

Para establecer los vehículos más representativos de la flota de maquinaria de obras públicas con posibilidad de ser utilizada el desarrollo de este proyecto se tendrán en cuenta dos criterios esenciales: el número de vehículos, lo que redundará en la importancia de cada tipo de vehículo sobre las emisiones totales en el conjunto de la flota y la contribución individual de cada máquina a los trabajos de la obra pública.

La flota de maquinaria de la empresa AZVI se ha dividido en cuatro categorías, que se enumeran a continuación:

É *Grupos electrógenos*. Los grupos electrógenos en la obra son de varios tipos, destinados a la iluminación, y en un caso destinado además a diversos consumos eléctricos para la caseta de obra.

É *Maquinaria de obras públicas*. Los vehículos de obras públicas presentes en la obra realizan operaciones relativas a la adecuación del terreno, propias de una obra civil, que en este caso consiste en la construcción de una vía férrea de alta velocidad.

É *Camiones*. La flota de camiones existentes en esta obra, compuesta por camiones articulados y sin articular, son usados fundamentalmente en las operaciones de transporte de materiales de relleno desde la cantera hasta la obra.

É *Turismos*. Dentro de esta categoría se pueden incluir los vehículos industriales (furgonetas, todoterrenos y otros) que se encargan del transporte de herramientas y personal dentro y fuera del recinto de la obra.

Tabla 3.1. Característica del motor estacionario en el grupo electrógeno modelo GESAN DPS9

| | | |
|-------|------------------------|---------------------------------|
| Motor | Combustible | Diesel |
| | Nº de cilindros | 3 |
| | Cilindrada | 1131 cm ³ |
| | Relación de Compresión | 23:1 |
| | Tipo | Aspiración natural |
| | Potencia | 6,5 kW a 1500 min ⁻¹ |

GRUPOS ELÉCTRICOS

Los grupos electrógenos son aquellas unidades que proporcionan electricidad para pequeños electrodomésticos y corriente eléctrica a la instalación. En la figura 3.1 aparece una foto de uno de estos equipos. Las características de los motores acoplados a los generadores de estos grupos aparecen en la tabla 3.1.

El empleo de uno de los grupos electrógenos supone la ventaja de utilizar un motor estacionario, con la posibilidad de no cambiar de lugar mientras se hace el trabajo de caracterización de emisiones empleando el E-Diesel en condiciones de trabajo real.

En anexo se incluye un plano con las dimensiones más importantes del grupo electrógeno presente en la obra para proporcionar energía eléctrica a la base de la misma.



Figura 3.1. Grupos electrógenos. Modelo GESAN DPS9 (izquierda) y modelo GESAN DPS13 (derecha)

3.3 MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA

3.3.1. Introducción

En este apartado se describe de manera más detallada los distintos tipos de maquinaria que usa la empresa AZVI para la ejecución de una obra pública, fundamentalmente aquella necesaria tanto para el movimiento de tierra como su desplazamiento y su acabado posterior.

3.3.2. Excavadoras de cadenas

Las excavadoras de cadenas (figura 3.2) son máquinas diseñadas para trabajos en terrenos complicados e inestables. Tienen un diseño ideal para excavación de zanjas profundas, así como realización de trabajos de desmonte, donde se requiera un brazo mecánico de gran altura. Su diseño y sistema motriz en cadenas las hacen idóneas para trabajar y desplazarse por zonas de difícil accesibilidad. Los movimientos que puede realizar aparecen en la figura 3.3.

recogen los datos de uno de los modelos de excavadoras de
la obra.

Tabla 3.2. Característica de la excavadora de cadenas modelo DAEWOO 225LC - V

| | | |
|--------------------------------|-------------------------------|--|
| Motor | Combustible | Diesel |
| | Cilindros/Cilindrada | 6/5880 cm ³ |
| | Tipo | Turboalimentado de inyección directa |
| | Potencia | 200 C.V. kW? a 2000 min ⁻¹ |
| Sistema Hidráulico | Tipo | Centro cerrado con sensor de carga y válvulas compensadoras de presión |
| | Bombas | De pistones de caudal variable. Alimenta los circuitos de pluma, brazo, cazo, giro y desplazamiento. |
| Sistema de giro | Tipo | Motor de pistones axiales con transmisión a través de caja de cambios de doble reducción planetaria. |
| | Bloqueo de giro | Freno multidisco en baño de aceite, accionado eléctricamente. |
| | Velocidad de giro | 0 - 12 min ⁻¹ . |
| Operación de desplazamiento | Tipo | Selección automática de 3 velocidades |
| | Velocidades de desplazamiento | 3 / 4 / 5 km/h |
| Capacidad depósito combustible | | 400l |



Figura 3.2. Excavadora de brazo articulado modelo DAEWOO 225LC - V

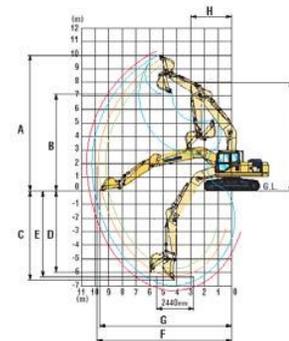


Figura 3.3. Movimientos de la excavadora

ruedas (figura 3.4) es una máquina con una gran capacidad de carga y potencia, idónea para labores de extracción y movimiento de tierras. La falta de dientes en la pala cargadora nos indica en este caso que trabaja en zonas blandas con tierras ya movidas. Los movimientos que realiza aparecen recogidos en la figura 3.5. En la tabla 3.3 aparecen recogidas las características de uno de los modelos de excavadores de ruedas que pueden encontrarse en la obra.

Tabla 3.3. Características de la excavadora de ruedas modelo JCB

| | | | |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------|---|
| Motor | Combustible | | Diesel |
| | Cilindros/Cilindrada | | 4/3920 cm ³ |
| | Tipo | | Turboalimentado de inyección directa |
| | Potencia | | 110 C.V. a 2250 min ⁻¹ |
| Sistema Hidráulico | Tipo | | Centro cerrado con sensor de carga y válvulas compensadoras de presión. |
| | Bombas | | De pistones de caudal variable. Alimenta los circuitos de pluma, brazo, cazo, giro y desplazamiento. |
| Sistema de giro | Tipo | | Motor de pistones axiales con transmisión a través de caja de cambios de doble reducción planetaria. |
| | Bloqueo de giro | | Freno multidisco en baño de aceite, accionado eléctricamente. |
| | Velocidad de giro | | 0 - 12 min ⁻¹ |
| Operación de desplazamiento | Tipo | | Suministrada desde una bomba de engranajes separada y controlada mediante una válvula. |
| | Frenos | Tipo | Sistema de frenado hidráulico de doble circuito |
| | | Frenos de servicio | Frenos multidisco en baño de aceite accionados por pedal e integrados en los cubos reductores. |
| | | Frenos de estacionamiento | Multidisco en baño de aceite, liberado por presión, accionado eléctricamente e integrado en la transmisión. |

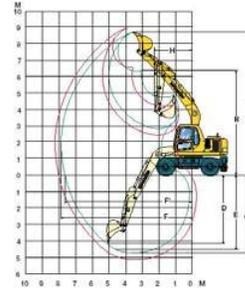


Figura 3.4. Excavadora de ruedas modelo JCB Figura 3.5. Movimientos de la excavadora

Los espacios disponibles en cabina de las excavadoras tanto de cadenas como de ruedas son reducidos, estando el habitáculo destinado a los mandos de control de las operaciones del vehículo y el espacio para el conductor. Hay que añadir que estas máquinas en el desarrollo de sus tareas sufren grandes vibraciones además de realizar trabajos tanto en terrenos llanos como inclinados, estas consideraciones deben de ser tenidas en cuenta a la hora de instalar un equipo de medida de emisiones.

3.3.4. Cargadoras articuladas

La cargadora articulada (figura 3.6) se utiliza para transportar y/o extender gran cantidad de material. En la tabla 3.4 aparecen recogidas las características de uno de los modelos de cardadoras articuladas que pueden encontrarse en la obra. Dependiendo de la naturaleza del material carga se puede utilizar una pala con dientes o sin dientes o un incluso se puede usar en labores de elevación de grandes cargas (vigas y raíles). Los movimientos de carga que es capaz de realizar aparecen en la figura 3.7.

Tabla 3.4. Característica de la cargadora articulada modelo KOMATSU 130

| | | |
|--------------------------|----------------------|--|
| Motor | Combustible | Diesel |
| | Cilindros/Cilindrada | 6/4000 cm ³ |
| | Tipo | Turboalimentado de inyección directa |
| | Potencia | 300 C.V. kW? a 3000 min ⁻¹ |
| Sistema Hidráulico | Tipo | Centro cerrado con sensor de carga y válvulas compensadoras de presión |
| | Bombas | De pistones de caudal variable. Alimenta los circuitos de pluma, brazo, cazo, giro y desplazamiento. |
| Sistema de refrigeración | Tipo | Sistema de refrigeración con circuito dual, controlado por termostato |
| Caja de velocidades | 1ª adelante | 0 km/h |
| | 2ª adelante | 0 - 5,7 km/h |



Figura 3.6. Cargadora articulada modelo KOMATSU 130

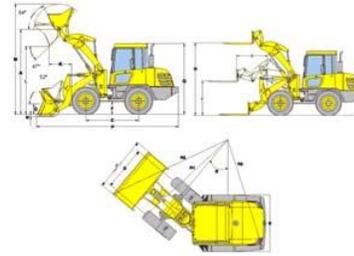


Figura 3.7. Movimiento que realiza la cargadora

Esta máquina fue descartada para la toma de medidas por la incompatibilidad de fechas de trabajo de la misma en la obra, con la disponibilidad de las personas encargadas de realizar los ensayos.

3.3.5. Retroexcavadora

La retroexcavadora (figura 3.8) es un vehículo concebido para la realización de trabajos de carga y excavación. Este tipo de máquina es muy práctica dado que por un lado dispone de una pala ancha capaz de mover volúmenes considerables de tierras y por otro lado dispone de una pala con brazo articulado muy práctica para la ejecución de zanjas. Unido todo ello al reducido volumen de la máquina y su diseño por lo cual es capaz de moverse en terrenos difíciles hace de esta máquina un modelo muy práctico. Aquellos movimientos que pueden realizar aparecen en la figura 3.9. En la tabla 3.5 aparecen recogidas las características de uno de los modelos de retroexcavadoras articuladas que es posible encontrar en la obra.

Tabla 3.5. Características de la retroexcavadora NEW HOLLAND 110B

| | | |
|--------------------|----------------------|---|
| Motor | Combustible | Diesel |
| | Cilindros/Cilindrada | 4/4412 cm ³ |
| | Tipo | Turboalimentado de inyección directa |
| | Potencia | 115 C.V. a 2000 min ⁻¹ |
| Sistema Hidráulico | Tipo | Hidrostática de circuito cerrado con bomba y motor de caudal variable acoplada a un transferidor de dos velocidades |
| | Bombas | De pistones de caudal variable. Alimenta los circuitos de pluma, brazo, cazo, giro y desplazamiento. |
| Velocidades | 1ª adelante | 0 - 6,5 km/h |
| | 1ª atrás | 0 - 6,5 km/h |
| | 2ª adelante | 0 - 12 km/h |
| | 2ª atrás | 0 - 12 km/h |

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

| | | |
|--|-------------|-------------|
| | | 0 - 20 km/h |
| | 5ª atrás | 0 - 20 km/h |
| | 4ª adelante | 0 - 36 km/h |
| | 4ª atrás | 0 - 36 km/h |



Figura 3.8. Retroexcavadora modelo NEW HOLLAND 110B

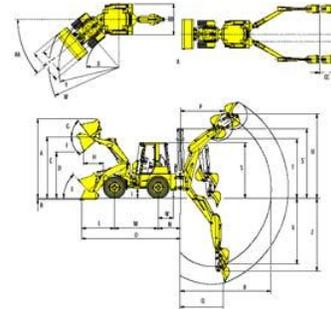


Figura 3.9. Movimiento que realiza la retroexcavadora

Esta es una máquina que realiza una secuencia corta de trabajo, desarrollando prácticamente la totalidad de su potencia en el movimiento de tierras, estando el motor al ralentí. Si fuese seleccionada como vehículo para realizar los ensayos y tomar medidas de emisiones, debe tenerse en cuenta que podríamos hacer una caracterización pequeña de secuencia de operaciones, lo que sería poco extrapolable al conjunto de la maquinaria de obra pública.

3.3.6. Dúmper

El *dumper* es una máquina destinada al transporte de áridos y roca en grandes obras de movimiento de tierras. Aunque existen *dumpers* de muy distintos tamaños y capacidad todos ellos se caracterizan por su gran capacidad para transportar cargas muy pesadas por lugares de difícil tránsito. Existen pequeños *dumpers* empleados en obras pequeñas, muy útiles dadas su capacidad de carga y su maniobrabilidad por terrenos difíciles. Este último tipo es el que puede encontrarse en la flota de AZVI. En la tabla 3.6 aparecen recogidas las características de uno de los modelos de *dumpers* que podemos encontrar en la obra. En las figuras siguientes aparece un *dumper* de gran tamaño (figura 3.10) y uno de pequeño tamaño como los utilizados en la obra de AZVI (figura 3.11).

3.6. Característica del dumper modelo MZ IMER

| | | |
|------------------------|----------------------|---|
| | | Diesel |
| Motor | Cilindros/Cilindrada | 6/5000 c.c. |
| | Tipo | Common rail de inyección directa |
| | Potencia | 300 C.V. a 3000 min ⁻¹ |
| | | |
| Sistema Hidráulico | Tipo | Centro cerrado con sensor de carga y válvulas compensadoras de presión |
| | Bombas | De pistones de caudal variable. Alimenta los circuitos de pluma, cazo, giro y desplazamiento. |
| Sistema de transmisión | Tipo | Totalmente automática, del tipo de engranaje planetario y accionamiento hidráulico. Convertidor de par de 3 elementos, 1 etapa y 2 fases. 7 velocidades hacia delante y 1 hacia atrás |
| Suspensión | Tipo | Cilindro de suspensión hidroneumática independiente con regulador fijo para amortiguar las vibraciones. |



Figura 3.10. Dumper modelo CATERPILLAR



Figura 3.11. Dumper AZVI modelo MZ IMER

En un *dumper* como se observa en las figuras 3.10 y 3.11, la posición del tubo de escape suele ser inferior, situado en la parte baja del vehículo, aprovechando al máximo la parte superior para la caja de carga. Esta posición del tubo de escape es muy importante a la hora de tomar medidas, pues la sonda que recoja el flujo de salida del escape debe tener la longitud suficiente para llegar desde el mencionado lugar hasta la disposición del equipo de ensayos.

3.3.7. Bulldozers.

Un *bulldozer* es una máquina que por sus características está diseñada para moverse por los terrenos más abruptos y peligrosos, con unas características que hacen casi imposible su vuelco en sus ascensos y descensos por pronunciadas pendientes. Es una máquina destinada al desplazamiento de tierra. En la tabla 3.7 aparecen recogidas las características de uno de los modelos de *bulldozers* que pueden encontrarse en la obra. En la figura 3.12 aparece un *bulldozer* como los utilizados en la obra de AZVI.

Característica del bulldozer modelo CATERPILLAR D6M

| | | |
|--------------------------------|----------------------|--|
| | | Diesel |
| Motor | Cilindros/Cilindrada | 6/11000 cm ³ |
| | Tipo | Inyección directa |
| | Potencia | 190 C.V kW ¿régimen de giro? |
| Sistema Hidráulico | Tipo | Sistema CLSS (Closed-center Load Sensing System) diseñado para permitir un control preciso y sensible, así como un funcionamiento eficiente simultáneo |
| Capacidad depósito combustible | | 460l |



Figura 3.12. Bulldozer CATERPILLAR D6M

Los *bulldozers* son máquinas que desarrollan un trabajo que provoca un nivel de vibraciones alto, lo cual debe ser tenido en cuenta a la hora de tomar medidas de emisiones. Realizar ensayos con un nivel de vibraciones tan alto puede provocar problemas sobre el equipo de medida.

3.3.8. Compactadores

Los compactadores realizan trabajos posteriores a las máquinas anteriormente expuestas, alisando y aplanando el camino. Sus movimientos suelen ser lentos por lo que producen unas vibraciones fuertes durante el proceso de aplanado de la primera capa y van disminuyendo las vibraciones a medida que el terreno este más plano. En la flota de AZVI existen dos modelos de compactadores: Lebrero 155 T.T. modelo Rahile (figura 3.13) y Bomag BW211D. modelo Fayat Group (figura 3.14). En la tabla 2.8 aparecen recogidas las características de uno de los modelos de compactadores, en concreto del LEBRERO 155 T.T

Característica del compactador modelo **LEBRERO 155TT**

| | | |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| | Combustible | Diesel |
| Motor | Cilindros/Cilindrada | 6 cilindros |
| | Tipo | Inyección directa |
| | Potencia | 132 kW 2000 min ⁻¹ |
| Capacidad depósito de combustible | 400l | |



Figura 3.13. Compactador Lebrero modelo LEBRERO 155 TT



Figura 3.14. Compactador modelo BOMAG BW 211 D

Los compactadores presentes en la obra son de vibradores únicos delanteros, contando en su parte trasera con ruedas que le sirven para su desplazamiento. El tubo de escape de las máquinas es de tipo chimenea, estando situado en la parte trasera del vehículo, a la salida del motor. La parte última del tubo tiene forma ovalada de diámetros de 9 mm por 13 mm, antecedida de un codo que forma 30° con la horizontal (aproximadamente). En el caso del Compactador Lebrero además, la distancia existente entre el tubo de escape y el techo del vehículo, así como a la cabina del conductor son menores que en el caso del Compactador Bomag, siendo esta distancia medida al centro del techo de 1.15 m.

RISMOS

Flota cuenta con una flota pequeña de vehículos industriales, en los que es posible encontrar desde camiones pequeños a furgonetas. Se dispone de una flota de camiones, que está formada por camiones rígidos (figura 3.15a y b) y por camiones articulados (figura 3.16a y b).

Los camiones de caja fija o camiones rígidos se caracterizan por tener una menor cilindrada, por tanto menor capacidad de carga. El tubo de escape es generalmente superior, no obstante también los hay con tubo de escape inferior (figura 3.15b). Cuentan con cajas basculantes que no se pueden separar del camión, no llevando cables que unan la caja con la cabeza tractora. También son conocidos como camiones *dumper* ya que pueden transitar por caminos más difíciles que los articulados.



Figura 3.15a. Camión de caja fija **Figura 3.15b. Tubo de escape inferior**

Los camiones articulados o de caja móvil, más comúnmente, camiones compuestos por una cabeza tractora más una caja que es independiente del camión.



Figura 3.16a. Camión articulado **Figura 3.16b. Camión articulado bañera**

En los camiones articulados, en el espacio existente entre la cabina y la caja existe un espacio destinado a la maniobrabilidad del vehículo, así como dispone del cableado que acciona el sistema de elevación hidráulica de la caja.

Estos camiones cuentan con un espacio entre la caja y la cabeza tractora (figura 3.17), tubo de escape inferior (figura 3.18).



espacio entre caja y cabeza **Figura 3.18. Tubo de escape**

La circulación de estos vehículos se realiza tanto por carretera, en el proceso de transporte de la carga, como por el interior de la obra en los procesos de carga y descarga. Al estar autorizados a circular por vías interurbanas transportando grandes cargas, deben acogerse a las normativas de tráfico, no pudiendo transportar más equipamiento que la instalación disponible del propio vehículo y la de control de la caja de transporte de carga.

En la figura 3.18 observamos la disposición y dimensiones del tubo de escape de los camiones. La conexión de los distintos sensores que permitan medir las características y parámetros de los gases de salida, necesitarían de un adaptador a las dimensiones de la salida del escape, así como unos agarres especiales para este tipo de vehículo.

Tabla 3.9. Modelos de camiones IVECO Cursor.

| | | MTMA (ton) | CURSOR 8 | | | CURSOR 13 | | |
|---------|-----|------------|----------|---------|---------|-----------|----------|---------|
| | | | 310 CV | 330 CV | 360 CV | 410 CV | 450 CV | 500 CV |
| RÍGIDO | 4x2 | 19 | 190T31 | 190T33 | 190T36 | 190T41 | 190T45 | |
| | 4x4 | 19 | 190T31W | 190T33W | 190T36W | 190T41W | 190T45W | |
| | 6x4 | 26 | | 260T33 | 260T36 | 260T41 | 260T45 | 260T50 |
| | | 33 | | | 380T36 | 380T41 | 380T45 | 380T50 |
| | 6x6 | 26 | | | 260T36W | 260T41W | 260T45W | |
| | | 33 | | | 380T36W | 380T41W | 380T45W | |
| | 8x4 | 34 | | | 340T36 | 340T41 | 340T45 | |
| | | 41 | | | 410T36 | 410T41 | 410T45 | 410T50 |
| 8x8 | 41 | | | | | 410T45W | | |
| TRACTOR | 4x2 | 40 | | | 400T36T | 400T41T | 400T45T | 400T50T |
| | 4x4 | 40 | | | | 400T41WT | 400T45WT | |
| | 6x4 | 72 | | | | 720T41T | 720T45T | 720T50T |
| | 6x6 | 72 | | | | 720T41WT | 720T45WT | |

Tabla 3.10. Resumen de máquinas.

| Tipo de máquina | Número | Trabajo | Disposición del escape | Nivel de vibraciones | Espacio para poner el equipo | Disponibilidad |
|-----------------------------|--------|---------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------|----------------|
| Grupo electrógeno | 2 | Suministrar corriente eléctrica | Excelente | Nulo | Vehículo auxiliar | Si |
| Excavadora cadenas | 1 | Llenado de camiones | Buena | Bajo | Reducido | Si |
| Excavadora ruedas | 1 | Excavación de zanjas | Buena | Bajo | Reducido | Si |
| Cargadora articulada | 1 | Movimiento de tierras | Buena | Bajo | Reducido | No |
| Retroexcavadora | 1 | Excavación de zanjas | Buena | Bajo | Techo | Si |

Flota de vehículos disponibles

| | | Traslado de tierras | Mala | Alto | Nulo | No |
|--------------------|----|------------------------|-------|----------|----------|----|
| Buldozer | 1 | Movimiento de tierras | Buena | Muy alto | Reducido | Si |
| Compactador | 2 | Dar firmeza al terreno | Buena | Medio | Techo | Si |
| Camión | 10 | Transporte de tierras | Mala | Medio | Cabina | Si |

3.5. CRITERIOS DE SELECCION

Los criterios para la selección de las máquinas de obra pública a ensayar, dentro de la flota de la que dispone AZVI, que se han seguido son los listados a continuación y en ese orden de prioridad:

1. Disponibilidad del vehículo para el montaje y desmontaje de los equipos, de forma que se interfiera lo menos posible en la operación ordinaria de los mismos y en la programación de las labores de la obra.
2. Importancia del vehículo en el conjunto de las operaciones que se realizan en la obra, desde el punto de vista de los consumos y de su aportación a la obra pública. La máquina a seleccionar debe de desarrollar una tarea básica dentro de este tipo de obras públicas, de tal modo que no sea específica de la obra en concreto, así de este modo los resultados podrán ser utilizados y extrapolados a otras situaciones parecidas. Este carácter generalista dentro de la/s tarea/s a realizar por la máquina seleccionada, es lo que nos proporcionará la posibilidad de seleccionar secuencias de trabajo con las que obtener repetitividad en las mediciones, con lo que se consigue contrastar el estudio.
3. Capacidad para ubicar los equipos de medida en el interior del vehículo, sin que ello dificulte la maniobrabilidad del mismo por parte del conductor, o en alguna superficie externa accesible (por ejemplo el techo) sin que por el contrario se entorpezca la operatividad de la máquina o se impida su circulación normal. En el Pliego de Condiciones Técnicas, se detallan las dimensiones del equipo de medida utilizado en el presente proyecto.
4. Compatibilidad de los equipos de medida con los movimientos del vehículo. Más concretamente, los equipos de mediciones no pueden soportar inclinaciones, debiendo de ser instalados en posición horizontal, no pueden soportar solicitaciones externas en forma de cargas, pues las carcasas exteriores que sirven de protección no han sido diseñadas para ello. Tampoco deben de soportar oscilaciones excesivas

Este aspecto es de vital importancia para preservar la integridad del equipo para futuras campañas de medidas, así como que las que se realicen tengan el éxito deseado. La maquinaria de obra pública realiza misiones dentro de una obra donde se desarrolla gran cantidad de potencia, los cual viene unido a la presencia de fuertes vibraciones, estas vibraciones deben de ser disipadas y controladas en la medida de lo posible.

5. Es necesario que al tubo de escape pueda ser ajustado el tubo Pitot para recogida del flujo de escape. En la figura 3.19a se observa el mencionado tubo Pitot, mientras que en la figura 3.19b se muestra un ejemplo de su colocación y ajuste a la salida del escape. Hay que añadir que la distancia entre el tubo Pitot y el equipo viene restringida por la longitud de sondas y transmisores de señales de los que se disponga. Véase Pliego de Condiciones Técnicas, las dimensiones de las sondas usadas para la toma de datos en el flujo de salida del escape.



Figura 3.19a. Tubo Pitot



Figura 3.19b. Ajuste de tubo Pitot en escape mediante goma refractaria

6. Deben de darse las condiciones de seguridad oportunas durante las operaciones de medida. Es necesario evitar que los equipos de medida o los operadores de los mismos, así como los de la maquinaria de obra pública ensayada puedan sufrir daños durante la recogida de datos.

SELECCIONADA

Una vez conocida la flota de maquinaria con la que la empresa AZVI contaba en la obra de construcción de vía férrea de alta velocidad sita en la localidad de Lebrija (Sevilla), que se detalla en el presente capítulo de este proyecto, y conocidos los criterios de selección que se detallan en el apartado 3.5 de este capítulo, pasamos a ver cuales fueron finalmente las máquinas escogidas para el estudio.

1) Criterio de disponibilidad:

Dentro de la flota, la empresa AZVI tuvo la gentileza de proporcionar las siguientes máquinas: Grupos Electrógenos, Excavadora de Cadenas, Retroexcavadora, Bulldozers, Compactadores y Camiones. En la figura 3.20 se muestran imágenes de estas máquinas por riguroso orden de nombramiento.

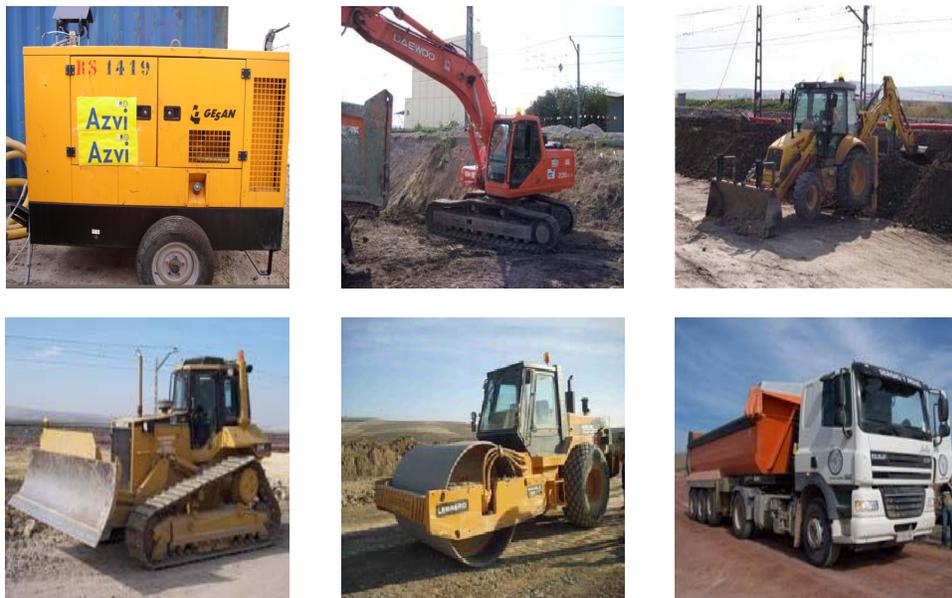


Figura 3.20. Maquinas disponibles para la realización de las medidas.

ia del vehículo dentro de las tareas de la obra:

De entre todas las máquinas de las que se disponían, mostradas en la figura 3.20., cuantificando su número de hora de operaciones (jornada laboral completa), así como teniendo en cuenta cual sería el desarrollo de las obra si dejáramos de realizar las tareas a ellas recomendadas, llegamos a la conclusión, que las seis de las que disponemos tienen gran importancia en el cumplimiento de la obra.

3) Criterio de capacidad para albergar al equipo de medida:

Fueron eliminadas en este proceso la excavadora de cadenas y la retroexcavadora, pues para la ejecución de sus tareas la cabina es ocupada por un operario, provocando la instalación de los equipos de medidas en su interior dificultad para la movilidad de dicho operario. Otra opción era la colocación de los equipos en el techo de los vehículos, en el caso de la excavadora de cadenas las dimensiones de este eran insuficientes (0.6 x 1.10 m), y en el caso de la retroexcavadora, a pesar que las dimensiones si eran suficientes, las vibraciones de la máquina no eran compatibles con la operatividad del equipo de mediciones (Véase el punto 4) de este apartado). No es eliminado el grupo electrógeno, pues al ser este un motor estanco, el equipo de mediciones puede ser colocado en un vehículo o plataforma auxiliar en lugar próximo a éste, facilitándose en gran medida su instalación.

4) Criterio de compatibilidad del equipo con los movimientos del vehículo:

Como se ha dicho anteriormente, la retroexcavadora en la realización de sus tareas produce unas elevadas vibraciones que ponen en peligro la integridad del equipo de mediciones, así como la fidelidad en sí mismos de los datos obtenidos. El bulldozer es de todas las máquinas disponibles la que más potencia desarrolla, lo cual va unido a movimientos bruscos, que al igual que en el caso anterior de la retroexcavadora proporcionarían datos erróneos.

5) Criterio de colocación del Pitot:

De los tres vehículos restantes, en principio ninguno ofrecía problemas en este sentido, pudiéndose colocar el tubo Pitot en el escape con algún acoplador, asegurando su apriete con abrazaderas. Más adelante se analiza cada uno de los vehículos seleccionados por separado, y se verá como aunque el camión fue seleccionado en un principio por cumplir con los criterios de selección, posteriormente no se pudieron tomar medidas, por no cumplirse debidamente la seguridad necesaria en los ensayos (Véase apartado 3.5.). en la figura 3.21. se muestran los vehículos seleccionados.



Figura 3.21. Maquinaria seleccionada.

3.7. GRUPO ELECTROGENO SELECCIONADO

Como se ha comentado en el apartado anterior, tomar medidas en un grupo electrógeno es relativamente sencillo, ya que es una maquina estática de pequeño tamaño y tubo de escape accesible (Figura 3.22), por lo que la instalación del equipo de mediciones puede realizarse en un vehículo de apoyo o plataforma, situado cerca del propio grupo.

Tiene por el contrario algunas desventajas desde el punto de vista técnico ya que es un motor que trabaja a un régimen de giro y par constantes, por lo que únicamente es posible realizar una medida estacionaria de emisiones, para cada régimen de giro y par.



Figura 3.22. Grupo electrógeno escogido para el estudio.

A continuación se exponen las secuencias de estudio de esta máquina:

3.7.1. SECUENCIAS DEL GRUPO ELECTROGENO

El grupo electrógeno funciona las 24 horas del día, normalmente a plena carga (consumiendo alrededor de 15 kW) excepto en los descansos o cuando el personal no está en la caseta, que funciona a baja carga (consumiendo alrededor de 8 kW). Su punto de funcionamiento es 1500 rpm y 400 V, manteniendo 90°C en el refrigerante, y trabajando con una de las tres fases que proporciona corriente eléctrica.

La misión del grupo electrógeno es la de suministrar electricidad a pequeños electrodomésticos que se encuentran dentro de la caseta de obra, así como del suministro de iluminación al campamento base donde se guarda el material.

En los resultados entre las emisiones de los combustibles, es iguales o al menos similares. Se definen dos niveles de carga:

- ALTA CARGA (en lo que sigue AC). Se produce cuando están funcionando al mismo tiempo todos los aparatos eléctricos de las casetas que usa el personal para descansar y comer, así como están en funcionamiento la báscula para el pesaje de la carga de los camiones y las iluminarias del campo base están operativas. La plena carga es de 15 kW, aunque hay que reseñar que en el momento en que los operarios están en el tajo y funciona la báscula, la calefacción y otros electrodomésticos de la caseta-comedor no funcionan, y cuando los operarios están en periodo de descanso, no funciona la báscula y si el resto de electrodomésticos, por lo que no se alcanza la plena carga. En la tabla 3.11. se muestra para cada caso los equipos en funcionamiento, así como la potencia demandada por cada uno y el número existente de cada aparato.
- BAJA CARGA (en adelante BC). De lo anteriormente mencionado se extrae que la baja carga se alcanza cuando los operarios están trabajando. Durante ese tiempo funcionan la radio, la báscula, los halógenos de la caseta de la báscula y de forma casual el ordenador.

Tabla 3.11. Electrodomésticos y equipos electrónicos en la obra

| Equipo | Cantidad | Potencia/unid | Baja Carga | Alta Carga |
|---------------------------------|-----------|---------------|------------|------------|
| Bomba de calor | 3 | 3500 W | | X |
| Ordenador Portátil | 1 | 600 W | X | |
| Iluminación <i>Halógenos</i> | <i>16</i> | <i>50 W</i> | | <i>X</i> |
| <i>Lámparas</i> | <i>2</i> | <i>100 W</i> | | |
| Frigorífico | 1 | 800 W | | |
| Microondas | 1 | 1200 W | | |
| Radio | 1 | 50 W | X | |
| Báscula | 1 | 2500 W | X | X |
| Potencia demandados | | | 3150 W | 14000 W |

Estas dos secuencias explicadas con anterioridad (AC y BC), serán las ensayadas en el caso del grupo electrógeno y para las que se obtendrán medidas de emisiones en el flujo de escape, tanto para el combustible de referencia gasoil, como para el combustible alternativo E-Diesel.

SELECCIONADO

en el apartado 3.5.de este capítulo, el compactador fue una de las máquinas seleccionadas, por cumplir con los criterios de selección (Véase apartado 3.5.). De los dos modelos de compactadores disponibles y facilitados por la empresa AZVI, por su menor dificultad para trabajar sobre él a la hora de montar los equipos de medicines fue seleccionado el compactador LEBRERO 155 T.T. modelo RAHILE (Figura 3.23). El repostaje de este vehículo se realiza una vez al día, normalmente es la primera operación por la mañana antes de empezar cualquier misión, aunque también puede ser llenado el depósito al acabar las tareas. El depósito es siempre llenado por completo (400 l).



Figura 3.23. Compactador escogido para el estudio.

A continuación se describen de entre todas las secuencias que realiza el compactador o puede realizar en las distintas misiones realizadas, las más interesantes de cara a un estudio de emisiones con diferentes combustibles.

3.8.1 SECUENCIAS DEL COMPACTADOR

Esta máquina puede tener asignada en cada día de trabajo una misión diferente o incluso dentro de la misma jornada. Esto representa una dificultad a la hora de conseguir repetitividad en los datos de medidas. También es de reseñar que dentro de un mismo perfil del terreno el compactador puede efectuar pasadas usando bien el vibrador 1 (bajas vibraciones) o el vibrador 2 (altas vibraciones), ya sea el trabajo alisar el terreno o bien prepararlo para su alisamiento respectivamente. Es de destacar que el operario conductor del vehículo es preferible que sea siempre el mismo, pues en una misma tarea se estabilizan variables condicionadas por el estilo de conducción como son la velocidad.

A continuación se detallan las actividades que puede desarrollar el compactador en un día de trabajo.

- **ARRANQUE.** El compactador arranca en la base a las 8 de la mañana, con todos los accionamientos de freno accionados (mecánicos y eléctricos).
- **CALENTAMIENTO.** Para conseguir una temperatura óptima y para conseguir que funcionen todos los accionamientos es necesario esperar al menos 5 minutos con el motor a ralentí. Es una tarea de acondicionamiento del motor para la realización de las actividades.
- **SALIDA DE LA BASE.** Emprende la marcha con una fuerte aceleración para vencer la resistencia del peso. Esta secuencia se realiza en la marcha más corta.

R LA OBRA. El camino por el que circula en la obra es no
circula entre 1 y 14 km según el tajo asignado esté al principio o
al final del tramo de vía en construcción.

- **REALIZACION DE LA TAREA.** El compactador abandona el camino y entra en la obra. Hay que destacar que dependiendo del lugar en el que se incorpore, el firme puede tener grandes imperfecciones y barrancos. Durante el resto de la jornada realiza compactaciones de tramos de unos 300 metros de largo por unos 500 de ancho, en 5 o 6 pasadas por tramo, aunque en un día puede variar su ubicación varias veces. Es necesario que cada capa de material sea compactada con vibración del rulo, de tal manera que en las primeras pasadas el rulo ejerce vibración sobre el material y en las pasadas finales el rulo no vibra.
- **VUELTA A LA BASE.** A las 19:00 vuelve de nuevo a la base por el camino.

De las actividades descritas anteriormente se extraen las secuencias a estudiar dentro de la máquina compactador, de tal forma que se pueda obtener la mayor repetitividad posible en las medidas. A la hora de elegir estas secuencias se ha tenido presente el escoger secuencias en las que la máquina no realice trabajo, es decir no se efectúe movimiento, por ejemplo el ralentí y otras en las que si se desarrolle trabajo, como por ejemplo la circulación. De este modo se estudian las siguientes secuencias dentro del compactador:

- *Arranque en frío:* Consistiría en medir las emisiones durante el arranque en la base.
- *Ralentí:* Se añade esta secuencia debido a que es un proceso ajeno al funcionamiento normal del motor y que sería interesante de estudiar. Esta secuencia se produce cada vez que el motor está en funcionamiento sin embargo el vehículo no se mueve. Un buen momento para conseguir repetitividad es justo después del arranque en el calentamiento de la máquina para obtener la temperatura óptima de funcionamiento del motor.
- *Circulación por camino.* Consistiría en medir las emisiones cuando el compactador realiza el trayecto entre la base y la obra. Lo interesante de esta secuencia es que siempre se realiza sin el vibrador en cualquiera de sus dos modalidades conectado. Las velocidades alcanzadas por la máquina en esta secuencia suelen ser mayores, de la misma forma se suelen emplear las marchas más largas.
- *Trabajo.* Pasadas con distintas cargas en el rulo. Consistiría en medir las emisiones cuando el compactador realiza pasadas con distinta carga para conseguir más o menos compactación. Se distinguieron medidas entre el uso de los dos tipos de vibradores, pero no así se hizo distinción entre la circulación marcha adelante o marcha atrás pues las variables velocidad, vibrador empleado, relación de marcha, temperatura, presión, etc., no varían, obteniéndose valores prácticamente iguales de las emisiones con el compactador circulando marcha adelante o marcha atrás.

Importancia de cada una de estas secuencias se procedió a una jornada que empleaba en realizar cada una de las tareas. Se concluyó que la secuencia con una mayor carga de tiempo fue la secuencia de trabajo en la obra (6 horas), posteriormente la circulación en camino (1,5 horas) y con una menor trascendencia el ralentí y el arranque (30 minutos).

3.9. CAMIONES

Después de valorar la mayor parte de la flota de camiones de AZVI, y teniendo en cuenta las grandes dificultades de ubicación del equipo de medida en la mayoría de ellos, se seleccionó un camión bañera modelo IVECO TRAKKER, como puede verse en la figura 3.24.



Figura 3.24. Camión elegido inicialmente para el estudio

En el siguiente apartado se hará un estudio de la selección de secuencias realizadas por el camión y que son interesantes de cara al estudio que se pretende en el presente proyecto.

Lo más interesante del camión y que es digno destacar en su favor frente a las máquinas de obras públicas, es su circulación por carreteras convencionales de asfalto y con tráfico real, a parte de su circulación por el interior de la obra.

3.9.1. SECUENCIAS REALIZADAS POR EL CAMIÓN

Al igual que el compactador el camión también realiza las operaciones de arranque y calentamiento para adecuar la temperatura del motor y de este modo poder realizar las tareas encomendadas.

A continuación se detallan las actividades que realiza el camión durante el día:

- **ARRANQUE.** El camión arranca en la base a las 7 de la mañana con el tanque de combustible lleno (sobre 230 l). El motor permanece al ralentí, con todos los accionamientos de freno accionados (mecánicos y eléctricos).
- **CALENTAMIENTO.** En el arranque el motor está frío. Para subir la temperatura se realizan durante unos 5 minutos una aceleración libre manteniendo las revoluciones sobre las 2000 r.p.m.

UN CICLO. El camión realiza al día unos 10-12 ciclos (ida +
unos 30 km. Cada ciclo es de 1 hora aproximadamente de
duración (según el tráfico):

- 1) **SALIDA DE LA BASE.** Emprende la marcha con una fuerte aceleración para vencer la resistencia del peso del propio camión y la del terreno. Esta secuencia se realiza en la marcha más corta (en el cambio normal, es decir no en marchas cortas), donde en unos 10 segundos se pasa del reposo a las 2500 r.p.m., a continuación se pasa a la segunda marcha bajando las revoluciones a 1500 r.p.m., acelerando de nuevo hasta alcanzar las 2500 donde se cambia a la tercera relación de marchas, acelerando progresivamente. Normalmente no se requiere maniobra para salir de la base, pues están dispuestos los camiones en orden de salida.
- 2) **CIRCULACIÓN POR EL CAMINO DE LA BASE.** Terreno llano no asfaltado, por el que circula entre 5 y 7 minutos. Tras salir de la base busca incorporarse a la carretera. En este tramo se circula a velocidad constante cambiando desde la tercera marcha a la cuarta para bajar las revoluciones del motor. Al final del camino frena para incorporarse a la carretera que lo llevará a la cantera. La circulación por el camino levanta gran cantidad de polvo y piedras que podrían ser peligrosas para el equipo (figura 3.25.).



Figura 3.25. Transito por camino

- 3) **CIRCULACIÓN POR ASFALTO.** Se incorpora a la carretera igual que lo hizo en la base, partiendo desde la primera marcha y acelerando fuertemente cambiando de marchas sobre las 2500 r.p.m. hasta alcanzar la más alta marcha posible, dependiendo de las circunstancias del tráfico.
- 4) **REPECHO EN ASFALTO.** Pequeño tramo de unos 200 m que se recorre en 30 segundos que se recorre en tercera marcha a unas 2500 r.p.m.
- 5) **DIRECCIÓN LA POBLACIÓN DE EL CUERVO.** Tras la cuesta vuelve a tramo asfaltado y llano dirección de la población de El Cuervo durante 10 minutos, es la parte más larga del recorrido, unos 10 km, por lo tanto el motor trabaja en las condiciones

o el recorrido. Se viaja en velocidad más larga posible, 5ª ó 6ª, durando en torno a las 1500 r.p.m.

6) CIRCULACIÓN POR LA POBLACIÓN DE EL CUERVO. Llega y reduce a tercera marcha lo que supone subir las revoluciones del motor en el proceso de frenado a las 2500 r.p.m. parando por un paso de peatones y dos rotondas, donde se emprende la marcha desde la primera hasta la marcha más larga posible que permite la circulación, que suele ser la tercera, durando los cambios apenas 3 segundos sobre las 2500 r.p.m.

7) DIRECCIÓN CANTERA. Tras salir de El Cuervo, vuelve durante 5 minutos a carretera asfaltada y llana con conducción suave y a 1500 rpm. Se reduce rápidamente de marcha para entrar en la cantera.

8) CANTERA. Luego entra en la cantera, el recorrido total son unos 300 m, pero de fuertes pendientes y muchos baches. Este recorrido lo hace en segunda marcha con pocas aceleraciones y accionando el freno, lo que implica pocas revoluciones, unas 1000 r.p.m. Debe posicionarse para la carga, lo que puede requerir marcha atrás, y el uso de las marchas cortas. El posicionamiento para la carga exige grandes aceleraciones, desarrollando el motor toda su potencia, llegándose a alcanzar las 3000 r.p.m.

9) CARGA. Luego carga durante 5 min, durante los que el camión está parado y con los sistemas de freno accionados. Se carga en torno a las 25 toneladas. El recorrido de vuelta es igual al indicado anteriormente.

10) DESCARGA. Se lleva descargando unos 7 minutos, lo que requiere el accionamiento de los frenos y del volquete. Se producen grandes aceleraciones en vacío, alcanzando las revoluciones las 3000 r.p.m.

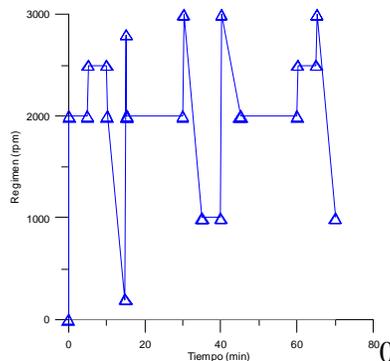


Figura 3.26. Régimen del motor en un ciclo

las revoluciones del motor en cada punto, es de vital importancia que lleve en cada momento del ciclo para poder conocer el par que se está sometiendo al motor. En la tabla 3.12. se muestran las secuencias del ciclo en las que el camión transporta carga.

Tabla 3.12. Resumen de secuencias

| t(s) | n(r.p.m) | Carga | secuencia |
|-------|----------|-----------------|----------------------------|
| 0,00 | 0 | Tara del camión | Calentamiento |
| 0,17 | 2000 | | |
| 5,00 | 2000 | | |
| 5,17 | 2500 | Tara del camión | Circulación base |
| 10,00 | 2500 | | |
| 10,17 | 2000 | Tara del camión | Carretera antes de repecho |
| 15,00 | 200 | | |
| 15,17 | 2800 | Tara del camión | Repecho |
| 15,33 | 2000 | | |
| 15,50 | 2000 | Tara del camión | Carretera asfaltada |
| 30,00 | 2000 | | |
| 30,17 | 3000 | Tara del camión | Cantera |
| 35,00 | 1000 | | |
| 35,00 | 1000 | Tara + Carga | Carga |
| 40,00 | 1000 | | |
| 40,17 | 3000 | Tara + Carga | Cantera |
| 45,00 | 2000 | | |
| 45,17 | 2000 | Tara + Carga | Carretera asfaltada |
| 60,00 | 2000 | | |
| 60,17 | 2500 | Tara + Carga | Circulación base |

| | | | |
|-------|------|-----------------|----------|
| | 2500 | | |
| 65,17 | 3000 | Tara del camión | Descarga |
| 70,00 | 1000 | | |

Si se cruzan los datos de revoluciones con los de carga, es posible concluir que:

- La parte del ciclo con el camión vacío, se repite con el camión en carga. Como las emisiones en carga del camión son mayores debido a que el caudal de gases aumenta al trabajar el motor en modos de funcionamiento de mayor par, es más interesante desde el punto de vista científico analizar esta situación.
- El funcionamiento durante el repecho es comparable a una situación donde el camión esté cargado y circule por carretera llana.
- La descarga de la carga es una secuencia que requiere un aumento de revoluciones suponiendo un aumento de las emisiones respecto a ralentí cuando se encuentra parado.

Se extrae de lo anterior que las secuencias a estudiar serán las que siguen:

- Arranque en frío: Consistiría en medir las emisiones durante el arranque del camión en la base.
- Simulación del ciclo correspondiente al transporte de la carga: Consistiría en medir las emisiones durante un ciclo en el que se simulen las condiciones de funcionamiento cuando el camión se encuentre cargado. Se podría simplificar en tres operaciones:
 - Circular cargado en marcha corta
 - Circular cargado en marcha larga
 - Circular descargado en pendiente y marcha corta
- Descarga del camión: Consistiría en medir las emisiones cuando el camión empieza a levantar la caja para descargar.
- Calentamiento: Se añade esta última secuencia debido a que es un proceso ajeno al funcionamiento normal del motor y que sería interesante de estudiar.

Se decidió descartar las medidas en el camión debido a que:

ÉLas operaciones de carga y descarga en la cantera podrían dañar los equipos de medida

ÉLa colocación del tubo Pitot en el extremo del tubo de escape incrementaba el gálibo del vehículo, haciendo inviable el recorrido por carretera del camión ante el riesgo de sanción de tráfico.