empleada para actividades de perforación	41
3.3.2	Maquinaria utilizada para cargar del material	46
3.3.3	Maquinaria utilizada para transportar el material.....	46
4	MÉTODOS.....	49
4.1	Términos y definiciones.....	49
4.1.1	Nivel de presión acústica	49

4.1.2	<i>Nivel de presión acústica ponderado A</i>	49
4.1.3	<i>Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A</i>	50
4.1.4	<i>Nivel de exposición diario equivalente</i>	50
4.1.5	<i>Nivel de exposición semanal equivalente</i>	51
4.1.6	<i>Nivel de pico</i>	51
4.2	Estrategias de medición	52
4.2.1	<i>Introducción</i>	52
4.2.2	<i>Mediciones basadas en la operación o tarea</i>	53
4.2.3	<i>Mediciones basadas en el trabajo</i>	57
4.2.4	<i>Mediciones basadas en la jornada completa</i>	59
4.3	Incertidumbre de las medidas	60
4.3.1	<i>Incertidumbre expandida</i>	61
4.3.2	<i>Incertidumbre de medición basada en las tareas</i>	62
4.3.3	<i>Incertidumbre de medición basada en el trabajo</i>	64
4.3.4	<i>Incertidumbre de medición basada en la jornada completa</i>	68
5	PROTECTORES AUDITIVOS	70
5.1	Consideraciones generales	70
5.2	Tipos de protectores auditivos	70
5.3	Selección de protectores auditivos	71
5.4	Atenuación acústica de los protectores auditivos	72
5.4.1	<i>Definiciones</i>	72
5.4.2	<i>Método de las bandas de octava</i>	74
5.4.3	<i>Método de H, M y L</i>	74
5.4.4	<i>Método del SNR</i>	75
5.4.5	<i>Método de comprobación HML</i>	75
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
6.1	Análisis del trabajo	76
6.2	Selección de la estrategia de medición	76
6.3	Mediciones	77

6.4	Determinación del nivel de exposición al ruido.....	79
6.5	Cálculo de la incertidumbre.....	80
6.6	Evaluación del nivel de pico.....	83
6.7	Medidas correctoras.....	84
7	CONCLUSIONES.....	87
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
	PLANOS.....	91
	Plano N° 1: Situación.....	92
	Plano N° 2: Plano general.....	93
	Plano N° 3: Perfil longitudinal (1/2).....	94
	Plano N° 4: Perfil longitudinal (2/2).....	95
	Plano N° 5: Perfil geológico-geotécnico (1/2).....	96
	Plano N° 6: Perfil geológico-geotécnico (2/2).....	97
	Plano N° 7: Sección tipo.....	98
	Plano N° 8: Procedimiento constructivo (1/3).....	99
	Plano N° 9: Procedimiento constructivo (2/3).....	100
	Plano N° 10: Procedimiento constructivo (3/3).....	101
	ANEXOS.....	102
	ANEXO A.....	103
	ANEXO B.....	107
	<i>B.1.1 Perforadora Jumbo Boomer E1 C-DH.....</i>	<i>108</i>
	<i>B.1.2 Retroexcavadora VOLVO EW180B.....</i>	<i>112</i>
	<i>B.1.3 Minidúmpfer AUSA D 600 APG.....</i>	<i>118</i>
	ANEXO C.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 – Espectro sonoro</i>	7
<i>Figura 1.2 – Efectos derivados de la exposición prolongada al ruido</i>	8
<i>Figura 1.3 – Mapa general</i>	11
<i>Figura 1.4 – Situación</i>	12
<i>Figura 1.5 – Localización (1:10000) y trazado del túnel</i>	12
<i>Figura 1.6 – Geología de la zona del proyecto</i>	13
<i>Figura 1.7 – Sistemas acuíferos de Cantabria</i>	14
<i>Figura 1.8 – Sección transversal tipo del túnel</i>	17
<i>Figura 1.9 – Ciclo de trabajo</i>	19
<i>Figura 1.10 – Ejecución de avance y destroza</i>	20
<i>Figura 2.1 – Señalización de advertencia sobre la obligación de empleo de EPI</i>	26
<i>Figura 2.2 – Diagrama de actuación frente al riesgo</i>	31
<i>Figura 3.1 – Sonómetro</i>	39
<i>Figura 3.2 – Dosímetro</i>	40
<i>Figura 3.3 y 3.4 – Martillo en Cabeza (izquierda) y Martillo de Fondo (derecha)</i>	43
<i>Figura 3.5 – Dúmpster extravial articulado subiendo rampa del 35%</i>	47
<i>Figura 4.1 – Ejemplo de tres periodos con ruido diferente y duración real</i>	55
<i>Figura 5.1 – Protector auditivo tipo tapón</i>	70
<i>Figura 6.1 – Tactical XP headset for Motorola, helmet attachment</i>	85
<i>Figura B.1 – Esquema de perfil de la maquinaria</i>	111
<i>Figura B.2 – Perforadora con plataforma de servicio SP2</i>	111
<i>Figura B.3 – Área cubierta por la perforadora ($\approx 95 \text{ m}^2$)</i>	112
<i>Figura B.4 – Esquema de la máquina</i>	116
<i>Figura B.5 – Área cubierta por la retroexcavadora</i>	117
<i>Figura B.6 – Retroexcavadora Volvo EW180B</i>	118
<i>Figura B.7 – Esquema de la máquina</i>	120
<i>Figura B.8 – AUSA D 600 APG</i>	121

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 – RMR de cada litotipo</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2.1 – Tiempo máximo de exposición al ruido para alcanzar un nivel equivalente diario de 87 dB(A)</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2.2 – Valores límite de exposición y valores de exposición en función del nivel de exposición diaria y pico</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3.1 – Diámetros de perforación según el tipo de martillo</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4.1 - Selección de la estrategia de medición básica</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 4.2 – Duración mínima de mediciones en función del GHE</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 4.3 – Contribución a la incertidumbre $c_1 \cdot u_1$</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4.4 – Incertidumbre típica, u_2, de los instrumentos</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 5.1 – Porcentaje de protección y protección asumida de un protector auditivo</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 6.1 – Distribución de las mediciones</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 6.2 – Valor de las mediciones</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 6.3 – Valores del nivel de exposición diario equivalente y su error</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 6.4 – Valor de las mediciones</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 6.5 – Valores de atenuación del modelo MT1H7P3E2-07-51-34</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 6.6 – Valores de las mediciones y del nivel de ruido atenuado</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 6.7 – Valores del nivel de exposición diario por exceso y atenuado</i>	<i>86</i>
<i>Tabla B.1 – Dimensiones de la máquina</i>	<i>117</i>
<i>Tabla B.2 – Dimensiones de maniobrabilidad</i>	<i>117</i>
<i>Tabla B.3 – Dimensiones de la máquina</i>	<i>120</i>

1 INTRODUCCIÓN

La exposición al ruido es uno de los riesgos laborales que nos encontramos a diario en determinados sectores de actividad, sobre todo cuando se utiliza maquinaria para la realización de trabajos.

El ruido es todo aquel sonido que percibimos como indeseado o desagradable y/o que interfiere o impide alguna actividad humana. Por otro lado, definimos sonido como aquella onda caracterizada por su amplitud, frecuencia e intensidad, o dicho de otro modo, como toda aquella vibración acústica que se transmite a través de un medio elástico (como el aire) por medio de un movimiento ondulatorio y que es capaz de producir una sensación audible. Por ejemplo, la vibración de la onda sonora según su velocidad, o frecuencia, se correspondería con sonidos agudos o graves. El oído humano está preparado para reconocer sonidos cuya frecuencia esté comprendida entre 20 y 20.000Hz (véase la Figura 1.1).

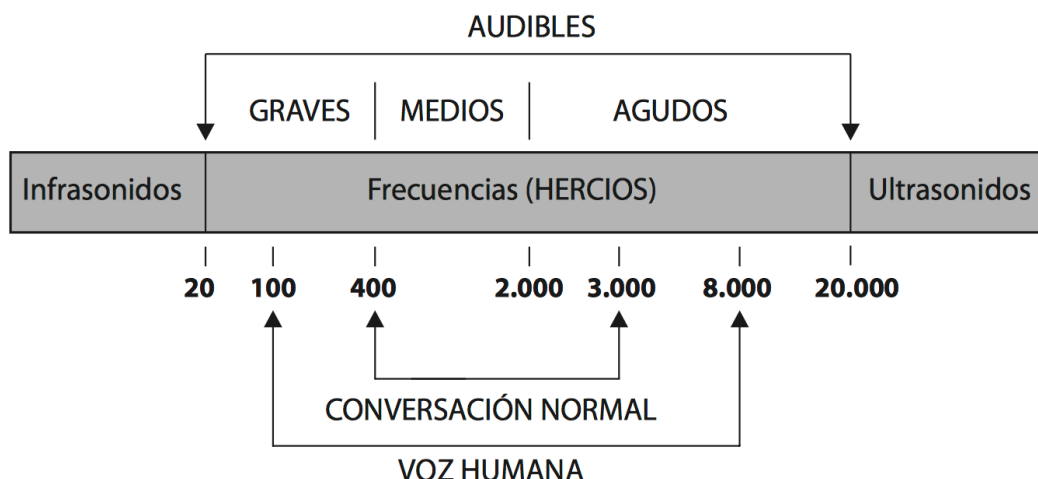


Figura 1.1 – Espectro sonoro

La exposición al ruido tiene consecuencias perjudiciales para el trabajador como la pérdida de audición; extra-auditivas como pueden ser dolores de cabeza, hipertensión, estrés, entre otras; y aquellas producidas por la interacción del ruido con otros factores de riesgo: turnicidad, temperatura, edad avanzada, agentes químicos ototóxicos, etc. Estos efectos quedan reflejados en la Figura 1.2.

Sin embargo, los efectos del ruido no son inmediatos, ya que aparecen a medio o largo plazo, y es por ello que se requiere realizar un control periódico del estado de salud del trabajador expuesto al ruido, así como de las condiciones del ambiente de trabajo (niveles de exposición). A estos esfuerzos hay que sumar actuaciones preventivas encaminadas a la reducción de la exposición al ruido, las cuales suponen una importante

inversión económica (sustitución o renovación de maquinaria, reemplazo de piezas desgastadas, etc.).

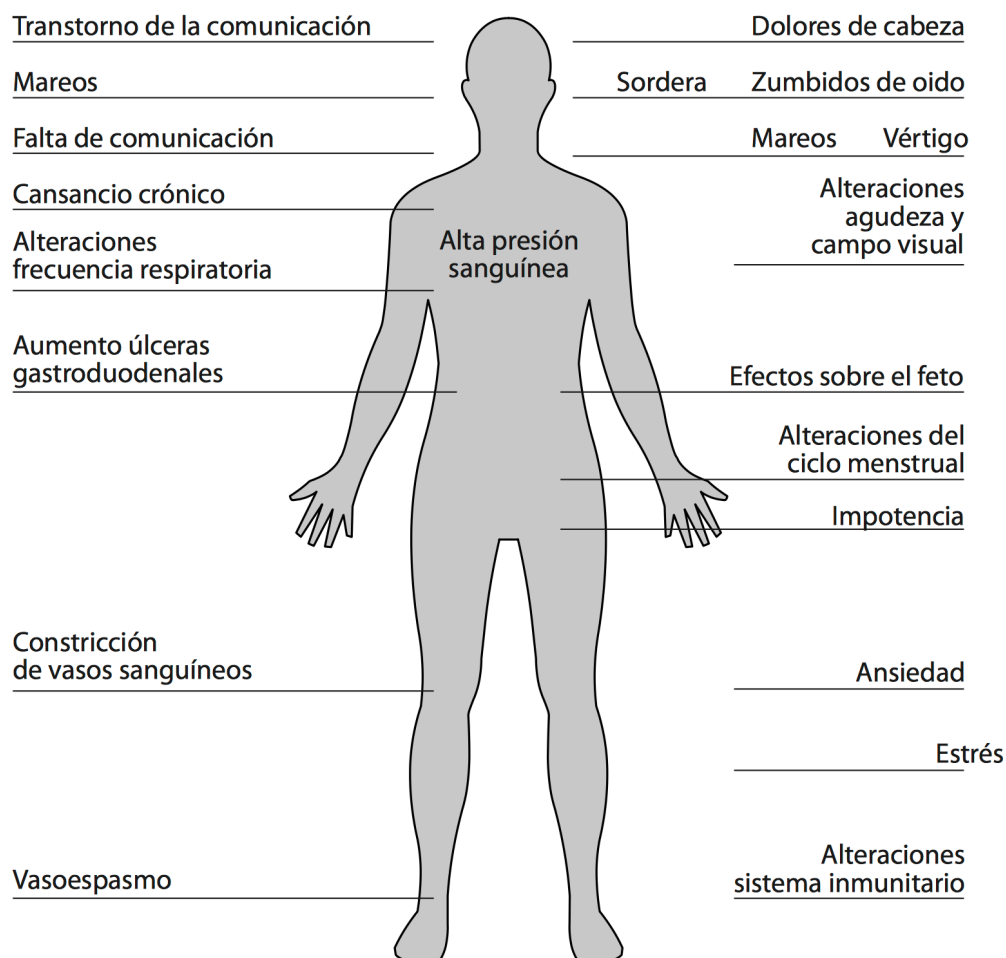


Figura 1.2 – Efectos derivados de la exposición prolongada al ruido

La exposición a niveles elevados de ruido provoca sensaciones desagradables como irritación, distracción, y en otro ámbito un descenso en el rendimiento laboral debido al absentismo del trabajador y su consecuente pérdida de productividad, llegando a ser el causante de accidentes laborales en el peor de los casos. Además, la exposición continua puede originar problemas de salud como la pérdida parcial de la capacidad auditiva (hipoacusia) o sordera. Generalmente, cuando una persona está expuesta a un ambiente ruidoso sufre una pérdida de sensibilidad auditiva, pudiendo ser esta temporal (desapareciendo al regresar a un ambiente acústico más ameno), o permanentemente.

La evaluación del riesgo de exposición depende del puesto de trabajo y conlleva la realización de mediciones de los niveles de ruido, donde el objetivo final de estas es determinar si dicho riesgo de exposición puede derivar en daños a la seguridad y salud del trabajador; paralelamente, se establecen medidas correctoras orientadas a eliminar o minimizar esta exposición.

El ruido no es un factor aislado y como tal debe estudiarse; de hecho, es un factor potenciador de los daños ocasionados por otros riesgos.

1.1 Objetivo

Adquiriendo un carácter de estudio técnico, el principal objetivo de este proyecto es evaluar el nivel de exposición al ruido al que estarán sometidos un grupo de trabajadores durante el proceso constructivo de un túnel de carretera.

La realización del proyecto permitirá conocer los distintos métodos y estrategias de medición del nivel de exposición al ruido, así como el proceso y los pasos a seguir para la correcta obtención de una evaluación del nivel de exposición sonora.

Emplearemos para tal fin un conjunto de herramientas de cálculo genéricas con las que analizaremos el nivel de exposición sonora y, por tanto, la exposición al ruido de los trabajadores durante la jornada laboral de una manera sencilla y eficaz.

Los objetivos que se han perseguido en la elaboración del mismo han sido:

- Conocer en profundidad el Real Decreto 286/2006 para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido.
- Familiarizarse con el manejo de sonómetros y aprender a evaluar parámetros clave como el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A, el nivel de exposición diario equivalente y el nivel de pico.
- Aprender a identificar y clasificar las fuentes de ruido presentes en una obra (en este caso, durante la construcción de un túnel) y aprender a diseñar un plan de trabajo para la evaluación de la exposición de los trabajadores al ruido.
- Aprender a evaluar la incertidumbre de los resultados obtenidos, punto crucial en este tipo de medidas.
- Asimilar los distintos tipos de estrategias de medición: mediciones basadas en la operación, mediciones basadas en el trabajo (o en la función) y mediciones de la jornada completa, así como a seleccionar el tipo de estrategia que más convenga.
- Aprender a redactar un estudio técnico que contenga una descripción completa de la obra objeto de estudio, los resultados obtenidos y las conclusiones relativas a la aplicación del Real Decreto a los diversos puestos de trabajo analizados. Este estudio técnico contendrá, en su caso, un plan de medidas correctoras.

1.2 Antecedentes

Los ciudadanos estamos afectados por una contaminación acústica que puede repercutir en nuestro desarrollo en la sociedad. Una de las obligaciones de la Administración pública es velar que los ciudadanos nos encontremos en un ambiente acústico cómodo y favorable, para ello deberá establecer los mecanismos y métodos que estén a su alcance para conseguirlo. En la Legislación Española, la hipoacusia profesional aparece listado dentro de las enfermedades profesionales del Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, aunque las declaraciones de este tipo de dolencias son testimoniales, se conoce que existe un gran porcentaje de población expuesta a ruido en sectores de diversas áreas. De ahí surge el Real Decreto 286/2006 de 10 de marzo.

Este Real Decreto publicado en el BOE el 11 de marzo de 2006, recoge toda la información referente a la prevención y protección de la salud y seguridad de los trabajadores con riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición al ruido, cumpliendo los requisitos de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Del mismo modo, el Real Decreto recoge una serie de actuaciones preventivas que tienen por objetivo eliminar el ruido en su origen o reducirlo al nivel más bajo posible, así como implantar y ejecutar un programa de medidas técnicas y organizativas por parte de las empresas, para disminuir la exposición al ruido cuando se detecte que los valores emitidos por alguna acción o actividad han superado los niveles máximos permitidos.

Por otro lado, especifica que la empresa está obligada a establecer una reducción de los riesgos de la exposición al ruido teniendo en consideración:

- Cambio de los métodos de trabajo para que se reduzca la exposición.
- Elección correcta de los equipos de trabajo que generen el menor nivel de ruido posible.
- Diseño de los puestos de trabajo.
- Información y formación sobre el riesgo a los trabajadores y sus representantes sobre:
 - Las medidas de prevención aplicadas.
 - Los resultados de las mediciones de ruido (sonometrías).
 - El uso, manipulación y conveniencia de la protección auditiva.
 - Los resultados de la vigilancia de la salud (manteniendo la correspondiente confidencialidad de datos).
- Prácticas de trabajo más recomendadas.
- Reducción técnica del ruido empleando para ello sistemas de mamparas, pantallas y similares o mediante amortiguadores que eviten la transmisión sonora.

- El mantenimiento correcto de los equipos de trabajo.
- Reducción de la exposición actuando sobre la organización del trabajo, mediante la limitación del horario o la intensidad de la exposición, y la ordenación adecuada del tiempo de trabajo. En definitiva, las reducciones de jornada que supongan reducciones de la exposición.

En este Trabajo Fin de Grado se ha querido llevar a cabo un estudio práctico del Real Decreto aplicado al campo de la construcción civil. Realizando para ello, la evaluación de la exposición al ruido de los trabajadores en la ejecución de un túnel, seleccionando diferentes tajos relacionados tanto con el movimiento de tierras como con la perforación de los barrenos en el frente del túnel.

1.3 Emplazamiento y características

1.3.1 Localización

El túnel se encuentra ubicado en la localidad de Camijanes, perteneciente al término municipal de Herrerías en la comunidad autónoma de Cantabria.



Figura 1.3 – Mapa general

La realización de esta infraestructura surge del trazado alternativo en base al proyecto original fechado el 1 de abril de 1996, que se publicó en el BOC número 66 en el concurso: “Asistencia técnica para la redacción del proyecto de mejora de trazado y ampliación de plataforma carreta CA-181, ramal de la N-634 a Puentenansa p.k. 0,000 al p.k. 11,500. Tramo: Pesues – Puente al Arrudo”.



Figura 1.4 – Situación

La red de carreteras de Cantabria está formada por un corredor fundamental constituido por la N-634 de San Sebastián a La Coruña, que atraviesa a esta de Este a Oeste, y de la que parten el resto de vías de comunicación, por lo que es necesario unas buenas condiciones de las vías desde el eje fundamental hacia los valles del interior de la comunidad autónoma.

Este proyecto se desarrolla en el valle de Nansa, entre los términos municipales de Val de San Vicente y Herrerías. La infraestructura supondrá una mejora en la red viaria de la zona que actualmente presenta ciertas carencias, sirviendo esta vía para comunicar a los municipios del valle que se están quedando en una situación de aislamiento. Los municipios son: Lamasón, Rionansa, Tudanca y Polaciones.



Figura 1.5 – Localización (1:10000) y trazado del túnel

La realización del proyecto está basada en la Norma 3.1-IC, de trazado del Ministerio de Fomento.

1.3.2 Geología

La obra está ubicada en el extremo Noroeste de la comunidad cántabra. La zona se caracteriza geográficamente por tener un relieve moderado con elevaciones entre los 100 m y los 200 m, atravesadas por los ríos Nansa y Cares.

Desde un punto de vista geológico, la zona se sitúa en el borde oriental del macizo asturiano definido según Ramírez del Pozo (en el *Mapa Geológico de España, hoja 57*) como entrante mesoterciario costero. Esta zona se caracteriza por la ausencia de materiales jurásicos y poco desarrollo de los wealdicos.

En la zona que nos ocupa se presenta una secuencia de Norte a Sur (materiales que abarcan desde el Eoceno medio al Aptiense), y plegada y fallada según la dirección Este-Oeste, con la consecuente repetición de la secuencia de materiales (Figura 1.6).

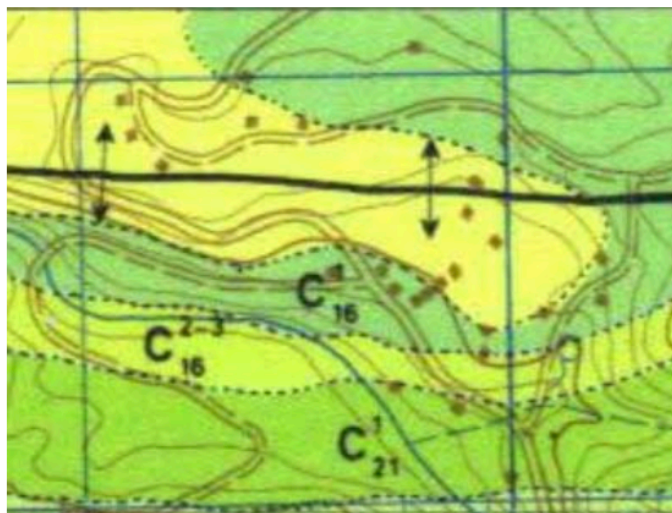


Figura 1.6 – Geología de la zona del proyecto

La litología del lugar presenta un conjunto de materiales que se puede dividir en dos grandes grupos:

- Materiales de recubrimientos: Depósitos aluviales y coluviales.
- Materiales de sustrato rocoso: De origen Cretácico. Clasificándolos en función de su naturaleza y ordenándolos por su antigüedad (de más jóvenes a más antiguos) serían los siguientes.
- *Cenomaniense superior*: calizas calcarenitas bioclásticas.
- *Cenomaniense inferior*: limolitas, lutitas y capas de caliza.
- *Albiense superior*: margas arenosas nodulosas con calizas arcillosas y bioclásticas.

- *Albiense inferior*: areniscas y limolitas.
- *Aptiense*: calizas grises masivas.

En cuanto a la hidrogeología, la zona atraviesa el sistema nº 5 de los acuíferos del Norte, situado en la zona Sur-occidental de la provincia de Santander, ocupando una superficie de 1.164 km², con un relieve accidentado (300 m en la zona norte y más de 1300 m en la sur). Además, la región es atravesada de Sur a Norte por varios ríos (Nansa, Besaya, Pas y Puseña), siendo el primero el que afecta a la zona estudiada.

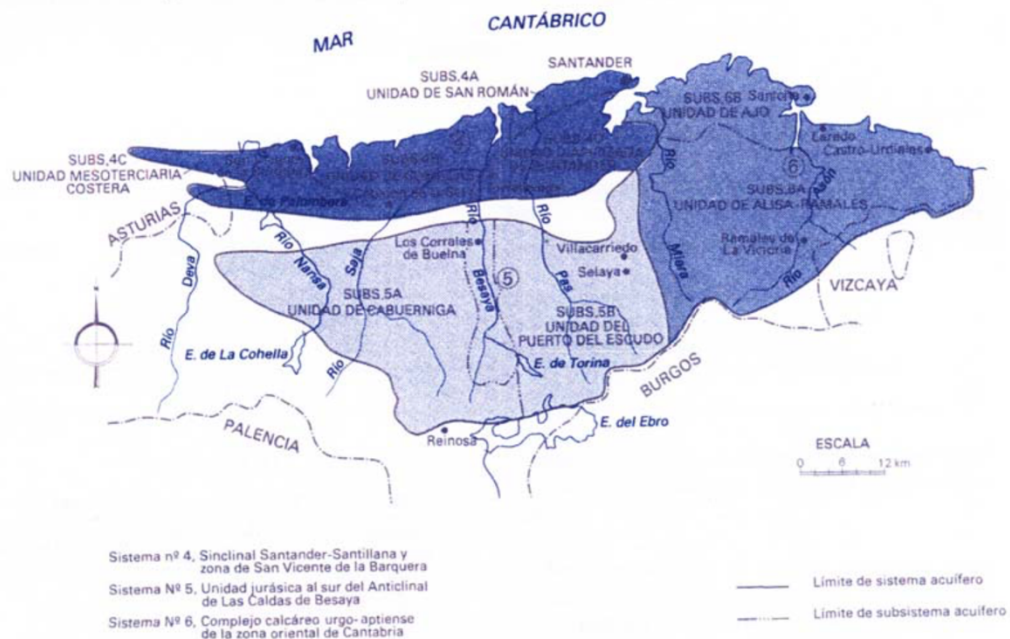


Figura 1.7 – Sistemas acuíferos de Cantabria

La precipitación tiene su máximo en Otoño-Invierno, con valores de 1200 mm/año en los valles y 2000 mm/año en las montañas. Temperaturas medias entre los 12-13°C en los valles e inferior a 8°C en las zonas altas. La evapotranspiración real está comprendida entre 600 mm/año en los valles y 900 mm/año en las zonas montañosas. El clima es templado-húmedo.

1.3.3 Clasificación geomecánica del macizo y abrasividad

La principal clasificación geomecánica del macizo rocoso donde se proyecta la construcción del Túnel de Camijanes será la clasificación *RMR* de **Bieniawski** en la versión actual (Bieniawski, 1989). Esta clasificación depende de cinco parámetros, mediante los cuales se podrá realizar una estimación de la calidad del macizo mediante su asignación a una determinada clase de roca. Estos son:

- Resistencia de la matriz rocosa a compresión simple
- RQD

- Frecuencia de juntas
- Condición de las juntas
- Parámetro por presencia de agua

Dados los diferentes litotipos que se encuentran en la zona, se obtuvieron los valores de RMR de la Tabla 1.1.

Litotipo	Descripción	RMR
R1	Calizas bioclásticas y calizas con algún nivel puntual de margas argilíticas	67
R2	Calizas micríticas, calizas fosilíferas, y margas argilíticas	54
R3	Calizas fosilíferas, calizas areniscosas, y margas argilíticas	55
R4 y R5	Calizas, margas, argilítas, y limonitas.	55

Tabla 1.1 – RMR de cada litotipo

El flujo de agua entre las fisuras y los rellenos blandos centimétricos locales de las discontinuidades son circunstancias que deberán valorarse en obra por su carácter eminentemente local.

En cuanto a la abrasividad de la roca, se mide con el *Índice Cerchar* (se obtiene mediante el ensayo Cerchar) y se emplea para determinar el coste de la perforación del túnel por medios mecánicos. Los resultados que se obtienen muestran que los distintos grupos litológicos son muy poco abrasivos.

1.3.4 Descripción del trazado

Aunque el trazado en planta y alzado del túnel están condicionados por el resto de la carretera para garantizar cierta homogeneidad, el diseño de la sección se basa, normalmente, en métodos empíricos aplicando la experiencia de túneles anteriores para la ejecución de los nuevos. Para ello, se nutre de aspectos importantes como son la geología, el método constructivo, las instalaciones, etc., en este sentido este diseño, generalmente, sería independiente de las características de la carretera salvo por la separación entre hastiales que estará condicionada por el número de carriles.

El túnel proyectado tiene una longitud de 1167 m con una sección de excavación de 95,47 m². El dimensionamiento de este cumple las normas vigentes de trazado para una carretera tipo C-80 (velocidad de proyecto de 80 km/h).

1.3.4.1 Trazado en planta

El trazado en planta ha de seguir la traza general de la carretera, no debiendo desviarse de manera notoria. Es importante que a la hora de replantear el trazado se

tengan en consideración factores geológico-geotécnicos existentes para evitar puntos o zonas conflictivas (fallas, zonas alteradas, etc.).

La boca del túnel debe ser visible por el conductor 15 segundos antes de su llegada, por lo que para una vía con una velocidad de proyecto de 80 km/h, resultando una distancia mínima de 333 metros.

Para evitar deslumbramientos por la luz del día, se ha dispuesto una curva en la salida de la boca sur con el objetivo de que dentro del túnel no sea visible el exterior.

1.3.4.2 Trazado en alzado

La pendiente que se ha optado en el túnel es del 1,28%, constante y sin acuerdos verticales, cuya misión principal es la de evacuar el agua que aflora en el mismo procedentes del terreno (pendiente mínima 0,2-0,4% según el Manual de túneles interurbanos de L. Cornejo y E. Salvador), y así mismo, no se recomiendan que las rampas superen el 1,5% para evitar el aumento de emisión de gases contaminantes en vehículos, la disminución de velocidad, y para reducir el riesgo de averías que inmovilicen los vehículos en su interior.

1.3.5 Sección transversal

Dado que se tienen que tener en cuenta factores claves como son: anchura y gálibo necesario para la circulación de vehículos, anchura de ceras, espacio para instalaciones y equipamientos en el interior del túnel, y la propia construcción del túnel, la norma de trazado 3.1-IC recomienda para carreteras de calzada única la sección tipo de la Figura 1.8., la cual deberá de contener las siguientes características:

- Sección simétrica.
- Ausencia de espacio para la detención de un vehículo en el arcén.
- Altura libre de 5 m sobre la calzada y los arcenes.

En concreto para carreteras C-80, se incluirá:

- Zona intermedia cebreada en la que no se permitirá la circulación de vehículos, que evite la reducción excesiva de velocidad y reduzca la posibilidad de invasión del carril contrario.

De esto modo, la propuesta queda definida de la siguiente manera:

$$2 \text{ arcenes de } 1,0 + 2 \text{ carriles de } 3,5 \text{ m} + \text{ zona intermedia de } 1,0 \text{ m} = 10 \text{ m}$$

Además, se incluirán aceras elevadas de 75 cm de ancho en ambos lados.

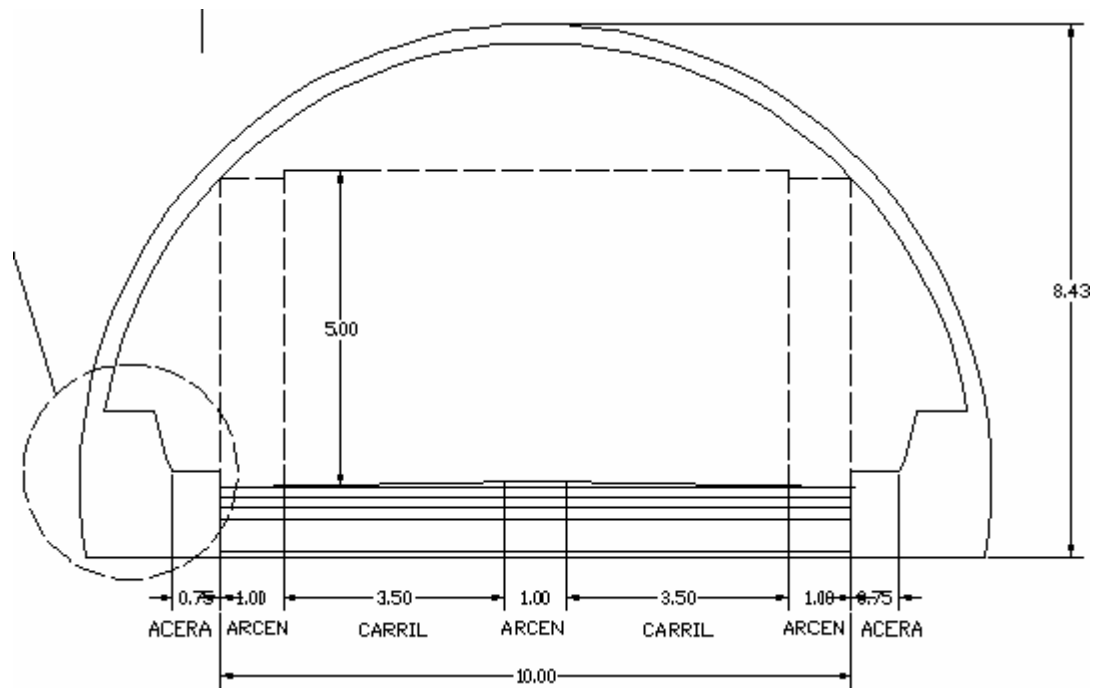


Figura 1.8 – Sección transversal tipo del túnel

Al emplear explosivos para su excavación, la geometría del túnel puede tener cualquier forma, pero se ha optado por una sección circular de $95,47 \text{ m}^2$, ya que es bastante recomendable.

1.3.6 Proceso constructivo

Existen tres grandes grupos que engloban los distintos métodos de excavación de túneles, los cuáles pueden ser:

- *Excavación mecánica con máquinas (a sección completa).*
- *Excavación mecánica con máquinas de ataque puntuales.*
- *Excavación con perforación y voladura (con explosivos).*

La excavación a sección completa mediante tuneladora quedaría descartada dada la dimensión del proyecto, que quedaría demostrado si nos basamos en la pequeña longitud del túnel, las diferentes condiciones geológico-geotécnicas de los materiales atravesados, la elevada inversión requerida por el empleo de estos equipos, o el prolongado período de ejecución del túnel debido al tiempo que transcurre desde la adquisición hasta su puesta en marcha o las dificultades de traslado de los mismos.

Por tanto, la construcción del túnel se realizaría empleando el **Nuevo Método Austriaco** de construcción de túneles (*NATM*), el cuál se ha convertido en uno de los métodos de diseño y ejecución de túneles en roca más extendidos y de mayor éxito en todo el mundo dentro del ámbito de la ingeniería civil.

En este método, el elemento portante principal lo constituye el propio terreno de alrededor de la excavación, siendo el sostenimiento un medio auxiliar, capaz de crear en

el terreno la presión de confinamiento necesaria para movilizar al máximo su capacidad resistente. Para ello se relaja el estado tensional del macizo rocoso en torno al túnel, permitiendo su deformación hasta un punto de equilibrio, en que el sostenimiento controla dicha deformación, anclando este al propio terreno. Esto se consigue mediante técnicas de auscultación y medidas de convergencias, para controlar las deformaciones en todo momento y evitar que sean excesivas. Con ello se puede realizar el túnel con un costo mínimo y una máxima seguridad.

1.3.6.1 Criterios de elección para el método de excavación

Una decisión importante es la elección entre excavación con explosivos o con máquinas de ataque puntual, la cual depende fundamentalmente de la calidad geotécnica de la roca en cada zona.

En aquellas zonas donde la roca es más sana y de mejor calidad, la excavación con explosivos obtiene unos rendimientos superiores, mientras que la excavación puntual de zonas débiles o más alteradas, como pueden ser las zonas de fallas o algunos emboquilles, requeriría emplear maquinaria auxiliar como pueden ser martillos hidráulicos, fresadoras o retroexcavadoras.

En el caso concreto del túnel de *Camijanes*, dadas las características geotécnicas de los materiales calizos principalmente que se atraviesan, sería recomendable recurrir a la excavación mediante voladura en general, y aunque el material puede ser rozable, los costes debidos a la abrasión de las picas de la maquinaria elevarían el presupuesto.

No obstante, el emboquille de la Boca Sur del túnel presenta una capa de espesor importante de arcillas, y dada la proximidad con edificaciones cercanas y el escaso recubrimiento debido a la variabilidad lateral topográfica existente, la voladura no se recomendaría. Por tanto, en esta zona se prevé el uso de máquinas de ataque puntual, con una excavación cuidadosa.

En el resto del túnel, la roca no presenta prácticamente fracturación y basándonos en experiencias de túneles similares características, la excavación se llevará a cabo por voladura, ya que el empleo de este tipo de maquinaria solo sería posible bajo un alto coste como hemos comentado previamente. Este hecho lo corroboran los testigos obtenidos en los sondeos realizados.

1.3.6.2 Ciclo básico de excavación

La excavación utilizando la perforación y los explosivos produce inevitablemente una operación cíclica y no continua que consta de los siguientes pasos:

- **Perforación del frente:** La perforación de los barrenos se realiza con perforadoras hidráulicas o neumáticas, montada en equipo para perforación

mecanizada como puede ser un jumbo. Dicha perforación seguirá un esquema convenientemente diseñado.

- **Retirada del equipo perforador:** La maquinaria se retira y se resguarda para evitar que sufra daños tras la explosión.
- **Carga del explosivo y retirada del personal:** En función de la altura del túnel, la carga se podrá efectuar a pie o desde una plataforma (en el caso de usar la cesta homologada de un jumbo, la máquina no se habría retirado).
- **Detonación de las cargas:** Se verificará que se cumplen todas las medidas de seguridad relativas tanto al personal como a los medios materiales antes de producir la voladura.
- **Ventilación:** Eliminación del humo, polvo y vapores antes de que el personal regrese al túnel.
- **Saneo de la roca:** Consiste en desprender la roca suelta para asegurar la estabilidad de bloques del techo y los hastiales. Desescombro: El material retirado se cargará y transportará hasta la zona donde se depositará.
- **Sostenimiento:** Se procederá a la realización de la entibación provisional si es necesario, aunque dependiendo de la calidad de la roca, puede hacerse simultáneamente durante el desescombrado.

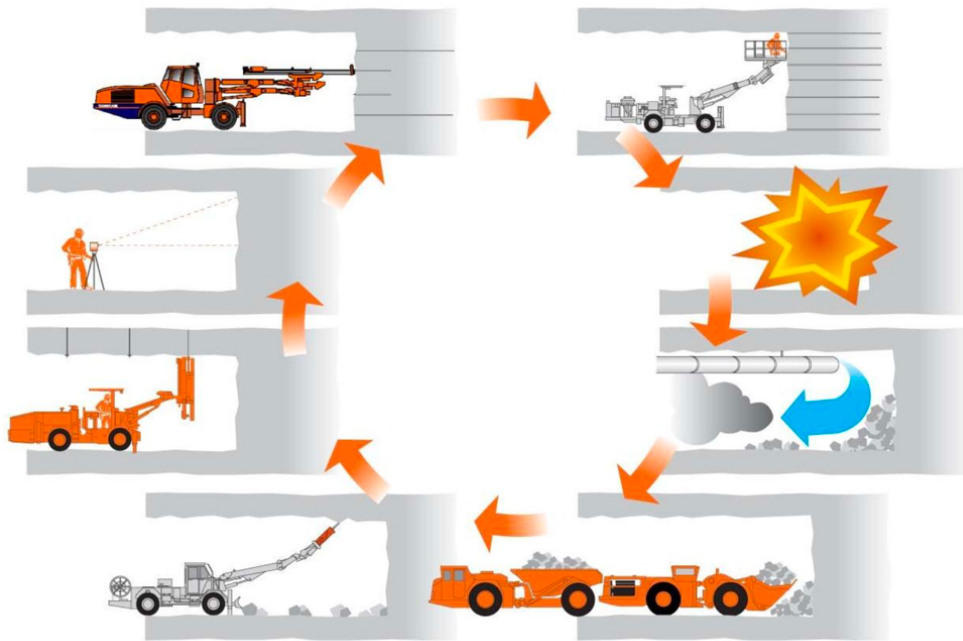


Figura 1.9 – Ciclo de trabajo

La duración de cada ciclo de la excavación a sección completa puede extender de uno a dos relevos, en función del tamaño de la sección y el tipo de sostenimiento necesario. De manera genérica, una distribución puede ser:

- *Perforación de barrenos*: 10 % - 30 %
- *Carga del explosivo*: 5 % - 15 %
- *Voladura y ventilación*: 5 % - 10 %
- *Saneamiento y desescombro*: 15 % - 35 %
- *Sostenimiento*: 65 % - 10 %

1.3.6.3 *Partición de la sección*

Dada la sección del túnel de unos 95 m², la excavación se realizará en 2 fases denominadas *avance* y *destroza*. En rocas competentes y secciones inferiores a 100 m² se podría ejecutar la excavación a sección completa, aunque generalmente se realiza en dos fases cuando se superan los 60 m². Hay que tener en cuenta que la altura de avance deberá permitir la circulación de los vehículos de perforación, carga y transporte, así como del manejo de los bulones (5,50 m).

La *destroza* se excavará en dos fases con un talud de pendiente 2H:3V entre los planos de avance y *destroza*, para facilitar la circulación de maquinaria y disponer de una zona para las operaciones constructivas.

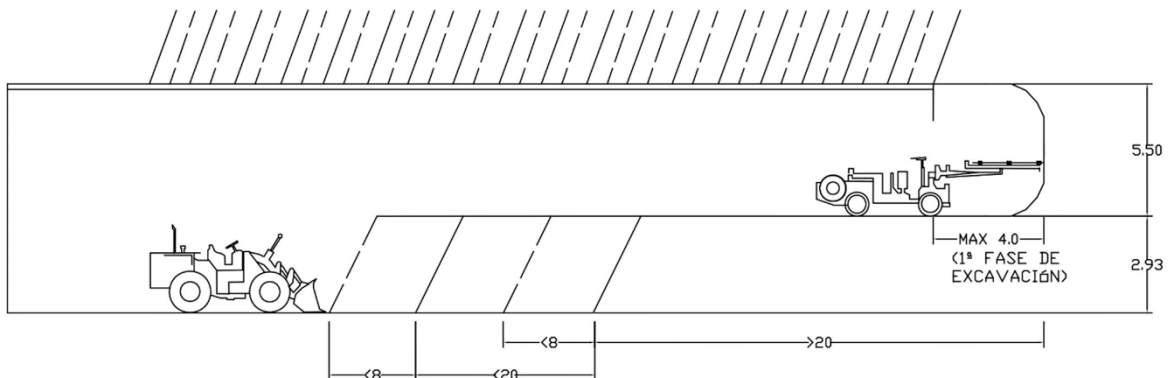


Figura 1.10 – Ejecución de avance y destroza

Primero se realizará la excavación del avance y posteriormente la *destroza* por facilidad constructiva. En aquellas zonas de peor calidad, sería conveniente ejecutar la excavación con los dos tajos próximos, para conseguir un rápido cierre de la sección, y así evitar la necesidad de colocar soleras o apeos intermedios.

1.3.6.4 *Longitudes de avance*

Los pases que se recomiendan para la excavación dependen de la calidad del macizo rocoso y pueden variar entre 1 y 5 metros para el avance, y para la *destroza* entre 2 y 10 metros. Estas deberán ajustarse en obra una vez se conozca el comportamiento real de los terrenos atravesados en cada túnel.

2 LEGISLACIÓN SOBRE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

2.1 Introducción

El ruido es un problema histórico. Ya en las antiguas civilizaciones romanas, existían leyes que prohibían el tránsito por las calles adoquinadas durante la noche. Del mismo modo, las industrias con un alto nivel sonoro debían ubicarse en la periferia de las ciudades.

En la actualidad la normativa que controla la contaminación acústica es muy amplia y diversa.

La legislación emplea normas técnicas que han sido desarrolladas por organismos internacionales que evalúan la calidad, como son **AENOR** (Asociación Española de Normalización y Certificación), **ISO** (*International Organization for Standardization*), **UNE** (*Una Norma Española*), entre otras, las cuales se encargan de establecer unos criterios homogéneos, fiables y repetibles.

Dicha legislación se puede dividir en función del ámbito de aplicación. A continuación, nombraremos aquellas más importantes y relevante para la actuación contra el ruido. Las normas sobre acústica pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- **Normas de obligado cumplimiento:** Son emitidas por Ministerios o Ayuntamientos, y afectan a personas, sociedades, actividades o entidades implicadas en su actividad. Son normas que desarrollan los procesos para la toma de medidas y señalan los valores límites en las diversas actividades contempladas. Se incluyen en este grupo, las ordenanzas municipales contra el ruido.
- **Normas de procedimiento:** Generalmente, son redactadas por organismos nacionales o supranacionales dedicados a la racionalización y la normalización. Describen procesos para realizar medidas, así como las características que los equipos deben poseer para realizarlas. Aquí se incluyen las normas ISO y las UNE, entre otras.
- **Normas programáticas:** Son aquellas que constituyen Derecho válido, pero no directamente aplicable, porque requieren la promulgación de una ley que es la que hace factible el cumplimiento efectivo de la norma programática. Son dictadas por el estado y representan la legislación específica en determinadas materias, o muestra la política a seguir en temas concretos como el Medio Ambiente, o la Seguridad en el trabajo, etc.

2.2 Legislación europea en materia de contaminación acústica

A nivel europeo, la referencia más general en términos de contaminación acústica es el *V Programa de Acción* en relación con el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible (aprobado el 18 de marzo de 1992 por la Comisión Europea) que pone límites al crecimiento de la contaminación acústica y acepta aquellos niveles que puedan resultar tolerables.

De este modo, la Comisión Europea desarrolla un programa para la reducción del ruido dentro del cual se engloba el Libro Verde sobre “*Política Futura de Lucha contra el Ruido*” (1996).

Con posterioridad, el VI Programa Comunitario de Acción en materia de Medio Ambiente establece las directrices de la política ambiental europea para el periodo 2001-2010, marcando como uno de los objetivos la reducción del número de personas expuestas de manera regular y prolongada a niveles sonoros elevados.

En este marco se aprueba la *Directiva 2002/49/CE* del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, y recogido en el DOCE.L-189 de 18 de julio de 2002, considera el ruido como un problema ambiental de primer orden que necesita, para su prevención y erradicación, métodos armonizados de medida, estimación y valoración.

Dicha directiva, se aplicará al ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos en particular en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas en una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido.

No se aplicará al ruido producido por la propia persona expuesta, por las actividades domésticas, por los vecinos, en el lugar de trabajo ni en el interior de medios de transporte, así como tampoco a los ruidos debidos a las actividades militares en zonas militares.

2.3 Legislación nacional en materia de contaminación acústica

A un nivel más general, la Constitución Española habla sobre la intimidad personal y familiar en sus artículos 15, 18 y 45. En concreto el artículo 45 menciona que:

“Los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva”.

La transposición al marco jurídico español se recoge en la **Ley 37/2003, de 17 de noviembre**, del Ruido, recogida en el BOE. nº 276 de 18 de noviembre de 2003, regula la contaminación acústica en un sentido más amplio que la propia Directiva, ya que además

de establecer los parámetros y las medidas para la evaluación y gestión del ruido ambiental, considera el ruido y las vibraciones en el espacio interior de determinadas edificaciones.

Al mismo tiempo, logra una mayor cohesión en la ordenación de la contaminación acústica establecimiento los instrumentos necesarios para la mejora de la calidad acústica de nuestro entorno.

La *Ley 37/2003*, pretende prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar y reducir daños que de esta pueden derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente. Es aplicable a todos los emisores acústicos, ya sean de titularidad pública o privada, así como las edificaciones en su calidad de receptores acústicos. Se excluyen:

- Las actividades domésticas o los comportamientos de los vecinos, cuando la contaminación acústica producida por aquellos se mantenga dentro de límites tolerables de conformidad con las ordenanzas municipales y los usos locales.
- Actividades militares, que se regirán por su legislación específica.
- La actividad laboral, respecto de la contaminación acústica producida por esta en el correspondiente lugar de trabajo, pues se rige por su propia legislación laboral.

El 16 de diciembre se aprobó el **Real Decreto 1513/ 2005**, por el que se desarrolla la *Ley 37/ 2003* previamente mencionada. Este Real Decreto se aplicará al ruido ambiental al que están, expuestos los seres humanos, en particular, en zonas urbanizadas, parques públicos, centros escolares, alrededores de hospitales.

El **Real Decreto 1367/ 2007** del 19 de octubre, por el que se desarrolla la *Ley 37/ 2003* del 17 de noviembre, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

El **Real Decreto 286/ 2006** del 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

Este Real Decreto, centro neurálgico de este Trabajo Fin de Grado, será de obligado cumplimiento en las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados del ruido como consecuencia de su trabajo.

2.4 Real decreto 286/2006

El *Real Decreto 286/2006*, previamente mencionado, consta de 12 artículos, 2 disposiciones adicionales, 1 disposición transitoria, 1 disposición derogatoria, 2 disposiciones finales y 3 anexos. En este apartado se ha pretendido recoger la información más clara y relevante del extenso y complejo documento.

Con el objetivo de garantizar una mejor interpretación del articulado, que a continuación se desarrolla, se han añadido aclaraciones donde se requiera en un color de fuente diferente.

Artículo 1. Objeto

El presente real decreto tiene por objeto, en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, establecer las disposiciones mínimas para la protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición al ruido, en particular los riesgos para la audición.

Artículo 2. Definiciones

A efectos de este real decreto, los parámetros físicos utilizados para la evaluación del riesgo se definen en el apartado 4.1 de este trabajo.

Artículo 3. Ámbito de aplicación

- 1. Las disposiciones de este real decreto se aplicarán a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados del ruido como consecuencia de su trabajo.*
- 2. Las disposiciones del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el Artículo 1, sin perjuicio de las disposiciones más rigurosas o específicas previstas en el presente real decreto.*

Artículo 4. Disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición

- 1. Los riesgos derivados de la exposición al ruido deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas de control del riesgo en su origen.*

La reducción de estos riesgos se basará en los principios generales de prevención establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y tendrá en consideración especialmente:

- a) Otros métodos de trabajo que reduzcan la necesidad de exponerse al ruido.*
- b) La elección de equipos de trabajo adecuados que generen el menor nivel posible de ruido, habida cuenta del trabajo al que están destinados, incluida la posibilidad de proporcionar a los trabajadores equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en la normativa sobre comercialización de dichos equipos cuyo objetivo o resultado sea limitar la exposición al ruido.*
- c) La concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo.*

- d) *La información y formación adecuadas para enseñar a los trabajadores a utilizar correctamente el equipo de trabajo con vistas a reducir al mínimo su exposición al ruido.*
- e) *La reducción técnica del ruido.*
 - I. *Reducción del ruido aéreo, por ejemplo, por medio de pantallas, cerramientos, recubrimientos con material acústicamente absorbente.*
 - II. *Reducción del ruido transmitido por cuerpos sólidos, por ejemplo, mediante amortiguamiento aislamiento.*
- f) *Programas apropiados de mantenimiento de los equipos de trabajo, del lugar de trabajo y de los puestos de trabajo.*
- g) *La reducción del ruido mediante la organización del trabajo.*
 - I. *Limitación de la duración e intensidad de la exposición.*

La capacidad de un ruido para dañar el oído depende fundamentalmente de la cantidad de energía sonora que aquel recibe, tan importante es reducir el nivel sonoro como el tiempo de exposición al mismo. A este respecto debe tenerse en cuenta que para que el nivel de exposición diario equivalente se reduzca en 3 dB es necesario que el tiempo de exposición se reduzca a la mitad (ver Tabla 2.1).

L_{Aeq,T} en dB(A)	Tiempo máximo de exposición
87	8 horas
90	4 horas
93	2 horas
96	1 hora
99	½ hora
102	¼ horas
105	7 ½ minutos
112	1 ½ minutos
117	½ minutos
120	15 segundo

Tabla 2.1 – Tiempo máximo de exposición al ruido para alcanzar un nivel equivalente diario de 87 dB(A)

- II. *Ordenación adecuada del tiempo de trabajo.*

2. Sobre la base de la evaluación del riesgo mencionada en el artículo 6, cuando se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, el empresario establecerá y ejecutará un programa de medidas técnicas y/o de organización, que deberán integrarse en la planificación de la actividad de la empresa, destinado a reducir la exposición al ruido, teniendo en cuenta en particular las medidas mencionadas en el apartado.

3. Sobre la base de la evaluación del riesgo mencionada en el artículo 6, los lugares de trabajo en que los trabajadores puedan verse expuestos a niveles de ruido que sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, serán objeto de una señalización apropiada de conformidad con lo dispuesto en el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Asimismo, cuando sea viable desde el punto de vista técnico y el riesgo de exposición lo justifique, se delimitarán dichos lugares y se limitará el acceso a ellos.

En aquellos puestos de trabajo donde predomine de manera continua los niveles superiores de exposición, deberán obligarse el uso de protectores auditivos (EPI), así como emplear señalización de advertencia en la periferia de la zona (Figura 2.1).



Figura 2.1 – Señalización de advertencia sobre la obligación de empleo de EPI

4. Cuando, debido a la naturaleza de la actividad, los trabajadores dispongan de locales de descanso bajo la responsabilidad del empresario, el ruido en ellos se reducirá a un nivel compatible con su finalidad y condiciones de uso.

5. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 25 de la Ley 31/1995, el empresario adaptará las medidas mencionadas en el presente artículo a las necesidades de los trabajadores especialmente sensibles.

Artículo 5. Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción

1. A los efectos de este Real Decreto, los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción, referidos a los niveles de exposición diaria y a los niveles de pico, se fijan en la Tabla 2.2.

	$L_{Aeq,d}$	L_{pico}
Valor límite de exposición	87 dB(A)	140 dB(C)
Valor superior de exposición	85 dB(A)	137 dB(C)
Valor inferior de exposición	80 dB(A)	135 dB(C)

Tabla 2.2 – Valores límite de exposición y valores de exposición en función del nivel de exposición diaria y pico

En el caso del valor límite referido al nivel de exposición diario equivalente $L_{Aeq,d}$, el valor de 87 dB(A) no debe ser excedido en ninguna jornada laboral. Se exceptúan aquellas situaciones con una variabilidad importante de la exposición entre días, para las que el apartado 3 de este artículo admite promedios semanales.

En el caso del valor límite referido al nivel de pico L_{pico} el valor de 140 dB(C) no debe ser excedido en ningún momento. Sin embargo, a efectos de comparación con el valor límite aplicable, se admite que se considere el efecto de las protecciones auditivas, que deben utilizarse obligatoriamente cuando se superan los valores superiores de exposición.

2. Al aplicar los valores límite de exposición, en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores. Para los valores de exposición que dan lugar a una acción no se tendrán en cuenta los efectos producidos por dichos protectores.

3. En circunstancias debidamente justificadas, y siempre que conste de forma explícita en la evaluación de riesgos, para las actividades en las que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra, a efectos de la aplicación de los valores límite y de los valores de exposición que dan lugar a una acción, podrá utilizarse el nivel de exposición semanal al ruido en lugar del nivel de exposición diaria al ruido para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos, a condición de que:

- a) El nivel de exposición semanal al ruido, obtenido mediante un control apropiado, no sea superior al valor límite de exposición de 87 dB(A), y

- b) se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades.

Cuando el nivel de exposición diario equivalente $L_{Aeq,d}$ varíe considerablemente de una jornada laboral a otra, la exposición podrá evaluarse tomando como base de comparación con los valores límite y los valores de exposición que dan lugar a una acción, el nivel de exposición semanal equivalente, $L_{Aeq,s}$.

Debe tenerse en cuenta que según la norma ISO 1999:90 no es recomendable aplicar este método cuando el mayor de los $L_{Aeq,d}$ de los distintos días de la semana supera en más de 10 dB al valor obtenido de $L_{Aeq,s}$.

Artículo 6. Evaluación de los riesgos

1. *El empresario deberá realizar una evaluación basada en la medición de los niveles de ruido a que estén expuestos los trabajadores, en el marco de lo dispuesto en el artículo 16 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y del capítulo II, sección 1ª del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. La medición no será necesaria en los casos en que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de la misma.*
2. *Los métodos e instrumentos que se utilicen deberán permitir la determinación del nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$), del nivel de pico (L_{pico}) y del nivel de exposición semanal equivalente ($L_{Aeq,s}$), y decidir en cada caso si se han superado los valores establecidos en el artículo 5, teniendo en cuenta, si se trata de la comprobación de los valores límite de exposición, la atenuación procurada por los protectores auditivos. Para ello, dichos métodos e instrumentos deberán adecuarse a las condiciones existentes, teniendo en cuenta, en particular, las características del ruido que se vaya a medir, la duración de la exposición, los factores ambientales y las características de los instrumentos de medición.*
3. *Entre los métodos de evaluación y medición utilizados podrá incluirse un muestreo, que deberá ser representativo de la exposición personal de los trabajadores. La forma de realización de las mediciones, así como su número y duración se efectuará conforme a lo dispuesto en el anexo II. Para la medición se utilizarán los instrumentos indicados en el anexo III, los cuales deberán ser comprobados mediante un calibrador acústico antes y después de cada medición o serie de mediciones.*

4. *La evaluación y la medición mencionadas en el apartado 1 se programarán y efectuarán a intervalos apropiados de conformidad con el artículo 6 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero y, como mínimo, cada año en los puestos de trabajo en los que se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada tres años cuando se sobrepasen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.*

Dichas evaluaciones y mediciones serán realizadas por personal con la debida cualificación, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 36 y 37 y en el Capítulo III del Real Decreto 39/1997, en cuanto a la organización de recursos para el desarrollo de actividades preventivas.

5. *En el marco de lo dispuesto en los artículos 15 y 16 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, el empresario, al evaluar los riesgos, prestará particular atención a los siguientes aspectos:*

- a) *el nivel, el tipo y la duración de la exposición, incluida la exposición a ruido de impulsos;*
- b) *la existencia de equipos de sustitución concebidos para reducir la emisión de ruido;*
- c) *los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción previstos en el artículo 5;*
- d) *en la medida en que sea viable desde el punto de vista técnico todos los efectos para la salud y seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre el ruido y las sustancias ototóxicas relacionadas con el trabajo, y entre el ruido y las vibraciones;*
- e) *todos los efectos indirectos para la salud y la seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre el ruido y las señales acústicas de alarma u otros sonidos a que deba atenderse para reducir el riesgo de accidentes;*

Deberá tenerse en cuenta la posibilidad de que el ruido existente enmascare o dificulte la percepción de señales acústicas de alarma u otras indicaciones de interés para la prevención (comunicaciones verbales, ruidos anormales, etc.).

Es conveniente la determinación del umbral de enmascaramiento, que es el nivel de presión sonora para el que la señal de peligro comienza a ser audible en el ambiente ruidoso.

Normalmente si el nivel de la señal acústica supera en 10 dB, en una de las octavas (o en 15 dB(A) el global), al umbral de enmascaramiento, será suficiente para que la señal se oiga con claridad.

- f) *la información sobre emisiones sonoras facilitada por los fabricantes de equipos de trabajo con arreglo a lo dispuesto en la normativa específica que sea de aplicación;*
- g) *cualquier efecto sobre la salud y la seguridad de los trabajadores especialmente sensibles a los que se refiere el artículo 25 de la Ley 31/1995.*

Los factores que han sido descritos como posibles determinantes de una mayor sensibilidad al ruido son: el padecimiento de ciertas enfermedades crónicas (por ejemplo, enfermedades cardiovasculares, metabólicas); algunas alteraciones del oído (por ejemplo, ineficacia del reflejo acústico; malformaciones hereditarias; antecedentes de traumatismo craneal); otras exposiciones (sustancias químicas relacionadas con el trabajo o fármacos otológicos).

A estos factores cabe añadir la edad, en especial para los trabajadores de más de 50 años que pueden presentar una mayor fragilidad coclear y la situación de embarazo, en la que el sujeto de protección es doble.

- h) *la prolongación de la exposición al ruido después del horario de trabajo bajo responsabilidad del empresario;*
- i) *la información apropiada derivada de la vigilancia de la salud, incluida la información científico-técnica publicada, en la medida en que sea posible;*
- j) *la disponibilidad de protectores auditivos con las características de atenuación adecuadas.*

Artículo 7. Protección individual

1. *De conformidad con lo dispuesto en el artículo 17.2 de la Ley 31/1995 y en el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, de no haber otros medios de prevenir los riesgos derivados de la exposición al ruido, se pondrán a disposición de los trabajadores, para que los usen, protectores auditivos individuales apropiados y correctamente ajustados, con arreglo a las siguientes condiciones:*

- a) *Cuando el nivel de ruido supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción, el empresario pondrá a disposición de los trabajadores protectores auditivos individuales.*

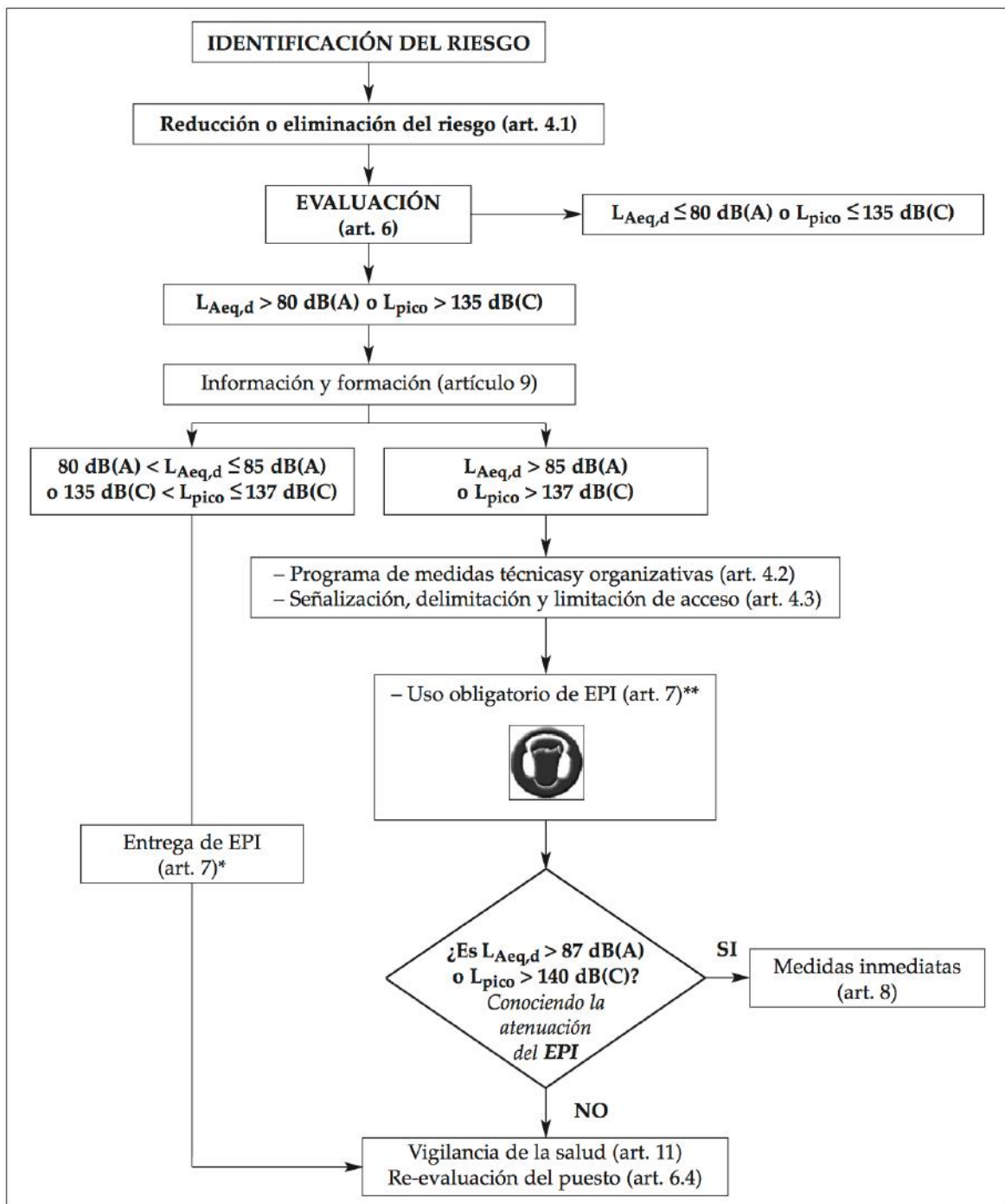


Figura 2.2 – Diagrama de actuación frente al riesgo

- b) Mientras se ejecuta el programa de medidas a que se refiere el artículo 4.2 y en tanto el nivel de ruido sea igual o supere los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, se utilizarán protectores auditivos individuales.

La utilización de los equipos de protección individual (EPI) está justificada cuando los riesgos no se pueden evitar o no pueden limitarse suficientemente por medios técnicos de

protección colectiva o mediante medidas, métodos o procedimientos de organización del trabajo.

Si se superan los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción el empresario deberá proporcionar los protectores auditivos adecuados, cuyo suministro al trabajador será gratuito, y deben poseer la correspondiente certificación según establece el Real Decreto 1407/1992, así como ser de uso personal.

- c) *Los protectores auditivos individuales se seleccionarán para que supriman o reduzcan al mínimo el riesgo.*
-

En este punto el real decreto establece que los protectores auditivos deben seleccionarse para suprimir o reducir al mínimo el riesgo, lo que no debe confundirse con reducir el nivel de presión sonora al mínimo. Cuando los protectores auditivos ofrecen una atenuación excesiva y el ruido percibido es mucho menor que el ambiental, la sensación de aislamiento incrementa la incomodidad de uso, por lo que en la práctica el portador suele prescindir, aunque sea intermitentemente, del equipo.

2. *El empresario deberá hacer cuanto esté en su mano para que se utilicen protectores auditivos, fomentando su uso cuando este no sea obligatorio y velando para que se utilicen cuando sea obligatorio de conformidad con lo previsto en el apartado 1.b) anterior; asimismo, incumbirá al empresario la responsabilidad de comprobar la eficacia de las medidas adoptadas de conformidad con este artículo.*

3. *Cuando se recurra a la utilización de equipos de protección individual, las razones que justifican dicha utilización se harán constatar en la documentación prevista en el artículo 23 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.*

Artículo 8. Limitación de exposición

1. *En ningún caso la exposición del trabajador, determinada con arreglo al artículo 5.2, deberá superar los valores límite de exposición.*

Teniendo en cuenta las definiciones establecidas en el Anexo I del real decreto y una vez sustraído el valor de la atenuación estimada de los protectores auditivos, si es que se utilizan:

- a) *En ningún momento deberá producirse una exposición del trabajador a un nivel de pico superior a 140 dB(C).*

- b) *En ninguna jornada de trabajo se deberá producir una exposición del trabajador en la que el nivel equivalente diario ponderado A sea superior a 87 dB(A), a no ser que se aplique el nivel equivalente semanal.*
 - c) *No deberá existir ninguna semana que dé lugar a una exposición del trabajador cuyo nivel equivalente semanal superior a 87 dB(A).*
2. *Si, a pesar de las medidas adoptadas para aplicar el presente real decreto, se comprobaran exposiciones por encima de los valores límite de exposición, el empresario deberá:*
- a) *Tomar inmediatamente medidas para reducir la exposición por debajo de los valores límite de exposición.*
La forma de reducir la exposición pasa por:
 - 1) Reducir el nivel de presión sonora en los lugares de trabajo.
 - 2) Reducir los tiempos de exposición.
 - 3) Adecuar la utilización de los protectores auditivos a esas situaciones de trabajo.
 - b) *Determinar las razones de la sobreexposición.*

Las sobreexposiciones pueden ser debidas al incremento del nivel de presión sonora o del tiempo de exposición.

A niveles de ruido elevados, un incremento relativamente pequeño, del tiempo de exposición, puede significar la vulneración del valor límite de exposición. Por ejemplo, el límite se alcanza con una permanencia diaria de media hora a 99 dB(A) pero solamente sería tolerable permanecer un cuarto de hora a un nivel de 102 dB(A). (Ver Tabla 2.1).

- c) *Corregir las medidas de prevención y protección, a fin de evitar que vuelva a producirse una reincidencia.*
- d) *Informar a los delegados de prevención de tales circunstancias.*

Artículo 9. Información y formación de los trabajadores.

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 18.1 y 19 de la Ley 31/1995, el empresario velará porque los trabajadores que se vean expuestos en el lugar de trabajo a un nivel de ruido igual o superior a los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción y/o sus representantes reciban información y formación relativas a los riesgos derivados de la exposición al ruido, en particular sobre:

- a) *La naturaleza de tales riesgos.*
- b) *Las medidas tomadas en aplicación del presente real decreto con objeto de eliminar o reducir al mínimo los riesgos derivados del ruido, incluidas las circunstancias en que aquellas son aplicables.*
- c) *Los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción establecidos en el artículo 5.*
- d) *Los resultados de las evaluaciones y mediciones del ruido efectuadas en aplicación del artículo 6, junto con una explicación de su significado y riesgos potenciales.*
- e) *El uso y mantenimiento correctos de los protectores auditivos, así como su capacidad de atenuación.*
- f) *La conveniencia y la forma de detectar e informar sobre indicios de lesión auditiva.*
- g) *Las circunstancias en las que los trabajadores tienen derecho a una vigilancia de la salud, y la finalidad de esta vigilancia de la salud, de conformidad con el artículo 11.*
- h) *Las prácticas de trabajo seguras, con el fin de reducir al mínimo la exposición al ruido.*

Cuando los resultados de la evaluación pongan de manifiesto la necesidad de adoptar medidas específicas de protección o determinadas pautas de comportamiento de los trabajadores para reducir el riesgo de exposición, pueden elaborarse procedimientos o, en su caso, instrucciones precisas de trabajo en los que se recoja información como:

- *La localización de las fuentes de ruido, de manera que el trabajador pueda protegerse convenientemente de ellas.*
- *Los criterios de revisión y mantenimiento de los equipos de trabajo a fin de evitar ruido y vibraciones innecesarias.*
- *En trabajos móviles, la colocación adecuada de los equipos ruidosos para que afecten menos a los demás trabajadores presentes en la zona, incluyendo la posibilidad de apantallar dichos equipos.*
- *Otras prácticas o procedimientos que permitan la reducción de la exposición a ruido.*

Artículo 10. Consulta y participación de los trabajadores

La consulta y la participación de los trabajadores o de sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este real decreto y, en particular, respecto

a las indicadas a continuación, se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el artículo 18.2 de la Ley 31/1995:

- a) *La evaluación de los riesgos y la determinación de las medidas que se han de tomar contempladas en el artículo 6.*
- b) *Las medidas destinadas a eliminar o reducir los riesgos derivados de la exposición al ruido contempladas en el artículo 4.*
- c) *La elección de protectores auditivos individuales contemplados en el artículo 7.1.c).*

Artículo 11. Vigilancia de la salud

1. *Cuando la evaluación de riesgos prevista en el artículo 6.1 ponga de manifiesto la existencia de un riesgo para la salud de los trabajadores, el empresario deberá llevar a cabo una vigilancia de la salud de dichos trabajadores, y estos someterse a esta, de conformidad con lo dispuesto en este artículo y en el artículo 37.3 del Real Decreto 39/1997.*

2. *Los trabajadores cuya exposición al ruido supere los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción tendrán derecho a que un médico, u otra persona debidamente cualificada bajo la responsabilidad de un médico, a través de la organización preventiva que haya adoptado la empresa, lleve a cabo controles de su función auditiva. También tendrán derecho al control audiométrico preventivo los trabajadores cuya exposición supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción cuando la evaluación y la medición previstas en el artículo 6.1 indiquen que existe riesgo para su salud.*

Dichos controles audiométricos se realizarán en la forma establecida en los protocolos específicos a que hace referencia el artículo 37.3.c) del Real Decreto 39/1997 y su finalidad será el diagnóstico precoz de cualquier pérdida de audición debida al ruido y la preservación de la función auditiva. Su periodicidad será, como mínimo, cada tres años en los puestos de trabajo en los que se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada cinco años cuando se sobrepasen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

La periodicidad, teniendo en cuenta la normativa general aplicable a la vigilancia de la salud, sería:

- a) *Reconocimiento inicial, después de la incorporación al trabajo o después de la asignación de tareas específicas con nuevos riesgos para la salud. El objetivo*

de la misma sería disponer de un estado de salud de base que facilitaría el seguimiento ulterior y la detección de trabajadores especialmente sensibles.

- b) Reconocimiento periódico específico, cada 3 años como mínimo para trabajadores cuya exposición supera los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, y cada 5 años si su exposición supera los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.*
- c) Reconocimiento después de una ausencia prolongada por motivos de salud, con la finalidad de descubrir si guardan relación o pueden atribuirse a la exposición a ruido o si ha aparecido una especial sensibilidad, ya sea temporal o permanente.*

3. La vigilancia de la salud incluirá la elaboración y actualización de la historia clínico-laboral de los trabajadores sujetos a la misma con arreglo a lo dispuesto en el apartado 1. El acceso, confidencialidad y contenido de dichas historias se ajustará a lo establecido en el artículo 22, apartados 2, 3 y 4, de la Ley 31/1995 y en el artículo 37.3.c) del Real Decreto 39/1997. El trabajador tendrá acceso, previa solicitud, al historial que le afecte personalmente.

4. Cuando el control de la función auditiva ponga de manifiesto que un trabajador padece una lesión auditiva diagnosticable, el médico responsable de la vigilancia de la salud evaluará si la lesión puede ser consecuencia de una exposición al ruido durante el trabajo. En tal caso:

- a) el médico u otro personal sanitario competente comunicará al trabajador el resultado que le atañe personalmente;*
- b) por su parte, el empresario deberá:*
 - 1) revisar la evaluación de los riesgos efectuada con arreglo al artículo 6;*
 - 2) revisar las medidas previstas para eliminar o reducir los riesgos con arreglo a lo dispuesto en los artículos 4 y 7, incluida la posibilidad de exigir el uso de los protectores auditivos en el supuesto a que se refiere el apartado 1.a) del artículo 7, durante la revisión de aquellas medidas y hasta tanto se eliminan o reducirán los riesgos;*
 - 3) tener en cuenta las recomendaciones del médico responsable de la vigilancia de la salud al aplicar cualquiera otra medida que se considere necesario para eliminar o reducir riesgos de acuerdo con lo dispuesto en los artículos 4 y 7, incluida la posibilidad de asignar al trabajador otro trabajo donde no exista riesgo de exposición;*
 - 4) disponer una vigilancia sistemática de la salud y el examen del estado de salud de los demás trabajadores que hayan sufrido una exposición similar.*

Artículo 12. Excepciones

1. *En las situaciones excepcionales en las que, debido a la índole del trabajo, la utilización plena y adecuada de protectores auditivos individuales pueda causar un riesgo mayor para la seguridad o la salud que el hecho de prescindir de ellos, el empresario podrá dejar de cumplir, o cumplir parcialmente, lo dispuesto en los artículos 7.1.a), 7.1.b) y 8.*

En dichas situaciones excepcionales se podrá obtener exención respecto a la necesidad de suministrar protectores auditivos cuando se superen los valores inferiores de exposición y a la obligatoriedad de uso durante la ejecución del programa de medidas técnicas o de organización cuando se superen los valores superiores de exposición.

Valga de ejemplo una situación de trabajo en la que el uso de protectores auditivos impide la audición de una señal acústica de peligro. Debiéndose cuestionar la empresa si ha aplicado todas las medidas posibles para reducir el riesgo del que la señal acústica intenta advertir, de reducción la exposición al ruido, y si se ha estudiado la adecuación del espectro frecuencia de atenuación del protector auditivo al correspondiente de la señal acústica, empleando protectores auditivos no pasivos, que modifican su atenuación en función del ruido existente, siempre que dispongan de la correspondiente certificación.

2. *Dicha circunstancia deberá razonarse y justificarse por el empresario, ser previamente consultada con los trabajadores y/o sus representantes, y constar de forma fehaciente en la evaluación de riesgos laborales. Además, deberá comunicarse a la autoridad laboral mediante el envío a esta de la parte de la evaluación de riesgos donde se justifica la excepción, así como el período de tiempo estimado en el que permanecerán las circunstancias que la motivan, a efectos de que aquella pueda comprobar que se dan esas condiciones que justifican la utilización de la excepción. En cualquier caso, el empresario deberá adoptar las medidas técnicas y organizativas que garanticen, teniendo en cuenta las circunstancias particulares, la reducción a un mínimo de los riesgos derivados de ellas. Además, la vigilancia de la salud se realizará de forma más intensa, según se establezca para cada caso en el protocolo de vigilancia sanitaria específica a que se refiere el artículo 11.2.*

3 DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO

3.1 Objeto y campo de aplicación

Para determinar la exposición al ruido nos basaremos en la norma internacional *UNE-EN ISO 9612:2009*. El objetivo de esta norma es establecer un método ingenieril que permita la medición de la exposición al ruido de los trabajadores en un entorno de trabajo para calcular el nivel de exposición al ruido. Esta norma internacional trata de los niveles ponderados A, pero también es aplicable a los niveles ponderados C. Se especifican tres estrategias diferentes de medición. El método es útil cuando se requiere la determinación de la exposición al ruido con un grado de ingeniería, por ejemplo, para estudios epidemiológicos relativos a un deterioro de la audición o de otros efectos nocivos.

El proceso de medición requiere la observación y el análisis de las condiciones de exposición al ruido, de manera que se pueda controlar la calidad de las mediciones. Esta norma internacional proporciona métodos que permiten estimar la incertidumbre de los resultados.

Esta norma internacional no está destinada a la evaluación del enmascaramiento de la comunicación oral ni a la evaluación de los efectos de los infrasonidos, de los ultrasonidos o de los efectos no auditivos del ruido. No se aplica a la medición de la exposición al ruido cuando se llevan protectores auditivos.

Los resultados de las mediciones realizadas de acuerdo con esta norma internacional pueden aportar información útil a la hora de definir las prioridades para las medidas de control de ruido.

3.2 Instrumentos para la evaluación del ruido

Existen diferentes instrumentos para medir el ruido contemplados en el *Real Decreto 286/2006*, siendo cada uno más adecuado en función de qué valores de ruido se quieran determinar o por las condiciones en las que se encuentre el trabajador.

La calibración de los aparatos es fundamental antes de su utilización ya que, en caso contrario, los valores obtenidos se alejarían de la realidad. De este modo, definimos la calibración como el conjunto de operaciones que permiten, en condiciones especificadas, determinar la precisión y la incertidumbre de los aparatos de medida, al compararlos con los correspondientes valores obtenidos de una magnitud medida con un equipo patrón.

Los aparatos de medida que se pueden emplear para determinar los niveles de ruido son los **sonómetros**, **sonómetros integradores-promediadores** y los **dosímetros**.

3.2.1 Sonómetro

Es un instrumento de lectura directa de la presión acústica en cada momento, y mediante la aplicación de filtros y ponderaciones se consigue un resultado similar al que escucharía el oído humano, por lo que es apto para la medición del nivel de presión acústica ponderado A (L_{pA}). La lectura promedio se considerará igual al nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$) de dicho ruido. El resultado viene expresado en decibelios, con referencia a 0,0002 microbars, y según los tipos se pueden introducir una o varias escalas de ponderación de frecuencias del sonido que se mide.

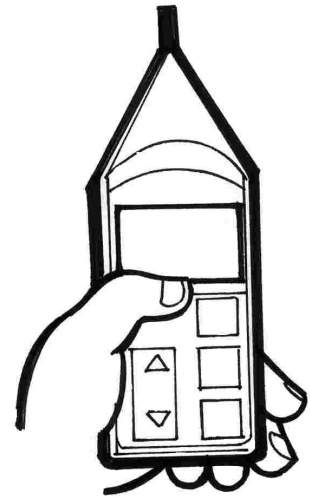


Figura 3.1 – Sonómetro

Las características de los sonómetros han sido normalizadas por varias comisiones a nivel nacional e internacional, y en función de la precisión, los sonómetros se tipifican en:

- **Tipo 0:** Sonómetro patrón (*máxima precisión*).
- **Tipo 1:** Sonómetro de precisión (*gran precisión*).
- **Tipo 2:** Sonómetro de uso general (*precisión media*).
- **Tipo 3:** sonómetro de inspección (*baja precisión*).

Los sonómetros están formados por los siguientes elementos:

- *Un micrófono:* es el encargado de recibir las variaciones de presión sonora y convertirlas en señales eléctricas equivalentes. Se protege con espuma de poliuretano para prolongar su duración y evitar su deterioro.
- *Componentes eléctricos y electrónicos:* se ocupan de amplificar y procesar las señales que reciben, retienen resultados, etc.
- *Uno o varios filtros:* son los denominados redes de ponderación de frecuencia.
- *Un detector:* permite determinar el valor de pico para los ruidos de impacto.
- *Una pantalla:* a través de la cual se puede visualizar analógicamente o digitalmente los resultados.
- *Una carcasa de protección:* equipada con varios mandos y, normalmente, con salidas para conectar el instrumento a otros aparatos.

3.2.2 Sonómetro integrador-promediador

Similar al anterior, pero con la ventaja de que permite variar el tiempo de medida desde segundos hasta horas. Se emplean para la medición del nivel de presión acústica

continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$) de cualquier tipo de ruido. Los sonómetros se emplearán en las mediciones de la siguiente manera:

- Tiene que permanecer cercano al trabajador, colocándose en lugares fijos o ser sostenidos por el técnico.
- Sería preferible que el trabajador no esté presente, y que el micrófono se coloque a la altura donde se encontraría su oído.
- Cuando el trabajador deba estar presente, el micrófono se situará a una distancia comprendida entre 10 y 40 cm del oído de este. Si no se puede colocar a esa distancia se recomienda utilizar un dosímetro para realizar la medición.
- Si el trabajador se encuentra en una situación que no permite colocar fácilmente el micrófono de esta manera, el instrumento se colocará a una altura de $1,55\text{ m} \pm 0,075\text{ m}$ del suelo (si el trabajador está de pie) o $0,80\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$ del plano del asiento (si está sentado).
- El micrófono debe seguir la dirección de la vista del trabajador cuando este permanece estático la mayor parte de la jornada laboral.
- La distancia de la fuente de ruido al micrófono es importante y hay que tenerla en cuenta. Si está muy cerca, se tendrá en cuenta que las pequeñas variaciones en la posición del micrófono pueden ocasionar cambios significativos en los resultados. Se recomienda que el micrófono se mueva en un intervalo de 0,1 a 0,5 metros para determinar variaciones locales.

3.2.3 Dosímetro personal

Son equipos personales destinados a la evaluación de una exposición a distintos niveles de ruidos en el tiempo según una predeterminada ley de valoración. Se recomiendan cuando los trabajadores se mueven en ambientes acústicos muy diversos durante la jornada laboral porque el trabajador puede llevarlo consigo. La evaluación que se realiza permite determinar la medición del nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,T}$) de cualquier tipo de ruido.

Normalmente los equipos de dosimetría constan de dos elementos, el monitor y el indicador, que pueden estar agrupados o separados.

El monitor realiza el almacenamiento de la energía de acuerdo con una predeterminada ley, y es el equipo que se utiliza en la toma de medición, para su posterior lectura en el equipo de indicadores en el laboratorio.



Figura 3.2 – Dosímetro

Actualmente los equipos pueden reunir ambas secciones de monitor e indicador, transformando el porcentaje en el correspondiente nivel de ruido continuo equivalente en dB(A).

Los dosímetros se emplearán en las mediciones de la siguiente manera:

- Se debe colocar a 10 cm del oído y 4 cm por encima del hombro del trabajador.
- Es necesario que se observe y anote las actividades que el trabajador realiza mientras lleva el dosímetro, de este modo se puede comparar los datos con el resultado de la medición para poder identificar los valores característicos. Sobre todo, cuando se mide el nivel de pico, ya que es habitual que golpes o roces en el micrófono falseen los resultados.
- Es recomendable realizar medidas del ruido existente también con un sonómetro integrador, para así comprobar si los resultados obtenidos con el dosímetro son coherentes.

3.3 Descripción de la maquinaria y los puestos de trabajo

A lo largo de este apartado se describirá la maquinaria asociada a los distintos puestos de trabajo que van a ser sometidos a evaluación durante el proceso constructivo del túnel.

3.3.1 Maquinaria empleada para actividades de perforación

El equipo de perforación del jumbo está compuesto por un conjunto de martillos perforadores montados sobre brazos articulados de accionamiento hidráulico para la ejecución de los trabajos de perforación por el frente. El chasis sobre el que se montan los brazos puede ser automotor o remolcable.

Este equipo se emplea para la perforación de barrenos donde a posteriori se introducirá la carga de explosivos para excavar el túnel. El Jumbo posee un sistema operativo computarizado, con sus mandos a través de un ordenador.

A nivel estructural, una perforadora hidráulica tiene un funcionamiento similar a la neumática, la diferencia radica en el accionamiento que en la hidráulica se realiza mediante un grupo de bombas que suministran un caudal de aceite que impulsa los componentes. Las perforadoras hidráulicas van equipadas con un compresor cuya función es proporcionar aire para la eliminación del detritus, pudiéndose incrementar la presión del aire con la profundidad del barreno. La presión de trabajo de estos equipos ronda entre 7,5 y 25 MPa, la potencia de impacto entre 6 y 20 kW y la velocidad de rotación entre 0 y 500 rpm. Aquí el consumo relativo de aire comprimido es menor, entre 0,6 y 0,9 m³/min por cada centímetro de diámetro.

Sin embargo, las neumáticas necesitan de una mayor inversión inicial. Además, las reparaciones son más complejas y costosas, y requieren de una mejor organización y formación del personal para su mantenimiento. Es por ello, que las perforadoras hidráulicas presentan una serie de ventajas tecnológicas respecto a las neumáticas:

- Menor consumo de energía: tres veces menos.
- Menor coste de accesorios de perforación: incremento del 20% de la vida útil del varillaje.
- Mayor capacidad de perforación: velocidades de penetración entre un 50 y un 100% mayores.
- Mejores condiciones ambientales: más limpios y silenciosos.
- Mayor elasticidad en la operación: posibilidad de variar la presión de accionamiento, la energía y la frecuencia de golpeo.
- Mayor facilidad para la automatización: cambio de varillaje, mecanismos antiatranque, etc.

La perforación de los barrenos se realiza mediante rotopercusión, la cual básicamente se basa en que una pieza de acero denominada pistón impacta sobre la superficie, transmitiendo energía a la roca mediante un elemento final llamado broca o bit.

Su campo de aplicación es tanto obras civiles subterráneas como túneles, cavernas de centrales hidráulicas, carreteras, etc.; y en minas subterráneas principalmente y explotaciones a cielo abierto (en mediana y gran minería).

La perforación rotopercutiva presenta una serie de ventajas principales frente a otras alternativas:

- ✓ Aplicable a todos los tipos de roca, desde blandas a duras.
- ✓ La gama de diámetros de perforación es amplia.
- ✓ Equipos versátiles, se adaptan a diferentes trabajos y con gran movilidad.
- ✓ Necesitan de un solo hombre para su manejo y operación.
- ✓ Mantenimiento fácil y rápido.

Los equipos rotopercutivos se pueden clasificar en:

- Martillo en Cabeza (*Top Hammer*): En estas perforadoras dos de las acciones básicas, rotación y percusión, se producen fuera del barreno, transmitiéndose estas acciones a través del varillaje hasta la broca o bit. Estas perforadoras pueden ser de accionamiento neumático o hidráulico. (véase Figura 3.3).
- Martillo de Fondo (*Down the Hole* o *D.T.H.*): La percusión se realiza directamente sobre la broca, mientras que la rotación se efectúa en el exterior. El accionamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente,

mientras que la rotación puede ser neumática o hidráulica. (véase Figura 3.34).



Figura 3.3 y 3.4 – Martillo en Cabeza (izquierda) y Martillo de Fondo (derecha)

Para determinar cuál de los dos es más recomendado según su zona de aplicación, podemos observar en la Tabla 3.1 los diámetros característicos de cada equipo.

Diámetro de perforación (mm)		
Tipo de perforadora	Cielo abierto	Subterráneo
Martillo en Cabeza	50-127	38-65
Martillo de Fondo	75-200	100-165

Tabla 3.1 – Diámetros de perforación según el tipo de martillo

El modelo de perforadora jumbo que se utilizará para la realización de los barrenos en el túnel será el **Boomer E1 C-DH** de la empresa *Atlas Copco*. Para consultar información más detallada de las especificaciones véase el punto B.1.1 del Anexo B.

Requiere de *un trabajador* que la manipule y dirija desde dentro de la cabina, y *otro* que ayude durante el proceso de perforación ubicado en el frente del túnel en una cesta homologada fija a uno de los brazos del jumbo.

Las operaciones que se tienen que llevar a cabo durante el proceso de perforación para cada uno de los operarios que van a manipular la maquinaria son:

- **Operario en cabina o fuera de ella** (no importa cuál de los dos)

Las medidas a ser llevadas a cabo antes de operar son:

- Apertura de la válvula del fondo para agotar el agua que puede haber aumentado en el lubricador y el tanque principal. Esto debe hacerse antes del principio de cada guardia.
- Revisión de los niveles de aceite del tanque hidráulico y lubricador central y aportación cuando sea necesario.
- Revisión del nivel de agua en el purificador de agua (si posee uno) y aportación cuando sea necesario.
- Antes del arranque del motor tener en cuenta lo siguiente:
 - Los otros procedimientos de mantenimiento se han ejecutado.
 - La transmisión en neutral.
 - La válvula selectora de control del brazo hidráulico en la posición adecuada.
- Revisar que el techo de seguridad esté a la altura adecuada.
- Mover el brazo a la posición de manejo, rotar la viga de avance sobre el brazo y baje el extremo posterior contra el brazo. Mover el extensor, viga de avance y la perforadora a la posición posterior.
- Antes de operar verificar que el freno de parqueo esté funcionando perfectamente.

➤ **Operario en cabina**

Durante la conducción, las medidas llevadas a cabo serán:

- Cuando arranque realice la prueba de verificación de los frenos de servicio inmediatamente.
- Use protector de oídos cuando sea necesario.
- No está permitido llevar pasajeros mientras el vehículo está en marcha.

Durante la conducción, el jumbo con el cable conectado a la red eléctrica deberá:

- Asegúrese que el cable está apropiadamente fijado, y que el tapón y el enchufe este limpio para evitar el daño a ellos.
- Observe la longitud del cable.
- Verifique la tensión y la longitud del cable al manejar hacia la ubicación de trabajo.

Antes de producirse la perforación, las medidas que se deben llevar a cabo son:

- Estacionar el jumbo a una distancia adecuada del frente de perforación.
- Apagar el motor diésel.
- Aplicar el freno de parqueo.
- Conectar el interruptor principal de corriente y el de luces.

- Revisar que los controles de operación y el panel de control estén en la posición central (neutro) y las perillas de parada de emergencia estén en la posición aplicado.
- Arrancar el Sistema hidráulico, presionando el botón de arranque (start).
- Utilizando las gatas ubicar el jumbo paralelamente al eje axial del túnel.
- Posicionar la viga de avance paralela con el eje de rotación del brazo, para ello es posible utilizar el sistema de paralelismo automático.

Cuando se ha comenzado la perforación, se tiene que:

- Colocar los controles de la rotación, percusión y de avance a la posición de perforación.
- La presión recomendada de trabajo es:
 - Con flujo separado 5 – 15 bar.
 - Con flujo central 5 – 10 bar.
- Cuando la broca este penetrando en la roca un poco, entonces se podrá aplicar toda la potencia de perforación adelante.
- La percusión y el avance estarán operando ahora a toda la potencia posible.

➤ **Operario fuera de cabina**

Antes de producirse la perforación, las medidas que se deben llevar a cabo son:

- Conectar la manguera de agua. Antes se debe limpiar las mangueras para abrir las líneas de alimentación.
- Revisar el lugar de perforación, que exista una visión adecuada y el techo de la galería esté seguro.
- Conectar la manguera de aire cuando sea necesario. Limpiar la manguera antes de conectarla.
- Arrancar la bomba de agua y el compresor.
- Ver la malla de perforación a utilizar y revisar la secuencia de los taladros a perforar.
- Usando el cilindro de extensión de la viga de avance posicionarlo contra la roca.

Cuando se ha comenzado la perforación, se tiene que:

- Revisar que la inyección de agua está operando. El agua debe fluir libremente a través del barreno de la perforadora.
- Revise que el barreno está en el medio de los centralizadores. Ajuste la posición de la viga de avance cuando sea necesario.

Se debe tener en cuenta siempre que la fuerza del avance excesiva fatiga tanto al equipo de perforación como a la perforadora.

3.3.2 *Maquinaria utilizada para cargar del material*

Las retroexcavadoras son máquinas autopropulsadas sobre ruedas con un bastidor especialmente diseñado para montar a la vez un equipo de carga frontal y otro de retroexcavación trasero de forma que puedan ser utilizados alternativamente.

Es una máquina muy versátil y rentable en una obra, prácticamente imprescindible. Se utiliza habitualmente en obras para el movimiento de tierras a nivel inferior al plano de apoyo, o un poco superior a este, aunque también realiza tareas de excavación, pala de carga, martillo rompedor, barredora, apertura y relleno de zanjas, acopio de detritus en obras de pantallas y pilotes, realizar rampas en solares, o para abrir surcos destinados al pasaje de tuberías, cables, drenajes, etc., así como también para preparar los sitios donde se asientan los cimientos de los edificios.

El funcionamiento de la máquina consiste en hundir sobre el terreno una cuchara con la que se arranca los materiales deposita en su interior y los arrastra. La retroexcavadora, a diferencia de la excavadora frontal, incide sobre el terreno excavando de arriba hacia abajo. El chasis puede estar montado sobre cadenas o bien sobre neumáticos. En este último caso están provistas de gatos hidráulicos para fijar la máquina al suelo.

Tras la detonación de las cargas y la ventilación del polvo acumulado en el frente, una retroexcavadora **VOLVO EW180B**, de la empresa homónima *Volvo*, será la encargada de cargar el material y depositarlo en el vehículo de transporte. Para consultar información más detallada de las especificaciones véase el punto B.1.2 del Anexo B.

Requiere de *un trabajador* que la manipule y dirija dentro de la cabina. Además, sería necesario que *otro operario* a pie de obra se encargase de orientar y guiar tanto a la retroexcavadora como al camión de carga.

3.3.3 *Maquinaria utilizada para transportar el material*

Aunque la maquinaria más idónea para trabajar en este tipo de construcciones son las cargadoras de perfil bajo o LHD, nos encontramos con un gálibo lo suficientemente amplio como para optar por un minidúmpster articulado, ya que necesitaríamos una maquinaria robusta con capacidad de carga suficiente, no con demasiada altura, y con unas prestaciones que les permita trabajar en terrenos difíciles, además para evitar tiempos de parada excesivos podría utilizarse también en la construcción de la carretera, siempre y cuando se realizara una igualación de frecuencias óptima (relación entre los equipos de extracción y carga) a la hora de dimensionar el equipo de movimiento de tierras. Esto supondría una reducción de los tiempos de parada, como se ha comentado previamente, y un ahorro del coste en maquinaria.

Estos vehículos tienen capacidades de hasta 36 t con volúmenes colmados entre 13 y 19 m³, de dos o tres ejes con tracción trasera o total (todoterreno). Suelen tener un eje delantero y dos traseros, todos motrices, pero generalmente carecen de ruedas gemelas, solo tiene neumáticos de gran grosor.

Si comparamos los dúmper articulados con los rígidos y otras máquinas de acarreo, las principales ventajas e inconvenientes serían:

- Pueden transitar por capas granulares del firme, puesto que transmiten menos carga que los rígidos.
- Por la misma razón que antes, tiene gran capacidad para salir de sitios fangosos y terrenos blandos o en mal estado, incluso hundido hasta mitad de las ruedas. Los rígidos sin embargo no. Tiene mejor compensación de pesos entre ejes.
- Gran capacidad para subir fuertes pendientes con carga, incluso hasta el 35%.



Figura 3.5 – Dúmper extravial articulado subiendo rampa del 35%

- Tienen menor capacidad de carga que los rígidos: 32 t y 20 m³ frente a las 90 t y 60 m³ de los rígidos.
- Consumo de gasoil menor que en los rígidos.
- Menor altura de carga que los rígidos.
- Mayor vida útil que los rígidos y camiones convencionales. Hasta 30.000 horas (42 meses a pleno rendimiento).
- Mayor maniobrabilidad.
- No requieren pistas de tránsito en óptimas condiciones de nivelación. Los rígidos sí, siendo, por tanto, necesarios repasos continuos por parte de las motoniveladoras.

Estas máquinas pesadas deben ser transportadas por carretera utilizando semirremolques de plataforma baja, denominados góndolas. Tiene varios ejes en la parte posterior, según la carga, que son arrastrados por una cabeza tractora de gran potencia. Requieren permisos especiales, si los gálidos son mayores a los permitidos (se acompañarían por coches de señalización de peligro). Para la carga de las máquinas, la góndola tiene unas rampas que se pliegan y quedan verticales durante el transporte.

Para la ejecución del túnel se utilizará un minidúmpster articulado **D 600 APG** de la empresa *AUSA*, empleado para transportar la carga del escombros hasta el exterior del túnel. Tiene una gran maniobrabilidad y un radio de giro mínimo, que lo convierte en una máquina muy útil y adecuada, además al no tener una tara muy elevada no sería necesario transportarlo por góndola. Para consultar información más detallada de las especificaciones véase el punto B.1.3 del Anexo B.

Requiere de *un operario* que lo conduzca.

4 MÉTODOS

El Real Decreto establece unas recomendaciones sobre las estrategias para llevar a cabo la realización de las mediciones de los niveles de ruido de acuerdo con la normativa técnica descrita en el 2.4.

En este capítulo ha servido de referencia la norma **UNE-EN ISO 9612:2009** “Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería”.

4.1 Términos y definiciones

Para los fines de este trabajo, se aplican los términos y definiciones siguientes:

4.1.1 Nivel de presión acústica

El nivel, en decibelios, dado por la siguiente expresión:

$$L_p = 10 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (1)$$

donde P_0 es la presión de referencia ($2 \cdot 10^{-5}$ pascales) y P es la presión acústica, en pascales, a la que está expuesto un trabajador (que puede o no desplazarse de un lugar a otro del centro de trabajo).

El nivel de presión acústica es una medida de la cantidad de energía asociada al ruido. La presión de referencia P_0 corresponde al umbral de audición humana, que por convenio se elige como $2 \cdot 10^{-5}$ pascales para medios gaseosos, mientras que el otro extremo del intervalo de presiones que puede percibir, que corresponde al umbral de dolor, es de 200 pascales. Con una escala así definida, el valor mínimo de la sensibilidad auditiva humana corresponde a un nivel de presión sonora de 0 dB y el umbral de dolor a 140 dB.

4.1.2 Nivel de presión acústica ponderado A

Valor del nivel de presión acústica, en decibelios, determinado con el filtro de ponderación frecuencia A, dado por la siguiente expresión:

$$L_{pA} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2 \quad (2)$$

donde P_A es la presión acústica ponderada A, en pascales.

El nivel de presión acústica ponderado A es una medida de la capacidad del ruido de dañar permanentemente el oído humano y los resultados de las mediciones deben identificarse como dB(A).

4.1.3 Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A

El nivel, en decibelios A, dado por la expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right] \quad (3)$$

donde $T = t_2 - t_1$ es el tiempo de exposición del trabajador al ruido.

Es decir, el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A es el que tendría un ruido continuo que en el mismo tiempo de exposición transmitiera la misma energía que el ruido variable considerado. El tiempo de exposición puede coincidir con el tiempo de medición del nivel de ruido, aunque en general este último será menor.

4.1.4 Nivel de exposición diario equivalente

El nivel, en decibelios A, dado por la expresión:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \cdot \log \left[\frac{T}{8} \right] \quad (4)$$

donde T es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día. Se considerarán todos los ruidos existentes en el trabajo, incluidos los ruidos de impulsos.

Si un trabajador está expuesto a «m» distintos tipos de ruido y, a efectos de la evaluación del riesgo, se ha analizado cada uno de ellos separadamente, el nivel diario equivalente se calculará según las siguientes expresiones:

$$L_{Aeq,d} = 10 \cdot \log \left[\sum_{i=1}^{i=m} 10^{\frac{(L_{Aeq,T})_i}{10}} \right] = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^{i=m} T_i \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,Ti}}{10}} \right] \quad (5)$$

donde $L_{Aeq,T}$ es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A correspondiente al tipo de ruido «i» al que el trabajador está expuesto T_i horas por día, y $(L_{Aeq,d})_i$ es el nivel diario equivalente que resultaría si solo existiese dicho tipo de ruido.

En las circunstancias que admite el real decreto, el valor de «m» puede ser como máximo 7.

4.1.5 Nivel de exposición semanal equivalente

El nivel, en decibelios A, dado por la expresión:

$$L_{Aeq,s} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^{i=d} 10^{\frac{L_{Aeq,di}}{10}} \right] \quad (6)$$

donde «d» es el número de días a la semana en que el trabajador está expuesto al ruido y $L_{Aeq,d}$ es el nivel de exposición diario equivalente correspondiente al día «i».

4.1.6 Nivel de pico

Es el nivel, en decibelios, dado por la expresión:

$$L_{pico} = \left(\frac{P_{pico}}{P_0} \right)^2 \quad (7)$$

donde P_{pico} es el valor máximo de la presión acústica instantánea (*en pascales*) a que está expuesto el trabajador, determinado con el filtro de ponderación frecuencia C y P_0 es la presión de referencia ($2 \cdot 10^{-5}$ pascales).

En el caso de ruidos con impactos muy diferenciados (martillazos, disparos, etc.) la evaluación de la capacidad agresiva requiere la medición del nivel máximo de presión acústica alcanzado (nivel de pico) y el empleo de la escala de ponderación C, que se incorpora al instrumento de medida mediante un circuito electrónico. Las mediciones realizadas utilizando esta escala de ponderación se indican con la notación dB(C).

4.2 Estrategias de medición

4.2.1 Introducción

La selección de la estrategia de medición idónea varía en función de varios factores, como son: el objetivo de las mediciones, la complejidad de la situación de trabajo, el número de trabajadores implicados, la duración efectiva de la jornada laboral, el tiempo disponible para la medición y el análisis y la cantidad de información detallada requerida.

Para ello, la norma *UNE-EN ISO 9612:2009* ofrece tres estrategias de medición para la determinación de la exposición al ruido en el lugar de trabajo.

Estas estrategias son las siguientes:

- Medición basada en la tarea
- Medición basada en el trabajo
- Medición de una jornada completa

La Tabla 4.1 proporciona una guía para la selección de la estrategia de medición básica dependiendo del tipo de trabajo.

Características del trabajo			Tipo de estrategia de medición		
Movilidad del puesto	Complejidad de la tarea	Ejemplo	Mediciones basadas en la tarea	Mediciones basadas en el trabajo	Mediciones de la jornada completa
fijo	Sencilla o una sola operación	Soldar componentes electrónicos en línea de montaje	recomendada		
fijo	Compleja o con muchas operaciones	Cortar, preparar, soldar piezas	recomendada	aplicable	aplicable
móvil	Patrón de trabajo definido y con pocas operaciones	Cargar y descargar camiones en puerto descarga	recomendada	aplicable	aplicable
móvil	Trabajo definido con muchas operaciones o con un patrón de	Taller de carpintería. Operaciones con sierra, tupí cepillado, etc.	aplicable	aplicable	aplicable

	trabajo complejo				
móvil	Patrón de trabajo impredecible	Reparaciones-mantenimiento. Conductor de toro		aplicable	recomendada
fijo o móvil	Compuesta de muchas operaciones cuyo tiempo de duración es impredecible	Trabajos en taller calderería		recomendada	aplicable
fijo o móvil	Sin operaciones asignadas, trabajo con unos objetivos a conseguir	Encargado de un taller		recomendada	aplicable

Tabla 4.1 - Selección de la estrategia de medición básica

A continuación, vamos a proceder a describir los procesos que se llevan a cabo en cada una de las estrategias, así como las ventajas que suponen su utilización.

4.2.2 Mediciones basadas en la operación o tarea

Esta estrategia está enfocada a las tareas que producen una importante exposición al ruido y a la reducción de la duración de medición requerida para una incertidumbre especificada. La medición basada en la tarea es especialmente útil cuando el trabajo se puede dividir en tareas bien definidas con condiciones de ruido claramente definibles durante las cuales se pueden realizar las mediciones.

El uso de esta estrategia permite acortar los tiempos de medición cuando grupos importantes de trabajadores están realizando actividades similares en entornos acústicos similares. Las mediciones se pueden controlar también más fácilmente.

4.2.2.1 División de la jornada nominal en tareas

Los trabajadores o grupos homogéneos de exposición al ruido sometidos a dicha evaluación, la jornada nominal se debe dividir en tareas, y cada una de ellas se debe definir de tal manera que $L_{Aeq,T}$ sea, con probabilidad, repetible. Es necesario garantizar que todas las contribuciones al ruido relevantes estén incluidas. La información detallada con respecto a la duración de las tareas es especialmente importante para aquellas fuentes de ruido con niveles de ruido elevados. Para obtener una correcta determinación de $L_{Aeq,T}$ y de $L_{p,Cpico}$ es importante la identificación de las fuentes de ruido y de las tareas que dan los niveles de pico más elevados.

4.2.2.2 Duración de las tareas

Se deben determinar las duraciones de las tareas, T_m , de diferentes formas:

- Entrevistas con los trabajadores y el supervisor.
- Observación y medición de las duraciones durante las mediciones de ruido.
- Recopilación de información con respecto al funcionamiento de las fuentes de ruido típicas (los procesos de trabajo, las máquinas, las actividades en el lugar de trabajo y en su entorno, etc.).

Opcionalmente, la duración de una tarea se puede considerar como variable. Para determinar posibles variaciones en la duración, se puede observar la tarea y registrar su duración por ejemplo tres veces. También es posible preguntar a varios trabajadores y supervisores y que indiquen el rango de duración más razonable.

Si están disponibles las observaciones J de la duración de la tarea $T_{m,j}$, el valor aritmético medio de la duración de la tarea, \bar{T}_m , se calcula mediante la ecuación (8):

$$\bar{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j} \quad (8)$$

La suma de las duraciones individuales de las tareas, T_m , que componen la jornada nominal, debe corresponder a la duración efectiva de la jornada laboral. La duración efectiva de la jornada laboral, T_e , viene dada por:

$$T_e = \sum_{m=1}^M \bar{T}_m \quad (9)$$

donde \bar{T}_m es la duración aritmética media de la tarea m ; m es el número de tarea; y M es el número total de tareas.

4.2.2.3 Medición de $L_{Aeq,T,m}$ de las tareas

Las mediciones deben cubrir las variaciones del nivel de ruido en el seno de cada tarea, en el tiempo, en el espacio y en las condiciones laborales.

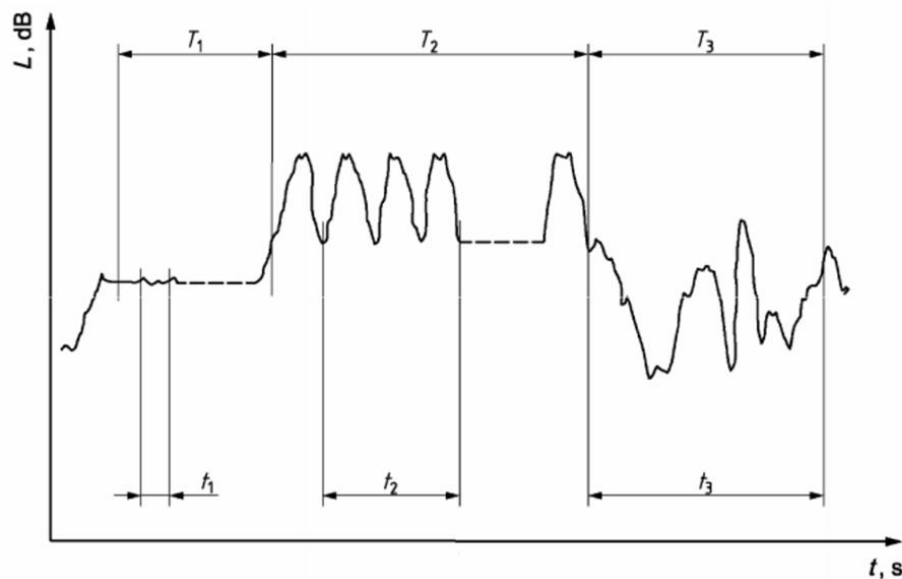
El técnico encargado de la medición debe garantizar que la situación de trabajo es representativa, es decir, el trabajador implicado debe ser observado durante las

mediciones, para verificar que las condiciones de operación o de trabajo no se desvían de la situación normal, en caso opuesto, se debe registrar y notificar en el informe.

Con un mínimo de tres mediciones por tarea, para así cubrir la variación real del nivel de ruido, la duración de cada una de ellas, debe ser lo suficientemente larga como para representar el nivel de presión sonora continuo equivalente medio para la tarea real. La duración de cada medición debe ser de al menos 5 minutos, si el tiempo de la tarea es inferior a este, la duración de cada medición debe ser igual a la duración de misma. Si el nivel es constante o repetitivo, la duración de cada medición se puede reducir, o si el ruido producido por la tarea se considera como un contribuyente menor a la exposición total al ruido (Figura 4.1 – *tarea 1*).

Si el ruido durante la tarea es cíclico, cada medición debe cubrir la duración de al menos tres ciclos bien definidos. Si la duración de tres ciclos es inferior a 5 minutos, cada medición debe ser de al menos 5 minutos. La duración de cada medición debe corresponder siempre a la duración de un número de ciclos enteros (Figura 4.1 – *tarea 2*).

Si el ruido fluctúa de forma aleatoria durante una tarea, la duración de cada medición debe ser lo suficientemente larga para garantizar que el valor medido de $L_{Aeq,T,m}$ es representativo del conjunto de la tarea (Figura 4.1 – *tarea 3*).



Leyenda

L	nivel de ruido en función del tiempo	t	tiempo
T_1	duración de la tarea 1	t_1	duración de la medición 1: ruido más o menos constante
T_2	duración de la tarea 2	t_2	duración de la medición 2: ruido fluctuando de manera cíclica
T_3	duración de la tarea 3	t_3	duración de la medición 3: ruido fluctuando de manera aleatoria

Figura 4.1 – Ejemplo de tres periodos con ruido diferente y duración real

La diferencia entre las tres mediciones no debe salirse del rango de 3 dB entre ellas, de hacerlo, se debería tomar alguna de las siguientes alternativas:

- Realizar, al menos, tres mediciones adicionales de la tarea.
- Subdividir la tarea en subtareas, y proceder con cada una de estas, como si de una tarea independiente se tratase.
- Repetir las mediciones con una medición más larga en cada tarea.

Para cada tarea, se calcula $L_{Aeq,T,m}$ a partir de las I mediciones tomadas para cada tarea, a partir de la ecuación (10).

$$L_{Aeq,T,m} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{I} \cdot \sum_{i=1}^I 10^{\frac{L_{Aeq,T,mi}}{10}} \right] \quad (10)$$

donde $L_{Aeq,T,mi}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante una tarea de duración T_m ; i es el número de muestra de la tarea m ; e I es el número total de muestras de la tarea m .

4.2.2.4 Cálculo de la contribución de cada tarea al nivel de exposición al ruido diario

El cálculo de la contribución de cada tarea que componen la jornada laboral es opcional y se puede realizar si se requiere un valor para la contribución relativa de cada tarea al nivel de exposición al ruido diario.

La contribución al ruido de la tarea m al nivel de exposición al ruido diario ponderado A, $L_{Aeq,d,m}$, se puede calcular como sigue:

$$L_{Aeq,d,m} = L_{Aeq,T,m} + 10 \cdot \log \left[\frac{\bar{T}_m}{T_0} \right] \quad (11)$$

donde $L_{Aeq,T,m}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la tarea m según indica la ecuación (10); \bar{T}_m es la media aritmética de la duración de la tarea m , según indica la ecuación (8); y T_0 es la duración de referencia, $T_0 = 8$ h.

4.2.2.5 Determinación del nivel de exposición al ruido diario

La determinación del nivel de exposición al ruido diario ponderado A, $L_{Aeq,d}$, puede hallarse mediante dos formas distintas.

1. La ecuación (12) permite el cálculo del nivel de exposición al ruido diario ponderado A, a partir de $L_{Aeq,T,m}$ y la duración de cada una de las tareas.

$$L_{Aeq,d} = 10 \cdot \log \left[\sum_{m=1}^M \frac{\bar{T}_m}{T_0} \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,T,m}}{10}} \right] \quad (12)$$

donde $L_{Aeq,T,m}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la tarea m según indica la ecuación (10); \bar{T}_m es la media aritmética de la duración de la tarea m , según indica la ecuación (8); T_0 es la duración de referencia, $T_0 = 8$ h; m es el número de la tarea; y M es el número total de tareas m que contribuyen al nivel de exposición al ruido diario.

2. La ecuación (13) permite el cálculo del nivel de exposición al ruido ponderado A, a partir de la contribución al ruido de cada una de las tareas.

$$L_{Aeq,d} = 10 \cdot \log \left[\sum_{m=1}^M 10^{\frac{L_{Aeq,d,m}}{10}} \right] \quad (13)$$

donde $L_{Aeq,d,m}$ es el nivel de exposición sonora ponderado A de la tarea m que contribuye al nivel de exposición al ruido diario; m es el número de la tarea; y M es el número total de tareas m que contribuyen al nivel de exposición al ruido diario.

4.2.3 Mediciones basadas en el trabajo

Las mediciones basadas en el muestreo durante el trabajo, o basadas en la función, son muy útiles cuando el contenido del trabajo y las tareas típicas son difíciles de describir o cuando no se quiere o no es práctico realizar un análisis del trabajo detallado.

Las mediciones basadas en esta estrategia consisten en tomar muestras aleatorias de la exposición al ruido midiendo el $L_{Aeq,T}$ (nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A) durante la realización de las tareas durante la jornada laboral que despeñan los empleados expuestos al ruido en el trabajo.

4.2.3.1 Plan de medición

El plan de medición debe comenzar identificando las funciones, y a partir de ellas, establecer los grupos de exposición al ruido homogéneos (GHE). Para cada grupo de exposición al ruido homogéneo:

- Determinar la duración de medición mínima acumulativa para el número de trabajadores, n_G , del grupo de exposición homogéneo (ver Tabla 4.2).
- Escoger al menos cinco mediciones, de tal manera que la duración acumulativa sea superior o igual a la duración mínima determinada en el paso anterior. Se deberá prever que en algunas de las muestras se incluyan los eventos de ruido específicos. Aumentar el número de muestras reduce la incertidumbre.
- Planificar la toma de muestras distribuidas de forma aleatoria entre los miembros del grupo y a lo largo de la duración de la jornada laboral.

Número de trabajadores del grupo homogéneo (n_G)	Duración mínima acumulada de las mediciones (horas)
$n_G \leq 5$	5
$5 < n_G \leq 15$	$5 + (n_G - 5) / 2$
$15 < n_G \leq 40$	$10 + (n_G - 15) / 4$
$n_G > 40$	17 o subdividir el grupo

Tabla 4.2 – Duración mínima de mediciones en función del GHE

4.2.3.2 Determinación de los niveles de exposición al ruido diarios para un GHE

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$, para la duración efectiva de la jornada laboral, T_e , lo calcularemos a partir de la ecuación (14):

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right] \quad (14)$$

donde $L_{Aeq,T,n}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A de la muestra n ; n es el número de la muestra de la función; N es el número total de muestras de la función.

A continuación, calcularemos el nivel de exposición al ruido diario ponderado A, $L_{Aeq,d}$, de los trabajadores en un grupo de exposición homogéneo, mediante la ecuación (15):

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \cdot \log \left[\frac{T_e}{T_0} \right] \quad (15)$$

donde $L_{Aeq,T}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la duración efectiva de la jornada laboral; T_e es la duración efectiva de la jornada laboral; T_0 es la duración de referencia, $T_0 = 8$ h.

4.2.4 Mediciones basadas en la jornada completa

Al igual que la anterior, la medición de una jornada completa es más útil cuando el tipo de trabajo y las tareas típicas son difíciles de describir. Sin embargo, requiere incluso menos esfuerzo a la hora de analizar el trabajo. Por otra parte, si la situación de trabajo es sencilla, esta estrategia puede requerir una duración de medición más larga que cualquiera de las otras. Por razones prácticas, puede no ser posible realizar las mediciones durante la jornada laboral completa, en cuyo caso, se deberían realizar durante una parte del día lo más larga posible, cubriendo todos los períodos significativos de la exposición al ruido.

Cuando se utiliza esta estrategia de medición, se debe garantizar que los días escogidos son representativos de lo que se define como la situación de trabajo significativa, así como cubrir todas las contribuciones al ruido y los períodos tranquilos relacionadas con el trabajo durante la jornada laboral. Es práctico realizar estas mediciones de largo plazo utilizando exposímetros sonoros personales o instrumentos similares.

También ofrece la posibilidad de eliminar las contribuciones sonoras irrelevantes de los resultados de las mediciones. Por ello, ha de emplearse un instrumento registrador, ya que este permite obtener información sobre las fluctuaciones en el nivel de ruido durante la jornada laboral, por lo que se puede determinar las contribuciones de las diferentes tareas.

4.2.4.1 Observación de las actividades de trabajo y mediciones de control

Para evitar falsas contribuciones del nivel de exposición al ruido durante las mediciones, sería necesario observar a los trabajadores durante la toma de las mismas. De no ser posible, se debería comprobar la validez de las mediciones empleando para ello, una o más de las siguientes acciones:

- Entrevistas con los supervisores y trabajadores.
- Realización de mediciones puntuales para verificar los niveles medidos utilizando exposímetros sonoros personales.
- Evaluación de la exposición de los trabajadores seleccionados utilizando las mediciones basadas en la tarea (*según apartado 4.2.2*).
- Un examen, por parte del trabajador y del técnico encargado de la medición, del registro diario (histórico) del exposímetro sonoro personal al final del período de trabajo, para identificar las diferentes tareas y eventos. Por este

motivo, el uso de exposímetros sonoros personales registradores es altamente recomendable.

4.2.4.2 Mediciones

Inicialmente, se deben realizar tres mediciones de una jornada completa $L_{Aeq,T}$, para representar la exposición al ruido de los trabajadores de una manera correcta.

Al igual que en las mediciones basadas en la tarea, si los resultados de las tres mediciones difieren en menos de 3 dB, se procede a calcular el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante la jornada nominal para obtener la media energética de las tres mediciones. Los cálculos se llevarán a cabo aplicando la ecuación (14).

Si, por el contrario, las mediciones difieren en más de 3 dB, se recomienda efectuar al menos dos mediciones adicionales de la jornada completa, y se calculará el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante la jornada nominal para obtener la media energética de todas las mediciones obtenidas.

4.2.4.3 Determinación del nivel de exposición al ruido diario

El nivel de exposición al ruido diario ponderado A, $L_{Aeq,d}$, se podrá determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \cdot \log \left[\frac{T_e}{T_0} \right] \quad (16)$$

donde $L_{Aeq,T}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A calculado de acuerdo con el apartado 4.2.4.2; T_e es la duración efectiva de la jornada laboral; T_0 es la duración de referencia, $T_0 = 8$ h.

4.3 Incertidumbre de las medidas

Las fuentes de incertidumbre precisan de un tratamiento específico para reducir su influencia todo lo posible en las mediciones tomadas. La norma *UNE-EN ISO 9612:2009* recoge las principales fuentes de incertidumbre que pueden llegar a afectar a los resultados, estas son:

- Las variaciones en el trabajo diario, las condiciones de funcionamiento, la incertidumbre en el muestreo, etc.
- Los instrumentos y la calibración.
- La posición del micrófono.

- Las falsas contribuciones (el viento, las corrientes de aire, los impactos en el micrófono, el roce del micrófono sobre la ropa, etc.).
- Un análisis del trabajo mal hecho o no realizado.
- Las contribuciones de las fuentes de ruido atípicas (la palabra, la música, radio, las señales de alarma, etc.).

El nivel de exposición al ruido medido y, por consiguiente, su incertidumbre asociada al resultado dependerá de la estrategia o método de medición elegido.

4.3.1 Incertidumbre expandida

A lo largo de los siguientes apartados se especificará el procedimiento para determinar la incertidumbre expandida del nivel de exposición al ruido ponderado A para cada estrategia de medición, normalizado a una jornada laboral de 8 horas, $L_{Aeq,d}$ o, alternativamente, del valor medido del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$. El método de cálculo de incertidumbre que proporciona la norma y que vamos a ver en esta parte de la memoria, garantizará la ausencia de errores sistemáticos en los resultados producidos por contribuciones erróneas.

Las contribuciones a la incertidumbre típica combinada, u , asociada al nivel de exposición al ruido, depende de la desviación típica, u_i , de cada magnitud de entrada y de los coeficientes de sensibilidad, c_i . Estos coeficientes de sensibilidad son una medida de cómo se ve afectado el nivel de exposición al ruido por los cambios en los valores de las respectivas magnitudes de entrada.

A partir de esto, se verifica que las contribuciones de las respectivas magnitudes de entrada vienen dadas por la sumatoria de productos de las incertidumbres típicas y sus coeficientes de sensibilidad asociados. La incertidumbre típica combinada, u , se obtiene a partir de cada una de las contribuciones individuales, $c_i \cdot u_i$, empleando la expresión:

$$u^2 = \sum c_i^2 \cdot u_i^2 \quad (17)$$

Obteniendo así la **incertidumbre expandida**, U , que viene dada por el producto de:

$$U = k \cdot u \quad (18)$$

donde k es un factor de cobertura que es una función del intervalo de confianza. Este intervalo de confianza unilateral será del 95% dando como resultado que $k = 1,65$. Esto significa que el 95% de los valores está por debajo del límite superior, $L_{Aeq,d} + U$.

4.3.2 Incertidumbre de medición basada en las tareas

La expresión general para la determinación del nivel de exposición al ruido ponderado A, $L_{Aeq,d}$, utilizando la medición basada en la tarea, es:

$$L_{Aeq,d} = 10 \cdot \log \left[\sum_{m=1}^M \frac{\bar{T}_m}{T_0} \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,T,m}^*}{10}} \right] \quad (19)$$

donde \bar{T}_m es la media aritmética de las duraciones de la tarea m , según indica la ecuación (8); T_0 es la duración de referencia, $T_0 = 8$ h; m es el número de la tarea; M es el número total de tareas; y $L_{Aeq,T,m}^*$ es la estimación del nivel verdadero de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la tarea m , $L_{Aeq,T,m}$ de la ecuación (12), pudiendo hallar de la siguiente manera:

$$L_{Aeq,T,m}^* = L_{Aeq,T,m} + Q_2 + Q_3 \quad (20)$$

donde Q_2 es la corrección para el instrumento de medida utilizado para la determinación del nivel de presión sonora equivalente ponderado A; y Q_3 , es la corrección para la posición del micrófono utilizado para la determinación del nivel de presión sonora equivalente ponderado A.

4.3.2.1 Cálculo de la incertidumbre típica combinada y de la incertidumbre expandida

Las magnitudes implicadas no presentan una correlación, por lo que la incertidumbre típica combinada, u , para el nivel de exposición al ruido ponderado A $L_{Aeq,d}$, $u(L_{Aeq,d})$, se debe de calcular a partir de los valores numéricos de las contribuciones a la incertidumbre $c_j \cdot u_j$ como sigue a continuación:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = \left(\sum_{m=1}^M [c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} \cdot u_{1b,m})^2] \right) \quad (21)$$

donde $u_{1a,m}$ es la incertidumbre típica combinada debida al muestreo del nivel de ruido de la tarea m (4.3.2.2); $u_{1b,m}$ es la incertidumbre debida a la estimación de la duración de la tarea m (4.3.2.2); $u_{2,m}$ es la incertidumbre típica debida a los instrumentos utilizados para la tarea m ; u_3 es la incertidumbre típica debida a la posición el micrófono; $c_{1a,m}$ y $c_{1b,m}$ son los coeficientes de sensibilidad correspondientes para la tarea m ; m es el número de la tarea; y M es el número total de tareas.

Por tanto, la incertidumbre expandida, U , se calcula:

$$U = k \cdot u \quad (18)$$

donde k es un factor de cobertura de 1,65; y u es la incertidumbre típica combinada.

4.3.2.2 Contribuciones a la incertidumbre de medición y al balance de incertidumbre

Para la medición basada en la tarea, los coeficientes de sensibilidad son los siguientes:

$$c_{1a,m} = \frac{\bar{T}_m}{T_0} \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,T,m}^* - L_{Aeq,d}}{10}} \quad (22)$$

donde \bar{T}_m es la media aritmética de las duraciones de la tarea m ; T_0 es la duración de referencia, $T_0 = 8$ h; $L_{Aeq,T,m}^*$ es la estimación del nivel verdadero de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la tarea m ; y $L_{Aeq,d}$ es el nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada nominal.

$$c_{1b,m} = 4,34 \cdot \frac{c_{1a,m}}{T_m} \quad (23)$$

donde $c_{1a,m}$ es el coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo de los niveles de ruido; y T_m es la duración de la tarea m .

La incertidumbre típica, $u_{1a,m}$, asociada al nivel de ruido debido al muestreo para la tarea m viene dado por:

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I \cdot (I - 1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{Aeq,T,mi} - \bar{L}_{Aeq,T,m})^2 \right]} \quad (24)$$

donde i es el número de muestra de la tarea; I es el número de muestras de la tarea; y $\bar{L}_{Aeq,T,m}$ es la media aritmética de I niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A para la tarea m , obteniéndose de la siguiente manera:

$$\bar{L}_{Aeq,T,m} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I L_{Aeq,T,mi} \quad (25)$$

La incertidumbre típica, $u_{1b,m}$, debida a la duración de la tarea m , se puede calcular a partir de las duraciones medidas de las mediciones independientes, como sigue:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J \cdot (J - 1)} \left[\sum_{j=1}^J (T_{m,j} - T_m)^2 \right]} \quad (26)$$

donde J es el número total de observaciones de la duración de la tarea; $T_{m,j}$ es la duración de la muestra j de la tarea m ; y T_m es la duración de la tarea m .

4.3.3 Incertidumbre de medición basada en el trabajo

La expresión general para la determinación del nivel de presión sonora diario ponderado A, $L_{Aeq,d}$ utilizando la medición basada en el trabajo es:

$$L_{Aeq,d} = 10 \cdot \log \frac{T_e}{T_0} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}^*}{10}} \right] \quad (27)$$

donde T_e es la duración efectiva de la jornada laboral; T_0 es la duración de referencia, $T_0 = 8$ h; n es el número de las funciones; N es el número total de muestras de la función; y $L_{Aeq,T,n}^*$ es la estimación del nivel verdadero de presión sonora continuo equivalente ponderado A asociado a la muestra n de la función, $L_{Aeq,T,n}$, pudiendo hallarse de la siguiente manera:

$$L_{Aeq,T,n}^* = L_{Aeq,T,n} + Q_2 + Q_3 \quad (28)$$

donde Q_2 es la corrección para el instrumento de medida utilizado para la determinación del nivel de presión sonora equivalente ponderado A; y Q_3 es la corrección para la posición del micrófono utilizado para la determinación del nivel de presión sonora equivalente ponderado A.

Esta expresión se emplearía para ajustar las mediciones tomadas *in situ*, ya que aplica a las mismas una serie de factores correctores.

4.3.3.1 Cálculo de la incertidumbre típica combinada y de la incertidumbre expandida

La incertidumbre típica combinada, u , de un grupo homogéneo de trabajadores para el nivel de exposición al ruido ponderado A $L_{Aeq,d}$, $u(L_{Aeq,d})$ se debe calcular a partir de los valores numéricos de todas las contribuciones a la incertidumbre, $c_i \cdot u_i$, como sigue:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2(u_2^2 + u_3^2) \quad (29)$$

donde c_1 es el coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo de los niveles de ruido; u_1 es la incertidumbre típica asociada al muestreo de los niveles de ruido; c_2 es el coeficiente de sensibilidad debido a la sensibilidad del instrumento de medida; u_2 es la incertidumbre típica asociada a la sensibilidad del instrumento de medida; u_3 es la incertidumbre típica asociada a la posición imperfecta del instrumento de medida.

Por tanto, la incertidumbre expandida, U , se calcula:

$$U = k \cdot u \quad (18)$$

donde k es un factor de cobertura de 1,65; y u es la incertidumbre típica combinada.

4.3.3.2 Contribuciones a la incertidumbre de medición y al balance de incertidumbre

Para una medición basada en el trabajo, los coeficientes de sensibilidad c_2 y c_3 , para la incertidumbre debida a la instrumentación y a la incertidumbre debida a la selección imperfecta de la posición de medición, respectivamente, son los siguientes:

$$c_2 = 1 \quad (30)$$

$$c_3 = 1 \quad (31)$$

La contribución a la incertidumbre, $c_1 \cdot u_1$, del muestreo del nivel de ruido, se obtiene directamente de la media energética de los valores medidos de las muestras del nivel de ruido de la función, $L_{Aeq,T,n}$, y de la incertidumbre típica, u_1 , de estos valores, utilizando la Tabla 4.3.

La incertidumbre típica, u_1 , viene dada por la siguiente expresión:

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - \bar{L}_{Aeq,T})^2 \right]} \quad (32)$$

donde $L_{Aeq,T,n}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la muestra n del nivel de ruido de la función; N es el número total de muestras de la función; y $\bar{L}_{Aeq,T}$ es la media aritmética de N muestras de la función del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, y se halla de la siguiente forma:

$$\bar{L}_{Aeq,T} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{Aeq,T,n} \quad (33)$$

Obtenida la incertidumbre típica, u_1 , se accede a la Tabla 4.3. con dicho valor junto con el número de muestras de la función.

N	Contribución a la incertidumbre $c_1 \cdot u_1$ de los valores medidos $L_{Aeq,T,n}$											
	dB											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

Tabla 4.3 – Contribución a la incertidumbre $c_1 \cdot u_1$

Si la contribución a la incertidumbre $c_1 u_1$ debido al muestreo (como se ha obtenido de la Tabla 4.3) es mayor a 3,5 dB, se deben realizar modificaciones al grupo de exposición homogéneo o se debería aumentar el número de mediciones para reducir la incertidumbre.

La incertidumbre típica asociado a la instrumentación, u_2 , asociada a la medición basada en el trabajo, se obtiene a partir de la Tabla 4.4.

Tipo de instrumento	Desviación típica u_2 (o $u_{2,m}$) dB
Sonómetro de clase 1 (Norma IEC 61672-1:2002)	0,7
Exposímetro sonoro personal (Norma IEC 61252)	1,5
Sonómetro de clase 2 (Norma IEC 61672-1:2002)	1,5

Tabla 4.4 – Incertidumbre típica, u_2 , de los instrumentos

La desviación típica debida a la posición de medición, u_3 , asociada a la medición basada en el trabajo, es un valor fijo:

$$u_3 = 1 \quad (34)$$

4.3.4 Incertidumbre de medición basada en la jornada completa

El procedimiento para el cálculo de la incertidumbre para la medición de una jornada completa es el mismo que para el método basado en el trabajo.

4.3.4.1 Cálculo de la incertidumbre típica combinada y de la incertidumbre expandida

La incertidumbre típica combinada en la medición de la jornada completa para el nivel de exposición al ruido ponderado A $L_{Aeq,d}$, $u(L_{Aeq,d})$ se debe calcular a partir de los valores numéricos de todas las contribuciones a la incertidumbre, $c_i \cdot u_i$, como sigue:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2(u_2^2 + u_3^2) \quad (29)$$

Por tanto, la incertidumbre expandida, U , se calcula como:

$$U = k \cdot u \quad (18)$$

donde k es un factor de cobertura de 1,65.

4.3.4.2 Contribuciones a la incertidumbre de medición y al balance de incertidumbre

Para una medición basada en la jornada completa, los coeficientes de sensibilidad c_2 y c_3 , para la incertidumbre debida a la instrumentación y a la incertidumbre debida a la selección imperfecta de la posición de medición, respectivamente, son los siguientes:

$$c_2 = 1 \quad (30)$$

$$c_3 = 1 \quad (31)$$

La contribución a la incertidumbre, $c_1 \cdot u_1$, del muestreo del nivel de ruido, se obtiene directamente de la media energética de los valores medidos de las muestras del nivel de ruido de la función, $L_{p,A,eqT,n}$, y de la incertidumbre típica, u_1 , de estos valores, utilizando la Tabla 4.3. La incertidumbre típica, u_1 , viene dada por la siguiente expresión:

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - \bar{L}_{Aeq,T})^2 \right]} \quad (32)$$

siendo $\bar{L}_{Aeq,T}$:

$$\bar{L}_{Aeq,T} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{Aeq,T,n} \quad (33)$$

La desviación típica asociada a la instrumentación, u_2 , asociada a la medición basada en el trabajo, se obtiene a partir de la Tabla 4.4. La desviación típica debida a la posición de medición, u_3 , asociada a la medición basada en el trabajo, es un valor tabulado:

$$u_3 = 1 \quad (35)$$

5 PROTECTORES AUDITIVOS

5.1 Consideraciones generales

Dentro de los distintos tipos de métodos para reducir la exposición al ruido de los trabajadores nos encontramos los equipos de protección individuales (EPI).

Las condiciones para la comercialización y las exigencias esenciales de salud y seguridad de los EPI están establecidas en el *Real Decreto 1407/1992* y el *Real Decreto 159/1995* (transposición de la *Directiva 89/686/CEE*, de 21 de diciembre, y modificaciones relativas a la comercialización de EPI). Con la colocación del marcado CE el fabricante declara que el EPI se ajusta a las disposiciones indicadas en los reales decretos citados.

El fabricante está obligado a suministrar un folleto informativo junto con cada equipo, documento de gran utilidad en el proceso de selección y uso, y que debe contener toda la información relativa a sus características (por ejemplo: instrucciones y limitaciones de uso, mantenimiento, limpieza, revisiones, caducidad, etc.). Los mismos tienen que estar escritos en castellano y su contenido debe ser lo suficientemente claro.

Las exigencias mínimas relativas a la elección y utilización de los EPI se fijan en el *Real Decreto 773/1997*, de 30 de mayo (transposición de la *Directiva 89/656/CEE*, de 30 de noviembre).

5.2 Tipos de protectores auditivos

Los protectores auditivos son equipos de protección individual que, debido a sus propiedades para la atenuación de sonido, reducen los efectos del ruido en la audición, para evitar así un daño en el oído.

Los protectores auditivos se comercializan de los siguientes tipos:

a) *Pasivos*

- **Orejas:** Consisten en casquetes que cubren las orejas y que se adaptan a la cabeza por medio de almohadillas blandas, generalmente rellenas de espuma plástica o líquido.
- **Tapones** (*también denominados espuma*): Son protectores auditivos que se introducen en el canal auditivo o se colocan sobre el pabellón auditivo, destinados a bloquear su entrada.
- **Orejas acopladas a cascos de protección:** Consisten en casquetes individuales unidos a unos brazos fijados a un casco de protección.



Figura 5.1 – Protector auditivo tipo tapón

- **Cascos anti-ruido:** Son cascos que recubren la oreja, así como una gran parte de la cabeza. Prácticamente en desuso y difíciles de encontrar.
- b) *No pasivos*
- **Protectores auditivos dependientes del nivel:** Pueden ser orejeras o tapones, poseen un sistema electrónico de restauración del sonido que les permite disminuir su atenuación a medida que disminuye el nivel sonoro.
 - **Protectores auditivos con reducción activa del ruido (protectores ANR):** Normalmente son orejeras que incorporan un sistema electrónico que permite conseguir una atenuación acústica adicional a bajas frecuencias.
 - **Protectores auditivos con sistema de comunicación:** Pueden ser orejeras o tapones. Poseen un sistema por cable o inalámbrico que permite transmitir señales, alarmas, mensajes o programas de entrenamiento.

5.3 Selección de protectores auditivos

La elección de un protector requerirá, en todo caso, de un conocimiento amplio del puesto de trabajo y de su entorno, así como realizarse por personal capacitado y junto con la participación y colaboración del trabajador. Para ello, algunas recomendaciones de interés a seguir son:

- Al elegir un protector auditivo, es conveniente tener en cuenta el folleto informativo al que se hace referencia en el *Real Decreto 1407/1992* y el *Real Decreto 159/1995*, el cual debe contener todos los datos útiles referentes a: almacenamiento, uso, limpieza, mantenimiento, desinfección, accesorios, piezas de repuesto, clases de protección, fecha o plazo de caducidad, explicación de las marcas, etc.
- El tipo de protector deberá elegirse en función del entorno laboral para que la eficacia sea satisfactoria y las molestias mínimas.
- El protector auditivo deberá elegirse de modo que reduzca la exposición al ruido a un límite admisible, de acuerdo con las indicaciones que se dan en la Tabla 2.2.
- Usar un protector auditivo no debe mermar la percepción del habla, de señales de peligro o de cualquier otro sonido o señal necesarios para el ejercicio correcto de la actividad.
- La comodidad de uso y la aceptación varían mucho de un usuario a otro. Por consiguiente, es aconsejable realizar ensayos de varios modelos de protectores y, en su caso, de tallas distintas.
- En lo que se refiere a las orejeras, se consigue mejorar la comodidad mediante la reducción de la masa, de la fuerza de aplicación de los

casquetes y mediante una buena adaptación de las almohadillas al contorno de la oreja.

- Como última fase en la selección de un protector auditivo, deben probarse en el lugar de trabajo varios modelos que cumplan el resto de requisitos técnicos. Para tomar en consideración las distintas variaciones individuales de la morfología de los usuarios, los protectores deberán presentarse en una gama de adaptación suficiente y, en caso necesario, en distintas tallas.
- Cuando se compre un protector auditivo, este deberá venir acompañado de su folleto informativo.

5.4 Atenuación acústica de los protectores auditivos

Los protectores auditivos están sometidos a la normativa que regula tanto la fabricación y comercialización como el uso de los Equipos de Protección Individual (EPI). La prestación más importante es la atenuación que proporcionan. Esta atenuación es constante para cada banda de octava, pero la protección global difiere en función del espectro de frecuencias del ruido en cuestión, es decir, para un mismo protector, la protección variará.

Los correspondientes datos sobre la atenuación y protección se calculan de acuerdo con la norma *UNE-EN ISO 4869-2:1996/AC:2008*. Los procedimientos de cálculo de la atenuación acústica se describen en la norma *UNE-EN 458:2016 "Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, cuidado y mantenimiento"*, a partir de la cual desarrollamos lo expuesto a continuación.

5.4.1 Definiciones

El objetivo es obtener la protección que ofrece un protector auditivo, denominada reducción prevista del nivel de ruido, PNR , y del valor del nivel de presión sonora efectivo ponderado A, L'_A , cuando se utiliza el protector en un ambiente caracterizado por un nivel de presión sonora L_A . La relación entre ellos es:

$$PNR = L_A - L'_A \quad (36)$$

Se definen, por otra parte, los siguientes parámetros pertenecientes al protector auditivo:

- **Atenuación a alta frecuencia (H):** representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es $L_C - L_A = -2 \text{ dB}$.

- **Atenuación a media frecuencia (M):** representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es $L_C - L_A = + 2 \text{ dB}$.
- **Atenuación a baja frecuencia (L):** representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es $L_C - L_A = +10 \text{ dB}$.
- **Índice de reducción único (SNR):** es el valor que se resta del nivel de presión sonora ponderado C (L_C) para estimar el nivel de presión sonora efectivo ponderado A (L'_A).
- **Protección asumida (APV_f)** de un protector: es un valor por banda de octava, obtenido de restar del valor medio de atenuación por banda de octava, m_f , en diferentes ensayos de laboratorio, la desviación típica, σ , obtenida en dichos ensayos.

$$APV_f = m_f - \sigma \quad (37)$$

El valor de APV_f es la atenuación que se dispondrá con una probabilidad del 84%, es decir, es la atenuación de que dispondrán 84 de cada 100 personas que lo utilicen. Si se desea aumentar la eficacia de la atenuación al 95% se utilizará $APV_f = m_f - 1,64 \sigma$. Otros valores de eficacia de atenuación se dan en la Tabla 5.1.

Eficacia de protección (%)	Protección asumida (dB)
84	$APV_f = m_f - 1,00 \sigma$
85	$APV_f = m_f - 1,04 \sigma$
90	$APV_f = m_f - 1,28 \sigma$
95	$APV_f = m_f - 1,64 \sigma$
99,5	$APV_f = m_f - 2,58 \sigma$

Tabla 5.1 – Porcentaje de protección y protección asumida de un protector auditivo

Como el valor de APV_f afecta al cálculo de PNR , H , M , L y SNR , es necesario conocer el porcentaje de eficacia utilizado. Generalmente, salvo que se indique otra cosa (por ejemplo: H_{95} ó PNR_{85}), la eficacia es del 84%.

La información que suministra el folleto informativo de los protectores auditivos incluye los valores de H , M , L , SNR y APV_f para las octavas de frecuencia central entre 125

y 8000 Hz. La frecuencia de octava de 63 Hz es opcional; cuando no se disponga de ella, se podrá usar el valor de atenuación correspondiente de 125 Hz.

Los valores de H , M y L , se calculan a partir del comportamiento del protector (APV_f) respecto a ocho espectros de ruidos diferentes y normalizados.

El valor del índice de reducción único, SNR , se obtiene para cada protector a partir de la protección asumida APV_f y el efecto que esta tiene sobre un ruido rosa (ruido que entre otras características posee iguales niveles de presión acústica en todas las octavas) cuyo espectro está normalizado. Por este motivo el valor SNR es similar al valor M del ruido de media frecuencia.

5.4.2 Método de las bandas de octava

Requiere conocer los niveles de presión sonora, en bandas de octava, del ruido ambiental. Es el método más fiable.

Cuando se utiliza un protector auditivo se obtiene el valor del nivel de presión sonora efectivo ponderado A, L'_A , aplicando la siguiente expresión:

$$L'_A = 10 \cdot \log \left(\sum_{f=63 \text{ Hz}}^{f=8000 \text{ Hz}} 10^{\frac{L_f + A_f - APV_f}{10}} \right) \quad (38)$$

donde A_f es la ponderación A en cada octava y L_f el nivel de presión sonora por octava, sin ponderar. El valor resultante de L'_A debe redondearse al entero más próximo.

5.4.3 Método de H , M y L

El método requiere conocer los valores de presión acústica ponderados A y C, así como los valores de H , M y L del protector auditivo. Se calcula el valor de PNR según la diferencia entre L_C y L_A de la siguiente manera:

Si la diferencia $L_C - L_A \leq 2 \text{ dB}$, se utilizara la expresión (39); en caso de $L_C - L_A \geq 2 \text{ dB}$, la expresión (40).

$$PNR = M - \frac{H - M}{4} \cdot [L_C - L_A - 2] \quad (39)$$

$$PNR = M - \frac{M - L}{8} \cdot [L_C - L_A - 2] \quad (40)$$

El valor resultante de L'_A debe redondearse al entero más próximo. Se puede utilizar el nivel de presión acústica no ponderado en lugar del L_C .

Aunque es recomendable, no es imprescindible que la medición de nivel de ruido en las escalas A y C sea simultánea. Si no lo fuesen, las mediciones deben corresponder a situaciones semejantes.

5.4.4 Método del SNR

Se precisa el nivel de presión sonora ponderado C y el parámetro SNR del protector auditivo. Se calcula el nivel de presión sonora efectivo ponderado A de la siguiente forma:

$$L'_A = L_C - SNR \quad (41)$$

5.4.5 Método de comprobación HML

Cuando no se dispone del espectro de frecuencias del ruido ni del valor de L_C , se puede emplear este método, ya que es una simplificación del método *HML*. Se trata de proceder por escucha y restar directamente del nivel de ruido existente L_A , el valor *H*, *M* o *L* según el ruido se componga predominantemente de frecuencias altas, medias o bajas.

Mientras que la percepción de los ruidos permite, generalmente, distinguir aquellos de baja frecuencia (ruidos de clase *L*), puede haber dudas entre altas y medias frecuencias por lo que se consideran ruidos juntos como de clase *HM*. A los primeros se resta el valor *L* del nivel L_A para obtener el nivel atenuado L'_A . A los otros se resta el valor *M* del protector auditivo, del valor L_A para obtener L'_A . Cuando no existan dudas sobre la predominancia de altas frecuencias en el ruido se restará el valor de *H* en vez del de *M*.

Aunque este método difiere de otros más consistentes, como son el de bandas de octava o el propio *HML*, se ajusta mejor que al obtenido mediante el índice *SNR*.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El seguimiento de una metodología de trabajo nos permite obtener información sobre las actividades y los trabajadores que participan en ellas. Además, facilita la selección de la estrategia de medición que más se adecua a las características del puesto de trabajo a evaluar.

La determinación de la exposición al ruido en el trabajo se llevará a cabo en cinco etapas: análisis del trabajo, selección de la estrategia de medición, mediciones, determinación del nivel de exposición al ruido, y cálculo de incertidumbre.

6.1 Análisis del trabajo

Este estudio técnico se ha centrado en analizar 5 tipos de puestos de trabajo presentes en el proceso constructivo de un túnel de carretera, los cuales se describen a continuación:

- Operario situado dentro de la cabina de la perforadora jumbo y que se encarga de controlar la ejecución de los barrenos. Las operaciones que realiza se describen en el apartado 3.3.1 (*Operario en cabina*).
- Operario ubicado en la cesta homologada fuera de cabina en uno de los brazos de la perforadora, encargado de asistir a las tareas de perforación. Las operaciones que realiza se describen en el apartado 3.3.1 (*Operario fuera de cabina*).
- Trabajador dentro de la retroexcavadora encargado de cargar el material y depositarlo en el camión.
- Conductor del camión que transporta el escombros generado tras la voladura.
- Peón a pie de obra que se ocupa de guiar y orientar el posicionamiento de la retroexcavadora y el camión.

Dado que todas las tareas constituyen un proceso iterativo, los operarios están formados para poder desempeñar todas y cada una de ellas. De este modo, a lo largo de la jornada, los trabajadores cambian su posición consiguiendo así una reducción de la monotonía (pudiendo producir cansancio, fatiga mental, disminución de reflejos, etc.) y manteniendo el rendimiento de la obra.

Todos los operarios forman un grupo homogéneo de exposición (*GHE*) al estar expuestos a las mismas fuentes de emisión de ruido, aunque en momentos distintos de la jornada.

6.2 Selección de la estrategia de medición

La primera y, tal vez, más importante decisión que hubo que tomar fue la relativa a la estrategia de medición más idónea teniendo en cuenta el puesto de trabajo a evaluar.

Se decidió la toma de **medidas de ruido basadas en el trabajo** ya que al consultar la Tabla 4.1 sobre las recomendaciones relativas a los tipos de estrategias de medida a utilizar, se entendió que es la metodología aplicable a un puesto de trabajo conformado por distintas operaciones y maquinaria, en la cual no es posible establecer claramente la separación entre ellas ni la duración de las mismas.

6.3 Mediciones

Los datos sobre medidas de ruido utilizados en este Trabajo Fin de Grado fueron extraídos de un artículo publicado en la prestigiosa revista “*Transactions of the KSNVE*”, y más concretamente en el artículo *Noise Generation Characteristic for Tunnel Construction Equipments* (2013); también se utilizaron datos proporcionados por el “*LABORERS’ Health & Safety Fund of North America*” que se centran en los puestos de trabajo analizados en el apartado 3.3 y 6.1, es decir: trabajador manipulando una perforadora o jumbo (*en cabina*), trabajador empleando una retroexcavadora y trabajador conduciendo un camión dúmper. En el caso de la perforadora, se consideró además la posibilidad de un operario que, trabajando fuera de la cabina de la máquina, colaborara en las labores de perforación, así como otro encargado de guiar las restantes maquinarias a pie de obra.

Es por ello que se considera que los trabajadores que participan en el estudio, 5 en total, conforman un grupo de exposición homogénea (GHE), de acuerdo con la definición realizada en apartados anteriores y tal como se indica en la norma *UNE-EN ISO 9612:2009*.

La duración total de muestreo para una estrategia de medición basado en el trabajo viene recogida en la Tabla 4.2 que analiza, en función del número de trabajadores, la duración mínima de las mediciones. Para facilitar la lectura de esta memoria, incluimos a continuación la tabla previamente mencionada.

Número de trabajadores del grupo homogéneo (n_G)	Duración mínima acumulada de las mediciones (horas)
$n_G \leq 5$	5
$5 < n_G \leq 15$	$5 + (n_G - 5) / 2$
$15 < n_G \leq 40$	$10 + (n_G - 15) / 4$
$n_G > 40$	17 o subdividir el grupo

Tabla 4.2 – Duración mínima de mediciones en función del GHE

La duración mínima acumulada del muestreo para nuestro GHE de 5 trabajadores ($n_G = 5$) debe de ser de **5 horas**. Se decide tomar diez muestras, dos para cada puesto según dicta el procedimiento, que tendrán una duración de 30 minutos (0,5 horas). La

elección del número de muestras se hace de forma que queden incluidas la variación espacial y temporal del ruido, así como el número de trabajadores expuestos al mismo.

Dentro de la jornada laboral, los periodos de muestreo se han dividido en intervalos de 1 hora de los cuales tomaremos como tiempo de muestra los primeros 30 minutos para abarcar las 10 de que disponemos. En la Tabla 6.1 podemos observar cómo se han distribuido dentro de la jornada.

Intervalo temporal de la muestra	Puesto de trabajo
8:00 h – 8:30 h	Perforadora (Jumbo drill) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>
9:00 h – 9:30 h	Perforadora (Jumbo drill) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>
10:00 h – 10:30 h	Retroexcavadora (Backhoe) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>
11:00 h – 11:30 h	Retroexcavadora (Backhoe) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>
12:00 h – 12:30 h	Camión (Truck)
12:30 h – 13:00 h	Perforadora (Jumbo drill) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>
13:30 h – 14:00 h	Perforadora (Jumbo drill) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>
16:30 h – 17:00 h	Retroexcavadora (Backhoe) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>
17:00 h – 17:30 h	Retroexcavadora (Backhoe) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>
17:30 h – 18:00 h	Camión (Truck)

Tabla 6.1 – Distribución de las mediciones

De producirse episodios aislados de ruido especialmente intensos, se designarían de entrada los periodos de 30 minutos que los contienen.

Como se indica en el artículo, los valores ya cuentan con las correcciones relativas al instrumento de medida utilizado y la posición del micrófono. Los resultados obtenidos quedan reflejados en la Tabla 6.2.

Número de muestra (n)	Puesto de trabajo	Medida experimental del nivel equivalente ($L_{Aeq,T,n}$)
1ª Muestra	Perforadora (Jumbo drill) FUERA DE LA MÁQUINA	114,8 dB(A)
2ª Muestra	Perforadora (Jumbo drill) DENTRO DE LA MÁQUINA	85,4 dB(A)
3ª Muestra	Retroexcavadora (Backhoe) FUERA DE LA MÁQUINA	94,0 dB(A)
4ª Muestra	Retroexcavadora (Backhoe) DENTRO DE LA MÁQUINA	78,6 dB(A)
5ª Muestra	Camión (Truck)	95,7 dB(A)
6ª Muestra	Perforadora (Jumbo drill) FUERA DE LA MÁQUINA	112,6 dB(A)
7ª Muestra	Perforadora (Jumbo drill) DENTRO DE LA MÁQUINA	85,8 dB(A)
8ª Muestra	Retroexcavadora (Backhoe) FUERA DE LA MÁQUINA	93,5 dB(A)
9ª Muestra	Retroexcavadora (Backhoe) DENTRO DE LA MÁQUINA	79,0 dB(A)
10ª Muestra	Camión (Truck)	96,2 dB(A)

Tabla 6.2 – Valor de las mediciones

6.4 Determinación del nivel de exposición al ruido

El cálculo del nivel de exposición al ruido durante la jornada laboral asignable a los trabajadores del GHE, lo realizaremos mediante la expresión (15):

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \cdot \log \left[\frac{T}{T_0} \right] \quad (15)$$

Donde calcularemos $L_{Aeq,T}$ según la ecuación (14):

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right] = 106,97 \text{ dB}$$

Sin embargo, para realizar el siguiente cálculo es necesario tener en cuenta el tiempo que el trabajador está expuesto a la maquinaria que genera ruido. Como hemos comentado previamente, un mismo trabajador podrá realizar distintas operaciones y manejar diversa maquinaria, por lo que no es posible establecer claramente la separación entre las actividades, es decir, que la duración de las mismas durante la jornada no se puede determinar. En cualquier caso, supondremos que el tiempo efectivo de exposición al ruido será de 7,5 horas, al considerar que goza de media hora de descanso. Obtendremos así el nivel equivalente de presión sonora diario.

$$L_{Aeq,d} = 106,97 + 10 \cdot \log \left[\frac{7,5}{8} \right] = 106,69 \text{ dB}$$

6.5 Cálculo de la incertidumbre

A continuación determinaremos la incertidumbre expandida, U , que acompaña a la medida del nivel de exposición diario equivalente, $L_{Aeq,d}$, aplicando el contenido desarrollado en el apartado 4.3.3 y utilizando la expresión (18):

$$U = k \cdot u \quad (18)$$

La incertidumbre típica combinada se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2(u_2^2 + u_3^2) \quad (29)$$

El cálculo de la incertidumbre típica asociada al muestreo de los niveles de ruido se realizará con la ecuación (32):

$$\bar{L}_{Aeq,T} = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} L_{Aeq,T,n} = 93,56 \text{ dB}$$

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{(10 - 1)} \left[\sum_{n=1}^{10} (L_{Aeq,T,n} - 93,56)^2 \right]} = 12,42 \text{ dB}$$

$$u_1 = 3,52 \text{ dB}$$

Para este valor, y para $N = 10$, emplearemos la Tabla 4.3 para obtener la contribución a la incertidumbre debida al muestreo del nivel de ruido; extrapolando:

$$c_1 \cdot u_1 = 1,92 \text{ dB}$$

Tanto el coeficiente de sensibilidad asociado a la instrumentación empleada en la medición, c_2 , como el coeficiente de sensibilidad asociado a la posición imperfecta del equipo de medida, c_3 , recibirán un valor de 1, tal y como hemos visto en el apartado 4.3.4.2.

El siguiente paso será determinar la incertidumbre asociada a la instrumentación, u_2 , se empleará la Tabla 4.4 en función de la clase del equipo empleado en la medición. De acuerdo a la fuente de los valores, estos se han registrado con un sonómetro de clase 1, por lo que la incertidumbre asociada a la instrumentación será:

$$u_2 = 0,7 \text{ dB}$$

La desviación típica debida a la posición de medición, u_3 , vista en el apartado 4.3.4.2, es un valor tabulado:

$$u_3 = 1$$

A partir de estos valores, procederemos a calcular la incertidumbre típica combinada, u , para las mediciones realizadas:

$$u(L_{Aeq,d}) = \sqrt{1,92^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2)} = 2,28 \text{ dB}$$

La incertidumbre expandida, U , será:

$$U = 1,65 \cdot 2,28 = 3,76 \text{ dB}$$

Los cinco empleados del grupo de exposición homogéneo estarán expuestos a un nivel de ruido diario ponderado A de 106,68 dB(A) con una incertidumbre expandida de 3,84 dB, para una probabilidad de cobertura unilateral del 95% ($k = 1,65$).

$L_{Aeq,d} \pm U \text{ dB(A)}$	$L_{Aeq,d} - U \text{ dB(A)}$	$L_{Aeq,d} + U \text{ dB(A)}$
106,68 ± 3,76	102,92	110,44

Tabla 6.3 – Valores del nivel de exposición diario equivalente y su error

Si comparamos el resultado con los valores límite de exposición, referidos a los niveles de exposición diaria y de pico de la Tabla 2.2 (*la cual mostramos de nuevo a continuación*) podremos verificar que se supera el valor superior de exposición e incluso el valor límite de exposición.

	$L_{Aeq,d}$	L_{pico}
Valor límite de exposición	87 dB(A)	140 dB(C)
Valor superior de exposición	85 dB(A)	137 dB(C)
Valor inferior de exposición	80 dB(A)	135 dB(C)

Tabla 2.2 – Valores límite de exposición y valores de exposición en función del nivel de exposición diaria y pico

Esto nos indica que, desde el punto de vista del Real Decreto 286/2006, este puesto de trabajo no es seguro y, por tanto, requiere de la aplicación de medidas correctoras.

6.6 Evaluación del nivel de pico

Al igual que lo anterior, también es conveniente la evaluación experimental del Nivel de pico, L_{pico} . Aunque ninguno de los puestos analizados presenta ruido que pueda categorizarse de impulsivo o de impacto, vamos a realizar esta evaluación de cara a la elección de los equipos de protección individual de los trabajadores que permitirá la reducción del nivel de presión acústica. Esto viene en alusión a lo que recoge el Real Decreto 286/2006 en su Anexo I en relación al nivel pico:

“En el caso de ruidos con impactos muy diferenciados (martillazos, disparos, etc.) la evaluación de la capacidad agresiva requiere la medición del nivel máximo de presión acústica alcanzado (nivel de pico) y el empleo de la escala de ponderación C, que se incorpora al instrumento de medida mediante un circuito electrónico. Las mediciones realizadas utilizando esta escala de ponderación se indican con la notación dB(C)”.

El artículo al que se ha hecho mención previamente, recoge los valores con las correcciones relativas al instrumento de medida utilizado y la posición del micrófono, por lo que no sería necesario realizar la corrección de la fórmula (28). Los resultados obtenidos quedan reflejados en la Tabla 6.4.

Número de muestra (n)	Puesto de trabajo	Medida experimental del nivel equivalente ($L_{pico,n}$)
1ª Muestra	Perforadora (Jumbo drill) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>	127,3 dB(C)
2ª Muestra	Perforadora (Jumbo drill) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>	101,9 dB(C)
3ª Muestra	Retroexcavadora (Backhoe) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>	115,3 dB(C)
4ª Muestra	Retroexcavadora (Backhoe) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>	106,7 dB(C)
5ª Muestra	Camión (Truck)	101,5 dB(C)
6ª Muestra	Perforadora (Jumbo drill) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>	128,9 dB(C)
7ª Muestra	Perforadora (Jumbo drill) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>	102,2 dB(C)
8ª Muestra	Retroexcavadora (Backhoe) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>	112,9 dB(C)
9ª Muestra	Retroexcavadora (Backhoe) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>	105 dB(C)
10ª Muestra	Camión (Truck)	100,9 dB(C)

Tabla 6.4 – Valor de las mediciones

Con dichos valores determinaremos el valor del Nivel de pico, L_{pico} , adaptando para tal fin la expresión (14) tal y como sigue:

$$L_{pico} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pico,n}}{10}} \right] \quad (42)$$

Aplicando las medidas de la Tabla 6.4, obtendremos el siguiente valor:

$$L_{pico} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} 10^{\frac{L_{pico,n}}{10}} \right] = 121,4 \text{ dB}$$

Si comparamos el resultado con el rango de valores que especifica el Real Decreto en la Tabla 2.2, podemos observar que este no supone ningún riesgo para la salud de los trabajadores.

6.7 Medidas correctoras

Dentro de las medidas correctoras para reducir el nivel de presión acústica, recurriremos a los equipos de protección individual (*EPI*) como se ha recogido en el apartado 5 de este estudio técnico.

La carencia de un espectro de frecuencias del ruido no supone ningún óbice para emplear alguno de los tres métodos que proporciona la norma, ya que se podrá aplicar una simplificación del método *HML*; y aunque difiera de otros más consistentes, como son el de bandas de octava o el propio *HML*, se ajusta mejor que al obtenido mediante el índice *SNR*.

Este método simplificado recurre al juicio del técnico, el cual deberá discernir si el ruido que está presenciando se compone predominantemente de frecuencias bajas, medias o altas (ruidos de clase *L*, *M* o *H*, respectivamente), siendo los dos últimos los que más problemas de identificación generan. Es por ello que cuando existan dudas sobre la predominancia de cada una de ellas, y estando siempre del lado de la seguridad, se optará por aplicar la atenuación correspondiente a las medias frecuencias, *M*.

Aunque existen muchas empresas especializadas, nos hemos decantado por la compañía internacional **3D™** por su trayectoria, experiencia y reputación en el sector, y de

manera particular en su línea de productos Peltor™ Blue-Line con el casco *Tactical XP Headset* (MT1H7P3E2-07-51-34).



Figura 6.1 – Tactical XP headset for Motorola, helmet attachment

La elección de este equipo se basa en su función integrada de volumen activo que le permite al trabajador escuchar sonido ambiente (conversación, sonidos de máquinas, señales de advertencia, etc.) tal y como especifica el Real Decreto en su Artículo 6.5.e), así como la atenuación inmediata de los ruidos impulsivos repentinos en los niveles sonoros.

Los valores de atenuación del equipo se recogen en la siguiente tabla:

L	M	H	SNR
20 dB	28 dB	33 dB	30 dB

Tabla 6.5 – Valores de atenuación del modelo MT1H7P3E2-07-51-34

El siguiente paso será obtener el nivel atenuado L'_A , para lo cual se le restará el valor M del protector auditivo al valor L_A (o $L_{Aeq,T,n}$ en nuestro caso). Podemos ver los resultados en la Tabla 6.6.

Puesto de trabajo	Medida experimental del nivel equivalente ($L_{Aeq,T,n}$)	Valores del nivel atenuado (L'_{A})
Perforadora (Jumbo drill) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>	114,8 dB(A)	86,8 dB(A)
Perforadora (Jumbo drill) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>	85,4 dB(A)	57,4 dB(A)
Retroexcavadora (Backhoe) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>	94,0 dB(A)	66,0 dB(A)
Retroexcavadora (Backhoe) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>	78,6 dB(A)	No sería necesario protección individual
Camión (Truck)	95,7 dB(A)	67,7 dB(A)
Perforadora (Jumbo drill) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>	112,6 dB(A)	84,6 dB(A)
Perforadora (Jumbo drill) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>	85,8 dB(A)	57,8 dB(A)
Retroexcavadora (Backhoe) <i>FUERA DE LA MÁQUINA</i>	93,5 dB(A)	65,5 dB(A)
Retroexcavadora (Backhoe) <i>DENTRO DE LA MÁQUINA</i>	79,0 dB(A)	No sería necesario protección individual
Camión (Truck)	96,2 dB(A)	68,2 dB(A)

Tabla 6.6 – Valores de las mediciones y del nivel de ruido atenuado

Si dicha reducción se realizara en el nivel de exposición diario tendríamos el siguiente valor:

$L_{Aeq,d} + U$	$L'_{A,d}$
110,44 dB(A)	82,44 dB(A)

Tabla 6.7 – Valores del nivel de exposición diario por exceso y atenuado

Si comparamos los nuevos valores con las limitaciones que establece el Real Decreto en la Tabla 2.2 podemos comprobar que todos los resultados se encontrarían por debajo del límite de exposición, 87 dB, siendo solo dos de ellos los que se alzarían ligeramente sobre el valor inferior de exposición, 80 dB.

7 CONCLUSIONES

Como hemos plasmado en esta memoria, el estudio del **Real Decreto 286/2006** sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido nos ha permitido evaluar, desde un punto de vista teórico y práctico, la exposición a la que están sometidos un grupo de cinco trabajadores empleados en la construcción de un túnel, mediante el análisis de las mediciones y sus parámetros clave acompañados de la incertidumbre, así como la identificación de las fuentes de ruido.

Tras analizar las medidas experimentales del nivel equivalente, hemos comprobado que solo el puesto de trabajo emplazado en el interior de la retroexcavadora se encuentra por debajo del umbral inferior de exposición de 80 dB(A) que establece el Real Decreto, mientras que el puesto de trabajo emplazado en el interior de la cabina de la perforadora queda por debajo del valor límite de exposición de 87 dB(A) . Todos los demás puestos de trabajo superan con creces dicho valor máximo.

A la vista de estos resultados, hemos optado por recomendar la utilización de equipos de protección individual (o *EPI*) en la mayoría de los puestos de trabajo evaluados. Con esta medida, que según hemos visto viene avalada por una amplia bibliografía, hemos conseguido disminuir el nivel de exposición al ruido una media de 28 dB(A) . De este modo, hemos logrado que todos los puestos de trabajo, salvo el emplazado en el exterior de la perforadora, queden por debajo del valor inferior de exposición. En cuanto a este particular puesto de trabajo, nuestra recomendación sería la de modificar los turnos de las operaciones con el objetivo de reducir el tiempo de exposición en dicho puesto.

Atendiendo al nivel de pico de los cinco puestos de trabajo evaluados, todos ellos quedan por debajo del valor inferior de exposición de 135 dB(C) que estipula el Real Decreto, por lo que no se requiere aplicar ningún plan de actuación en materia de ruido.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

España. Real Decreto 286/2006 de 10 de marzo sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. Boletín Oficial del Estado, 11 de marzo de 2006, núm. 60, p. 9842-9848 [consultado 19 febrero 2017]. Así como la guía técnica elaborada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Disponible en:

<https://www.boe.es/boe/dias/2006/03/11/pdfs/A09842-09848.pdf>

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/gu%C3%ADa_t%C3%A9cnica_ruido.pdf

AENOR. Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería. UNE-EN ISO 9612:2009. Madrid: AENOR, 2009.

AENOR. Información y documentación. Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información. UNE-ISO 690:2013. Madrid: AENOR, 2013.

AENOR. Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, cuidado y mantenimiento. Documento guía. (Ratificada por AENOR en abril de 2016). UNE-EN 458:2016. Madrid: AENOR, 2016.

AENOR. Acústica. Protectores auditivos contra el ruido. Parte 2: Estimación de los niveles efectivos de presión sonora ponderados A cuando se utilizan protectores auditivos. UNE-EN ISO 4869-2:1996/AC:2008. Madrid: AENOR, 2008.

Estados Unidos de América. *LABORERS' Health & Safety Fund of North America* [Web en línea]. [Consulta: 26 de febrero de 2017]. Sitio web:

<http://www.lhsfna.org/index.cfm/occupational-safety-and-health/noise/#tabs-1>

Jae-Kil Jang y Kab Bae Kim. Noise Generation Characteristic for Tunnel Construction Equipments. *Transactions of the KSNVE*, 2013, 23, 9, pp. 841-849. ISSN 2287-5476 (Online). Disponible en:

http://society.kisti.re.kr/sv/SV_svpsbs03V.do?method=download&cn1=JAKO201329063579482

DONAIRE ÁVILA, Jesús. *Tema 5: Movimientos de tierra* [en línea]. [consulta: 12 de junio de 2017]. Disponible en web:

https://drive.google.com/file/d/0B_6HNDxVXi6yN0I2WEILMFM2TWc/view?usp=sharing

MARTÍNEZ LÓPEZ, Juan Miguel. *Tema 3: Sistemas constructivos y Tema 4: Sostenimiento* [en línea]. [consulta: 16 de junio de 2017]. Disponible en web:

https://drive.google.com/file/d/0B_6HNDxVXi6yaENNYThQakhtWXc/view?usp=sharing

https://drive.google.com/file/d/0B_6HNDxVXi6yUUdkTC0wX25RTEU/view?usp=sharing

Ministerio de Fomento. *ESTUDIO INFORMATIVO VARIANTE SUR DE BILBAO. PRIMERA FASE* [en línea]. [consulta: 16 de junio de 2017]. Disponible en web:

http://www.fomento.gob.es/ferrocarriles/Estudio13/Documento_1/09_Túneles.pdf

Federación de Servicios a la Ciudadanía de CCOO y Federación de Industria y Trabajadores Agrarios de UGT. *GUÍA DE ACTUACIÓN ANTE LA EXPOSICIÓN A RUIDO INDUSTRIAL* [en línea]. [consulta: 11 de junio de 2017]. Disponible en web:

http://www.ugt-fica.org/images/proyectos/pasta_papel_y_carton/guia_de_actuacin_frente_al_ruido_industrial.pdf

De.Construmática. *Legislación vigente sobre acústica* [Web en línea]. [Consulta: 19 de febrero de 2017]. Sitio web:

<http://de.construmatica.com/legislacion-vigente-sobre-acustica/>

Construmática. *Jumbo* [Web en línea]. [Consulta: 12 de junio de 2017]. Sitio web:

<http://www.construmatica.com/construpedia/Jumbo>

YEPES PIQUERAS, Víctor. *Perforación con martillo en cabeza* [Web en línea]. Publicado el 17 de enero de 2014. [Consulta: 12 de junio de 2017]. Sitio web:

<http://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/17/>

MORALES TORRES, S. *Perforación Rotopercutiva* [Archivo en línea]. [Consulta: 12 de junio de 2017]. Sitio web:

https://www.academia.edu/9709254/1.-Perforación_Rotopercutiva

CEIM. *Guía: como evaluar los riesgos de la exposición al ruido* [en línea]. [consulta: 7 de abril de 2017]. Disponible en web:

http://www.areacontract.com/html/es/prl/guias/Guia_UNEX1.pdf

Negocios Lubadi. *USO DE MAQUINARIA PARA MOVIMIENTOS DE TIERRA* [Web en línea]. [Consulta: 12 de junio de 2017]. Sitio web:

<https://negocioslubadi.wordpress.com/48-2/>

3M. *3M™ PELTOR™ Tactical XP Headset, 30 dB, J11 Plug, Helmet Mounted, MT1H7P3E2-07* [en línea]. [consulta: 8 de abril de 2017]. Disponible en web:

http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_EU/PPE_SafetySolutions_EU/Safety/Product_Catalogue/~3M-PELTOR-Tactical-XP-Headset-30-dB-J11-Plug-Helmet-Mounted-MT1H7P3E2-07?N=7576577+3294471068+3294857473&rt=rud

Atlas Copco. *Boomer E1 C-DH* [en línea]. [consulta: 13 de junio de 2017]. Disponible en web:

http://www.miningchina.com/uploads/attachment/path/104/Boomer_E1_C-DH_.pdf

Volvo. *VOLVO EXCAVATOR EW180B* [en línea]. [consulta: 13 de junio de 2017]. Disponible en web:

<https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/global-site/product-archive/documents/06-wheeled-excavators/04-volvo/v-ew180b/v-ew180b-3344331152-0508.pdf?v=LyEyPw>

AUSA. *D 600 APG* [en línea]. [consulta: 14 de junio de 2017]. Disponible en web:

http://www.ausa.com/media/wp-content/uploads/2015/10/D600-1000A_ES.pdf

STEBAN R. *El jumbo hidraulico* [en línea]. Publicado el 30 de enero de 2014. [consulta: 13 de junio de 2017]. Disponible en web:

<https://es.slideshare.net/tebanpr/el-jumbo-hidraulico>

FLORES PEREITA, Pedro. *Manual de acústica, ruido y vibraciones: fundamentos básicos y sistemas de control*. 3ª Edición. Gyc, 1989. ISBN: 84-87579-00-0. [consulta: 14 de junio de 2017]. Disponible en web:

https://www.didegipuzkoa.com/sites/default/files/documentos/manual_de_acustica_ruido_y_vibraciones.pdf

CIMADEVILA SALCINES, Alfonso. *Proyecto de excavación y sostenimiento del túnel de Camijanes* [en línea]. Trabajo Final de Carrera, Universidad Politécnica de Madrid – Escuela Politécnica Superior de Ingenieros de Minas, Madrid, 2008. [consulta: 11 de junio de 2017]. Disponible en web:

<http://oa.upm.es/1422/>

SERRANO HIDALGO, Carmen. *Evaluación de riesgos mediante la medición del nivel de exposición al ruido en una obra de acuerdo con el real decreto 286/2006*. Trabajo Final de Grado, Universidad de Jaén – Escuela Politécnica Superior de Linares, Linares, 2014. [consulta: 12 de junio de 2017]. Disponible en web:

http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/1841/1/TFG_Carmen_Serrano_Hidalgo_2014.pdf

VERDÚ GONZÁLEZ, Vicente. *Evaluación in situ del nivel de exposición sonora de los trabajadores de la empresa "SMATTEX S.A"* [en línea]. Trabajo Final de Grado, Universidad Politécnica de Valencia – Escuela Politécnica Superior de Gandía, Gandía, 2013. [consulta: 26 de febrero de 2017]. Disponible en web:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34318/memoria.pdf?sequence=1>

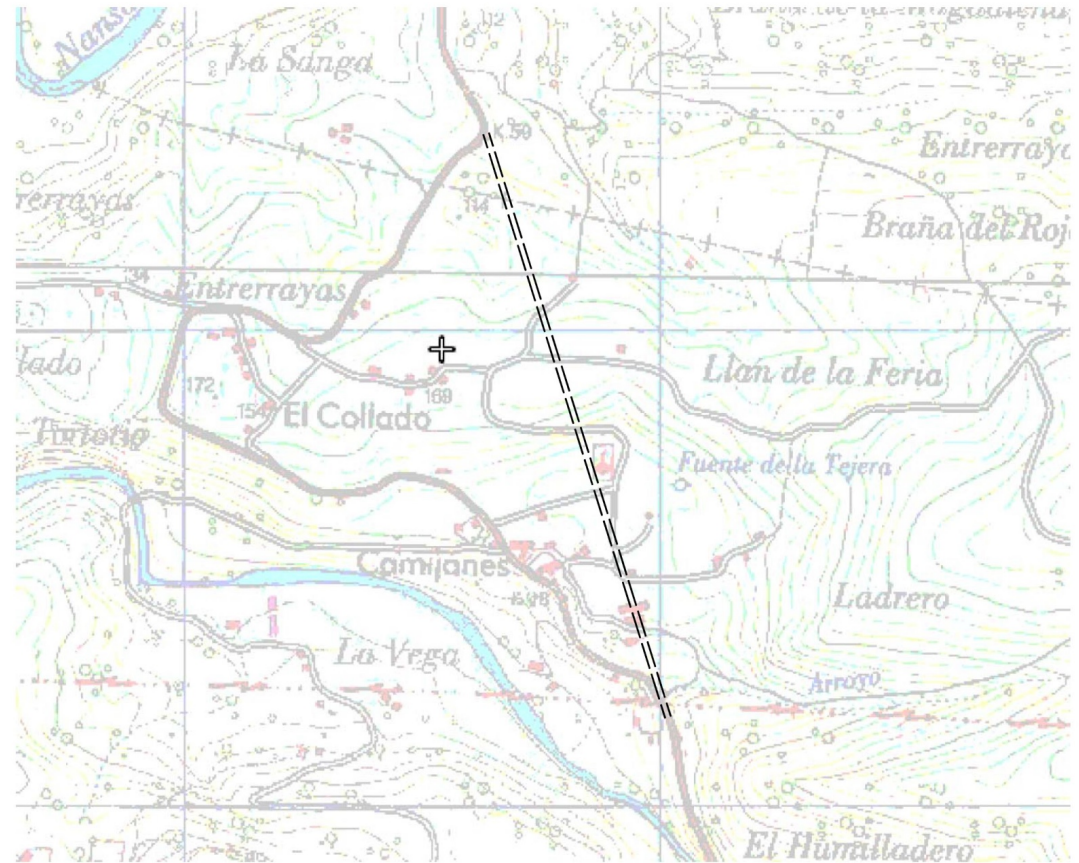
PLANOS



MAPA GENERAL DE SITUACIÓN
Sin escala

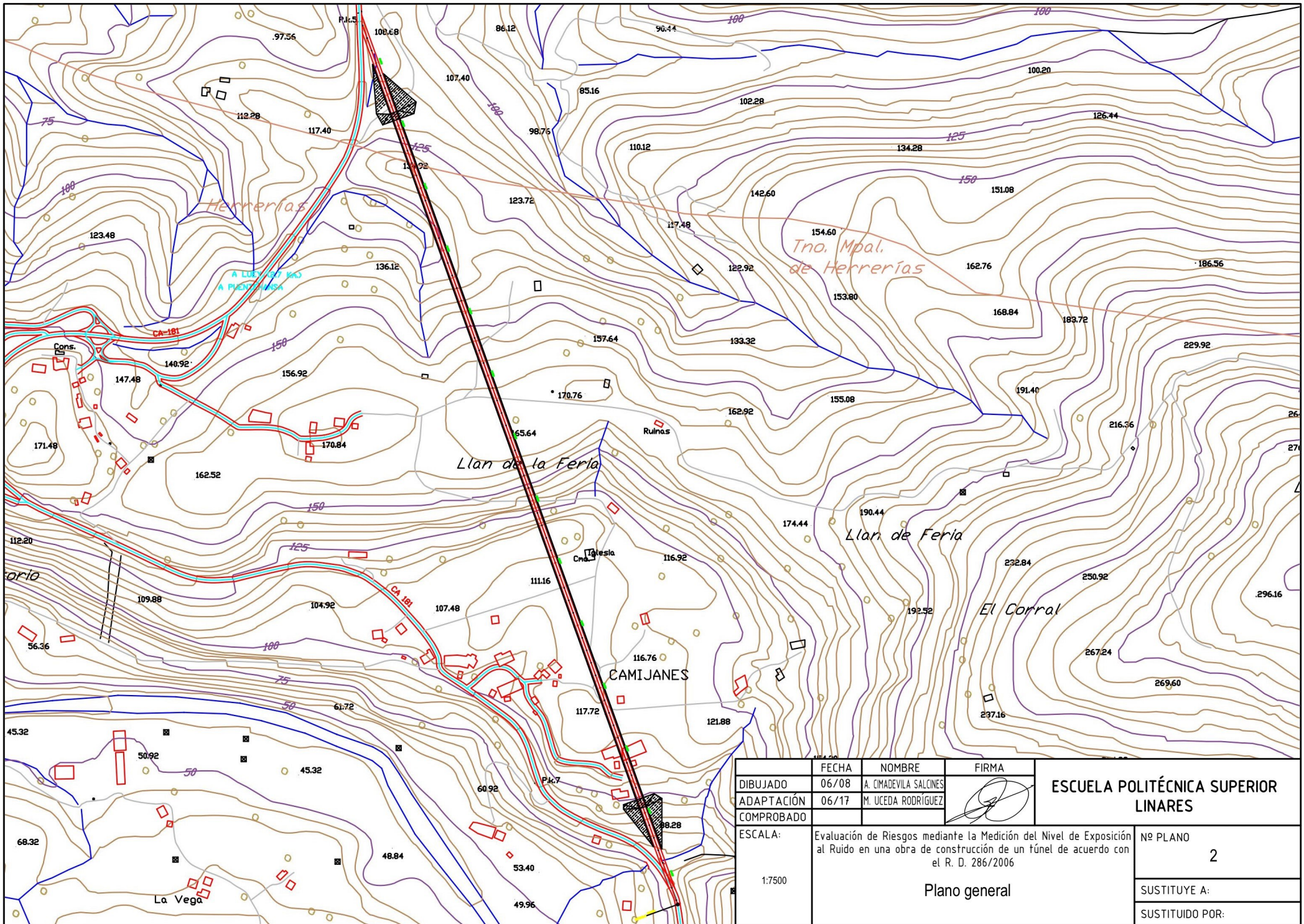


SITUACIÓN
Sin escala

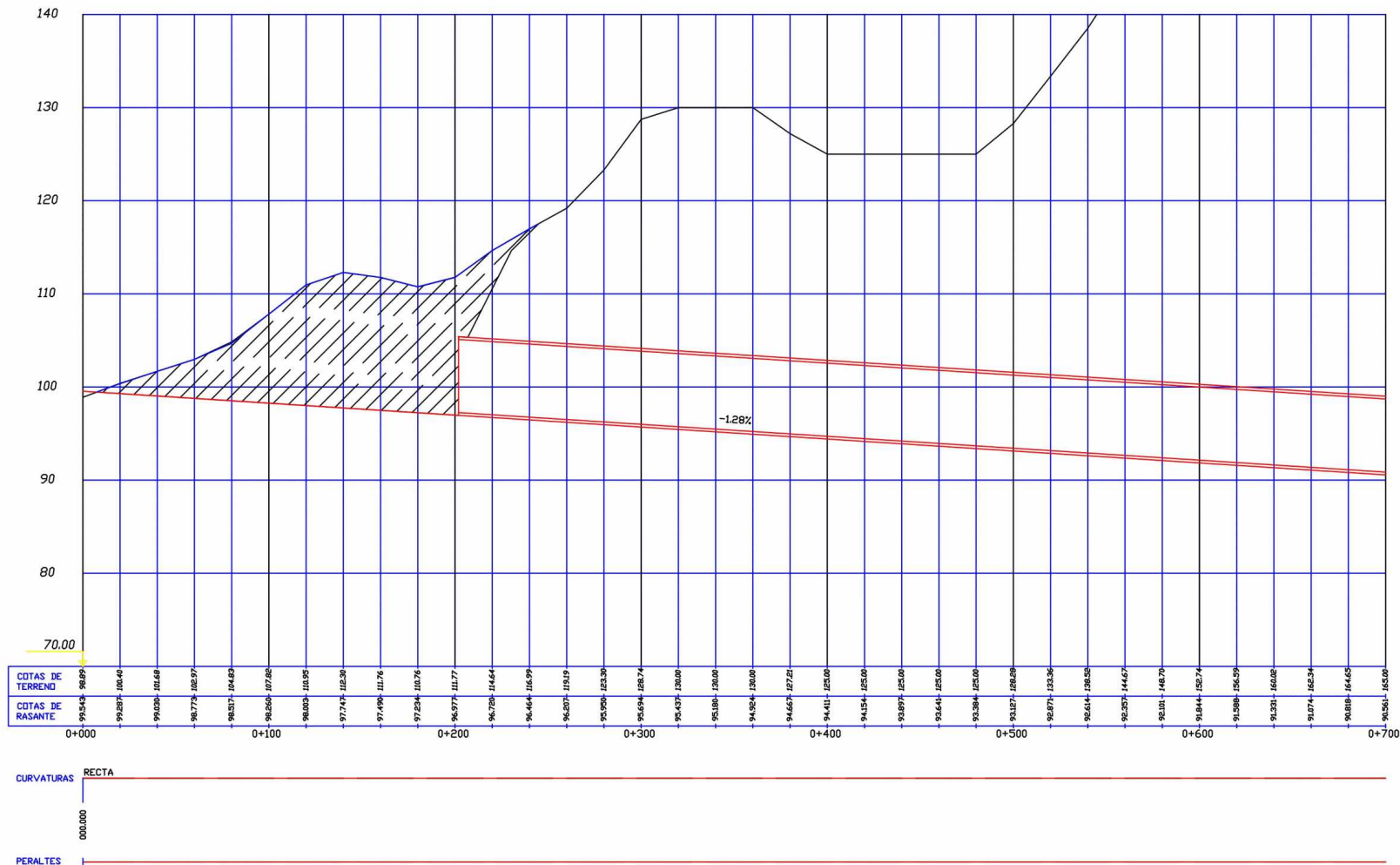


LOCALIZACIÓN
1:10000

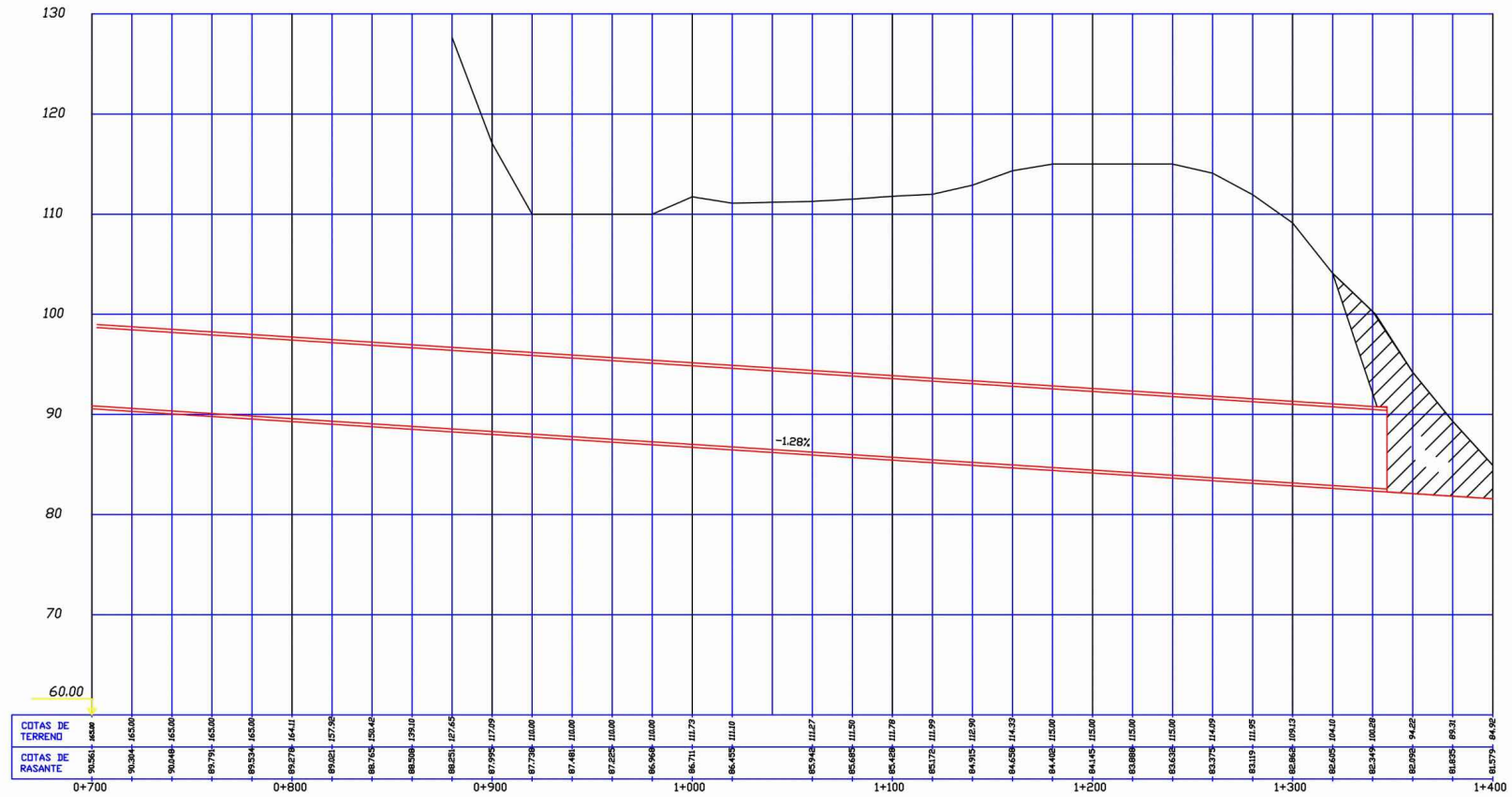
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO 1
Indicadas	Situación			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO
1:7500	Plano general			2
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:




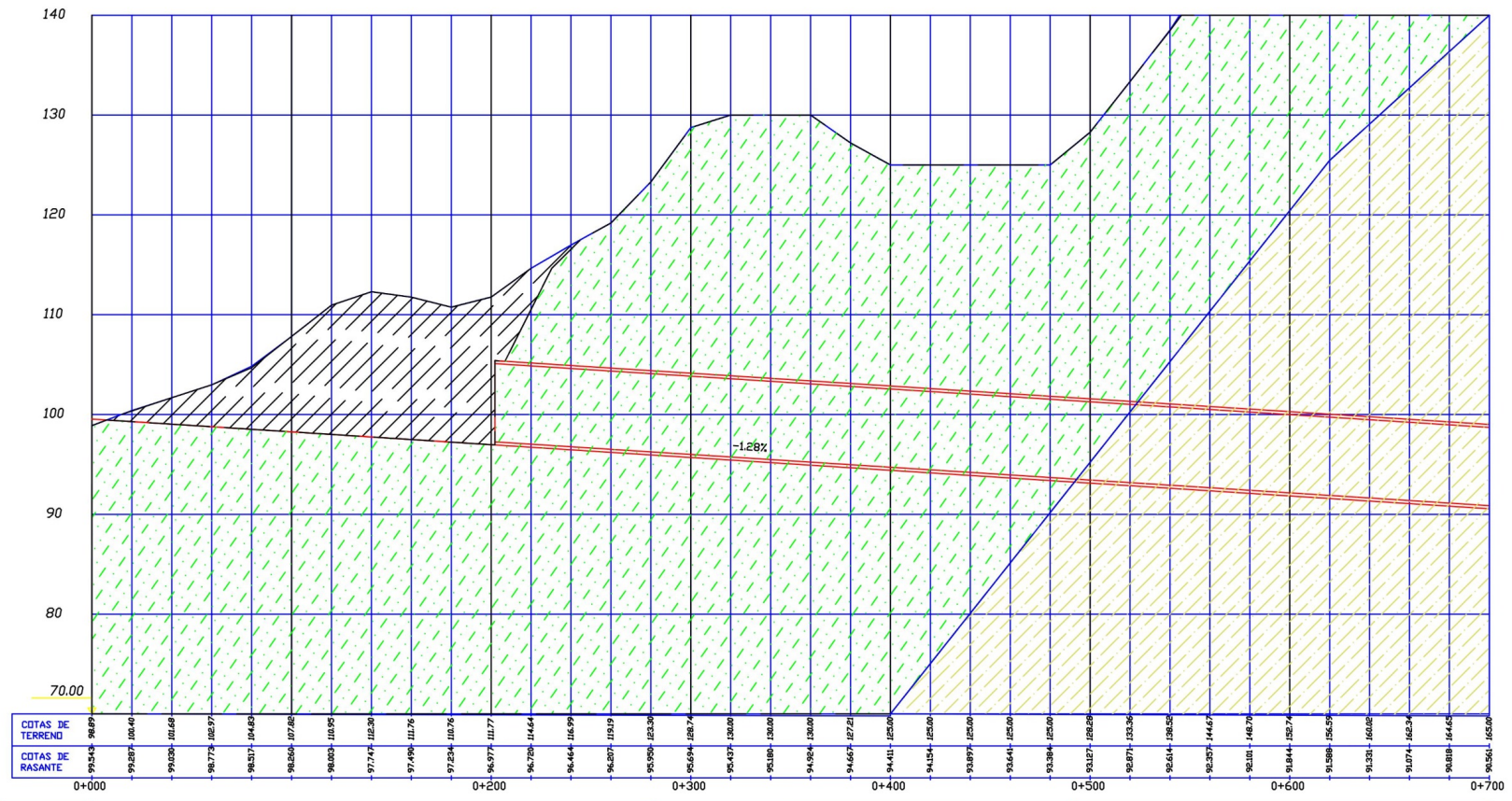
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO 3
Vertical 1:500 Horizontal 1:2500	Perfil longitudinal (1/2)			SUSTITUYE A: SUSTITUIDO POR:




CURVATURAS

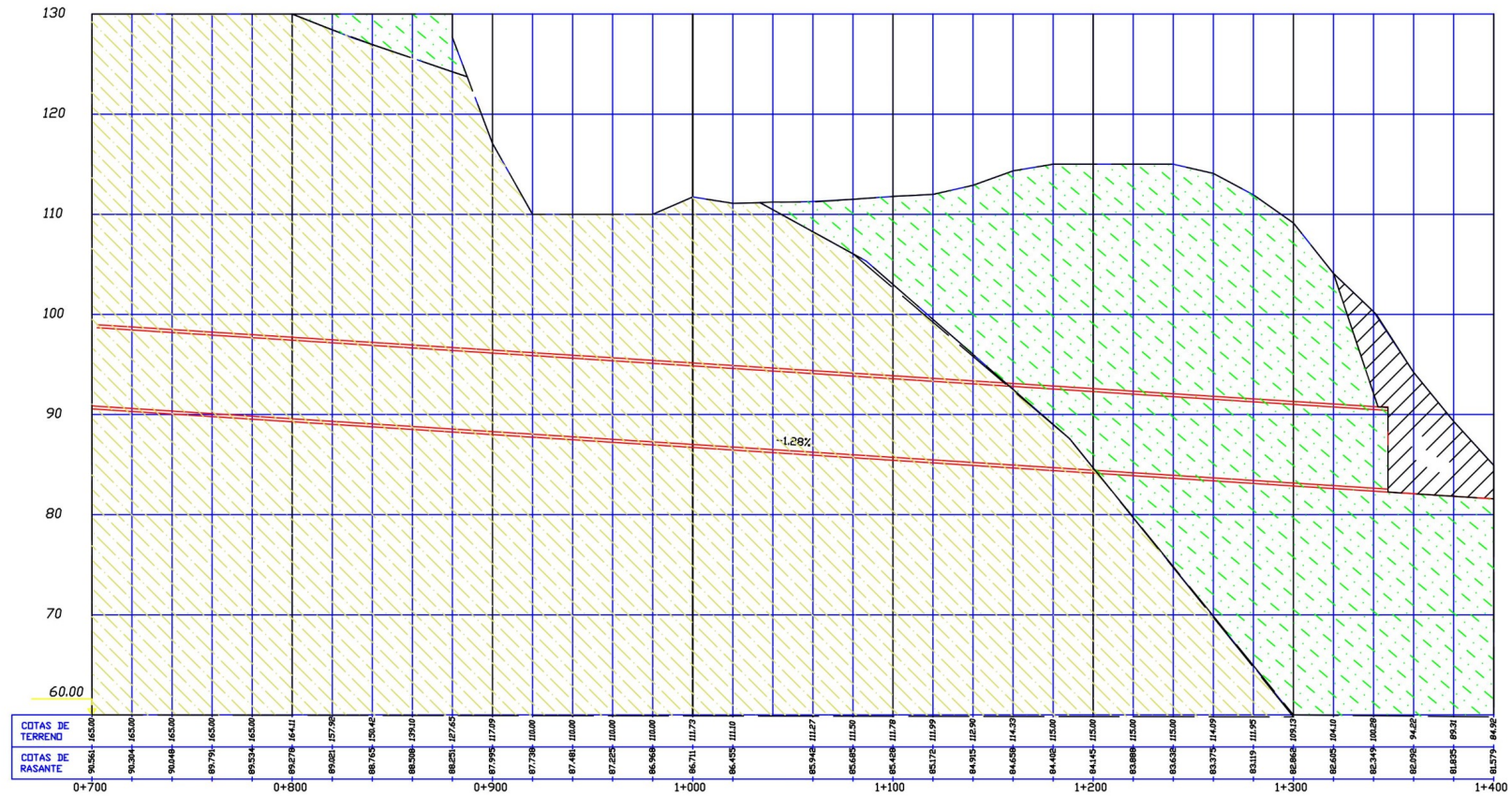
PERALTES

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO
Vertical 1:500 Horizontal 1:2500	Perfil longitudinal (2/2)			4
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:




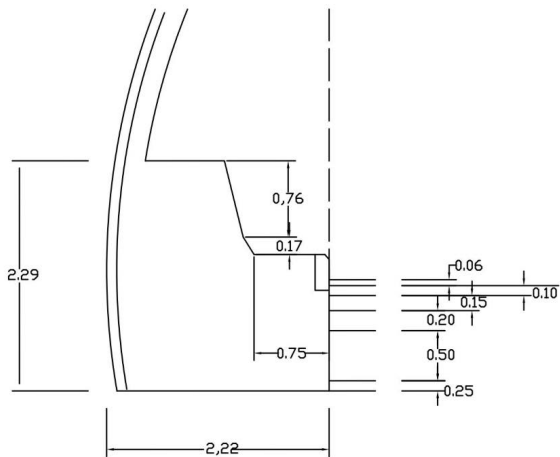
LITOLOGIA	Margas arenosas nodulosas y calizas arcillosas y bioclasticas	limolitas, lutitas y capas de calizas	Calizas grises de aspecto masivo, areniscas y limolitas
RMR	49		
CLASI. GEOMECA.	55		
METODO EXCAVACION	Excavación mecánica (Excavadora + martillo hidraulico)		Excavación mediante perforación y voladura
SOSTENIMIENTO TIPO	ST-3	ST-2	ST-1
OTROS			

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES 
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO
Vertical 1:500 Horizontal 1:2500	Perfil geológico-geotécnico (1/2)			5
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



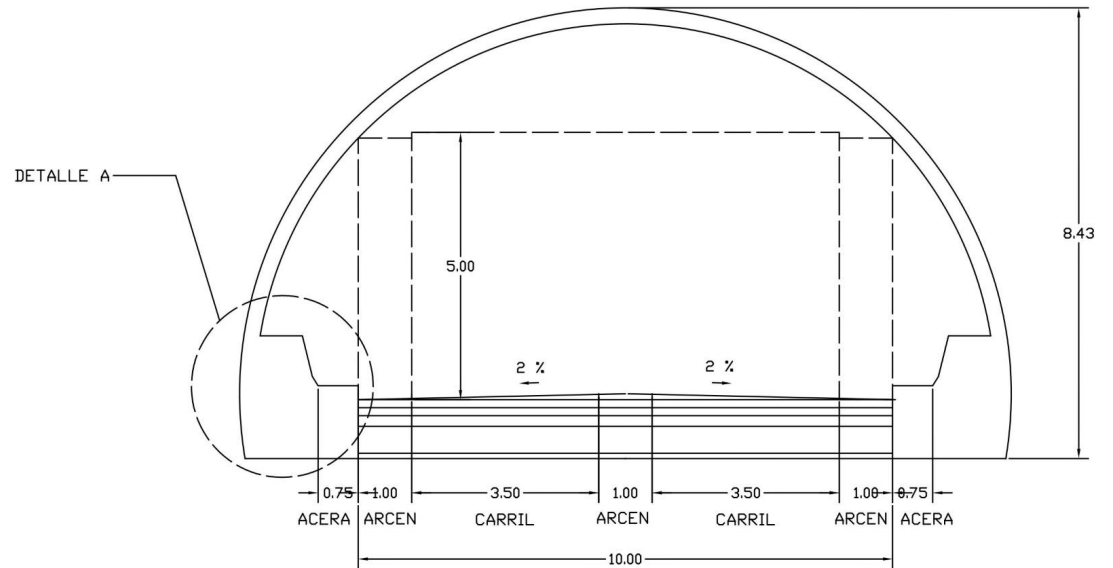
MÉTODOS CONSTRUCTIVOS	LITOLOGÍA	Calizas grises de aspecto masivo, areniscas y limolitas		limolitas, lutitas y capas de calizas		
	RMR	67		55		
	CLAS. GEOMÉC.			54		
	MÉTODO EXCAVACIÓN	Excavación mediante perforación y voladura			Excavación mecánica (Excavadora + martillo hidráulico)	
	SOSTENIMIENTO TIPO	ST-1		ST-2		ST-3
OTROS						

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMDEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO
Vertical 1:500 Horizontal 1:2500	Perfil geológico-geotécnico (2/2)			6
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



DETALLE A: MURO DE ARRANQUE,
ACERA Y FIRME EN TÚNEL

SIN ESCALA



SECCIÓN TIPO, GÁLIBOS Y PLATAFORMA

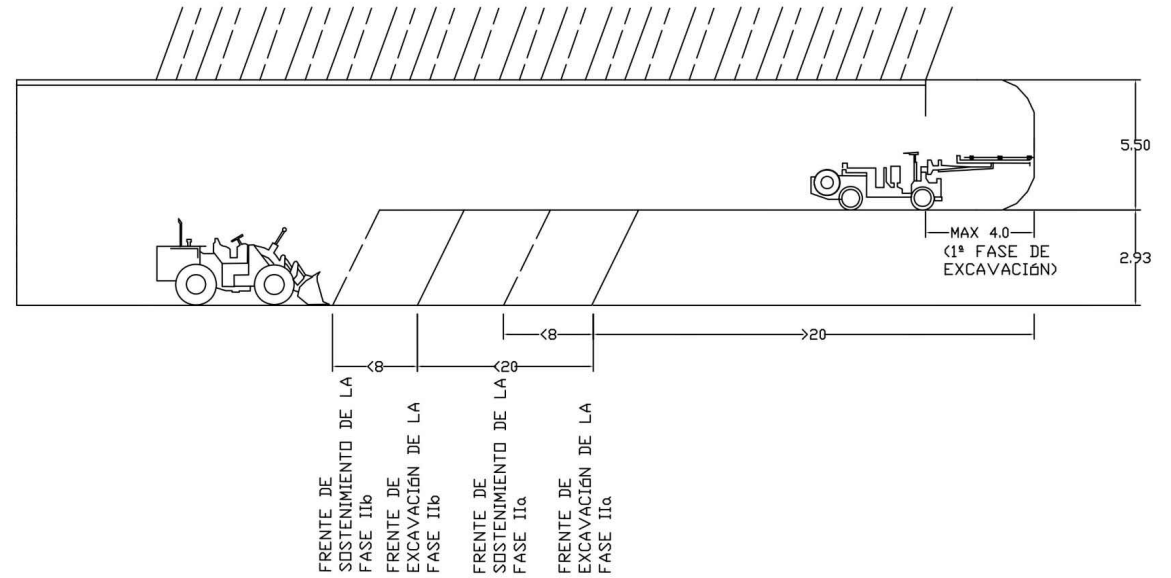
ESCALA 1:100

S-20
G-20
ZAHORRA
SOLERA DE HORMIGÓN HM-20
HORMIGÓN HM-20
LIMPIEZA HM-15

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO 7
Indicadas	Sección tipo			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

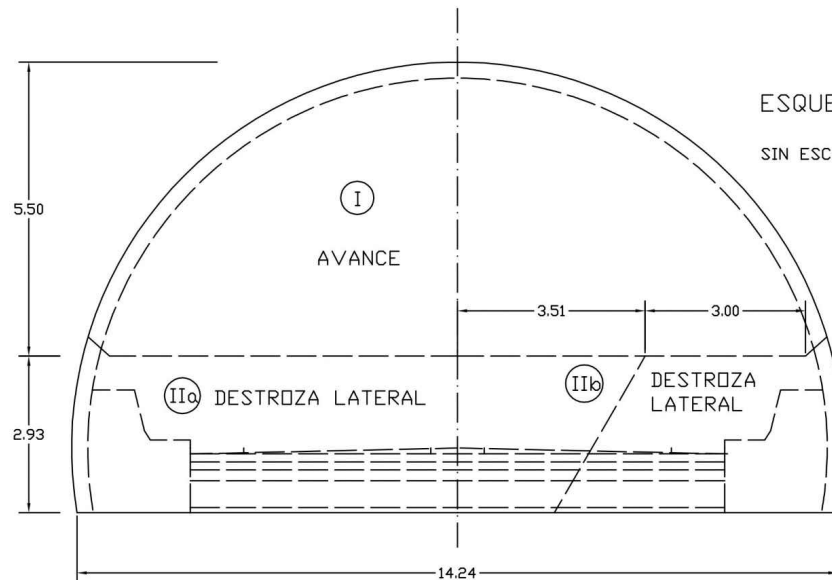
CONDICIONES DE EJECUCIÓN

- LOS PASES EN EJECUCIÓN DE AVANCE NO EXCEDERAN DE 5m Y SE FIJARAN A LA VISTA DE LA CALIDAD DE LA EXCAVACIÓN
- LOS BATACHES SE EXCAVARAN Y HORMIGONARAN ALTERNATIVAMENTE EN CADA HASTIAL Y SERAN DE UNA LONGITUD MAXIMA DE 10 M



ESQUEMA LONGITUDINAL DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO

SIN ESCALA



FASES DE EXCAVACIÓN

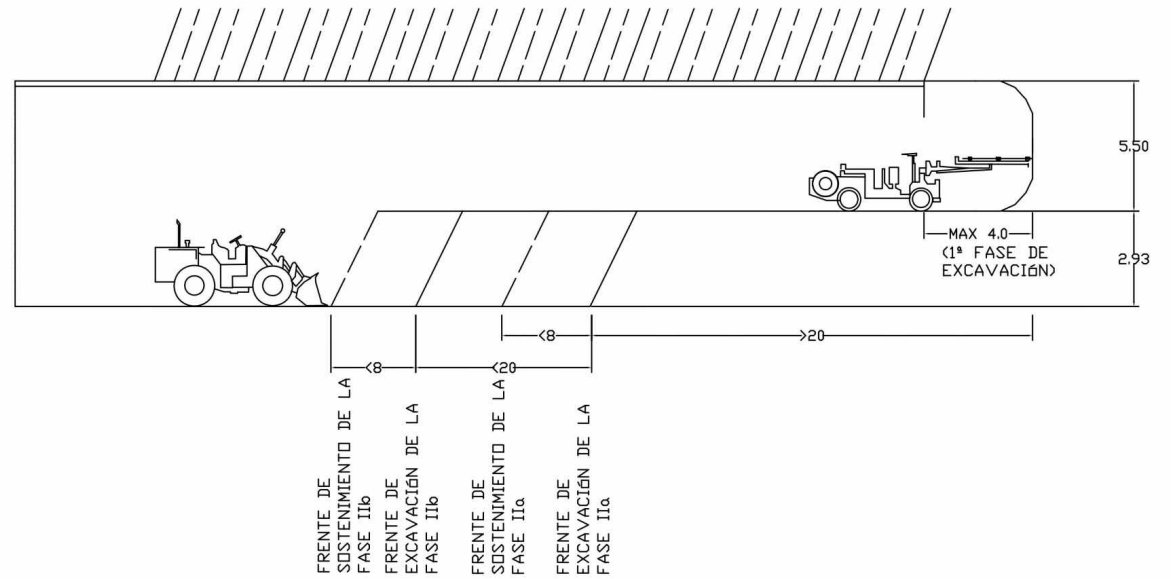
ESCALA 1:100

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO 8
1:100	Procedimiento constructivo (1/3)			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

CONDICIONES DE EJECUCIÓN

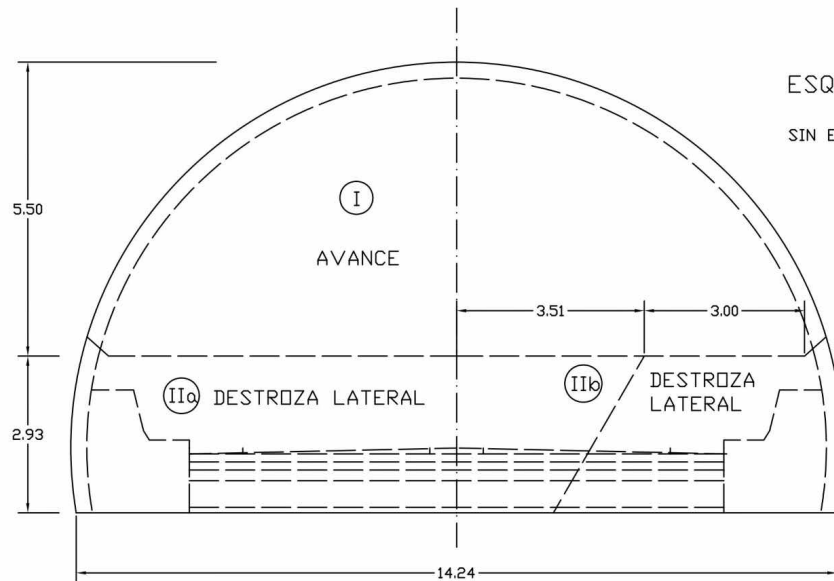
- LOS PASES EN EJECUCIÓN DE AVANCE NO EXCEDERAN DE 4 M Y SE FIJARÁN A LA VISTA DE LA CALIDAD DE LA EXCAVACIÓN

- LOS BATACHES SE EXCAVARÁN Y HORMIGONARÁN ALTERNATIVAMENTE EN CADA HASTIAL Y SERÁN DE UNA LONGITUD MÁXIMA DE 8 M



ESQUEMA LONGITUDINAL DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO

SIN ESCALA



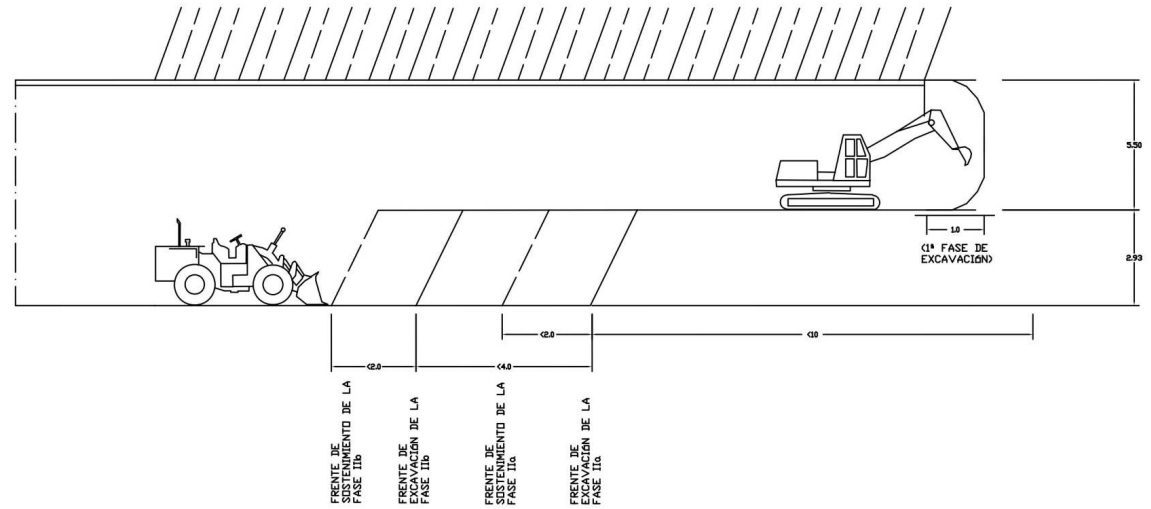
FASES DE EXCAVACIÓN

ESCALA 1:100

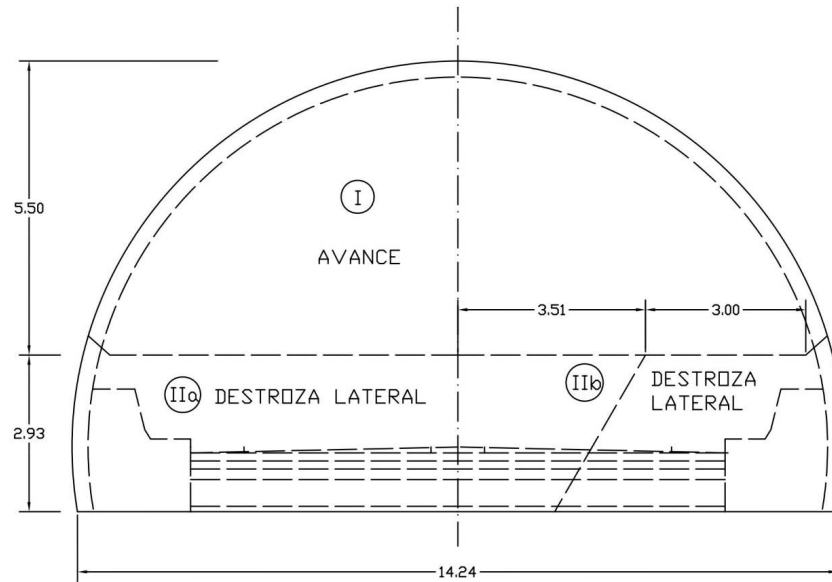
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO
1:100	Procedimiento constructivo (2/3)			9
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

NOTA:

LAS LONGITUDES CONCRETAS ENTRE CADA UNA DE LAS FASES DE EJECUCIÓN SERÁN FIJADAS A LA VISTA DE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS REALES DEL MACIZO



ESQUEMA LONGITUDINAL DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO
SIN ESCALA



FASES DE EXCAVACIÓN
ESCALA 1:100

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	06/08	A. CIMADEVILA SALCINES		
ADAPTACIÓN	06/17	M. UCEDA RODRIGUEZ		
COMPROBADO				
ESCALA:	Evaluación de Riesgos mediante la Medición del Nivel de Exposición al Ruido en una obra de construcción de un túnel de acuerdo con el R. D. 286/2006			Nº PLANO
1:100	Procedimiento constructivo (3/3)			10
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

ANEXOS

ANEXO A

Abreviaturas y Simbología

C_i	coeficiente de sensibilidad relacionado con cada magnitud de entrada	–
C_1	coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo del nivel de ruido por función	–
$C_{1a,m}$	coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo del nivel de ruido de la tarea m	–
$C_{1b,m}$	coeficiente de sensibilidad asociado a la estimación de la duración de la tarea m	dB h ⁻¹
C_2	coeficiente de sensibilidad asociado a los instrumentos de medición	–
C_3	coeficiente de sensibilidad asociado a la posición del micrófono	–
d	nº de días a la semana en que el trabajador está expuesto al ruido	–
dB(A)	decibelios tipo A	–
dB(C)	decibelios tipo C	–
H	atenuación de altas frecuencias	dB
i	número de muestra de la tarea	–
I	número total de muestras de la tarea	–
j	número de observaciones de la duración de la tarea	–
J	número total de observaciones de la duración de la tarea	–
k	factor de cobertura relacionado con el intervalo de confianza	–
K_N	denominador según se indica en el apartado C.3.3.	–
L	atenuación de bajas frecuencias	dB
$L_{Aeq,T,m}^*$	estimación del nivel verdadero de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la tarea m	dB
$L_{Aeq,d}$	nivel de exposición diario equivalente, nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada laboral nominal de 8 h	dB
$L_{Aeq,d,m}$	nivel de exposición al ruido ponderado A de la tarea m que contribuye al nivel de exposición diaria al ruido	dB
$L_{Aeq,s}$	nivel de exposición semanal equivalente	dB
$L_{Aeq,T}$	nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A	dB
$\bar{L}_{Aeq,d}$	nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado a una jornada laboral nominal promediada de 8 h	dB
log	logaritmo en base 10	–

L_p	nivel de presión acústica	dB(A)
$\bar{L}_{Aeq,T,m}$	media aritmética de un determinado número de muestras de los niveles de presión sonora continuos equivalentes ponderados A para la tarea m	dB
$L_{Aeq,T,m}$	nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para la tarea m	dB
$L_{Aeq,T,n}$	nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A de la muestra n de la función	dB
$L_{A,T}=L_{Aeq,T}$	nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A sobre un período T	dB
$L_{p,Cpico}$	nivel de presión sonora de pico ponderado C	dB
L_{pA}	nivel de presión acústica ponderado A	dB
L_{pico}	nivel de pico ponderado C	dB
m	número de la tarea	-
M	número total de tareas	-
M	atenuación de medias frecuencias	dB
n	número de muestra de la función	-
N	número total de muestras de la función	-
n_G	número de trabajadores en un grupo de exposición homogéneo	-
P	presión acústica	Pa
p_0	valor de referencia; $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa	Pa
p_A	presión sonora ponderada A	Pa
PA	presión acústica ponderada A	Pa
p_{Cpico}	presión sonora de pico ponderada C	Pa
P_{pico}	valor máximo de la presión acústica instantánea	Pa
Q_2	corrección relativa a los instrumentos de medición	dB
Q_3	corrección relativa a la posición del micrófono	dB
t	duración de la medición	h
T	período de tiempo sobre el que se calcula un promedio	h
T_0	duración de referencia; $T_0 = 8$ h	h
t_1	tiempo de inicio de la exposición	h
t_2	tiempo final de la exposición desde el comienzo	h
T_e	duración efectiva de la jornada laboral	h
T_m	duración de la tarea m	h
$T_{m,j}$	duración de la muestra j de la tarea m	h

TM	Abreviatura de marca registrada (en inglés, trademark)	-
T_n	duración de la muestra de la función n	h
U	incertidumbre expandida	dB
u	incertidumbre típica combinada	dB
u_1^*	incertidumbre típica estimada de un número de mediciones del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A	dB
u_1	incertidumbre típica de la media energética de un número de mediciones del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A	dB
$u_{1a,m}$	incertidumbre típica debida al muestreo del nivel de ruido de la tarea m	dB
$u_{1b,m}$	incertidumbre típica debida a la estimación de la duración de la tarea m	h
u_2	incertidumbre típica debida a la instrumentación	dB
$u_{2,m}$	incertidumbre típica debida a la instrumentación en el método de la tarea	dB
u_3	incertidumbre típica debida a la posición del micrófono	dB
u_i	incertidumbre típica de cada magnitud de entrada	dB
x	número del día	-
X	número total de días	-

ANEXO B

Especificaciones de la maquinaria

En los siguientes apartados se procederá a explicar las especificaciones técnicas de las máquinas que se han empleado en la ejecución del avance del túnel.

B.1.1 Perforadora Jumbo Boomer E1 C-DH

El Boomer E1 C-DH de Atlas Copco es una de las plataformas de perforación frontal más grandes disponibles en el mercado. Se utiliza en túneles de tamaño medio a grande y derivaciones con secciones transversales de unos 95 m². El sistema de control de perforación (RCS) con funcionalidad inteligente controla la operación de perforación y garantiza una mayor productividad, alta precisión, mayor tiempo de actividad y costes reducidos.

La plataforma de perforación diésel-hidráulica frontal ofrece una perforación de la roca resistente y estable, así como un sistema BUT 45 para una mayor productividad. La fuente de energía hidráulica ofrece una flexibilidad excepcional, utilizando el motor diésel para operaciones de perforación.

Las características principales del Boomer E1 C-DH son:

- Controles RCS para la perforación y posicionamiento garantizando una alta precisión y productividad, y proporcionando un número de niveles de automatización para satisfacer las necesidades individuales.
- Perforación COP 1838 o COP 2238 para diferentes condiciones de roca; Ambos perforadores incluyen un sistema de doble amortiguación para una mayor vida útil.
- El resistente sistema hidráulico BUT 45 garantiza un posicionamiento directo, rápido y preciso. La flexibilidad y alcance superior se consiguen con una extensión de alimentación de 2500 mm y unidades de doble rotación de $\pm 135^\circ$ y un vuelco de $\pm 190^\circ$.
- El motor diésel de baja emisión ofrece un rendimiento potente y tiene un bajo impacto ambiental.

La Alimentación de cilindro hidráulico se realiza con un sistema rígido de brazo de aluminio, el cual precisa fuerza para una vida más larga del acero en la perforación.

El motor de TCD 2013 L06 está equipado con CAT/Motores TierIII/Stage 3 que ofrece la potencia mínima necesaria en cada fase de la operación, lo que reduce considerablemente el consumo de combustible. Los equipos también vienen con un tanque de combustible de gran capacidad que asegura 12 horas de funcionamiento continuo y poseen baterías de gran alcance.

Poseen gran equilibrio y estabilidad, con una basculación máxima de un 25%. Las plataformas tienen un equipo fuerte y rígido para el emboquillado preciso y estable en la perforación de agujeros de calidad.

El sistema de agua nebulizada estabiliza las paredes del agujero cuando se perfora en una formación rocosa mala. Se compone de dos depósitos de 450 litros cada uno a presión del tanque de agua conectado directamente al aire de barrido.

El diseño de la cabina ofrece una gran visibilidad de espacio.

B.1.1.1 Información técnica

B.1.1.1.1 Bomba

- Bomba..... BUT 45 M
- Extensión de alimentación 1 800 mm
- Altura de bomba..... 2 500 mm
- Mantenimiento paralelo.....completo
- Alimentación de vuelco $\pm 190^\circ$
- Alimentación de doble rotación $\pm 135^\circ$
- Máx. Ángulo de elevación $+55^\circ/-42^\circ$
- Máx. Ángulo de oscilación $\pm 42^\circ$
- Peso, solo de la bomba..... 3 050 kg

B.1.1.1.2 Sistema de aire

- Compresor de tornillo hidráulico Atlas Copco GAR 30
- Capacidad a 4000rpm..... 49 l/s at 10 bar
- Velocidad ajustable
- Indicador de presión de aire
- Soplador de aire de barrido..... 80 l

B.1.1.1.3 Sistema de agua

- Sistema interno de agua nebulizada
- Capacidad del tanque de agua interno2x450 l
- Bomba de refuerzo de agua accionada hidráulicamente..... CAT 1010
- Caudal de agua ajustable para adaptarse a las condiciones

B.1.1.1.4 Sistema de control

- Rig Control System (RCS) – versátil y actualizable a un mayor grado de automatización
- Panel de control electrónico y ajustable con pantalla a color
- Puerto USB para transferencias de datos y copias de seguridad de preferencias
- Sistema de diagnóstico integrado

B.1.1.1.5 Sistema hidráulico

- Bombas hidráulicas: dos grupos de bombas, el primero con dos bombas variables para percusión y posicionamiento, y el segundo con dos bombas de rotación y compresor.
- Bombas descargadas al inicio
- Presión del sistema, máx. 150-240 bar
- Depósito de aceite hidráulico, volumen máx./min..... 310/240 l
- Indicador de nivel de aceite bajo
- Indicador de temperatura del aceite en el tanque
- Bomba de lubricación de aceite eléctrico
- Indicador de relleno de aceite
- Aceite hidráulico refrigerado por ventilador de aire
- Filtración..... 16 μ m
- Aceite hidráulico mineral

B.1.1.1.6 Carrocería

- Deutz de 6 cilindros, TCD 2013 L06, EPA III/COM III (Tier 3/Stage IIIA) motor diésel con precámara homologado de 6 tiempos
- Potencia nominal a 2 300 rpm 173 kW (232 CV)
- Par de torsión a 1 500 rpm..... 1100 Nm
- Dirección articulada..... $\pm 38^\circ$ ángulo de dirección
- Tracción en las cuatro ruedas
- Sistema de dirección asistida hidrostática
- Transmisión hidrodinámica Clark 24000
- Eje delantero Dana 114
- Eje trasero..... Dana 114, oscilación de $\pm 8^\circ$
- Bloqueo automático del diferencial en el eje delantero, limitación de los deslizamientos
- Llantas..... 14.00xR24
- Distancia entre ejes exteriores..... 16° atrás, 23° delante
- Gatos hidráulicos delanteros..... 2 extensibles
- Gatos hidráulicos, traseros 2
- Frenos de servicio..... 2 circuitos separados
- Frenos de emergencia y de estacionamiento SAHR
- Depósito de combustible, volumen 400 l
- Catalizador de escape

- Silenciador
- Sistema eléctrico..... 24 V
- Baterías..... 2 x 24V, 125 Ah
- Luces de guiado..... 6 x 40 W LED, 2 x 70 W, 24 V CC
- Luces de trabajo..... 4 x 80 W LED, 24 V CC
- Luces de freno
- Escaleras iluminadas LED
- Extintor
- Sistema de lubricación central
- Nivel de aire uno longitudinal, uno para los lados
- Basculación máx. Carga en las ruedas motrices 1:4
- Bocina, baliza y alarma inversa
- Estante para brocas y herramientas

A continuación, podemos observar unas imágenes de la maquinaria empleada.

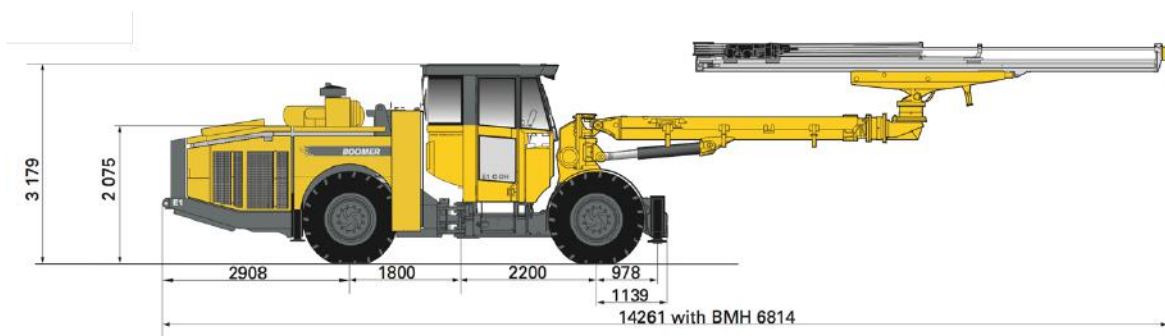


Figura B.1 – Esquema de perfil de la maquinaria



Figura B.2 – Perforadora con plataforma de servicio SP2

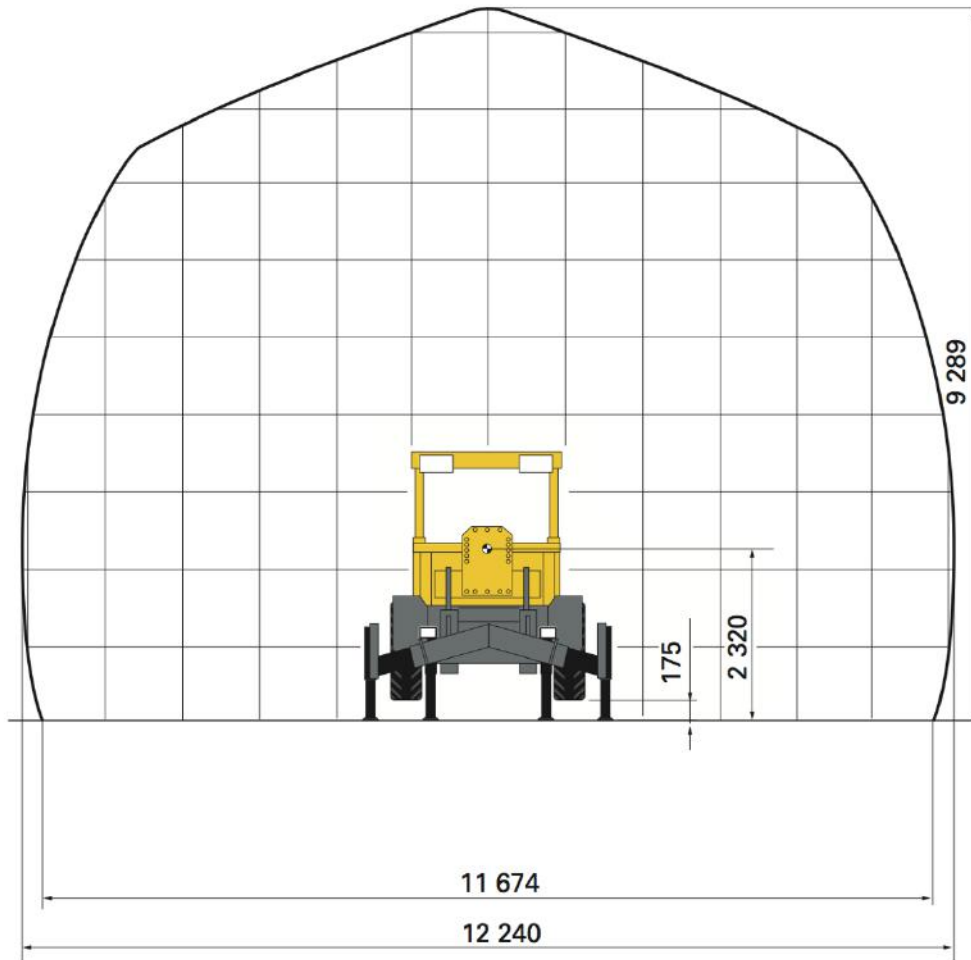


Figura B.3 – Área cubierta por la perforadora ($\approx 95 \text{ m}^2$)

B.1.2 Retroexcavadora VOLVO EW180B

La nueva generación de excavadoras de ruedas Volvo constituye un desarrollo evolucionado de modelos anteriores. Dotada de motores de fabricación Volvo, un sistema hidráulico de gran sensibilidad y una gran variedad de soluciones nuevas, la nueva generación de excavadoras de ruedas sirve igual para operaciones de elevación y mantenimiento que para trabajos de excavación.

El nuevo motor, el avanzado sistema hidráulico y la excepcional geometría de excavación se combinan para convertir a la EW180B en una excavadora perfecta para una gran variedad de aplicaciones. Su excelente movilidad campo a través y su gran capacidad en carretera, le permiten mantener una velocidad media más alta y desplazarse con mayor velocidad entre diferentes obras.

La EW180B es compacta para facilitar la conducción y agilizar el trabajo en entornos urbanos y zonas estrechas. La gran altura de elevación de pluma y el pequeño radio de giro de la zaga hace posible girar la superestructura y dar la vuelta a la máquina al mismo tiempo incluso en lugares con muy poco espacio.

B.1.2.1 Información técnica

B.1.2.1.2 Motor

El motor es diésel de 4 tiempos refrigerado por agua, con turbocompresor, inyección directa e intercooler. Es de bajas emisiones y cumple con la norma UE Step 2. El motor se ha desarrollado especialmente para su uso en excavadoras, ofreciendo una excelente economía de combustible, bajos niveles de ruido y una larga vida de servicio.

Filtro de aire: 3 etapas

Sistema de ralentí automático: Reduce el régimen del motor llevándolo a ralentí cuando no se activan palancas o pedales, con lo que se reduce el consumo de combustible y el nivel de ruido en la cabina.

- Motor Volvo D6D EFE2
- Potencia nominal a 32 r/s (1 900 rpm)
- SAE J1995, bruta 119 kW (160 hp)
- ISO 9249, DIN 6271, neta 112 kW (150 hp)
- Par máx. 663 N·m a 1 450 rpm
- Núm. de cilindros 6
- Cilindrada total 5,7 l
- Diámetro 98 mm
- Carrera 126 mm

B.1.2.1.2 Sistema eléctrico

Contronic, ofrece una supervisión avanzada del funcionamiento de la máquina e importante información para diagnósticos. Sistema eléctrico de gran capacidad y bien protegido. Caja de fusibles y relés ubicada en un lugar céntrico que se vale de una placa de circuitos impresos dispuesta de forma comprensible y montada, para facilitar el acceso, detrás de la cabina. Preparada para conectar equipos opcionales. Además, dispone como opción de un conducto central para funciones eléctricas adicionales. Dispone de un interruptor maestro montado de serie.

- Tensión 24 V
- Baterías 2 x 12 V
- Capacidad de la batería 140 Ah
- Alternador 28 V / 80 A
- Potencia del alternador 2240 W

B.1.2.1.3 Cabina

La cabina del operador es de fácil acceso por la amplia entrada de la puerta. La cabina está apoyada sobre soportes de amortiguación hidráulicos para reducir los niveles de impactos y vibraciones. Estos soportes, en combinación con el revestimiento

insonorizante, reducen los niveles de ruido. La cabina dispone de una visibilidad excelente en todas las direcciones. El parabrisas puede correrse fácilmente hacia arriba y el cristal inferior puede desmontarse y guardarse en la puerta.

Sistema integrado de calefacción y refrigeración mediante climatizador de control electrónico (ECC): El aire comprimido y filtrado de la cabina se suministra por la acción de un ventilador de control automático. El aire se distribuye por 13 difusores de aire.

Asiento del operador ergonómico: el asiento ajustable y las consolas de las palancas de control, se mueven de forma independiente a conveniencia del operador. El asiento dispone de nueve ajustes diferentes y de un cinturón de seguridad que satisfacen todas las necesidades de confort y seguridad.

Nivel de ruido:

- Nivel de ruido en la cabina
- según ISO 6396 72 L_{pA} dB(A)
- Nivel de ruido exterior
- según ISO 6395 103 L_{WA} dB(A)

(Directiva 2000/14/CE)

B.1.2.1.4 Carro inferior

Línea motriz: Un gran motor de pistones axiales en la caja de cambios Power Shift de dos etapas transmite potencia al eje delantero y al eje trasero, ambos con reductores de cubo.

Chasis: Robusto bastidor completamente soldado, resistente a la torsión.

Ruedas: Se dispone opcionalmente de neumáticos simples o dobles.

Eje delantero: Robusto eje para excavadora con bloqueo de la oscilación del eje automático o regulado por el operador. Oscilación de $\pm 9^\circ$ (con guardabarros $\pm 7^\circ$).

- Neumáticos dobles..... 10,00-20
- Fuerza de tracción máx. (neta) 102 kN
- Velocidad de la máquina,
- en carretera 20,0 / 30,0 / 35,0 km/h
- fuera de carretera..... 5,2 / 8,0 km/h
- marcha ultralenta 3,7 km/h
- Radio de giro mín..... 7,3 m

B.1.2.1.5 Frenos

Frenos de servicio: de disco húmedos y autoajustables con accionamiento servohidráulico en dos circuitos independientes.

Freno de estacionamiento: disco húmedo negativo en la carcasa de cambios, aplicado por resorte y desaplicado por presión.

Freno de excavación: freno de servicio con sistema de bloqueo mecánico.

Sistema de seguridad: Los frenos de desplazamiento son de doble circuito y vienen con dos acumuladores, que actúan en caso de avería en el sistema de frenos de servicio.

B.1.2.1.6 Pesos

- Máquina con pluma monobloque de 5,2 m, balancín de 2,45 m, enganche rápido S1, 630 kg / cazo de 830 l. Máquina con pluma en 2 piezas de 5,25 m cada una.
- Peso total con hoja dozer delantera y estabilizadores traseros..... 19 200 kg
- Peso total con hoja dozer trasera sin estabilizadores..... 17 700 kg

B.1.2.1.7 Capacidades de llenado durante el servicio

- Depósito de combustible..... 300 l
- Sistema hidráulico, total 320 l
- Depósito hidráulico..... 190 l
- Aceite de motor 25 l
- Refrigerante 22 l
- Transmisión..... 2,9 l
- Carcasa del eje
- Eje delantero 8,5 l
- Eje trasero..... 10,5 l
- Transmisión final
- Tipo disco húmedo..... 2,0 l
- Tipo tambor..... 1,8 l

B.1.2.1.8 Sistema hidráulico

Sistema hidráulico sensible a la carga de centro cerrado, load sensing, con válvulas compensadoras de presión. Movimientos independientes de la carga. El caudal se reparte en combinación con una bomba de elevado caudal regulada electrónicamente (regulación de la potencia). El sistema ofrece una maniobrabilidad suprema y movimientos rápidos para producir resultados óptimos con gran ahorro.

El sistema incluye los siguientes modos de trabajo:

Modo de estacionamiento (P): Posición de estacionamiento para proporcionar una seguridad óptima.

Modo de desplazamiento (T): El régimen del motor se regula presionando el pedal de desplazamiento para reducir el consumo de combustible y el ruido. El equipo de trabajo no puede moverse en este modo para optimizar la seguridad.

Modo de trabajo (W): Caudal de trabajo completo con ajuste de las revoluciones del motor para operaciones de trabajo normal y la mejor utilización de la velocidad.

Modo del cliente (C): El operador puede ajustar el caudal de aceite adecuado con arreglo a las condiciones operativas. Refuerzo de potencia: Las fuerzas de excavación y de elevación se ven incrementadas.

Bombas hidráulicas:

- Bomba principal
- Tipo bomba de pistón axial de poco ruido
- Caudal máx.355 l/min
- Bomba de freno + dirección
- Tipo bomba de pistón axial de poco ruido
- Caudal máx.32 l/min
- Bomba de servomecanismo + ventilador de refrigeración de aceite hidráulico
- Tipo bomba de engranaje
- Caudal máx.47 l/min
- Presiones máximas
- Implementos 32/36 MPa
- Desplazamiento 36 MPa
- Sistema servo 3,5 MPa

B.1.2.1.9 Sistema de giro

La superestructura gira por la acción de un motor de pistón axial con un engranaje de reducción planetario. El freno automático de retención del giro y la válvula antirrebote vienen montados de serie.

- Velocidad de giro máx. 9,5 rpm

A continuación, podemos observar unas imágenes de la maquinaria empleada.

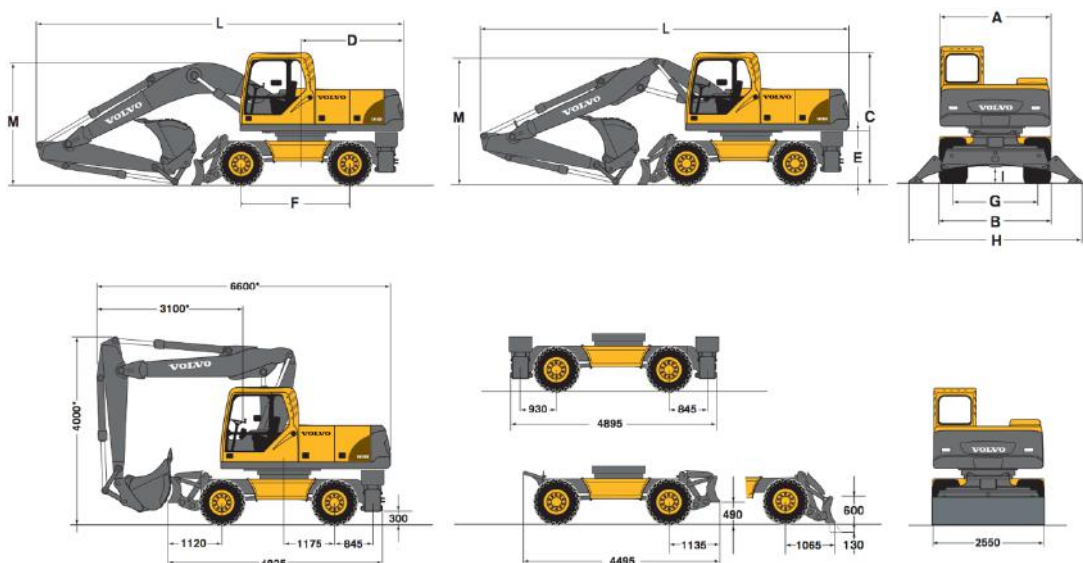


Figura B.4 – Esquema de la máquina

Descripción	Unidad	Pluma monobloque			Pluma de doble articulación		
		5,2 m			5,25 m		
A. Anchura total de la superestructura	mm	2 500			2 500		
B. Anchura total	mm	2 550			2 550		
C. Altura total de la cabina	mm	3 120			3 120		
D. Radio de giro de la zaga	mm	2 450			2 450		
E. Altura del contrapeso	mm	1 290			1 290		
F. Distancia entre ejes	mm	2 600			2 600		
G. Ancho de vía	mm	1 925			1 925		
H. Anchura con estabilizadores apoyados (delante o atrás)	mm	3 960			3 960		
I. Altura libre al suelo mín.	mm	370			370		
Longitud del balancín:		2,45 m	2,6 m	3,0 m	2,45 m	2,6 m	3,0 m
L. Longitud total	mm	8 690	8 785	8 520	8 795	8 785	8 810
M. Altura total de la pluma plegada	mm	2 960	3 300	4 000	3 075	3 050	3 480

Tabla B.1 – Dimensiones de la máquina

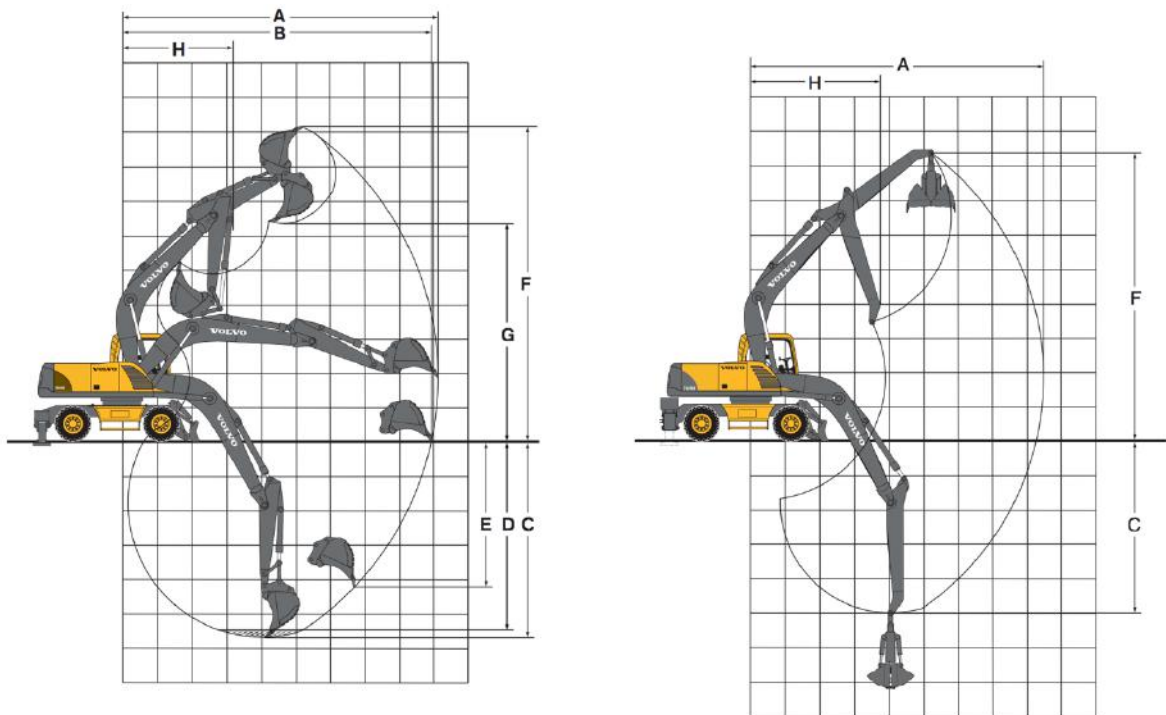


Figura B.5 – Área cubierta por la retroexcavadora

Pluma monobloque	m	5,2	5,2	5,2	5,2
Balancín	m	2,45	2,6	3,0	3,2*
A. Alcance máximo de excavación	m	9,2	9,3	9,6	8,5
B. Alcance máximo de excavación a nivel del suelo	m	9,0	9,1	9,4	–
C. Profundidad máxima de excavación	m	5,7	5,8	6,2	5,0
D. Profundidad máxima de excavación (superficie horizontal de 2440 mm)	m	5,5	5,6	6,0	–
E. Profundidad máxima de excavación en pared vertical	m	4,2	4,3	4,8	–
F. Altura máxima de corte	m	9,1	9,1	9,2	8,4
G. Altura máxima de descarga	m	6,4	6,4	6,6	–
H. Radio mínimo de giro frontal	m	3,2	3,2	3,2	3,8

* Balancín de bivalva

Tabla B.2 – Dimensiones de maniobrabilidad



Figura B.6 – Retroexcavadora Volvo EW180B

B.1.3 Minidúmpfer AUSA D 600 APG

B.1.3.1 Especificaciones técnicas

- Capacidad de carga..... 6 000 Kg
- Sistema de descarga de la tolva..... Hidráulica giratoria 180°
- Chasis Articulado y oscilante
- Capacidad de la tolva
 - Agua 1565 l
 - Rasa 2 360 l
 - Colmada 3 130 l
- Motor: Stage IIIB / Tier 4 Int.
 - Diésel: KUBOTA V-3800-CR-TE4 con Filtro de Partículas Diésel y Catalizador de oxidación diésel (DPF and DOC) - “Plus” Version
 - Potencia..... 85 kW / 114 CV
 - N° cilindros..... 4
 - Refrigeración Agua
- Motor: Stage III B / Tier 4
 - Diésel: DEUTZ TD3.6 con Diesel Oxidation Catalyst
 - Potencia..... 55,4 kW / 74 CV
 - N° cilindros..... 4
 - Refrigeración Agua

- Motor: Non-EU EMISSION Stage IIIA / Tier 3
 - Diésel: KUBOTA V3600T
 - Potencia..... 63 kW / 86 CV
 - N° cilindros..... 4
 - RefrigeraciónAgua
- Tracción 4 x 4 permanente
- Transmisión: Convertidor de par, con caja de cambios de velocidades sincronizada, 4 velocidades hacia delante y 4 velocidades hacia atrás mediante inversor electrohidráulico. Puentes con reducción epicicloidal a la salida del diferencial.
- Arranque Eléctrico
- Velocidad máx. 34 km/h
- Peso en vacío 4 380 kg
- Pendiente superable (a plena carga)..... 60%
- Circuito hidráulico: Bomba de engranajes de 25 cc. Presión de trabajo 180 bar
- Neumáticos
 - Delanteros 405 / 70-20" (14 PR)
 - Traseros 405 / 70-20" (14 PR)
- Radio de giro exterior..... 5 700 mm
- DirecciónHidráulica, Presión de trabajo 115 bar
- Capacidad de los depósitos
 - Combustible..... 65 l
 - Hidráulico..... 65 l
- Freno de servicio: Estancos de discos múltiples en baño de aceite. Accionamiento hidráulico.
- Freno de estacionamiento: Estancos de discos múltiples en baño de aceite. Accionamiento hidráulico.

B.1.3.2 Equipamiento de serie

- Asiento ergonómico con cinturón de seguridad.
- Sistema de seguridad antivandálico.
- Avisador acústico de marcha atrás.
- Faro rotativo abatible.
- Arco protector abatible ROPS.

B.1.3.3 Equipamiento opcional

- Cabina cerrada con calefacción.

- Aire acondicionado.
- Equipo de luces homologado.
- Enganche para remolque.
- Paro de emergencia.
- Sistema de visibilidad total mediante cámaras delantera y posterior, pantalla 7" color TFT estanca (IP69) para una visión total y nocturna hasta 10 m por infrarrojos.
- Diferencial autoblocante con freno estacionamiento negativo.
- Techo protector homologado ROPS/FOPS (con y sin techo protector solar).

A continuación, podemos observar unas imágenes de la maquinaria empleada.

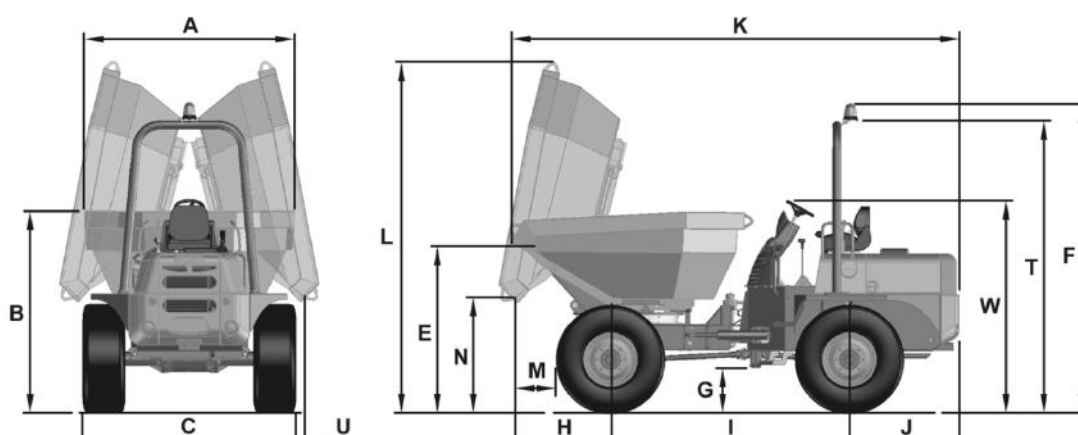


Figura B.7 – Esquema de la máquina

DIMENSIONES mm	D 600 AP	D 600 APG	D 1000 AP	D 1000 APG
A	2295	2150	2480	2480
B	1960	2070	2380	2385
C	2190	2190	2440	2440
E	1730	1790	1820	1950
F	3180	3180	3560	3560
G	475	475	490	490
H	1210	970	1260	980
I	2450	2450	2450	2450
J	1125	1125	1220	1220
K	4465	4615	4520	4740
L	2680	3600	2710	3820
M	650	415	665	380
N	455	1200	430	1100
T	3000	3000 / 2850 (*)	3375 / 3220 (*)	3375 / 3220 (*)
U	-	90	-	110
W	2190	2190	2550	2550

(*) Cabina cerrada

Tabla B.3 – Dimensiones de la máquina



Figura B.8 – AUSA D 600 APG

ANEXO C

Declaraciones de conformidad

Declaración de conformidad de un **Sonómetro de Clase 1** (Norma IEC 61672-1:2002) de prestaciones similares al empleado en la publicación "Noise Generation Characteristic for Tunnel Construction Equipments" a la que se hace referencia en este estudio técnico.

CESVA *instruments, s.l.u.*

Maracaibo, 6
08030 BARCELONA

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

NÚMERO: **15/00562**

Declaramos la conformidad del calibrador acústico

Fabricante	CESVA instruments, s.l.u.
Modelo	CB006
Nº del certificado de examen de modelo	02-001-B-02/08-R
Nº de serie	0901012
Clase	1
Versión de firmware	0

con el modelo descrito en el certificado de examen de modelo, otorgado por el Organismo de Control Metrológico 02-OC-001, y los requisitos de la Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre.

La conformidad se basa en la garantía de calidad del proceso de fabricación (módulo D), con certificado de aprobación número 132412001, otorgado por el Organismo de Control Metrológico 00-OC-1000.

La presunción de conformidad se ha constatado mediante una verificación basada en la norma UNE-EN 60942.

La presente declaración de conformidad se expide bajo la exclusiva responsabilidad del fabricante.

Barcelona, 14 de Julio de 2015


CESVA instruments

Rubén Gutiérrez Bajo
RESPONSABLE TÉCNICO DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA
Firmado en nombre de los administradores

Declaración de conformidad de la perforadora **Boomer E1 C-DH** de *Atlas Copco* empleada en la ejecución de los barrenos en el túnel.

Atlas Copco Face drilling rigs

Seguridad

Boomer E1 C-DH

EG - Declaración de conformidad

Nota

Sólo aplicable a equipos perforadores suministrados dentro de la UE.

Máquina individual y componentes de seguridad

Los firmantes, Atlas Copco Rock Drills AB, de Örebro, Suecia, por el presente documento declaramos bajo nuestra total responsabilidad que la máquina objeto de esta declaración concuerda con las exigencias incluidas en la directiva del Consejo de Ministros promulgada el 22 de junio de 1998 sobre armonización de las leyes de los Estados Miembros referentes a máquinas (2006/42/CE).

Otras directivas aplicables

- 2006/95/CE
- 2004/108/CE
- 97/23/CE
- 2000/14/CE

Normativas de armonización aplicadas

- EN 791
- EN 60204-1
- EN ISO 12100-1,-2
- EN 280
- EN 418

Emitido por

La firma del emisor, cargo, lugar de la firma y fecha de la misma se presentan en el original.

Declaración de conformidad de la retroexcavadora **VOLVO EW180B** de *Volvo* empleada en la carga de escombros del túnel.

VOLMAQUINARIA
ASCENDUMGROUP



D. LUIS ENRIQUE RUBIO SANZ DE GALDEANO, como Apoderado de la entidad VOLMAQUINARIA DE CONSTRUCCION ESPAÑA, S.A.U., con domicilio en SAN FERNANDO DE HENARES (Madrid), Parque Empresarial San Fernando, Edificio Munich, Planta 3ª.

INFORMA

Que su representada es distribuidora en exclusividad para todo el territorio nacional, en la gama de Obras Públicas, de las marcas: VOLVO.

Que la excavadora hidráulica sobre neumáticos, marca: VOLVO, modelo: EW180B, número de bastidor: *EW180BV8751516*, año de fabricación 2005, cumple con la Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo 2000 relativo sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a la maquinaria de uso al aire libre.

Procedimiento de evaluación de conformidad según anexo VI.

Valor de potencia acústica medido, en dB(A): 103

Valor de potencia acústica garantizado, en dB(A): 103

Este documento se refiere exclusivamente a la maquina en el estado en que se realizó la primera puesta en marcha, y tendrá validez únicamente cuando la máquina se encuentre en territorio español.

Y para que conste y surta los efectos oportunos, firma la presente en San Fernando de Henares, a veinte de noviembre de dos mil trece.


Volmaquinaria de Construcción España SAU
Parque Emp. S. Fernando, Edif. Munich, 3.º
28830 SAN FERNANDO DE HENARES (Madrid)
P.I.P.

Luis E. Rubio Sanz de Galdeano
Apoderado

ASCENDUMGROUP

VOLMAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN ESPAÑA, S.A.U.
Parque Empresarial San Fernando - Ed. Munich, 3.º - 28830 San Fernando de Henares (Madrid)
T +34 91 655 93 40 - M +34 91 655 93 61

www.volmaquinaria.es

Sociedad Unipersonal inscrita en el R.M. de Madrid, T. 5482, G. 4571 de la Sect. 3ª del Libro de Sociedades, F. 70. H. n.º 43.842.
C.I.F. A-28/616373



Volvo Construction Equipment Group

EG-Konformitaetserklaerung

im Sinne der EG-Maschinenrichtlinie 98/37/EG, Anhang II A

Declaración de conformidad de la CE

conforme a la directiva de maquinaria de la CE 98/37/CEE, anexo II A

Volvo Construction Equipment GmbH & Co. KG, Max-Planck-Str. 1, D-54329 Konz, Germany

ERKLAERT HIERMIT, DASS DIE ERDBAUMASCHINE:
por la presente declaramos que la máquina de construcción tipo:

BAGGER
EXCAVADORA HIDRAULICA

Typ / Tipo

EW180B

Serien-Nr. / serie serie número

EW180BV8751516

Nutzleistung / potencia neta

113

Baujahr / Año de fabricación

2005

folgenden einschlaegigen Bestimmungen entspricht:
cumple las disposiciones vigentes siguientes:

98/37/EG
89/336/EWG
97/23/EG
2000/14/EG

Anhang I / anexo I
mit Ergaenzungen / con suplementos

Konformitaetsbewertungsverfahren nach Anhang VIII
Procedimiento de evaluación de la conformidad según anexo VIII

gemessener Schalleistungspegel / nivel de potencia acústica medido

103 dB

garantierter Schalleistungspegel / nivel de potencia acústica garantizado

103 dB

benannte Stelle / organismo notificado
ZERTIFIZIERUNGSSTELLE

FACHAUSSCHUSS TIEFBAU, PRUEF- U.

Landsberger Str. 309, D 80687 Muenchen

ANGEWENDETE HARMONISIERTE EUROPAEISCHE NORMEN:
NORMAS EUROPEAS HARMONIZADAS QUE SE HAN APLICADO:

EN ISO 12100-2

EN 474-1 UND EN 474-3

EN 13309

ANGEWENDETE EUROPAEISCHE NORMEN (NORMENTWUERFE):
Normas europeas que se han aplicado (normas en proyecto):

Angewendete nationale technische Sicherheitsvorschriften, insbesondere:
Especificaciones técnicas nacionales que se han aplicado en especial:

STVZO

FREIWILLIG ZUR BAUMUSTERPRUEFUNG VORGEFUEHRT BEI:
Modelo de referencia aprobado por:

23.05.2007

Konz, den / En Konz

Qualitaetssicherung / Control de calidad

Diese Erklarung gilt nur mit Anbaugeräeten, die vom vorgenannten Hersteller entwickelt, konstruiert/genuehmigt und vertrieben werden.

This declaration is only valid with attachments developed designed/approved and marketed by above mentioned manufacturer.


Unterschrift / Firma

Declaración de conformidad de la minidúmper **D 600 APG** de **AUSA** empleada en el transporte del escombro hasta el exterior del túnel.

AUSA

AUSA Center
C/ta. de Vic, km 2.8
0.8. 194
08243 Manresa (Barcelona) España

Fax: +34 93 873 61 39 / 93 873 61 38

DC-000148
DIGNES AUSA
0824321
CE

114 DGAHCO-30145

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

Declara bajo su única responsabilidad que el producto

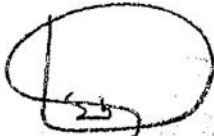
Máquina : **DUMPER**
Marca : **AUSA**
Modelo : **D 600 APG**
Número de Bastidor : 64056413
Año de fabricación : 2.007

es conforme a los siguientes **Documentos y Normas** :

- 1.- Legislación española**
 - a) Reales Decretos 1435/92 y 56/95
Aplicación de las directivas CEE de Seguridad en Máquinas
- 2.- Legislación europea**
 - a) Directiva de Seguridad en Máquinas 98/37
 - b) Norma europea armonizada EN 474-1.
Maquinaria para movimiento de tierras. Seguridad. Requisitos generales.
 - c) Norma europea armonizada EN 474-8
Maquinaria para movimiento de tierras. Seguridad. Dumpers

El procedimiento de certificación se ha efectuado de acuerdo con lo previsto, para las máquinas no peligrosas en las citadas directivas.

En Manresa, a 19 de Julio de 2.007


Antoni Tachó i Figuerola



**TARJETA DE
INSPECCIÓ TÈCNICA DE VEHICLES**
**TARJETA DE
INSPECCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS**

Generalitat de Catalunya



DESCRIPCIÓN DE LOS CÓDIGOS (DESCRIPCIÓ DELS CODIS)	
A	Número de matrícula / Número de matrícula
B	Fecha de primera matriculación / Data de la primera matriculació
C.1.1	Apellidos o razón social / Cognoms o raó social
C.1.2	Nombre / Nom
C.1.3	Domicilio / Domicili
C.4	(c) No está identificado en el permiso de circulación como propietario del vehículo / (c) No està identificat en el permís de circulació com a propietari del vehicle
D.1	Marca / Marca
D.2	Tipo/Variante/Versión (si procede) / Tipus/Variant/Versió (si escau)
D.3	Denominación comercial / Denominació comercial
(D.4)	Servicio a que se destina / Servei a què es destina
E	Número de identificación / Número d'identificació
F.1	Masa máxima en carga técnicamente admisible (en kg) (excepto para motocicletas) / Massa màxima en càrrega tècnicament admissible (en kg) (excepte per a motocicletes)
F.2	Masa máxima en carga admisible del vehículo en circulación en España (en kg) / Massa màxima en càrrega admissible del vehicle quan circula per Espanya (en kg)
G	Masa del vehículo en servicio con carrocería, y con dispositivo de acoplamiento si se trata de un vehículo tractor de categoría distinta a la M1 (en kg) / Massa del vehicle en servei amb la carrosseria, i amb un dispositiu d'acoblament si es tracta d'un vehicle tractor de categoria diferent a l'M1 (en kg)
H	Período de validez de la matriculación, si no es ilimitado / Període de validesa de la matriculació, si no és il·limitat
I	Fecha de matriculación a la que se refiere el presente permiso / Data de matriculació a què es refereix el present permís
(I.1)	Fecha de expedición / Data d'expedició
(I.2)	Lugar de expedición / Lloc d'expedició
M	Número de homologación (si procede) / Número d'homologació (si escau)
P.1	Cilindrada (en cm ³) / Cilindrada (en cm ³)
P.2	Potencia neta máxima (en kW) (si procede) / Potència neta màxima (en kW) (si escau)
P.3	Tipo de combustible o de fuente de energía / Tipus de combustible o de font d'energia
Q	Relación potencia/peso (en kW/kg) (únicamente para motocicletas) / Relació potència/pes (en kW/kg) (únicament per a motocicletes)
S.1	Número de plazas de asiento, incluido el asiento del conductor / Nombre de places amb seient, inclòs el seient del conductor
S.2	Número de plazas de pie (en su caso) / Nombre de places de persones dretes (en el seu cas)

I.T. PERIÓDIQUES • I.T. PERIÓDICAS:	MATRICULA:
Data de la inspecció / Fecha de la inspección: Valida fins / por: / Valedera hasta / por: Segell / Sello - Firma Inspector	Data de la inspecció / Fecha de la inspección: Valida fins / por: / Valedera hasta / por: Segell / Sello - Firma Inspector
Num. informe inspecció: Data de la inspecció / Fecha de la inspección: Valida fins / por: / Valedera hasta / por: Segell / Sello - Firma Inspector	Num. informe inspecció: Data de la inspecció / Fecha de la inspección: Valida fins / por: / Valedera hasta / por: Segell / Sello - Firma Inspector
Num. informe inspecció: Data de la inspecció / Fecha de la inspección: Valida fins / por: / Valedera hasta / por: Segell / Sello - Firma Inspector	Num. informe inspecció: Data de la inspecció / Fecha de la inspección: Valida fins / por: / Valedera hasta / por: Segell / Sello - Firma Inspector



**MINISTERIO DEL INTERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO**

PERMISO DE CIRCULACIÓN

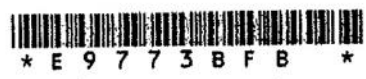
- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| Сандетелство за управление | Registrazioj Hudjimas |
| Ovident o registraci | Forgalmi engedély |
| Registrierungsbüro | Ceriflikar ta "Registrazzjoni |
| Zulassungsberechnung | Kemabawijja |
| Регистратсионный пункт | Registrazzjoni |
| Άδεια κυκλοφορίας | Certificat de matricula |
| Πιστοποιητικό Συμπίρωσης | Certificat de immatriculazione |
| Registration certificate | Osvédletle o evidenci |
| Certificat d'immatriculacion | Prometno dovoljenje |
| Tarzas Cláraithe | Raksterdintikodistus |
| Carta di circolazione | Registrazzjoni |
| Registrācijas apliecība | |

COMUNIDAD EUROPEA

07-655 9990

A	E-9773-BFB
B	-----
H	-----
I	12-09-2007
(I.1)	07-11-2008
(I.2)	VALENCIA
C.1.1	LOXAM ALQUILER SA
C.1.2	
C.1.3	AV CONSTITUCION 11 46136-MUSEROS VALENCIA
C.4	c
D.1	A.U.S.A.
D.2	D 600 APG/'''
D.3	D 600 APG
(D.4)	OBRAS Y SERVIC.

E	64056413
F.1	10460
F.2	10460
G.1	4455
K	-----
P.1	3318
P.2	68,50
P.3	GASOIL
Q	-----
S.1	001
S.2	-----



V

Núm. serie
C-A-275114 A
Generalitat de Catalunya

Núm. de placa
64056413
Núm. certificado
08061940713
CLASIFICACION DEL VEHICULO
61.18 MAQUINA DE OBRAS AUTOMOTRIZ DUMPER

Clase * Clase:
Alzada máx. * Altura máx. (mm): 2980
Anch. máx. * Anch. máx. (mm): 2195
Via anterior / Posterior (mm): 1745/1745
Long. máx. * Long. máx. (mm): 4606
Vol. post. * Vol. post. (mm): 1150
Dist. eix 1r/2n * Dist. eix 1-2º (mm): 2450
Dist. eix 2n/3r * Dist. eix 2-3º (mm):
Dist. eix 3r/4t * Dist. eix 3-4º (mm):
Dist. 5na R/ult. * Dist. 5º R/ult. (mm):
Motor Marca: KUBOTA
Tipus * Tipo: D V3300 T
Núm. Cilindr. / Cilindrada (cm.³): 4/3318
Pot. fiscal / Règl. (C.VF./KW): 19,09/68,5

El vehículo cuyas características se describen cumple en esta fecha la reglamentación vigente.
Per l'Organisme Inceptor * Per el Organisme Inceptor



VEHICULO ESPECIAL
VEHICLE ESPECIAL

16/09/2007

Observacions - Observaciones - Reformas autoritzades - Reformas autorizadas:
VEHICULO ESPECIAL. VELOCIDAD MAXIMA 24 KM/H.