



ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

NAV 3-4-0.1

BALASTO

CANTERAS SUMINISTRADORAS. PRESCRIPCIONES GEOTÉCNICAS
Y DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN

2ª EDICIÓN: Enero de 2007

ADIF

Balasto.

Canteras suministradoras.

Prescripciones geotécnicas y de
instalaciones de fabricación

ADAPTADO AL PLIEGO PF-6 DEL MINISTERIO DE FOMENTO
Y LAS NORMAS UNE-EN 13450 Y UNE 146147

NAV 3-4-0.1

EQUIPO REDACTOR

- *Dirección de Calidad, Medio Ambiente y Sistemas de Información (Dirección Ejecutiva de Mantenimiento de Infraestructura)*

BALASTO.- PRESCRIPCIONES GEOTÉCNICAS Y DE INSTALACIONES DE FABRICACIÓN

ÍNDICE	Página
1. Introducción.....	1
1.0. Exposición general	1
1.1. Objeto de la Norma	1
1.2. Campo de aplicación.....	2
1.3. Vigencia	2
1.4. Documentación derogada.....	2
1.5. Método de exposición del documento	2
2. Procedimiento para el otorgamiento del distintivo de calidad adif a las canteras: El Informe geotécnico y de fabricación	3
2.0. Consideraciones generales	3
2.1. Trámites necesarios para el otorgamiento del distintivo de calidad Adif	4
2.1.1. El informe preliminar de viabilidad geotécnica de una cantera.....	4
2.1.2. El Informe Geológico y de Explotación de la Cantera.....	4
2.1.3. El documento de otorgamiento del distintivo de calidad adif	5
2.2. Contenido del Informe para el otorgamiento del distintivo de calidad adif a una cantera	5
2.3. Plan de trabajo del informe para el otorgamiento del distintivo de calidad adif a las canteras	9
3. Técnicas y Ensayos necesarios para realizar el informe	10
3.0. Consideraciones generales	10
3.1. Cartografías geológicas de homologación	10
3.1.1. Cartografía geológica sectorial a escala 1:25.000	11
3.1.2. Cartografía geológica de detalle a escala 1:2.000	12
3.2. Toma de muestras en frentes canterables	14
3.2.1. Condiciones generales	14
3.2.2. Muestreo para el estudio petrográfico de lámina delgada.....	14
3.2.3. Muestreo para el ensayo de resistencia a la compresión simple.....	15
3.2.4. Muestreo para los ensayos de resistencia a la fragmentación (desgaste "Los Ángeles"), Resistencia a la Carga Puntual, Absorción de Agua y Densidad Seca.	15
3.2.5. Muestreo para el ensayo de resistencia frente a la acción del sulfato magnésico de sulfato magnésico.....	16
3.3. Estudio petrográfico de lámina delgada	16
3.3.1. Introducción	16
3.3.2. Objeto	16
3.3.3. Aparatos	17
3.3.4. Muestreo	17
3.3.5. Preparación de las láminas delgadas.....	17
3.3.6. Descripción de la muestra	18
3.3.6.1. Examen macroscópico.....	18
3.3.6.2. Examen microscópico.....	18
3.3.6.3. Definición petrográfica	19

3.3.7.	Informe	20
3.4.	Difracción de rayos X.....	20
3.4.1.	Introducción	20
3.4.2.	El método.....	21
3.4.2.1.	Preparación de Muestras.....	21
3.4.2.2.	Identificación de los minerales	21
3.4.2.3.	Estimación semi-cuantitativa de la composición mineralógica	21
3.4.3.	Presentación del informe	21
3.5.	Resistencia a la fragmentación (Coef. de desgaste "Los Ángeles").	22
3.5.1.	Consideraciones generales	22
3.5.2.	Objeto y campo de aplicación	22
3.5.3.	Normas para consulta.....	22
3.5.4.	Aparatos y materiales necesarios	23
3.5.5.	Procedimiento de ejecución del ensayo.....	24
3.5.5.1.	Fundamento del método	24
3.5.5.2.	Preparación de la muestra para el ensayo (fracciones entre 31,5 - 50mm)	24
3.5.5.3.	Procedimiento operativo.....	24
3.5.6.	Cálculo y expresión de los resultados	24
3.6.	Resistencia a la compresión	25
3.6.1.	Ensayo de Resistencia a la Carga Puntual Franklin	25
3.6.1.1.	Consideraciones generales.....	25
3.6.1.2.	Objeto del ensayo.....	26
3.6.1.3.	Aparatos y material necesario	26
3.6.1.4.	Preparación de las muestras para el ensayo	26
3.6.1.5.	Método operativo de ensayo	27
3.6.1.6.	Obtención de los resultados.....	27
3.6.1.7.	Expresión de los resultados	28
3.6.2.	Ensayo de Resistencia a la compresión simple	28
3.6.2.1.	Introducción.....	28
3.6.2.2.	Objeto del ensayo.....	29
3.6.2.3.	Campo de aplicación.....	29
3.6.2.4.	Símbolos y Abreviaturas.....	29
3.6.2.5.	Definición	29
3.6.2.6.	Método de ensayo.....	29
3.7.	Resistencia a la acción de la helada.....	32
3.7.1.	Consideraciones Generales.....	32
3.7.2.	Evaluación del análisis Petrográfico	33
3.7.3.	Ensayo de absorción de agua y densidad	33
3.7.3.1.	Objeto del ensayo.....	33
3.7.3.2.	Campo de aplicación.....	33
3.7.3.3.	Aparatos empleados.....	33
3.7.3.4.	Preparación de la muestra para ensayo.....	34
3.7.3.5.	Método operativo del ensayo	34
3.7.3.6.	Cálculos y expresión de los resultados.....	35
3.7.3.7.	Utilización de los resultados.....	36
3.7.4.	Ensayo de resistencia frente a la acción del sulfato magnésico	36

3.7.4.1.	Consideraciones generales.....	36
3.7.4.2.	Objeto y fundamento.....	36
3.7.4.3.	Aparatos utilizados	36
3.7.4.4.	Reactivos necesarios.....	37
3.7.4.5.	Preparación de muestras	37
3.7.4.6.	Método de ensayo.....	37
3.7.4.7.	Obtención de los resultados	38
3.7.5.	Ensayo de resistencia al hielo-deshielo.....	38
3.8.	Ensayo de Ebullición (Sonnebrand).....	39
3.8.1.	Consideraciones generales	39
3.8.2.	Aparatos	39
3.8.3.	Preparación de las muestras	39
3.8.4.	Procedimiento de ensayo.....	40
3.8.5.	Informe	41
3.9.	Ensayo de componentes perjudiciales	41
4.	Aceptabilidad de la planta de trituración y cribado para la fabricación de balasto	41
4.0.	Consideraciones generales.....	41
4.1.	Instalacion y Organización de la planta de machaqueo y clasificación.....	41
4.1.1.	Introducción.....	41
4.1.2.	Tratamiento en primarios de las rocas procedentes del frente de explotación	42
4.1.2.1.	Selección de la machacadora primaria.....	42
4.1.2.2.	Sistemas de Alimentación y Precribado.....	42
4.1.2.3.	Machacadoras de mandíbulas.....	43
4.1.3.	Prestock o tolva intermedia	44
4.1.4.	Tratamientos en equipos secundarios.....	45
4.1.4.1.	Introducción	45
4.1.4.2.	Molinos impactores	46
4.1.4.3.	Impactores de eje vertical	47
4.1.4.4.	Trituradores de cono.....	47
4.1.4.5.	Combinación de cono e impactor.....	48
4.1.5.	La clasificación: Cribas vibrantes inclinadas	49
4.1.5.1.	Introducción	49
4.1.5.2.	Espesor de la capa de árido sobre la superficie de cribado	50
4.1.5.3.	Velocidad de transporte	51
4.1.5.4.	Inclinación de las cribas.....	51
4.1.5.5.	Relación entre longitud y ancho de criba	51
4.1.5.6.	Amplitudes y frecuencias de vibración	51
4.1.5.7.	Superficies de cribado	51
4.1.5.8.	Riego en las cribas.....	52
4.1.6.	Dispositivos de Transporte	53
4.1.7.	Tolva de almacenamiento de balasto.....	53
4.2.	Condiciones de almacenamiento.....	53
4.2.1.	Limpieza del lugar de extracción y recinto reservado para el almacenamiento de balasto	53
4.2.2.	Canteras próximas a instalaciones ferroviarias	53
4.2.3.	Organización de la cantera.....	54

NAV 3-4-0.1

I. Definiciones

II. Documentos relacionados con la presente Norma

ANEJO I. Nomenclatura petrológica

ANEJO II. Tablas

ANEJO III. Figuras

ANEJO IV: Catálogo de canteras con Distintivo de Calidad Adif para el suministro de balasto

INTRODUCCIÓN

1.0. EXPOSICIÓN GENERAL

Uno de los elementos básicos de la infraestructura ferroviaria es el balasto. El balasto está formado por piedra partida heterogranular que se dispone en una capa o banqueta sobre la plataforma y bajo la vía. El balasto amortigua y reparte las cargas transmitidas al paso de los trenes, asegurando la estabilidad del conjunto traviesa-carril, y además posibilita el drenaje de las aguas de lluvia, aísla la explanación de los efectos de las heladas y facilita las operaciones de nivelación y alineamiento de la vía.

Las obras de mantenimiento y renovación de vía precisan el empleo de un balasto, con una calidad y homogeneidad de suministros, que garantice tanto su durabilidad como su estabilidad. Para que el balasto cumpla sus funciones debe proceder de una roca de características geotécnicas adecuadas, de tal forma que trabaje sin que se produzca un desgaste excesivo al estar sometidas a fuertes contactos y rozamiento intenso unas piedras con otras, además, debe tener una resistencia que le permita resistir las cargas sin romperse y debe mantener su inalterabilidad ante los efectos de posibles heladas. Por tanto, las canteras suministradoras deben disponer de una masa rocosa importante con unas propiedades adecuadas y de unas instalaciones que permitan fabricar balasto de calidad. Para asegurar que las canteras suministradoras reúnan todas estas condiciones se realizan, con carácter previo, los trabajos y ensayos que se describen en la presente Norma.

La importancia de unificar, de acuerdo con la experiencia acumulada hasta la fecha, la estructura de estos trabajos, así como los criterios a aplicar a las técnicas y ensayos para la valoración geotécnica y de la planta de trituración y cribado, hace necesaria la elaboración de esta norma, la cual se desarrolla de acuerdo con lo especificado en los Apartados 2, 3 y 5 del PAV 3-4-0.0/7ª Edición, "Pliego de Prescripciones Técnicas para el Suministro y Utilización del Balasto".

1.1. OBJETO DE LA NORMA

Es objeto de la presente Norma, proporcionar los criterios acerca de las técnicas y ensayos que se deben utilizar para la valoración y aceptación geotécnica de la masa canterable de una cantera suministradora de balasto y de los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos empleados en la planta de trituración y cribado de dicha cantera, al objeto de poder conseguir el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif.

Por otra parte, merece especial mención el hecho de que sólo podrá utilizarse balasto legalmente comercializado en estados miembros de la Unión Europea o bien que sean parte del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, y estará sujeto a lo previsto en el Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre (modificado por el Real Decreto 1328/1995, de 28 de julio), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE modificada por la Directiva 93/68/CEE. En particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento, los productos estarán a lo dispuesto en el artículo 9 del citado Real Decreto.

En aplicación de dichas disposiciones, los áridos para balasto deberán estar además en posesión del mercado CE. Por ello, las canteras suministradoras deberán disponer del correspondiente certificado de control de producción "CE", expedido por un organismo notificado, conforme con los términos establecidos en el Anejo ZA de la UNE-EN 13450:2003. Además, el fabricante deberá elaborar una declaración de conformidad "CE" en los términos indicados también en el citado Anejo.

1.2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma afecta a la fabricación en cantera de todo tipo de balasto, cualquiera que sea su aplicación en las diferentes líneas ferroviarias. De acuerdo con la Norma EN 13450 "Áridos para balasto" y con la Norma UNE 146 147 "Áridos para balasto. Especificaciones adicionales" se definen tres categorías o tipos de balasto:

- **BALASTO TIPO "1"**: Para los sistemas ferroviarios de alta velocidad (≥ 200 km/h) con Coeficiente de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles" (CLA) no superior al catorce (14) por ciento (categoría LA_{RB}14 de la Norma UNE-EN 13450).
- **BALASTO TIPO "2"**: Para la red convencional (< 200 km/h) con Coeficiente de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles" no superior al diez y seis (16) por ciento (categoría LA_{RB}16 de la Norma UNE-EN 13450).
- **BALASTO TIPO "3"**: Para las líneas de ancho de vía inferior a UIC (< 1.436 mm) y líneas Tipo C de la Clasificación de Líneas Adif, realizada por el MINISTERIO DE FOMENTO, con un Coeficiente "Los Ángeles" no superior al veinte (20) por ciento (categoría LA_{RB}20 de la Norma UNE-EN 13450).

Para usos especiales que deberán ser técnicamente justificados por el proyecto, o por la Administración de Infraestructuras Ferroviarias, se podrá exigir balasto con Coeficiente "Los Ángeles" no superior al 12 % (≤ 12 %).

El balasto suministrado por la cantera deberá cumplir las prescripciones del Pliego PAV 3-4-0.0/7^a Edición, en cualquiera de los procesos intermedios desde su fabricación o manipulación hasta su puesta en vía completamente terminada.

1.3. VIGENCIA

Esta Norma estará vigente a partir del día de su publicación.

1.4. DOCUMENTACIÓN DEROGADA

A partir de la entrada en vigor de esta Norma, queda sin efecto cualquier otro documento publicado con anterioridad a ella, que se oponga a sus prescripciones o a sus definiciones.

1.5. MÉTODO DE EXPOSICIÓN DEL DOCUMENTO

La presente Norma seguirá el siguiente método expositivo:

En el apartado 2 se describen las características generales del "Informe Geotécnico y de Fabricación en Canteras", haciendo especial referencia tanto a los trámites burocráticos, como a los contenidos técnicos para el otorgamiento del distintivo de calidad Adif.

Seguidamente en el apartado 3, se describen en detalle las técnicas cartográficas sectoriales y de detalle a emplear, una guía básica para la descripción petrográfica de las muestras de roca procedentes de los frentes a inspeccionar y el estudio por difracción de rayos X, así como los procedimientos de ensayos geotécnicos a emplear la valoración y aceptación geotécnica de canteras.

Por último, en el apartado 4, se definen los criterios para la aceptabilidad de la planta de trituración y cribado, así como las condiciones que deben guardar las áreas de acopios.

El texto incluye en sus anejos las definiciones y terminología utilizada, la nomenclatura petrológica, los documentos relacionados con la norma y las figuras explicativas.

PROCEDIMIENTO PARA EL OTORGAMIENTO DEL DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF A LAS CANTERAS: EL INFORME GEOTÉCNICO Y DE FABRICACIÓN

1.6. CONSIDERACIONES GENERALES

Se entiende por Distintivo de Calidad de una cantera, cualquier marca, sello, certificado de calidad, etc, otorgado por un organismo público o privado, que atestigüe que dicha cantera cumple los requisitos geotécnicos para la roca y con los requisitos mínimos para la planta de fabricación de balasto, que se exponen en esta norma.

El Distintivo de Calidad otorgado por Adif a una cantera, englobará tanto a la calidad geotécnica de la masa canterable, como a la idoneidad de la planta de fabricación, así como a la calidad del balasto producido.

El distintivo podrá ser reconocido oficialmente por la Administración siempre que:

- Asegure el cumplimiento de las características técnicas exigidas al balasto en este Pliego.
- Se cumplan los requisitos recogidos en el Anejo 3 del PF-6.

La Administración velará porque los distintivos reconocidos garanticen las dos condiciones anteriores.

Los distintivos de calidad del balasto, reconocidos oficialmente por Adif, de acuerdo con el Capítulo 5 del PF-6, permiten reducir de forma considerable el control de calidad de recepción que debe realizar el Comprador.

La obtención de un distintivo de calidad es obligatoria para los suministros de balasto para Adif y es independiente del marcado CE que también es de carácter obligatorio.

En la Figura 2 del Anejo III, se muestra el sello de calidad Adif, el cuál permite el suministro de balasto para Adif y en general para toda la red ferroviaria, entendiéndose como tal todas las líneas férreas nacionales, exceptuando las vías situadas en instalaciones portuarias o en el interior de factorías y empresas privadas.

La obtención del distintivo de calidad Adif para los suministros de balasto para el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, será exigido en todos los pliegos de condiciones técnicas y administrativas para la contratación de dichos suministros. Por otro lado, la materia prima a utilizar como balasto procederá de canteras homologadas por Adif o el MINISTERIO DE FOMENTO, incluidas en el "Catálogo y Mapa de Canteras Homologadas para el Suministro de Balasto", del Anejo IV de la presente Norma, donde se indicará si la homologación es para suministrar balasto de Tipo "1" o de Tipo "2".

Por tanto, la materia prima a utilizar como balasto procederá de canteras con Distintivo de Calidad Adif o acreditadas por el MINISTERIO DE FOMENTO, incluidas en el "Catálogo y Mapa de Canteras con Distintivo de Calidad Adif para el Suministro de Balasto", del Anejo IV de la presente Norma, donde se indicará si dicho distintivo faculta para suministrar balasto de Tipo "1", de Tipo "2" o de Tipo "3".

Para el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif a una nueva cantera suministradora de balasto, será necesaria, tanto la aceptación geotécnica de los frentes explotables, así como la aceptación de la planta de trituración y cribado, previa presentación por parte del contratista del preceptivo Informe Geotécnico y de Explotación de la cantera.

La obligatoriedad de suministrar balasto de canteras previamente en posesión del Distintivo de Calidad Adif, se referirá a todo tipo de balasto a suministrar para la red ferroviaria, tanto si los suministros son por gestión directa, como si los suministros son por unidad de obra nueva, en inversiones soportadas presupuestariamente por el Ministerio de Fomento, Adif o cualquier Administración Pública Estatal o Autonómica.

El documento que otorga el Distintivo de Calidad Adif, será obligatoriamente agregado como Anejo al contrato de suministro de balasto.

1.7. TRÁMITES NECESARIOS PARA EL OTORGAMIENTO DEL DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF

La valoración y aceptación geotécnica de los frentes explotables se efectuará por Adif a partir del preceptivo Informe Geológico, Petrográfico, de calidad geotécnica de la roca y de evaluación del impacto ambiental producido por la explotación.

La aceptación geotécnica de la cantera no libera al contratista de su responsabilidad respecto a la calidad del balasto suministrado. Por otra parte, se podrá inspeccionar en cualquier momento las características del suministro, así como suspender éste siempre que, a juicio de la inspección, el balasto no cumpla las especificaciones exigidas en la presente Norma.

1.7.1. EL INFORME PRELIMINAR DE VIABILIDAD GEOTÉCNICA DE UNA CANTERA

La iniciación del Expediente de otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif en una cantera, que pretenda suministrar balasto, se efectuará mediante escrito a la Jefatura de Geotecnia de Adif, por el que se solicitará la realización del estudio de viabilidad geotécnica. A dicho escrito se deberá adjuntar como anejo la información disponible, consistente en una primera evaluación de las posibles reservas de la masa canterable, de la naturaleza y las características geotécnicas de la roca, al menos de la Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles", incluyendo ensayos "*in situ*" (sondeos, etc.), los ensayos geotécnicos realizados, ubicación de la cantera, distancia a posibles puntos de cargue, características de la planta de trituración y cribado, etc. En esta fase es conveniente también el estudio petrográfico de alguna lámina delgada, pues se pueden rechazar ya algunas rocas por su composición mineralógica. Si la roca reúne las condiciones mínimas exigibles para iniciar el proceso este estudio se debe añadir, como anejo, a la solicitud del otorgamiento de dicho distintivo.

El Documento de Viabilidad Geotécnica será emitido por la Jefatura de Geotecnia de Adif, tras el estudio de la documentación presentada, la visita preliminar a la cantera, la toma de muestras y el análisis de los resultados de los ensayos geotécnicos efectuados.

1.7.2. EL INFORME GEOLÓGICO Y DE EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA

El Informe de geológico y de explotación de la cantera será realizado por una consultora geotécnica externa a la empresa solicitante del Distintivo de Calidad Adif, con la experiencia suficiente en informes similares de canteras para áridos. El referido Informe deberá ser aprobado por el Ministerio de Fomento o la Jefatura de Geotecnia de Adif.

Los trabajos para la redacción de dicho Informe realizados tanto en cantera, como en laboratorio y gabinete, podrán ser supervisados en cualquier momento mediante las unidades o el personal que se designe a este efecto.

Aprobado el inicio del proceso se realiza el Estudio Geotécnico para el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif, a la cantera suministradora de balasto.

Este informe se considerará previo y preceptivo para todas las canteras que pretendan suministrar balasto, ya sea de Tipo "1", de Tipo "2" o de Tipo "3". Las que presenten características degenerativas de la piedra, en las sucesivas extracciones, a juicio de Adif o del MINISTERIO DE FOMENTO, deberán realizar a su vez, nuevamente, este estudio.

La propiedad de la cantera deberá tener a disposición de Adif y EL MINISTERIO DE FOMENTO el Informe de Geológico y de Explotación de la cantera, que deberá actualizarse preceptivamente cada cinco (5) años.

1.7.3. EL DOCUMENTO DE OTORGAMIENTO DEL DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF

El otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif a la cantera para el suministro de cualquier tipo de balasto y su posterior inclusión en el Catálogo de Canteras suministradoras, se efectuará tras la verificación de la idoneidad geotécnica de los frentes canterables, de las instalaciones de explotación, y del cumplimiento de las disposiciones que se recogen en la presente Norma.

El Documento con el Distintivo de Calidad Adif, será emitido por la Jefatura de Geotecnia de Adif o por el MINISTERIO DE FOMENTO. En este Documento se certificará qué tipo de balasto queda autorizado, certificación que será preceptiva para la realización de cualquier contrato de suministro de balasto para alta velocidad o velocidad alta (Tipo "1"), para la red convencional (Tipo "2") o para las líneas de ancho inferior a 1.436 mm y Líneas Tipo C (Tipo "3").

En el referido documento se fijará el periodo de validez del otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif de la cantera, que en cualquier caso tendrá vigencia máxima de cinco (5) años desde su fecha de expedición. Con al menos tres (3) meses de antelación a la caducidad de dicho Documento, la Gerencia de la cantera deberá iniciar los trámites para la presentación de un nuevo Informe Geológico y de Explotación y analizar el distintivo de calidad adjudicado a la cantera.

1.8. CONTENIDO DEL INFORME PARA EL OTORGAMIENTO DEL DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF A UNA CANTERA

El contenido del Informe el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif, debe incluir, como mínimo, los apartados siguientes:

- **Antecedentes.** En este apartado se indicará el nombre de la cantera, propiedad y situación administrativa de la explotación, se describirán brevemente los antecedentes específicos de la cantera objeto del estudio, sus actuales usos si los hay, y los estudios previos de cualquier tipo que se han realizado en la explotación, así como de cuantos antecedentes permitan hacerse cargo de la situación de la cantera, (si ha suministrado balasto previamente, producciones u otras circunstancias).
- **Objeto del Informe.** Se incluirá el marco legal y reglamentario o normativo bajo el que se ampara el estudio para el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif a la cantera. Así mismo se indicará aquí el objetivo general de dicho estudio, junto con los objetivos parciales planteados (estudio geológico, estudio petrográfico etc.) y el plan del trabajo y de la memoria. Según la situación de la cantera, en explotación o en fase previa a su apertura, se pueden detallar otros objetivos complementarios de la investigación y los métodos utilizados.
- **Situación geográfica de la cantera.** Se ubicará la cantera sobre un mapa topográfico a escala 1:25.000, indicando en el mismo, en color rojo, los itinerarios de los camiones desde la cantera a las posibles estaciones de cargue y, en color verde, los itinerarios de acceso a la cantera desde la autovía o carretera nacional más próxima. En el Informe se reseñarán las distancias de la cantera a posibles estaciones de carga, descripción de accesos, carreteras y pistas, con objeto de conocer su localización y la de los accesos de la cantera. Si, dada su distancia a la cantera, la posible estación de cargue se sitúa fuera del mapa 1:25.000 de situación, se añadirá un mapa de escala 1:200.000 donde se sitúen la cantera, las estaciones de carga propuestas y los itinerarios anteriormente referenciados.
- **Estudio geológico-geotécnico de la cantera.** Este estudio trata de, por un lado, establecer el encuadre geológico regional de la cantera y por otro conocer las condiciones geológicas de detalle. En ambos casos se trata de conocer la litología de la masa canterable, su geometría y estructura interna, así como otras circunstancias geológicas de interés, como el relieve, las alteraciones y los procesos geomorfológicos que pueden incidir en la explotación.

Abarcará, al menos, los aspectos siguientes, cuya realización se llevará a cabo de acuerdo con el apartado 3 de la presente Norma.

- **Cartografía geológica sectorial, a escala 1:25.000**, con encuadre geológico y tectónico-litológico regional.
- **Cartografía geológica de detalle, a escala 1:2.000**, con estudio litológico y tectónico de la masa explotable. Se sectorizará geológicamente la masa canterable en función de la calidad del macizo de roca y las condiciones de la explotación.
- **Toma de muestras en los frentes**, en presencia del Técnico Ferroviario responsable de la del Distintivo de Calidad Adif, en al menos, cuatro puntos representativos, en función de la sectorización geológica efectuada en el punto anterior.
- **Ensayos "in situ"** (Sondeos, geofísica,...) cuando técnicamente lo juzgue necesario el Técnico Ferroviario responsable del otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif.
- **Análisis petrográfico en lámina delgada** con clasificación de la roca mediante sus porcentajes de fases minerales, texturas, estructuras, de acuerdo con el apartado 3.3 de la presente Norma. Con carácter alternativo o complementario se podría realizar una difracción cuantitativa de rayos X, de acuerdo con el apartado 3.4 de la presente Norma. Con ello se valorarán las alteraciones de los minerales de la roca. Pretende además establecer el tipo litológico de la roca a explotar en la cantera, la adecuación de su composición mineralógica, sus alteraciones y cualquier otro dato de interés, como la textura o fábrica.
- **Ensayos de laboratorio sobre el total de las muestras obtenidas.** El objetivo es determinar, por una parte, la resistencia del material rocoso a los distintos procesos a que va a ser sometido cuando actúe como balasto en la vía. Los diferentes valores de los parámetros que describen el comportamiento geomecánico deben quedar entre los límites fijados en el PAV 3-4-0.0/7ª Edición.

Como mínimo, se realizarán las siguientes determinaciones, de acuerdo con dicho pliego y la Norma NAV 3-4-0.2/4ª Edición.

- Resistencia a la fragmentación, coeficiente de Desgaste "Los Ángeles" (apartado 3.5).
- Resistencia a compresión Simple (apartado 3.6).
- Absorción de agua y densidad aparente de la roca (apartado 3.7.3).
- Resistencia de la roca a la acción del sulfato magnésico, si fuera necesario (apartado 3.7.4).
- Ensayo de ebullición (Sonnebrand), en rocas basálticas (apartado 3.8).

Por otra parte, para determinar las dimensiones idóneas de las piedras, así como su distribución de tamaños y el estado de limpieza, a los ensayos anteriores, se añadirán, en un número suficiente, los siguientes ensayos de forma, de acuerdo con los mismos pliegos y normas citados.

- Homogeneidad, si fuera necesario.
- Granulometría.
- Porcentaje de material comprendido entre los tamices de 31,5 y 50 mm.
- Limpieza.
- Longitud máxima de los elementos.
- Elementos aciculares y lajosos.
- Elementos con espesores comprendidos entre 25 y 16 mm.
- Elementos granulares con espesores menores de 16 mm.
- **Estudio geotécnico de frentes canterables.**
 - **Sectorización geotécnica de los frentes.** Además de las características del material se pretende conocer las propiedades del macizo de roca en varios aspectos. Por un lado, en lo que se refiere a las propiedades geomecánicas, que pueden cambiar dentro de un mismo frente o entre un frente y otro, como consecuencia, por ejemplo, del

grado de alteración. Por otro lado interesa saber si hay condiciones geotécnicas, a nivel de macizo, que puedan incidir sobre la estabilidad de la explotación, de forma tal que de lugar a interrupción de los suministros. La sectorización de la cantera puede permitir que la el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif pueda ceñirse únicamente a unos frentes concretos de la cantera, aquellos que estén dentro de las especificaciones del Pliego.

- **Estabilidad de los frentes.** Estudio de la estabilidad geotécnica de los diferentes frentes de explotación, basado en un estudio de las discontinuidades del macizo rocoso.
- **Características hidrogeológicas.** Hidrogeología de la cantera y determinación de posibles incidencias causadas por la presencia de agua.
- **Sistema de explotación de la cantera.** Se trata de conocer cuales son los frentes que se propone explotar, el método de arranque y los ratios a seguir, así como los medios humanos y materiales a utilizar, todo lo cuál servirá para establecer los criterios básicos y recomendaciones de explotación de los distintos frentes, así como una previsión de los recursos humanos y los medios de producción necesarios.
- **Planta de trituración y cribado.** Sistema de acopios. Tanto la planta de trituración y cribado como el resto de las instalaciones y maquinaria, en frentes o en zonas de acopio, se analizan para asegurar que se cumplen las condiciones de limpieza de los frentes, las prescripciones técnicas del proceso de fabricación y las exigencias técnicas de las zonas de acopio.
- **Estimación de reservas canterables.** A partir de una estimación de las reservas de rocas seguras de concesión minera de explotación y las reservas potenciales dentro del perímetro de la concesión minera objeto del estudio, del ritmo previsto de producción y de un estudio de costes de producción y comercialización comparados con los precios que se pagan en el mercado, se analizará la viabilidad económica de la explotación.
- **Evaluación del medio ambiente.** Para cumplir con la vigente legislación ambiental se valorarán los impactos ambientales producidos durante la explotación y se establecerá un plan de restauración de la zona, para cuando cese la explotación prevista, que incluya las medidas correctoras tomadas para corregirlos.

El Contratista está obligado a someterse a la legislación vigente, relacionada con el impacto ambiental.

En cualquier caso, será obligatoria la entrega a la Administración ferroviaria, previamente al otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif de la cantera, de los documentos siguientes aprobados administrativamente:

- Estudio de impacto ambiental.
- Plan de restauración ambiental.
- **Valoración de resultados.** Se especificarán los frentes canterables aptos para el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif así como sus principales características geotécnicas y reservas explotables. Así mismo, se realizarán las recomendaciones acerca de las instalaciones de cribado y machaqueo, conducentes a mejorar la calidad del balasto producido y sobre el laboratorio de autocontrol y los planes de aseguramiento de la calidad.
- **Anejos.** El informe incluirá entre sus anejos, copia de la documentación administrativa, de los informes previos, de los resultados de los ensayos realizados específicamente para la el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif y el reportaje fotográfico de la cantera y sus instalaciones.
- **La memoria.** La memoria debe incluir cada uno de los aspectos detallados como un apartado, precedido de los apartados de introducción y objeto del trabajo. Al final debe incluirse un apartado de recomendaciones y los correspondientes anejos de planos, fotografías, resultados de los ensayos, diagramas y tablas geotécnicas y los que además procedan. Un índice general podría ser como el siguiente:

- 1- Antecedentes y Objetivos del Informe
- 2- Situación geográfica y accesos de la cantera
- 3- Cartografía geológica
 - Cartografía regional sectorial 1:25.000 (Litoestratigrafía, Tectónica y Geomorfología).
 - Cartografía de detalle 1:2.000 (Litoestratigrafía, Tectónica y Geomorfología).
- 4- Estudio petrográfico
 - Localización de las muestras.
 - Descripción de las láminas.
 - Estudio cuantitativo de la composición mineralógica.
 - Discusión y clasificación de las rocas.
 - Estudio de difracción de rayos X.
- 5- Ensayos de laboratorio
 - Localización de las muestras.
 - Ensayos geotécnicos.
 - Resistencia a la fragmentación (Coeficiente de Desgaste "Los Ángeles").
 - Resistencia a la compresión simple.
 - Resistencia por carga puntual Franklin.
 - Absorción de agua y densidad aparente.
 - Resistencia de la roca a la acción del sulfato magnésico (si fuera necesario).
 - Ensayo de ebullición (Sonnebrand) en rocas basálticas.
 - Ensayos de forma.
 - Granulometría.
 - Porcentaje de elementos comprendidos entre tamices de 31,5 y 50 mm.
 - Limpieza.
 - Elementos aciculares y lajosos.
 - Elementos con espesores comprendidos entre 25 y 16 mm.
 - Elementos con espesores menores de 16 mm.
 - Longitud máxima de las partículas.
 - Discusión de los resultados.
- 6- Estudio geotécnico de los frentes canterables
 - Introducción y metodología.
 - Estabilidad de los taludes en los frentes.
 - Estudio de la red de discontinuidades.
 - Análisis de estabilidad de la red.
 - Discusión.
 - Características hidrogeológicas.
 - Modelo hidrogeológico.
 - Cálculo del balance hídrico.
 - Evaluación de problemas, ligados al agua.

- Sectorización geotécnica de los frentes canterables.
- 7- Sistema de la explotación
 - Diseño de la cantera.
 - Estrategia de la explotación a largo plazo.
 - Plan de labores, a corto plazo.
- 8- Estudio de la planta de tratamiento
 - Maquinaria en los frentes y método de arranque.
 - Maquinaria de transporte.
 - Planta de trituración y cribado.
 - Zona de acopios y otras instalaciones.
- 9- Estimación de reservas canterables
 - Calculo de las reservas canterables.
 - Costes de explotación.
 - Costes de comercialización.
 - Conclusiones.
- 10- Estudio de impacto ambiental y restauración
 - Introducción.
 - Evaluación de impactos durante la explotación.
 - Impacto permanente después del cierre.
 - Medidas correctoras del impacto.
 - Usos potenciales del terreno afectado.
 - Medidas a tomar y proyecto de restauración.
- 11- Conclusiones y Recomendaciones
- 12- Anejos
 - Planos.
 - Fotografías.
 - Diagramas estructurales y estadillos.

Este apartado se ha elaborado mediante el desarrollo del apartado 3. "CONDICIONES PARA EL DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF A CANTERAS SUMINISTRADORAS DE BALASTO", del Pliego PAV 3-4-0.0/7ª Ed. de Adif y constituyendo apartados técnicos que deben abordarse en el estudio para el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif a las canteras suministradoras de balasto.

1.9. PLAN DE TRABAJO DEL INFORME PARA EL OTORGAMIENTO DEL DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF A LAS CANTERAS

El estudio se organiza en el tiempo siguiendo cuatro fases que se desarrollan secuencialmente aunque admite algún solape parcial. Para ello se desarrollan trabajos con metodologías muy diversas, tanto de gabinete, como de campo y laboratorio.

- Trabajos previos de gabinete. Tienen por objeto planificar el trabajo de las fases posteriores, establecer los rasgos esenciales de la cantera en varios aspectos (ubicación, geología, situación administrativa, planes de explotación, planos de la planta, etc.) y realizar trabajos previos mediante foto aérea y análisis de datos o cartografías previas. Estos datos son propor-

cionados por la propiedad o se adquieren en bibliotecas y centros públicos de información. En esta fase se preparan con detalle los trabajos de campo de algunos apartados, como el de geología o la situación de la cantera, accesos y rasgos generales de la planta.

- Trabajos de campo. En esta fase se desarrolla la toma de datos sobre el terreno. Comprende los reconocimientos de situación, accesos y situación de la estación de cargue, la cartografía geológica y toma de datos geológicos estructurales, la toma de muestras para petrografía y para ensayos de laboratorio, la toma de datos geotécnicos del macizo rocoso, la inspección de la planta y los estudios de tipo ambiental (reconocimiento de los impactos sobre la atmósfera, el paisaje, la red de drenaje, los procesos geomorfológicos naturales, la vegetación y la fauna). Cuando técnicamente lo juzgue necesario el Técnico ferroviario responsable del otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif, se planificarán, realizarán e interpretarán los ensayos "*in situ*" (sondeos de reconocimiento, geofísica, etc.) necesarios para el adecuado reconocimiento geológico y evaluación de las reservas canterables.
- Trabajos de laboratorio y de tratamiento de datos. Los apartados de petrografía microscópica, difracción de rayos X y ensayos de laboratorio corresponden a esta fase, así como la elaboración final de las cartografías, el tratamiento de datos geológicos, el tratamiento de datos geotécnicos, el análisis de estabilidad de los taludes, cálculos de reservas y análisis de datos medio-ambientales.
- Elaboración de la memoria. Se sintetiza e interpreta toda la información y se procede a la redacción del texto de la memoria, delineación o digitalización de planos y figuras y al montaje de anejos fotográficos, de resultados de los ensayos o de cualquier otro tipo de datos o informaciones que se considere necesario incluir para la claridad y rigor de la memoria, de acuerdo con el apartado 2.2 de la presente Norma.

TÉCNICAS Y ENSAYOS NECESARIOS PARA REALIZAR EL INFORME

1.10. CONSIDERACIONES GENERALES

La utilización de piedra para su empleo como balasto por Adif implica la necesidad de que los frentes canterables y los procesos de trituración y clasificación cumplan determinadas especificaciones de calidad y las puedan mantener a lo largo del tiempo. Para ello es preciso conocer en detalle las técnicas y ensayos que se deben utilizar en el proceso de la elaboración del documento de otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif una cantera, a fin de que se apliquen de manera uniforme en todas las canteras que precisen dicho distintivo de calidad, para ser suministradoras de balasto para las vías gestionadas por Adif.

De acuerdo con los requisitos establecidos en la NAV 3-4-0.2/4ª Ed. "Balasto. Control de Calidad. Toma de Muestras y Ensayos" y en el PAV 3-4-0.0/7ª Ed. "Pliego de Prescripciones Técnicas para el Suministro y Utilización del Balasto", se incluyen a continuación las metodologías de ensayos y técnicas a utilizar para otorgar el Distintivo de Calidad a una cantera de suministro de balasto para Adif.

El trabajo requiere la aplicación de un método que incluye técnicas muy diversas, (geológicas, geotécnicas, ambientales, etc.). En cada apartado se necesitan desarrollar algunas, o todas las fases mencionadas en el Apartado 2.3. de la presente Norma.

La Tabla 3.0 del Anejo II, resume las diferentes fases de la investigación a realizar y la Fig. 3.0 del Anejo III muestra el diagrama de flujo del conjunto del estudio.

1.11. CARTOGRAFÍAS GEOLÓGICAS DE HOMOLOGACIÓN

El estudio geológico-geotécnico de una cantera para adjudicarla el otorgamiento del Distintivo de Calidad, como suministradora de balasto para las vías gestionadas por Adif, deberá contener dos tipos de cartografías geológicas, una sectorial y otra de detalle, con sus correspondientes

estudios geológicos. Las especificaciones para la realización de dichas cartografías se incluyen a continuación.

1.11.1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA SECTORIAL A ESCALA 1:25.000

El objetivo de la cartografía y del estudio geológico a escala 1:25.000 es establecer la naturaleza y continuidad de las formaciones de roca que se explotan en la cantera a escala regional, sus condicionantes estructurales y todos aquellos otros factores geológicos que determinan o controlan a dicha escala la masa canterable. El trabajo a realizar consistirá en:

- Síntesis de la información geológica existente, publicada o no, acerca de litología, estructura y geomorfología de la zona donde se sitúa la cantera, mediante la revisión de todas las cartografías geológicas previas y la bibliografía existente. Entre las cartografías la más inmediata es la de las hojas 1:200.000 de síntesis de cartografía existente (realizadas a partir de 1970), las nuevas hojas del Mapa Geológico de España a escala 1:200.000 y, sobre todo, las hojas de la serie MAGNA 1:50.000, disponibles para la mayor parte de las áreas. En ocasiones, estas hojas están realizadas pero no están publicadas. En estos casos se puede obtener copia tanto de la memoria como del mapa. Son útiles también los mapas de rocas industriales de escala 1:200.000 (fechas entre 1972 y 1976) y las hojas disponibles de la nueva edición del Mapa de Rocas y Minerales Industriales, también a escala 1:200.000. Cartografías específicas sobre determinadas regiones o litologías, como las de rocas granitoides, se encuentran en artículos y monogramas publicadas o en tesis doctorales.
- Estudio de la fotografía aérea a escalas 1:30.000 y 1:18.000 de la zona, si están disponibles. Para el estudio de la zona mediante sensores remotos se utiliza normalmente la foto aérea en blanco y negro de escala detallada, como es la 1:18.000 del IGN, las de las Comunidades Autónomas o la del Servicio Catastral del Ministerio de Hacienda. Es muy útil también la foto aérea del vuelo 1:32.000 del Servicio Cartográfico del Ejército (vuelo americano) por su escala, muy apta para el estudio estructural de síntesis, y por el diferente estado de la vegetación arbustiva en todo el país en la época en que este vuelo se realizó. Las imágenes de satélite LANDSAT o SPOT pueden aportar buenos datos a un precio actualmente más razonable si se adquieren pequeñas subzonas de las clásicas escenas. A este respecto es también útil el empleo de las ortoimágenes del IGN. El resultado de esta fase debe ser un mapa previo con estructuras litológicas y rasgos geomorfológicos principales que sirve de base al estudio de campo.
- Cartografía geológica a escala 1:25.000, mediante reconocimientos de campo y toma de datos litológicos y estructurales en una zona de unos 50 km² alrededor de la cantera. Los reconocimientos de campo sirven para completar el mapa geológico de escala 1:25.000. En él se distinguen los afloramientos de la roca canterable en investigación, su repartición y extensión regional, las relaciones con la macroestructura regional (macizos graníticos, coladas volcánicas, pliegues,...), la geometría de detalle (desplazamientos de límites debidos a fallas, buzamientos, espesores,...) y los rasgos geomorfológicos regionales. El mapa presentará la extensión adecuada para comprender la situación geológica regional, siendo en general suficiente con un mapa que represente un área de alrededor de 7 x 7 km, si bien deberá siempre estar de acuerdo con la extensión de la formación canterable. El grado de complejidad y el porcentaje de trabajo de campo son muy variables de unas canteras a otras en función del tipo de zona (metamórfica, granítica o sedimentaria), la tectónica del área y la disponibilidad de mapas publicados. Para establecer la situación geológica regional será necesario tomar datos de litoestratigrafía (litologías, espesores, edades relativas), tectónica (buzamientos, fábrica, fracturas) y geomorfología (superficies de erosión y relieve en general, red de drenaje, tipos y espesores de suelos, procesos activos de ladera, etc.).

- Síntesis de todos los datos y elaboración de la cartografía y su interpretación. En esta fase se analizan todos estos datos con especial atención a litología, estructura y alteraciones de la formación de roca de interés. Se levantan, además, cortes geológicos para establecer y mostrar la macroestructura regional y de la masa canterable.

1.11.2. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE DETALLE A ESCALA 1:2.000

El objetivo de esta cartografía es realizar un estudio litológico y tectónico de la masa explotable que sirva de base al estudio geotécnico y para poder realizar la sectorización geológico - geotécnica de la cantera.

Para este estudio se deberá disponer de plano topográfico a escala 1:2.000 del entorno próximo de la cantera.

El trabajo deberá incluir:

- Estudio litológico detallado de todos los materiales aflorantes en la zona de la cantera y sus relaciones, realizado a base de las observaciones en campo, la petrografía de láminas delgadas, el análisis de las muestras tomadas en afloramientos representativos y los resultados de los análisis de difracción de rayos X. Se prestará especial atención a los materiales de la unidad que se explota para la producción del balasto. El procedimiento para la realización de dicho estudio petrológico / petrográfico se detalla en el apartado correspondiente.
- Estudio tectónico de detalle de la zona de la cantera a la escala referida. El trabajo deberá incorporar una descripción de la macroestructura y la fábrica de origen tectónico, explicando las etapas de deformación que la han producido. Deberá prestarse especial atención a las principales fallas que afectan a la masa rocosa, a los diques que crucen el macizo y a la red de fracturación sistemática (red de diaclasas), si bien este último aspecto será, además, objeto de un apartado detallado posterior.
- Estudio geomorfológico de la zona de la cantera, con especial atención a los problemas de estabilidad de laderas, a la naturaleza y espesor de los suelos y a las formaciones superficiales de relevancia, tales como los coluviones y aluviones y cualquier otro tipo genético de formaciones cuaternarias.
- Cartografía geológica a escala 1:2.000, donde se incluyan todos los aspectos antes señalados, así como la situación de todas las muestras tomadas durante los trabajos cartográficos, tanto para los análisis petrográficos como para los ensayos de caracterización o geotécnicos.

Esta cartografía requiere un trabajo de campo importante apoyado en la foto aérea de escala 1:18.000. El número de formaciones litológicas a considerar es menor que en la síntesis pero el detalle es mayor. Este mapa se utiliza también para el cálculo de reservas totales de la cantera, así como las zonas alteradas, bien en relación con fracturas o bandas de trituración, bien con la montera de la cantera. El trabajo es prácticamente todo de campo, sobre base topográfica detallada proporcionada por la propiedad, sirviendo aquí la foto aérea de apoyo. Se registran datos estructurales detallados (estratificación, foliaciones o diaclasas maestras). El mapa se complementa con un subapartado que comprende litoestratigrafía, a veces apoyada con estudio petrográfico de algunas láminas delgadas, tectónica (macroestructura, fallas, fábrica) y geomorfología (relieve, drenaje, procesos activos, como erosión o deslizamientos, y zonas de alteración o montera, bandas de trituración y alteración meteórica o hidrotermal). Este mapa es crítico pues constituye la base del estudio geotécnico y del cálculo de reservas para el plazo corto y medio. La cartografía de formaciones superficiales naturales y de los rellenos antrópicos adquiere aquí gran importancia.

En ocasiones, puede ser necesario para observar las relaciones geológicas detalladas la escala intermedia 1:5.000, por lo que se recomienda que se realice dicho mapa cuando sea preciso. Además de proporcionar los datos de localización, extensión, litología, estructura y condicionantes geomorfológicos de la masa canterable, el con-

junto del estudio geológico servirá para aportar datos a otras partes del estudio, como el cálculo de reservas canterables, la estabilidad geotécnica de la explotación y la sectorización por calidades de roca.

- **Estudio geotécnico de la cantera.** Con objeto de rechazar los frentes de roca no apta para balasto y caracterizar aquellos que reúnen las condiciones exigidas por el PAV 3-4-0.0/7ª Ed., es necesario realizar una sectorización de los frentes canterables, para lo que es preciso coordinar los datos geológicos de la cartografía y los estudios de campo del macizo con los resultantes del análisis petrográfico y de los ensayos de laboratorio de las muestras tomadas en los sectores geológicos caracterizados. Se combinan así las características litológicas del material con las condiciones geotécnicas de los diferentes sectores geológicos del macizo rocoso, que puedan influir en la calidad de la roca.

Las condiciones geotécnicas determinan, asimismo, la estabilidad de los frentes de explotación y, por lo tanto, influyen en la estrategia de los avances y en los ratios de producción.

La presencia de agua en el macizo puede condicionar la estabilidad geotécnica y dificultar las labores de explotación.

El comportamiento geotécnico del macizo rocoso depende, por un lado, de la calidad geotécnica de la roca matriz, que se determina mediante algunos de los ensayos de laboratorio descritos más adelante, y también del grado de alteración de la roca y de las estructuras del conjunto del macizo. Al estar el macizo cortado por varias familias de discontinuidades sistemáticas (diaclasas y fallas menores), el comportamiento geomecánico depende casi completamente de la distribución de estas discontinuidades en el macizo y sus características.

La roca matriz presenta, en general, con la excepción de la montera de alteración, una resistencia adecuada a la rotura, por lo que la potencial inestabilidad de los taludes se debe a las inferiores condiciones resistentes de los planos de discontinuidad del macizo (menor rozamiento y cohesión, presencia de agua, etc.).

El informe geotécnico debe incluir, por lo tanto, el problema de la estabilidad geotécnica o geomecánica de los frentes, así como la incidencia del comportamiento hidrogeológico del macizo rocoso en la zona de la cantera. Con ello se confecciona una sectorización geotécnica de la cantera con vistas a la explotación para balasto.

La estabilidad geomecánica de la cantera debe realizarse en base a un estudio de la red de fracturación, siguiendo las recomendaciones de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) y su posterior análisis en términos de estabilidad de taludes.

La incidencia del comportamiento hidrogeológico se realizará en base a los datos hidrogeológicos bibliográficos disponibles y un análisis del funcionamiento hidrogeológico del macizo.

Este estudio debe ser adecuado a los objetivos de la memoria del informe para el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif, de tal forma que no es necesario, en la mayor parte de los casos, realizar una cuantificación rigurosa de los modelos antes descritos en base a ensayos geotécnicos específicos. Ambos estudios deben permitir trazar un modelo inicial para la identificación de posibles problemas y, en el caso de que las estimaciones antes mencionadas conduzcan a la detección de problemas actuales o futuros, será necesario realizar un estudio hidrogeológico detallado, en base a sondeos, geofísica, ensayos sobre muestras específicas, etc., con el que se pueda precisar los modelos.

1.12. TOMA DE MUESTRAS EN FRENTES CANTERABLES

1.12.1. CONDICIONES GENERALES

El objetivo del estudio y cartografía geológica de detalle a escala 1:2.000 es la realización de una sectorización geológica de la roca canterable, en diferentes sectores de características geotécnicas homogéneas (características litológicas, de alteración, tectónicas, hidrogeológicas,...), sobre los cuales se tomarán las muestras adecuadas para la realización de los ensayos previstos en los apartados 3.3 a 3.9 que se estudiarán a continuación.

De acuerdo con la sectorización geológica se tomarán en cada sector de 1 a 3 muestras completas para realizar los ensayos de aceptabilidad geotécnica, dependiendo ese número de la homogeneidad intrínseca de cada sector concreto y de la importancia relativa del mismo como roca canterable para balasto. En cualquier caso se deberán tomar, como mínimo 4 muestras de la totalidad de los sectores de la cantera.

Para efectuar la toma de muestras en cada sector geológico concreto se tendrá en cuenta que dichas muestras deben ser representativas del referido sector y que sus condicionantes geológicos deben ser un promedio de las características del sector. Este proceso de toma de muestras es esencial en la caracterización geotécnica del macizo rocoso, por lo que la ubicación y procedimiento de toma de muestras la decidirán conjuntamente el autor del informe geológico y el técnico responsable de la Jefatura de Geotecnia de Adif, tomando así mismo en consideración las zonas de la cantera afectadas por voladuras o con zonas sueltas y la peligrosidad del proceso de toma de muestras.

Cuando no sea posible efectuar la toma manual de muestras para los ensayos de valoración geotécnica, bien por carecer la masa canterable de frentes en explotación o porque los mismos están alterados, será necesario, a juicio del Técnico responsable de la Jefatura de Geotecnia de Adif, ejecutar alguno de los procedimientos de prospección siguientes: calicatas de reconocimiento, voladuras controladas en puntos concretos de la masa canterable y sondeos de reconocimiento con extracción de testigo continuo. En cualquier caso, dado que el criterio fundamental para sectorizar la cantera es usualmente establecer el límite entre la montera de alteración y la roca sana válida para balasto, resulta recomendable efectuar las tomas de muestras en vertical en tramos sucesivos desde la zona superficial a la roca sana, en sondeos de reconocimiento y / o en frentes canterables para la realización de estudios petrográficos de lámina delgada, a fin de establecer la correlación de los mismos con los ensayos de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles". Estas tomas de muestras se efectuarán desde la superficie del terreno a intervalos en profundidad determinados (por ejemplo cada 5 o 10 metros, dependiendo del espesor de la montera de alteración) con el objetivo fundamental de fijar un límite en profundidad a la montera de alteración (zona de roca que no es explotable para balasto), dada la degradación de las propiedades geotécnicas que la meteorización produce en la roca canterable. Éste límite inferior es importante para fijar los criterios de arranque de las monteras de alteración no aptas para balasto, las cuales deberán limpiarse y explotarse previa y separadamente de la roca sana de calidad, apta para balasto.

1.12.2. MUESTREO PARA EL ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LÁMINA DELGADA

Una vez identificado el punto de toma de muestra en un sector geológico dado, se tomará un fragmento de roca para la realización del estudio petrográfico de lámina delgada, anotándose en la piedra o en la bolsa de muestras, el rótulo EP (Estudio Petrográfico), junto con un número de identificación del punto de muestreo, que será el mismo para todas las muestras de ensayo tomadas en ese punto y al que seguirá otro número que distinga entre varias muestras del mismo punto. Si el sector geológico es

muy homogéneo la toma de muestra, par el estudio petrográfico, se podrá realizar del saco de muestras para ensayos.

En canteras con grandes variaciones en la calidad geotécnica de la masa canterable, se recomienda realizar una toma de muestras exhaustiva, con carácter previo a la sectorización, para definir los diferentes sectores geológicos a caracterizar mediante ensayos geotécnicos.

1.12.3. MUESTREO PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Una vez identificado el punto de muestreo de un sector geológico dado, se tomará como muestra para efectuar el ensayo de resistencia a la compresión simple, una piedra en rama de forma cúbica o paralelepípedica de arista mínima superior a los 20 cm. Se deberá tener especial cuidado en que la citada muestra cúbica o paralelepípedica no presente fracturas inducidas o planos de debilidad producidos por voladuras, dado que en el proceso de extracción de la muestra cilíndrica para ensayo, en la preparación de la misma o en la ejecución del ensayo, la muestra tiende a "romper" por las referidas fracturas, dando unos resultados que no reflejan la resistencia real de la masa canterable.

A fin de minimizar los efectos perniciosos de la extracción de la muestra en laboratorio sobre muestras cúbicas o paralelepípedicas, resulta aconsejable que la extracción de la muestra se efectúe "*in situ*" sobre los frentes frescos por medio de una máquina portátil tipo HILTIN. También resulta muy aconsejable que la muestra se tome de testigos continuos de sondeo, cuando éstos sean necesarios, dado que la perturbación de la muestra es menor. En cualquier caso, tanto si la muestra se toma en una piedra de arista superior a 20 cm, como si se hace en testigos de sondeos, debe tenerse especial cuidado en la visualización y estudio de las fracturas inducidas en el proceso de tallado y preparación de las probetas, dado que los resultados, en ocasiones, contrastados con el ensayo de carga puntual Franklin, no son fiables al dar valores hasta un 30 % más bajos que los reales.

En la etiqueta del saco de muestras y en la propia piedra se anotará el rótulo RCS (Resistencia a la Compresión Simple), junto con un número identificativo del punto de toma de muestras, que será análogo para todas las muestras de ensayo tomadas en ese punto.

1.12.4. MUESTREO PARA LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN (DESGASTE "LOS ÁNGELES"), RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL, ABSORCIÓN DE AGUA Y DENSIDAD SECA.

La toma de muestras para el ensayo de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles" se tomará en el punto representativo del sector geológico considerado.

Para ello y previo arranque de material explotable, se cargará uno o dos camiones en la zona más representativa del sector, que se trasladará a la planta de fabricación, donde dicho material será triturado y clasificado como balasto, separadamente del material procedente de otros sectores. La toma de muestra para ensayo, que pesará más de 40 kg. se realizará de acuerdo con lo expresado en la Norma NAV3-4-0.2/4ª Ed.

Cuando la planta de trituración y clasificación no esté disponible o no sea posible extraer material suficiente para la operación especificada en el párrafo anterior, la muestra podrá tomarse de roca en rama en los puntos representativos de cada sector geológico, mediante una recogida manual, en saco de plástico, de trozos de roca de tamaño entre 31,5 y 50 mm, hasta completar un peso superior a los 15 kg. En este proceso de toma de muestras se deberá evitar recoger material acicular o lajoso puesto que dicho material incrementa sustancialmente el Coeficiente de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles", que en cualquier caso, suele ser 2 ó 3 puntos superior al que resulta del balasto producido mediante machaqueo y clasificación, debido a que el material lajoso y

acicular se comporta más débilmente. No obstante, el Coeficiente de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles", obtenido sobre muestra tomada en frente sin pasar por la planta, estará del lado de la seguridad si el mismo se ajusta al cumplimiento de los límites del PAV 3-4-0.0/7ª Ed.

Cuando por las características de los frentes no sea posible tomar muestras de tamaño del balasto (31,5 - 50 mm) se tomarán como muestras bloques sanos o testigos continuos de sondeo que se transformarán en la granulometría de balasto por medio de machaqueo en una máquina trituradora de laboratorio.

Normalmente, con la muestra recogida de 15 kg, para la realización del Ensayo de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles", existe material suficiente para realizar además los ensayos de resistencia a la carga puntual, de absorción de agua y de densidad seca, dado que para el conjunto de estos ensayos solo son necesarias entre diez y quince (10 - 15) piedras.

1.12.5. MUESTREO PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA FRENTE A LA ACCIÓN DEL SULFATO MAGNÉSICO DE SULFATO MAGNÉSICO

Si el resultado del ensayo de absorción de agua es superior a 0,5 % e inferior a 1,5 %, se deberá realizar el ensayo de resistencia frente a la acción del sulfato de magnesico, de acuerdo con el apartado 2.8.4. del PAV 3-4-0.0/7ª Ed. Para ello se procederá de forma análoga a la recogida de muestra para el Ensayo de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles", mediante recogida manual en el punto más representativo del sector geológico considerado, de trozos de roca entre 15 y 65 mm., que se introducirán en un saco de plástico hasta completar un peso superior a 15 kg.

1.13. ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LÁMINA DELGADA

1.13.1. INTRODUCCIÓN

El estudio geológico-geotécnico de la cantera, llevará aparejado un estudio petrográfico en lámina delgada de muestras representativas del material procedente de la misma, con objeto de realizar la clasificación petrográfica de la roca por los medios que a continuación se exponen y hacer una evaluación de las alteraciones presentes en los minerales que la constituyen.

El estudio petrográfico de un árido para balasto es importante no sólo para proceder a su clasificación petrográfica, sino también para destacar las características que influyen en su comportamiento químico, físico y mecánico. Será pues necesario caracterizar el balasto no sólo desde el punto de vista de sus componentes mineralógicos y su fábrica y estructura, sino también en función de cualquier otra característica destacable a efectos de su utilización como balasto. Este estudio se ajustará a la Norma Europea UNE-EN 932-3:1996 (versión en español de 1997).

1.13.2. OBJETO

La presente Norma especifica un procedimiento básico para realizar el examen petrográfico de las muestras de balasto y proporciona una terminología petrológica básica.

El estudio petrográfico deberá realizarlo un geólogo cualificado, siendo recomendable un petrólogo con experiencia en análisis petrográficos de rocas utilizables para balasto.

En primer lugar se lleva a cabo una descripción macroscópica de la muestra. Posteriormente se preparan una o varias láminas delgadas para su examen utilizando un microscopio petrográfico con objeto de proporcionar una descripción microscópica rigurosa de

la muestra. Este estudio se complementará, cuando sea necesario, con un estudio de difracción de rayos X, de acuerdo con lo expresado en el apartado 3.4 de esta Norma. La Fig. 3.3.2 del Anejo III describe el diagrama de flujo del estudio petrográfico y el de difracción de rayos X.

1.13.3. APARATOS

Para el análisis petrográfico, según la presente Norma, se precisa un equipo que permite tanto la observación directa de las muestras de mano como la observación microscópica de láminas delgadas. Este equipo está formado por los siguientes elementos:

- Lupa de mano.
- Navaja.
- Reactivo: ácido clorhídrico diluido.
- Lupa binocular (amplificación: típicamente de 10x a 100x).
- Microscopio petrográfico.
- Platina integradora para conteo de puntos.

Los cuatro primeros elementos se utilizan en una primera inspección para la definición de propiedades macroscópicas, como el color, para una primera determinación del tipo de roca y para apreciar estructuras cuya escala hace que no se observen con facilidad en el microscopio. El microscopio petrográfico y la platina integradora se utilizan para el estudio cualitativo y cuantitativo propiamente dicho.

1.13.4. MUESTREO

La muestra a examinar puede proceder de testigos de sondeos, acopios o material tomado directamente en los frentes de explotación de la cantera. Para que la muestra sea representativa se tomará de acuerdo con el apartado 3.2.2 de esta Norma. En el caso de muestra de afloramiento, la masa de material que se envíe para su estudio será como mínimo de 5 kg.

En el caso de material fragmentado, el tamaño mínimo (Q) de muestra a enviar para su estudio depende del tamaño máximo de partícula (D), y se seguirán los valores de la Tabla 3.3.4 del Anejo II.

1.13.5. PREPARACIÓN DE LAS LÁMINAS DELGADAS

Una lámina delgada es un fragmento de material reducido mecánicamente a una lámina fina que mide $0,025 \pm 0,005$ mm de espesor, montada sobre una lámina de cristal o porta, (normalmente con un cubre protector). Las láminas delgadas tienen una cara pulida con pasta de pulir de alúmina (de 5 μm a 12 μm) y pasta de diamante (6 μm , 3 μm y 1 μm).

La lámina suele medir alrededor de 3 x 2 cm, pero en algunos casos se pueden utilizar dimensiones especiales. Si la roca presenta anisotropía puede ser necesario preparar dos láminas con diferente orientación con respecto a dicha anisotropía (p. ej. paralela y perpendicular a la foliación), con objeto de obtener una visión completa de la fábrica de la roca.

La muestra debe ser lo suficientemente coherente como para no deshacerse al cortarla. Si la roca es frágil, será necesario reforzarla por impregnación, preferentemente al vacío, con una resina con un índice de refracción de aproximadamente 1,54 (p. ej. resinas epoxi).

1.13.6. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

1.13.6.1. EXAMEN MACROSCÓPICO

La muestra será sometida a una inspección visual para determinar el tipo de roca por el que está formada o los tipos de minerales. Este examen preliminar puede realizarse utilizando una lupa de mano o una lupa binocular y si es necesario se analizará la raya y su respuesta al ácido.

La descripción macroscópica incluirá los siguientes apartados:

- Color o rango de colores de la muestra de mano. Para obtener una mayor objetividad y precisión se pueden utilizar tablas de color, como la Tabla de Colores de Rocas, Sistema Munsell, de la "American Geological Society".
- Fábrica: presencia de foliación, estratificación, etc.
- Tamaño de grano (p. ej. grueso, medio, fino).
- Grietas macroscópicas, abiertas y rellenas, poros y cavidades.
- Evidencias de meteorización y alteración.

1.13.6.2. EXAMEN MICROSCÓPICO

Tras el examen preliminar se estudiarán las muestras mediante la elaboración de láminas delgadas y su observación mediante un microscopio petrográfico. En el caso de rocas muy heterogéneas, será necesario estudiar un mínimo de ocho muestras.

En caso de considerarse necesario se podrán estudiar ciertas propiedades físicas como la densidad o la velocidad sónica.

La descripción petrográfica deberá incluir lo siguiente:

- Clasificación de la roca.
- Tamaño de grano de los componentes principales, textura, anisotropía, porosidad, vacuolas, color.
- Composición mineralógica de minerales principales, accesorios y secundarios.

De cada tipo litológico identificado se deberán especificar las características que se listan a continuación:

- Estudio cuantitativo de la composición mineralógica: (análisis modal), llevada a cabo mediante contaje de puntos sobre platina integradora. La platina integradora va fijada a la platina ordinaria del microscopio polarizador, en forma de sobreplatina, y está unida mediante un cable a un tabulador. El tabulador lleva una serie de botones, cada uno de los cuales se asigna a un mineral. Mediante la presión sobre cada botón se realiza automáticamente la suma de veces que se ha accionado cada mineral. Cuando el operador identifica en el microscopio un mineral en el centro de la retícula, presiona el botón del tabulador que corresponde al mineral observado, con lo que se añade una unidad al número de veces ya observado ese mineral y se produce, además, un pequeño desplazamiento (en general una fracción de milímetro) de la sobreplatina y la lámina delgada. Un nuevo mineral queda en el retículo, con lo que se acciona el correspondiente botón en el tabulador. Esta operación se realiza repetitivamente a lo largo de una serie de líneas paralelas en la lámina, cuya superficie queda así discretizada en una malla de puntos en los que se ha observado cada mineral un determinado número de veces. El porcentaje de

veces observado de cada mineral respecto del total da la frecuencia del mineral en la superficie de la lámina, que se supone es proporcional a su frecuencia en volumen. Se debe interpretar bien los resultados, dado que existen una serie de posibles errores debidos a los tamaños de grano, la orientación preferente, etc.

- Dimensiones: valor medio y rango de variación (si se considera necesario en rocas ígneas y metamórficas diferenciando las dimensiones en la matriz y en los fenocristales, porfiroblastos o porfiroclastos).
- Hábito: (p. ej. idiomorfos, anhedrales,...).
- Forma: (p. ej. equidimensionales, aplanados, alargados,...).
- Bordes o suturas: (p. ej. rectos, lobulados, suturados,...).
- Tipo de contacto: (p. ej. puntual, lineal, dentro de la matriz o pasta,...).
- Distribución y orientación: (p. ej. homogénea, heterogénea, en capas, en parches,...).
- Estado de alteración o meteorización.
- Matriz (p. ej., cristalizada, vítrea, amorfa, con inclusiones cristalinas, con centros o áreas de cristalización,...).
- Restos organogénicos.
- Discontinuidades.
 - Poros, microcavidades (tamaño, forma, abundancia relativa, material de relleno si existe,...).
 - Grietas y fracturas, observando propiedades como:
 - Apertura o amplitud (valor más frecuente, mínimo y máximo).
 - Longitud (valor más frecuente, mínimo y máximo).
 - Tipo (intergranular, intragranular, transgranular,...).
 - Orientación.
 - Distribución.

La descripción deberá incluir también información sobre la presencia de algunos constituyentes que, aunque en pequeñas proporciones, puedan tener importancia en determinadas circunstancias, tales como calcita, ópalo, micas u otros filosilicatos, sulfatos, sulfuros de hierro y materia orgánica.

En el caso de que se aprecie una variabilidad manifiesta en los tipos litológicos presentes en la cantera objeto del estudio, se incluirá un apartado sobre observaciones acerca del conjunto de las muestras.

1.13.6.3. DEFINICIÓN PETROGRÁFICA

A partir del estudio especificado en el punto anterior y utilizando los datos obtenidos del examen de la lámina delgada que relaciona composición mineralógica y abundancia relativa se puede obtener una precisa clasificación de la muestra de roca utilizando para una descripción simplificada preferentemente los términos de la UNE-EN 932-3, cuya lista se incluye en el Anejo I Nomenclatura Petrográfica.

Las muestras de roca examinadas en lámina delgada se deben clasificar sobre la base del tamaño de grano y la composición mineralógica utilizando la lista de nombres y los diagramas que se incluyen en el Anejo I Nomenclatura Petrográfica. Para cada roca se debe asignar la familia petrológica sobre la base de

las tablas de clasificación simplificada incluidas en el Anejo I, utilizando los diagramas del apartado A.4, dependiendo de si la muestra es una roca ígnea, sedimentaria o metamórfica. Si se solicita por parte del supervisor del Informe Geológico y de Explotación de la cantera, se le puede asignar a la muestra un nombre más detallado sobre la base de las tablas de clasificación científica detallada que se incluyen en el Anejo I. A título informativo se relaciona alguna referencia con información adicional o complementaria para la descripción petrográfica en el Anejo I. Si el examen de la lámina delgada no proporciona suficiente información para asignar una familia petrológica a la muestra, será necesario realizar ensayos complementarios.

1.13.7. INFORME

El informe petrográfico deberá incluir:

- Los datos esenciales de identificación de la muestra (número, frente, banco, etc.).
- Nombre y dirección del laboratorio o técnico que llevó a cabo la determinación.
- Fecha de preparación y examen de la muestra.
- Número y dimensiones de las láminas delgadas.
- Descripción macroscópica de la muestra o muestras.
- Descripción microscópica de la muestra o muestras.
- La definición petrográfica de los diferentes tipos de rocas o de las diferentes fracciones granulométricas, incluyendo los resultados de los contajes de minerales o partículas.
- Información geológica sobre la formación a la que pertenece el material, es decir sobre el origen de la muestra, entre otras:
 - Edad geológica utilizando los siguiente términos: Precámbrico, Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero, Pérmico, Triásico, Jurásico, Cretácico, Terciario, Cuaternario.
 - Tipo formación: Macizo plutónico discordante, aureola de contacto, cinturón de milonitas, etc.

1.14. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

1.14.1. INTRODUCCIÓN

En ocasiones el estudio petrográfico normal no permite caracterizar con fiabilidad un mineral importante dentro de la muestra. Por otra parte, las muestras recogidas en la zona de montera, o próximas a ella, contienen minerales de alteración, normalmente minerales del grupo de las arcillas, cuya caracterización necesita de técnicas que permitan establecer la composición química, lo que con el microscopio petrográfico, para ese grupo de minerales, es imposible. Finalmente en muchas ocasiones es necesario establecer de forma cuantitativa ciertos componentes mineralógicos. En todos estos casos la técnica adecuada es la difracción de rayos X.

La técnica de difracción de rayos X se emplea para la caracterización e identificación cualitativa de la composición mineralógica y para el cálculo semi-cuantitativo de los componentes mineralógicos. La determinación cualitativa y semi-cuantitativa de la composición mineralógica se efectuará con equipos de difracción de rayos X. En primer lugar se determina la composición mineralógica de la muestra global mediante el análisis del difractograma de polvo. Posteriormente, conocidos los minerales presentes, se hace una evaluación de la proporción semi-cuantitativa de cada uno de los minerales.

1.14.2. EL MÉTODO

El estudio de mineralogía bajo este contexto consiste, por lo tanto, en varias etapas que se detallan a continuación.

1.14.2.1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

En Muestras de Polvo (muestra total) se separa, mediante cuarteo, una muestra representativa de aproximadamente 100 gramos. Posteriormente esta muestra se somete a triturado mediante el molino de ruedas de Ágata, hasta obtener un polvo de tamaño de grano inferior a 63 micras (0,063 mm). Sobre esta fracción se efectúa el difractograma.

1.14.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS MINERALES

En el diagrama de polvo se identifican los minerales en general con su pico característico. El procedimiento está basado en contrastar los valores de los espaciados (ángulo 2ϕ tomado desde la izquierda) y de las intensidades (amplitud del pico) de las tres líneas más intensas del diagrama, para poder diferenciar las sustancias cristalinas entre sí. Cada uno de los minerales se identifica apoyándose en el archivo de datos de difracción de la American Society for Testing Materials (ASTM). En esta clasificación cada sustancia tiene asignada una ficha de datos, en la que constan, entre otros, los valores de los espaciados (d_1 , d_2 y d_3) de las tres líneas más intensas del diagrama, las intensidades relativas de cada línea, expresadas en tanto por ciento respecto a la línea más intensa, los datos cristalográficos y los datos ópticos. Para una correcta identificación de los minerales se emplea el índice numérico de ASTM (Powder Diffraction File Search Manual, 1979) que lleva unas modificaciones con respecto a la ficha original de ASTM.

1.14.2.3. ESTIMACIÓN SEMI-CUANTITATIVA DE LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

El análisis cuantitativo de los minerales presentes en una muestra se basa en considerar que el área integrada de un pico de mineral A en una mezcla es proporcional a su concentración.

La estimación semi-cuantitativa de los componentes mineralógicos se determina utilizando los "poderes reflectantes" correspondientes a cada uno de los minerales identificados, siendo el poder reflectante de un mineral la relación de intensidades de un efecto de difracción importante del mismo con relación a otro que se toma como referencia. El reparto porcentual entre los distintos minerales identificados se hace a partir de las áreas medidas, corregidas en cada caso mediante su poder reflectante. El empleo de los poderes reflectantes conduce a la estimación cuantitativa de los componentes de una forma rápida y con un margen de error aproximado del 5 %.

1.14.3. PRESENTACIÓN DEL INFORME

En el informe se debe dar una explicación de la situación de la muestra, método seguido en la preparación de la muestra para el análisis y tipo y características del aparato utilizado. Se incluirán los diagramas o difractogramas obtenidos y una tabla con los minerales identificados junto a los datos de intensidad, espaciado y porcentaje semicuantitativo. Finalmente se dará una explicación de la interpretación de los resultados, comprendiendo los minerales identificados y sus porcentajes.

1.15. RESISTENCIA A LA FRAGMENTACIÓN (COEF. DE DESGASTE "LOS ÁNGELES").

1.15.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La resistencia al desgaste de las muestras de balasto se medirá por el coeficiente de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles". Durante el ensayo que a continuación se describe, basado en la Norma UNE-EN 1097-2, los áridos sufren una combinación de atrición e impacto, siendo este último efecto el más importante.

Se determinará la resistencia de la piedra al desgaste por el método de ensayo "Los Ángeles" (abreviadamente CLA), que se describe en los apartados 4 y 5 de la UNE-EN 1097-2, teniendo en cuenta las siguientes modificaciones de procedimiento de ensayo, que se corresponden con lo expresado en el Anejo C de la Norma UNE-EN 13450 y con la Norma UNE 146 147.

1.15.2. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

El objeto de este ensayo es determinar la resistencia a la fragmentación y desgaste por choque y atrición de los áridos gruesos empleados como balasto en las vías de ferrocarril.

1.15.3. NORMAS PARA CONSULTA

Además de las especificadas en el Apartado 3.5.1., será necesario tener en cuenta las siguientes:

EN 932-1: 1996 - Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.

EN 932-2 - Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 2: Métodos para la reducción de muestras de laboratorio.

EN 932-3 - Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 3: Procedimiento y terminología para la descripción petrográfica simplificada.

EN 932-5 - Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 5: Equipo común y de calibración.

EN 933-1: 1997 - Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.

EN 933-3 - Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3. Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.

EN 933-4 - Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 4. Determinación de la forma de las partículas. Coeficiente de forma.

EN 1097-1:1996 - Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 1: Determinación de la resistencia al desgaste (micro-Deval).

EN 1097-2:1998 - Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.

EN 1097-6:2000 - Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y de la absorción de agua.

EN 1367-1:1999 - Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 1: Determinación de la resistencia a ciclos de hielo y deshielo.

EN 1367-2: 1998 - Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 2: Ensayo de sulfato de magnesita.

UNE-EN 10025:1993 - Productos laminados en caliente de acero no aleado para construcciones metálicas de uso general. Condiciones técnicas de suministro (incluida la modificación A1:1993).

1.15.4. APARATOS Y MATERIALES NECESARIOS

Salvo indicación en contra, los aparatos empleados cumplirán los requisitos generales establecidos en la Norma EN 932-5.

- Tamices de ensayo, conformes a la Norma UNE - EN 933-2, con tamaños de abertura de 50, 40, 31,5 y 1,6 mm.
- Balanza, de resolución 1g, 20 kg de capacidad y precisión de 0,1 % de la masa de la muestra.
- Equipo para la reducción de la muestra de laboratorio, hasta obtener una muestra de ensayo, como el descrito en UNE EN 932-2.
- Máquina. La máquina para el Ensayo de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles", tendrá las características que se indican en la Fig. 3.5.4 del Anejo III, estando constituida por los siguientes componentes principales:
 - Cilindro fabricado de plancha de acero para la construcción, de 12 mm de espesor, conforme a la calidad S275 de la Norma EN 10025:1993, seleccionado para que pueda ser moldeado sin esfuerzos excesivos y soldado sin deformación significativa. El cilindro deberá estar cerrado por ambos extremos y deberá tener un diámetro interior de (711 ± 5) mm y una longitud interior de (508 ± 5) mm. Se deberá apoyar mediante dos bulones fijos horizontales montados en el centro de sus paredes laterales, sin llegar a penetrar en el interior del mismo. El cilindro deberá estar montado de modo que gire alrededor de un eje horizontal.
 - El cilindro dispondrá de una abertura de (150 ± 3) mm de ancho, preferentemente a lo largo del tambor, para facilitar la introducción y la retirada de la muestra a la terminación del ensayo. La tapa o cubierta diseñada de modo que no altere la forma cilíndrica de la superficie interior, deberá cerrar herméticamente el tambor para impedir la salida del polvo durante el ensayo.
 - En la superficie cilíndrica interior se deberá colocar una placa saliente (entrepaño de volteo), situada entre 380 mm y 820 mm del borde más cercano a la tapa. Esta distancia deberá medirse a lo largo del perímetro interior del tambor, en el sentido de giro. La placa deberá tener una sección transversal rectangular, con una longitud igual a la del cilindro, una anchura de (90 ± 2) mm, un espesor de (25 ± 1) mm, y se deberá fijar rígidamente en un plano diametral, según una línea generatriz del cilindro. La placa deberá ser sustituida cuando su anchura sea menor de 86 mm en cualquiera de sus puntos, y su espesor sea menor de 23 mm en cualquiera de sus puntos.

La base de la máquina deberá apoyar directamente sobre un pavimento de hormigón o de bloques de roca, convenientemente nivelado.

NOTA - la tapa o cubierta debería ser del mismo acero que el tambor. La placa saliente debería ser del mismo acero o de un grado más alto.

- Carga abrasiva consistente en 12 bolas de acero esféricas, con un diámetro entre 45 y 49 mm cada una de ellas y una masa comprendida entre 400 g y 445 g. La masa total deberá estar comprendida entre 5.120 g y 5.300 g.
- Motor para imprimir al tambor una velocidad de rotación entre 31 rpm. y 33 rpm.
- Bandeja para la recogida del material y las bolas después del ensayo.

- Contador de revoluciones, para la detención automática del motor después de dar el número de vueltas necesario (1.000).

1.15.5. PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1.15.5.1. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

La muestra del árido seleccionada para el ensayo se voltea en el interior de un tambor giratorio, junto con las bolas de acero. Tras el volteo, se determina el material retenido por el tamiz de abertura de luz 1,6mm.

1.15.5.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO (FRACCIONES ENTRE 31,5 – 50mm)

Una vez realizado el ensayo granulométrico, del material retenido en el tamiz de 40 mm de luz, así como del material retenido en el tamiz de 31,5 mm de luz, se extraerán por cuarteo las cantidades que figuran en la Tabla 3.5.5.2 del Anejo II. La masa de la muestra antes de ensayada deberá ser pesada con una balanza de resolución 1 g y precisión 0,1 % del peso de la muestra.

Cuando parte de alguna muestra de balasto se tenga que machacar en el laboratorio para obtener las cantidades de ensayo necesarias, se hará constar en el informe correspondiente debido a la influencia de la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

NOTA.- El árido ha de haberse secado previamente durante 10 horas en estufa a 110 ± 5 °C y enfriado durante 2 horas antes de realizar los ensayos, pues se ha demostrado experimentalmente en el C.T.E.I. de Adif que la humedad o grado de saturación de la piedra en este ensayo es un factor que influye de manera notable en la determinación del coeficiente "Los Ángeles". Sin embargo, el lavado antes y después de este ensayo se ha demostrado que ejerce muy poca influencia en el resultado del mismo, por lo cual se pueden omitir (como norma general) las operaciones de lavado antes y después.

1.15.5.3. PROCEDIMIENTO OPERATIVO

Comprobar que el tambor esté limpio antes de introducir la muestra. Pesar y colocar cuidadosamente las bolas en la máquina, y a continuación, introducir la muestra de ensayo. Colocar la cubierta en su posición y hacer girar la máquina durante 1000 vueltas, a una velocidad constante entre 31 rpm y 33 rpm.

Concluidas las vueltas programadas se verterá el árido sobre una bandeja dispuesta debajo del equipo, tomando la precaución de que la abertura quede justo encima de la bandeja para evitar la pérdida de material. Limpiar el tambor, extrayendo todos los finos, y prestando especial atención a las zonas próximas a la placa saliente. Retirar con cuidado la carga de bolas de la bandeja, evitando perder partículas de árido.

Tamizar el material de la bandeja según establece la Norma UNE EN 933-1, mediante un tamiz de 1,6 mm. de abertura de luz.

1.15.6. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original de la muestra seleccionada para el mismo y la masa de esta misma muestra al final del ensayo retenida en el tamiz 1,6 mm, expresada como tanto por ciento de dicha masa original.

$$CLA = \frac{A - B}{A} 100$$

donde:

A= Masa inicial en gramos (10.000 ± 100 g).

B= Masa final en gramos (fracción retenida en el tamiz de 1,6 mm.).

El resultado del ensayo recibe el nombre de Coeficiente de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles" (CLA) y se expresa con un solo decimal.

En función del resultado obtenido en este ensayo y de acuerdo con la Norma UNE-EN 13450 "Áridos para balasto" y con la Norma UNE 146 147 "Áridos para balasto. Especificaciones adicionales" se definen las tres categorías o tipos de balasto, que se han especificado anteriormente en el Apartado 1.2.

1.16. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión se puede determinar mediante dos tipos diferentes de ensayo, el ensayo de resistencia a la carga puntual y el ensayo de resistencia a la compresión simple. El primero tendrá preferencia pues es aplicable utilizando piedras irregulares, que pueden ser las piedras de balasto obtenido por machaqueo y cribado, y evita los problemas del segundo tipo de ensayo. Este último es un ensayo que requiere preparar muestras geométricas que presentan problemas en su fabricación, por lo que dificultan notablemente su realización. Por esta razón, se realizará cuando, de acuerdo con la Jefatura de Geotecnia de Adif, se constate que se dan las circunstancias apropiadas y correctas para ello.

1.16.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL FRANKLIN

1.16.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El Pliego PAV 3-4-0.0/7ª Ed. de Adif, establece que la resistencia a la compresión simple del material utilizado para balasto debe tener un valor igual o superior a mil doscientos kilogramos por centímetro cuadrado ($\geq 1.200 \text{ kg/cm}^2$), o sea $\geq 120 \text{ Mpa}$. Para la determinación de la resistencia a la compresión mediante el método de carga puntual, se utilizará el ensayo de Carga Puntual Franklin. Según el tipo de probeta utilizado, existen cuatro formas de realizar el ensayo con Carga Puntual Franklin: diametral con probeta cilíndrica, axial con probeta cilíndrica, con probeta prismática y con elementos irregulares. Por la ventaja que supone la realización del ensayo con las piedras de balasto, que son elementos irregulares sin preparación especial, se ha escogido y se describe a continuación esta última forma, aunque la dispersión de los resultados es superior a la que se obtiene en los ensayos con probetas preparadas. El ensayo que a continuación se describe está basado en las Normas NLT-252/91 y UNE 22950-5.

En el Ensayo de Carga Puntual Franklin, sobre elementos irregulares, influyen la forma y tamaño de las piedras, pero la imprecisión que se deriva de ello, puede reducirse a un mínimo seleccionando las muestras. Deben escogerse ejemplares de forma aproximadamente cúbica o prismática (Fig. 3.6.1.1 del Anejo III) cuya dimensión D , que resultará entre mordazas, sea $50 \pm 35 \text{ mm}$, lo más próximo posible a 50 mm , y la dimensión $L \geq 0,5 W$, siendo $W = \frac{W1 + W2}{2}$. La relación D/W estará comprendida entre $0,3$ y $1,0$, preferiblemente $1,0$.

1.16.1.2. OBJETO DEL ENSAYO

El objeto de este ensayo es medir la resistencia a la rotura de elementos de roca sometidos a cargas puntuales aplicadas mediante un par de piezas cónicas. Las probetas pueden ser cilíndricas (para los ensayos de carga concentrada "diametral" y "axial") o de forma irregular (para el ensayo de "piedra irregular"), que es el que nos ocupa. De los resultados del ensayo puede derivarse un índice de resistencia a la carga puntual o concentrada $Is(50)$ que sirve para clasificar las rocas por su resistencia. Aunque este ensayo normalmente se hace en el laboratorio, está pensado principalmente para poderlo realizar y obtener resultados sobre muestras de roca en el campo.

1.16.1.3. APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

La máquina de ensayo dispondrá de una sistema para aplicar la carga (que comprende un bastidor de carga, una bomba, un émbolo y las bases cónicas), un sistema para medir la carga P necesaria para romper la probeta y un sistema para medir la distancia D entre los puntos de contacto de las dos bases con la probeta (Fig. 3.6.1.3.a del Anejo III). Las características esenciales son las siguientes:

- El sistema de carga deberá ser ajustable para poder ensayar probetas de tamaño variable, (entre de 15 y 100 mm) por lo que se le requiere normalmente una capacidad de carga de 50 kN. Un émbolo de retracción rápida que ayude a ahorrar tiempo entre ensayos. La fricción del émbolo ha de ser baja, para que no perjudique a la precisión de las mediciones de la carga.
- Las bases que se utilizan para transmitir la carga a la probeta son troncocónicas con la punta redondeada (Fig. 3.6.1.3.b del Anejo III). El cono de 60° y la punta redondeada con un radio de 5 mm han de coincidir tangencialmente y las piezas han de estar endurecidas de modo que no se dañen en los ensayos. Estarán alineadas exactamente de modo que sean recíprocamente coaxiales y la máquina tendrá la rigidez necesaria para que las bases permanezcan alineadas durante los ensayos. No se permite que el sistema de carga tenga un asiento esférico u otra parte no rígida.
- El sistema de medición de la carga debe indicar la carga de rotura P , con una aproximación de $\pm 5\%$, sea cual sea la resistencia de las probetas ensayadas. Debe incorporar un dispositivo de máxima que conserve la lectura y se pueda registrar después de la rotura de la probeta. Debe ser asimismo resistente a las sacudidas y vibraciones hidráulicas de modo que se mantenga la precisión durante la ejecución del ensayo.
- El sistema de medición de distancia D entre los puntos de contacto de las piezas troncocónicas con la probeta, debe indicar la medida con una aproximación de $\pm 2\% D$ y ha de estar construido de modo que se pueda verificar a cero y ajustar, además de tener la robustez precisa para que no pierda exactitud durante la ejecución del ensayo.

1.16.1.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO

Con las rocas a clasificar se forman grupos, cada uno de los cuales se considera con resistencia uniforme en una inspección preliminar. Se recogen entonces de cada grupo una muestra de roca que contenga el número de fragmentos necesarios. Se preferirán muestras de forma prismática cuando existan. Para estos ensayos de rotura las probetas pueden ensayarse "saturadas en agua".

Se realizará el ensayo sobre un mínimo de diez piedras en las que se alcance una rotura válida.

1.16.1.5. MÉTODO OPERATIVO DE ENSAYO

- Se escogen trozos irregulares de roca con una dimensión media de aproximadamente 50 ± 35 mm (Fig. 3.6.1.1 del Anejo III) y con una relación D/W entre 0,3 y 1,0 (preferiblemente 1,0). La distancia L debe ser por lo menos $0,5 W$.
- Se coloca cada fragmento en la máquina de ensayo y se aproximan las bases para que hagan contacto con la probeta en su eje mayor y, siempre que sea posible, lejos de salientes o aristas. Se anota la distancia D con una precisión del 2 %. Se mide W con una precisión ± 5 %. Se aumenta la carga hasta la rotura, para que ésta se produzca entre 10 y 60 s. Se anota la carga de rotura P y se repite el ensayo con los demás fragmentos de la muestra. La Fig. 3.6.1.5 del Anejo III, refleja las formas de rotura válidas y no válidas.
- Roca anisotrópica. En el caso de rocas anisótropas, por ejemplo rocas metamórficas con foliación, se ha de tener en cuenta la diferencia de resultados según la dirección en que se realice el ensayo. En estos casos el ensayo debe realizarse en dos direcciones, la más resistente y la más débil. Por ejemplo, en los ensayos de una probeta foliada con el eje de la probeta perpendicular a los planos de foliación se obtienen normalmente valores más altos de resistencia. Debe tenerse cuidado de asegurar que la carga se aplique estrictamente en sentido perpendicular y paralelo a los planos de debilidad.
- Los ensayos diametrales sobre probetas cilíndricas, se efectuarán a las distancias convenientes para asegurar que los fragmentos resultantes puedan utilizarse en ensayos axiales, señalando que la separación de las bases en el ensayo axial se mide perpendicularmente a los planos de debilidad y no necesariamente según el eje del trozo irregular.
- Contenido en humedad: Cuando aumenta el contenido de agua de la roca disminuye la carga de rotura, fenómeno que también se manifiesta en cualquier otra clase de determinación de la resistencia a compresión simple. No obstante, no suele en general tenerse en cuenta esta variable, ya que en la práctica interesa el valor de la resistencia a la compresión con el contenido natural de agua. Sin embargo, conviene indicar que la resistencia a la compresión simple en muestra seca suele ser de un 10 a un 20 % mayor que en muestra saturada.

1.16.1.6. OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

El índice de resistencia a la Carga Puntual I_s se define por la razón P / D_e^2 , donde D_e es el diámetro equivalente.

Para cada una de las piedras se hallará el diámetro equivalente al cuadrado $D_e^2 = 4 A / \pi$, siendo $A = W \times D$, y se obtendrá $I_s = \frac{P (kN) \times 10^3}{D_e^2 (mm^2)}$, donde P es la

carga de rotura alcanzada en el ensayo, en un tiempo comprendido entre 10 y 60 segundos.

A partir de I_s se obtendrá $I_s(50)$, para homogeneizar los resultados de todas las piedras a un diámetro equivalente de 50 mm. Se deducirá por la expresión:

$I_s(50) = F \times I_s$, donde $F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0,45}$ puede obtenerse con ayuda del gráfico de la Fig. 3.6.1.6.a del Anejo III.

Calculados los $Is(50)$ de todas las piedras, se rechazan los valores extremos y se halla la media del resto, tomando este valor como resultado del ensayo, $Is(50)$. En la Fig. 3.6.1.6.b del Anejo III se expone un ejemplo.

1.16.1.7. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados en ensayos de fragmentos irregulares, perpendiculares y paralelos a planos de debilidad, deberán ser tabulados separadamente. La Tabla de la Fig. 3.6.1.6.b del Anejo II, representa una forma típica de recoger los resultados. El informe debe recoger los datos de calibración del ensayo y los siguientes datos:

- El número de muestra, localización en la cantera, tipo y naturaleza de la roca y orientación "*in situ*" de los planos de anisotropía y de debilidad.
- Humedad de la roca en el momento del ensayo.
- Información acerca de las muestras que fueron cargadas paralelamente, perpendicularmente, o de forma desconocida, con respecto a los planos de debilidad.
- Tabulación de los valores de P, D (W, De^2 y De si son necesarios), Is (F si es necesario) e $Is(50)$, para cada probeta de la muestra.
- Para las muestras isótropas, un resumen tabulado de los valores medios $Is(50)$.
- Para las muestras anisótropas, una tabulación resumen de los valores medios $Is(50)$ para las muestras ensayadas perpendicularmente y paralelamente a los planos de debilidad y de los correspondientes valores $Is(50)$.

El ensayo de carga puntual Franklin expuesto es adecuado fundamentalmente como sistema de clasificación de rocas, para lo cuál es suficiente la obtención del $Is(50)$. No obstante, es frecuente el interés en relacionar este valor con la resistencia a compresión simple que se obtiene del ensayo directo, habiéndose establecido algunas fórmulas de correlación. La Norma NRV-3-4-0.0. 2ª Ed. adopta el sistema de buscar en cada cantera esta correlación, en los ensayos preliminares, determinando un factor de conversión, K , que es utilizado posteriormente en los ensayos sistemáticos. Cuando no se dispone de ensayos directos de compresión simple se pueden utilizar relaciones empíricas generales. La correlación propuesta por Broch y Franklin (1972) es la siguiente:

$$\sigma_c = 23 \cdot Is(50) (MPa)$$

Deberá pasarse este valor a kg/cm^2 para adecuarse a los valores del Pliego PAV-3-4.0.0/7ª Ed.

Otra correlación propuesta por Bieniawski (1975) es:

$$\sigma_c = K \cdot Is (MPa)$$

donde $K = 14 \cdot 0,17 \cdot D$ (longitud del eje cargado).

1.16.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

1.16.2.1. INTRODUCCIÓN

El presente ensayo se realizará por el procedimiento indicado a continuación, modificado de la Norma UNE 22 950-1:1990.

1.16.2.2. OBJETO DEL ENSAYO

El objeto del ensayo es establecer mediante un método directo la resistencia a la compresión uniaxial de una probeta de roca con forma cilíndrica regular, sin confinamiento.

1.16.2.3. CAMPO DE APLICACIÓN

Se aplica para caracterizar las rocas para su empleo como balasto y clasificarlas según su resistencia a la compresión uniaxial sin confinamiento. El valor mínimo que el Pliego PAV 3.4-0.0/7ª Ed. establece para el valor de la resistencia a la compresión simple es de 1.200 kg/cm², o sea de 120 Mpa.

1.16.2.4. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

D = Diámetro de la probeta ensayada, en mm.

P = Carga de rotura, en N .

σ_c = Resistencia a la compresión uniaxial, en MPa .

1.16.2.5. DEFINICIÓN

Compresión uniaxial: Es la compresión producida por la aplicación de una tensión normal en una sola dirección. La resistencia a la compresión uniaxial se calcula al producirse la rotura de la probeta según la ecuación:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Siendo P la carga de rotura y A el área de la superficie de aplicación de la carga.

1.16.2.6. MÉTODO DE ENSAYO

El ensayo se realizará según Norma UNE 22950-1(1990). La representatividad de los resultados en este ensayo depende fundamentalmente de las características de los aparatos utilizados y del correcto proceso de preparación de las probetas. Se trata de un ensayo difícil de realizar de forma totalmente correcta, por lo que es imprescindible ajustarse a un cuidadoso procedimiento para que resulte realmente fiable. Esta dificultad es la que hace que se aconseje el Ensayo de Carga Puntual Franklin como método alternativo usual.

- **Aparatos:** Para la realización de este ensayo se deben utilizar equipos con los elementos precisos para asegurar que los resultados sean adecuados. La capacidad de la máquina para aplicar la carga o la forma en que se realiza el contacto entre la célula y la probeta son factores determinantes en este ensayo.
- **Dispositivo de carga:** Se utilizará una máquina adecuada para aplicar y medir la carga axial a la muestra. Deberá ser de suficiente capacidad y podrá aplicar la carga a la velocidad requerida. Esto deberá ser verificado a intervalos de tiempos adecuados y debe cumplir la Norma UNE 7 281. La Fig. 3.6.2.6, representa esquemáticamente los elementos del dispositivo.

- Elementos de contacto: Los elementos de contacto con la probeta serán dos placas de acero de 58 Rockwell C de dureza, por lo menos, y con forma de disco. Su diámetro estará comprendido entre D y $1,1D$, siendo D el diámetro de la probeta expresado en mm. El espesor de las placas debe ser como mínimo $D/3$. Las superficies de las placas deben estar rectificadas y su error de planitud debe ser inferior a 0,005 mm. A intervalos de tiempo adecuados se verificará esta planitud.
- Asiento esférico: Los platos de la máquina o las placas en contacto con las superficies de la muestra deben incorporar al menos un asiento esférico. El asiento esférico de la placa debe estar lubricado con aceite mineral. El centro de curvatura del asiento esférico debe coincidir con el centro de la cara de la probeta. La probeta, las placas y el asiento esférico deben estar correctamente centrados unos con respecto a otros y a la máquina de carga.
- **Reparación y conservación de las muestras para ensayo y de las probetas:**
El correcto y cuidadoso procedimiento de preparación de las probetas es fundamental, de tal manera que en ocasiones los defectos en este sentido llevan a resultados no representativos del comportamiento de los materiales, al obtenerse muchas veces valores aparentes de la resistencia a la compresión por debajo del valor real del material.
 - Dimensiones de las probetas: Las probetas deberán ser cilíndricas con una esbeltez o relación altura / diámetro de 2,0 a 2,5; el diámetro deberá ser 10 veces superior al tamaño de grano mayor de la roca, y no inferior a 50,0 mm. Se recomienda utilizar probetas de catorce (14) cm de altura y siete (7) cm de diámetro en la sección recta; las bases deberán ser planas, paralelas y pulimentadas. Se medirán dos diámetros en ángulo recto en la parte superior, en la parte media y en la parte inferior de la probeta, y se calculará el diámetro medio con una aproximación de 0,1 mm. El diámetro medio se utiliza para calcular la superficie de la sección transversal. La altura de la muestra se determinará con 1,0 mm de aproximación.
 - Tratamiento y acabado de las probetas: Para alcanzar las formas citadas en el apartado anterior, hay que elaborar las probetas mediante perforación, corte, torneado y pulido o cualquier otro método apropiado. Hay que procurar que el medio de refrigeración y circulación afecte lo menos posible a las propiedades del material. El proceso de tallado de la probeta cilíndrica se deberá realizar con especial cuidado, a fin de no provocar fisuras inducidas que enmascaren la verdadera compresión simple de la roca. En el caso de muestras tomadas de frentes de cantera, se deberá tener muy en cuenta la posible presencia de fracturas inducidas por la explosión de barrenos.

La superficie lateral de la probeta debe ser lisa y estar libre de irregularidades. Las bases deben ser planas y formar un ángulo recto con el eje de la probeta de ensayo.

La Tabla 3.6.2.6 del Anejo II relaciona la tolerancia admisible en la elaboración de las probetas de roca para ensayo de compresión simple.

Se debe evitar el refrentado de las probetas con azufre o el empleo de materiales de recubrimiento, como igualadores, para conseguir el paralelismo requerido de las superficies de las bases de la probeta de ensayo. Si fuera necesario desviarse de esta regla debido a las características propias del material a ensayar, habrá que indicarlo en el protocolo del ensayo.
- Humedad: Siempre que sea posible, las condiciones de humedad, "*in situ*" deben preservarse hasta el momento del ensayo, ya que la humedad tiene un efecto significativo sobre la resistencia de las rocas.

- **Procedimiento operativo:** La velocidad de carga durante el ensayo y el número de probetas en cada ensayo son aspectos de importancia para la realización de este ensayo.
 - Carga sobre la probeta: La carga se aplicará continuamente de forma tal que la rotura se produzca a los 15 minutos, desde el comienzo de aplicación de la carga. Alternativamente, la velocidad de carga debe estar comprendida dentro de los límites de 0,5 a 1,0 MPa/s.
 - Número de probetas a ensayar: Se determinará según consideraciones prácticas, pero es conveniente que sean cinco probetas como mínimo.
- Obtención y expresión de los resultados:
 - Carga máxima sobre la muestra: La carga máxima se registrará en Newtons (o en sus múltiplos) con una precisión no menor del 1 %.
 - Resistencia a la compresión uniaxial de la probeta: Se calculará dividiendo la carga máxima soportada por la muestra durante el ensayo, por el área de la sección transversal inicial.

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi D^2 / 4}$$

ρ_c = Resistencia a la compresión uniaxial, en MPa.

P = Carga de rotura, expresada en N.

D = Diámetro de la probeta ensayada, en mm.

- **Informe de los resultados:** Debe anotarse la siguiente información para cada una de las muestras:
 - Descripción litológica de la roca.
 - Orientación del eje de carga con respecto a la anisotropía de la probeta (por ejemplo, foliación, esquistosidad, etc.), según Norma UNE 7 333.
 - Origen de la muestra, incluyendo:
 - Localización geográfica.
 - Profundidad y orientaciones.
 - Fechas y método de muestreo.
 - Historia del almacenamiento y su entorno.
 - Número de probetas ensayadas.
 - Diámetro y altura de la probeta.
 - Contenido de agua y grado de saturación en el momento de recepción de la muestra y de realización del ensayo.
 - Fecha del ensayo y descripción del equipo de ensayo.
 - Forma de rotura (por ejemplo, cizallamiento, fracturación axial, etc.). Foto o croquis.
 - Cualquier otra observación o dato físico disponible, tales como peso específico, porosidad y permeabilidad, citando el método de determinación de cada una.
 - Resistencia a la compresión uniaxial para cada probeta junto con el resultado promedio para la muestra expresada con un decimal, Estos promedios se realizarán sobre probetas de características similares de la misma muestra.

Si las probetas no cumplen con algunas de las especificaciones contenidas en esta Norma se indicarán en el informe del ensayo.

1.17. RESISTENCIA A LA ACCIÓN DE LA HELADA

1.17.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La durabilidad, o resistencia a la degradación, es un requisito imprescindible para el balasto. Algunos áridos, que dan unos valores satisfactorios en los ensayos de resistencia normalizados, se deterioran con el tiempo en el acopio o "en servicio" en la vía. El cemento entre las partículas o granos constituyentes puede ser intrínsecamente fuerte o débil, pero frecuentemente se debilita como resultado de los procesos subaéreos, pasados o presentes, por ejemplo por la meteorización, la acción de las heladas, etc. Hay, por consiguiente, dos aspectos relacionados en de la durabilidad:

- Deterioro mecánico o desgaste.
- Deterioro activado físico-químicamente, que afecta a la estabilidad.

La estabilidad es un término utilizado para indicar la capacidad de un árido para resistir los cambios excesivos de volumen como resultado del ambiente físico, como ocurre en los procesos de congelación - descongelación del agua, cambios térmicos a temperaturas por encima del punto de congelación, reblandecimiento como respuesta a la acción de ciclos de humedad-secado o meteorización, que aunque se puede considerar un proceso que normalmente produce cambios en tiempos de escala geológica, en ciertos tipos especiales de rocas, como los basaltos, puede alterar el material en el tiempo de servicio del balasto.

Las rocas más susceptibles a dichos cambios de volumen son las ofitas, los sílex porosos, las lutitas y cualquier roca con un contenido arcilloso significativo, es decir, con minerales tales como montmorillonita o illita.

La estabilidad de un material rocoso puede verse disminuida o minimizada por la meteorización o alteración física y química debida a la acción del aire, el agua y los seres vivos. La meteorización es un fenómeno que se desarrolla corrientemente a una escala geológica de tiempos, pero en algunos casos puede ocurrir en servicio, durante períodos de meses o años en algunas superficies rocosas expuestas recientemente. La meteorización se manifiesta por un aumento de la porosidad y absorción de agua, lo que a su vez puede afectar a la respuesta de la roca al ambiente físico, facilitando y reforzando la acción de los diferentes agentes.

La resistencia a la acción de las heladas se determina utilizando el valor de absorción de agua según Norma UNE-EN 1097-6 "Determinación de la densidad de las partículas y de la absorción de agua" y el de estabilidad frente a disoluciones de sulfato magnésico según Norma UNE-EN 1367-2. El ensayo de estabilidad frente al sulfato magnésico se utilizará cuando el ensayo de absorción de agua dé porcentajes comprendidos entre el 0,5 y el 1,5 de la masa total de la muestra. Será necesario también realizar un estudio petrográfico para identificar la presencia de tipos de partículas con elevados grados de absorción de agua.

En el Anejo H "Recomendaciones para determinar la resistencia del balasto a la acción de la helada (normativo)", de la Norma UNE-EN 13450, se describe la normativa para la selección de áridos resistentes a esta acción, que se transcribe a continuación.

La susceptibilidad de un árido para balasto a sufrir daño a causa de la acción de la helada dependerá ante todo del clima, del uso final y de las características petrográficas.

- **Clima:** La gravedad de los daños estará en relación con la frecuencia de los ciclos de hielo-deshielo, con el grado de intensidad del hielo-deshielo y con el grado de saturación de las partículas de árido.
- **Uso final:** El árido será propenso a sufrir deterioro a causa de la acción del hielo-deshielo bajo condiciones de saturación ambiental parcial o en situaciones con elevada humedad. El riesgo de daño se eleva significativamente en aquellos lugares donde el árido está expuesto al agua de mar o a la acción de sales descongelantes.
- **Tipo petrográfico:** La resistencia al hielo-deshielo está en relación con la resistencia de las partículas y con el tamaño y la distribución de los huecos dentro de las partículas.

En aquellos casos donde se disponga de un registro de datos que ponga de manifiesto el comportamiento satisfactorio de un árido bajo condiciones similares de uso, se considerará que ese árido es aceptable. En los casos en que no se disponga de dicho registro, será necesario realizar sucesivamente los siguientes ensayos correspondientes a las categorías 1 y 2 de la Norma UNE-EN 13450, que aporta indicaciones sobre la susceptibilidad a la meteorización por la helada: examen petrográfico, absorción de agua, o uno de los ensayos físicos indicados a continuación.

1.17.2. EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO

El análisis petrográfico del árido se realizará de acuerdo con el apartado 3.3 de esta Norma. Este análisis trata de evaluar la presencia de partículas susceptibles de tener una elevada absorción de agua, lo que las convierte en potencialmente capaces de sufrir daño por el hielo-deshielo. Se seguirá el procedimiento de descripción petrográfica de los áridos que se expone en el apartado 3.3.6. Cuando se observe o se sospeche que existen partículas susceptibles de presentar un alto grado de absorción se realizarán los ensayos físicos de los apartados siguientes.

1.17.3. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA Y DENSIDAD

1.17.3.1. OBJETO DEL ENSAYO

La presente Norma tiene por objeto definir la forma de operar en la determinación de las densidades, el coeficiente de absorción y el contenido en agua de una muestra de árido grueso para su empleo como balasto.

1.17.3.2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma se aplica a áridos gruesos utilizados como balasto y cuya densidad real sea superior o igual a 2.000 kg/m³. Esta Norma sigue las especificaciones de la Norma UNE-EN 1097-6, con las modificaciones que introduce el PAV 3-4-0.0/7^a. De los dos principales métodos que considera la Norma UNE-EN 1097-6 se utiliza el primero, aplicable al árido que pasa el tamiz de 63 mm y es retenido por el de 31,5 mm. Dicho método utiliza un cesto de alambre. No se utiliza por lo tanto el picnómetro, aplicable a los áridos que pasan el tamiz de 31,5 mm.

1.17.3.3. APARATOS EMPLEADOS

- Estufa con ventilación termostáticamente controlada y capaz de mantener una temperatura de 105 °C ± 5 °C.

- Balanza con precisión de 0,1 % y con capacidad para que el cesto conteniendo la muestra pueda ser suspendida y pesada en agua (pesada hidrostática).
- Recipiente estanco de agua, termostáticamente controlado, capaz de mantenerse a 22 ± 3 °C y sobre el que se pueda suspender el cesto de alambre.
- Termómetro con precisión de 0,1 °C.
- Cesto de alambre con mallas de aberturas ≤ 3 mm o recipiente de tela perforada con agujeros ≤ 3 mm y dimensiones adecuadas, provistos de asas metálicas que sirvan para suspenderlos del fleje de la balanza. Este cesto será resistente a la corrosión.
- Tamices de 31,5 mm y 63 mm, con las aberturas tal como se especifica en la Norma UNE-EN 933-2 y conforme a la Norma ISO 3310-2.
- Bandejas de tamaño adecuado para que puedan ser calentadas en una estufa con ventilación sin cambio de masa.
- Paños absorbentes de dimensiones adecuadas.
- Equipo de lavado.
- Temporizador.

1.17.3.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ENSAYO

La muestra para el ensayo debe ser tomada y reducida según se indica en el Apartado 3.2.4 de esta Norma y en las Normas UNE-EN 932-1 y UNE-EN 932-2. Estará constituida por al menos 10 unidades de balasto de tamaños entre 40-50 mm y 50-63 mm, con un peso total a ensayar superior o igual a los valores de la Tabla 3.7.3.4 del Anejo II. Antes de realizar el ensayo se separarán las partículas sueltas y se lavará la muestra con agua para eliminar los finos adheridos.

1.17.3.5. MÉTODO OPERATIVO DEL ENSAYO

Lavar la muestra sobre tamices de 63 mm y de 31,5 mm para eliminar las partículas más finas. Descartar las partículas retenidas sobre el tamiz de 63 mm.

Situar la muestra en el cesto de alambre y sumergirla en el recipiente conteniendo el agua a una temperatura de 22 ± 3 °C, dejándola cubierta por al menos 50 mm de agua por encima de la parte superior del cesto.

Inmediatamente después de la inmersión eliminar el aire atrapado en la muestra, levantando el cesto alrededor de 25 mm por encima del fondo del recipiente y dejándolo caer 25 veces, a una razón de una vez por segundo.

Dejar sumergido el cesto y la muestra en el agua durante $24 \pm 0,5$ horas a 22 ± 3 °C y a la presión atmosférica.

Mover el cesto y la muestra y pesar a continuación, con precisión de 1 g, la muestra dentro del agua a 22 ± 3 °C, registrándolo como M_2 . Anotar la temperatura del agua en el momento de la pesada. Si es necesario cambiar el cesto con la muestra a otro recipiente agitar el cesto con la muestra 25 veces, de la misma forma que anteriormente, antes de pesar (M_2).

Extraer el cesto y la muestra del recipiente con agua y dejarlos escurrir durante unos minutos. Sacar la muestra del cesto y ponerla sobre un paño seco. Volver a poner el cesto vacío en el agua, sacudirlo 25 veces y pesarlo en agua (M_3).

Secar ligeramente la superficie de la muestra y ponerla sobre un segundo paño absorbente seco cuando ya no escurra humedad. Extender el árido sobre el segundo paño, hasta que no supere el espesor de una piedra, y dejarlo expuesto al aire fuera de la luz directa del sol o cualquier otra fuente de calor, hasta que desaparezca cualquier película de agua de la superficie, pero manteniendo el aspecto húmedo del árido. Pesar entonces el árido (M_1).

Pasar el agregado a una bandeja y secarlo en la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta que alcance masa constante, pesándose entonces (M_4).

En todas las pesadas debe obtenerse como mínimo una precisión del 0,1 % de la masa de la muestra.

1.17.3.6. CÁLCULOS Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Con los datos anteriormente obtenidos calcular las densidades y el coeficiente de absorción de agua con las siguientes fórmulas:

- Densidad aparente absoluta:

$$\rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} Mg / m^3$$

- Densidad real con secado en el horno:

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} Mg / m^3$$

- Densidad saturada con superficie seca:

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} Mg / m^3$$

Para calcular el Coeficiente de Absorción de agua se utiliza la fórmula siguiente:

$$W_{A24} = \frac{100x(M_1 - M_4)}{M_4} \%$$

En estas fórmulas los parámetros representados son:

M_1 : Masa de muestra de árido saturada y superficialmente secas al aire, en gramos.

M_2 : Masa del cesto con la muestra de árido pesada en el agua, en gramos.

M_3 : Masa del cesto vacío pesada en el agua.

M_4 : Masa de la muestra de ensayo secada en el horno pesada al aire, en gramos.

ρ_a : Densidad absoluta.

W_{A24} : Coeficiente de Absorción.

1.17.3.7. UTILIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Si el valor de la absorción de agua en la muestra resulta inferior al 0,5 %, la piedra se considerará resistente a la meteorización, de tal forma que no será necesario realizar el ensayo de resistencia a la acción del sulfato magnésico. Cuando el porcentaje de absorción esté entre el 0,5 y el 1,5 %, se realizará preceptivamente el ensayo de resistencia de la piedra a la acción del sulfato magnésico. Finalmente, si el porcentaje de absorción en la muestra resulta superior al 1,5 %, el material se descartará para su uso como balasto, por ser muy susceptible a la acción destructiva de la meteorización física por la helada.

1.17.4. ENSAYO DE RESISTENCIA FRENTE A LA ACCIÓN DEL SULFATO MAGNÉSICO

1.17.4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para la realización de este ensayo se seguirá la Norma UNE-EN 1367-2: Ensayo de sulfato de magnesio, modificado según el Anejo G de la Norma UNE-EN 13450 y la Norma española UNE 146147.

La decisión de realizar este ensayo depende de los valores de absorción de agua obtenidos (apartado 3.7.3. de esta Norma).

En este ensayo se somete una muestra de árido extraída de las fracciones 31,5 - 40mm y 40 - 50 mm, a diez ciclos alternativos de inmersión en una solución saturada de sulfato de magnesio y de secado a 105 °C - 115 °C en una estufa. Esto somete a la muestra de árido al efecto destructivo de los ciclos de cristalización y rehidratación del sulfato de magnesio dentro de los poros del árido. El grado de destrucción depende de la estabilidad del árido y se mide por la cantidad de material de granulometría inferior a 22,4 que se produce al cabo de los 10 ciclos. Se realiza el ensayo dos veces y el valor medio, aproximado hasta el número entero más próximo, se toma como el coeficiente de estabilidad frente al sulfato magnésico (CESM).

1.17.4.2. OBJETO Y FUNDAMENTO

La Norma tiene por objeto describir un ensayo apropiado para determinar la resistencia a la desintegración de los áridos utilizados para su empleo como balasto, al ser sometidos a diez (10) ciclos alternativos de inmersión en una disolución saturada de sulfato magnésico y de secado a 105 °C - 115 °C.

El procedimiento se basa en establecer una comparación entre el comportamiento de los áridos tratados según lo anteriormente indicado, y su posible comportamiento a la intemperie.

1.17.4.3. APARATOS UTILIZADOS

- Tamices. Se utilizarán los tamices de 22,4 mm; 31,5 mm; 40 mm y 50 mm.
- Recipientes de inmersión. Consistirán en cestos de mallas que serán de acero inoxidable, deben permitir la inmersión completa de las sub-muestras y la libre circulación de la solución de sulfato magnésico y las mallas deberán ser resistentes y de una abertura apropiada, con objeto de que puedan contener el árido y no dejen escapar partículas desde el inicio del ensayo. El número mínimo de cestos será de dos y sus dimensiones serán:
 - Tamaño de abertura de luz de malla de 4 mm.

- Profundidad de 260 mm.
- Diámetro de 230 mm.

Con estos requisitos los cestos deberán ser como mínimo dos, y han de seguir el esquema de la Fig. 3.7.4.3 del Anejo III.

- Balanza. La balanza deberá ser capaz de pesar 20 kg con una precisión de 1 g.

1.17.4.4. REACTIVOS NECESARIOS

Disolución saturada de sulfato magnésico.

La disolución saturada de sulfato magnésico se prepara disolviendo lentamente 1.500 gramos de sal cristalina de sulfato magnésico por cada litro de agua, preparándose como mínimo 12 litros para cada ensayo. Durante la adición de la sal se agita enérgicamente y de modo constante la disolución, manteniéndola a una temperatura entre 25 °C y 30 °C. Tras la preparación de la disolución se la deja enfriar hasta 20 °C \pm 2 °C y luego se conserva, manteniendo dicha temperatura, durante 48 \pm 1 horas. Se recomienda preparar, como reserva, una segunda solución siguiendo el mismo procedimiento, por si fuera necesario. Antes del empleo de la solución en el ensayo se deberá comprobar con un densímetro que su densidad es de 1,292 \pm 0,008 g/ml.

1.17.4.5. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras tomadas en la cantera se reducirán siguiendo la Norma UNE-EN 932-1 y el apartado 3.2 de esta Norma. De cada muestra se obtienen dos submuestras, cada una de 10.000 \pm 100 g, que estarán formadas de la siguiente manera:

- Fracción 31,5 mm - 40 mm = 5.000 \pm 50 g
- Fracción 40 mm - 50 mm = 5.000 \pm 50 g

El tamiz de determinación es el de 22,4 mm.

1.17.4.6. MÉTODO DE ENSAYO

Los cestos que contienen el árido se mantienen sumergidos totalmente en la disolución especificada anteriormente, cuidando de que el rebose de la solución por la parte superior de árido sea de 20 mm, durante un tiempo no inferior a 16,5 h, ni superior a 17,5 h. Durante este período la disolución debe tener una temperatura de 21 °C \pm 1 °C y permanecer tapado el recipiente para evitar la evaporación y la contaminación. Deberá ponerse especial cuidado en que no se pierda ninguna partícula de árido de los cestos a lo largo de esta operación. Si hay varios cestos sumergidos en el recipiente que contiene la solución deberán estar a una distancia mínima uno de otro de 20 mm.

Una vez finalizado el período de inmersión se sacan los cestos que contienen el árido, se dejan escurrir durante 2 \pm 0,25 h, y se meten en la estufa de secado, cuya temperatura debe ser de 105-115 °C y el tiempo de 24 \pm 1 h. Posteriormente se deja enfriar durante 5 h hasta la temperatura ambiente del laboratorio. Antes de una nueva inmersión de la muestra en la solución, disolver la sal depositada en el fondo del recipiente, agitando enérgicamente, dejándola después reposar durante 30 minutos. Comprobar la densidad de la solución y después proceder a una nueva inmersión en la disolución, que se hace en la forma indicada anteriormente. El número de ciclos alternativos de inmersión y secado será de diez (10).

Cuando se ha terminado el número de ciclos y una vez que las muestras se hayan enfriado, siguiendo el procedimiento arriba indicado, se lavan hasta conseguir eliminar totalmente el sulfato, lo que se comprueba añadiendo a las gotas de lavado ligeramente aciduladas, unas gotas de disolución de cloruro bórico al 5%. No debe producirse ningún enturbiamiento de la disolución. Una vez conseguido un perfecto lavado, se seca la muestra en la estufa a 110 ± 5 °C hasta peso constante. A continuación se tamiza por el tamiz de 22,4mm. Finalmente se pesa la fracción que queda retenida después del tamizado.

1.17.4.7. OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

El valor del CESH se expresará en forma de porcentaje con relación a la masa de cada sub-muestra, a partir de la expresión siguiente, redondeando a la fracción 0,1 % más próxima:

$$MS = \frac{100 \times (M_1 - M_2)}{M_1}$$

De donde M_1 es la masa inicial de la sub-muestra y M_2 la masa final del árido retenida en el tamiz de 22,4 mm.

Además del MS se darán los siguientes resultados:

- Granulometría que presenta la muestra original.
- Cantidad de muestra que de cada fracción se ensaya.
- Porcentaje de muestra que pasa por el tamiz que retiene cada fracción después del ensayo.
- Porcentaje de muestra que pasa por el tamiz que retiene cada fracción referido a la granulometría original del material.
- Disolución empleada en el ensayo.
- Número de ciclos.

En el informe se deberá advertir que el ensayo se ha realizado según la Norma UNE-EN 1367-2, modificada según el Anejo G de la Norma UNE-EN 13450 y la Norma española UNE 146 147. El porcentaje máximo admisible de pérdida de peso inicial **no será superior al cuatro (4) por ciento**, con diez ciclos de inmersión y secado realizados de acuerdo con el Pliego PAV-3-4-0.0/7ª Edición y con las citadas normas.

1.17.5. ENSAYO DE RESISTENCIA AL HIELO-DESHIELO

Este ensayo se realizará, de acuerdo con la Norma UNE-EN 1367-1 "Ensayo para determinar las propiedades térmicas y de meteorización de los áridos. Parte 1: Determinación de la resistencia al hielo-deshielo", modificada de acuerdo con el PAV 3-4-0.0/7ª Edición y el Anejo F de la Norma UNE-EN 13450 y la Norma UNE 146147.

Se aplicarán 20 ciclos en lugar de los 10 del ensayo anterior y sus resultados se considerarán complementarios al ensayo de estabilidad frente al sulfato de magnesio y no tendrá carácter limitativo para la aceptación de una piedra para la fabricación de balasto.

En el informe de resultados deberá advertirse que el procedimiento se ha llevado a cabo según la Norma UNE-EN 1367-1, modificada según se detalla en el Anejo F de la Norma europea UNE-EN 13450 y la Norma Española UNE 146147.

1.18. ENSAYO DE EBULLICIÓN (SONNEBRAND)

1.18.1. CONSIDERACIONES GENERALES

En ciertos basaltos y rocas afines puede presentarse un tipo de alteración que se manifiesta bajo la influencia de las condiciones atmosféricas. Este fenómeno comienza con la aparición de puntos de color gris y blancos, a los que se añaden normalmente microfracturas radiales centradas en los mencionados puntos. Con el paso del tiempo, estas microfracturas terminan interconectando la red de puntos de diferente coloración. La resistencia de la estructura mineral disminuye y la roca se desmorona en forma de partículas de pequeño tamaño.

Este fenómeno puede manifestarse durante los primeros meses después de la extracción de la roca o puede extenderse a lo largo de varias décadas. En ocasiones produce un rápido deterioro del árido, provocando la aparición de grandes fisuras y la consiguiente ruptura de las partículas.

El ensayo de ebullición trata de evaluar la potencial existencia de meteorización en áridos de origen basáltico a través del proceso denominado "Sonnebrand", que afecta a los basaltos que contienen entre sus componentes sulfatos metálicos.

Si en una cantera se advierte la existencia de este proceso de "Sonnebrand" se deberá realizar un ensayo cualitativo de acuerdo con la Norma UNE-EN 1367-3 y, en todo caso, este ensayo será preceptivo en caso de un estudio de homologación de una cantera de basaltos. El ensayo es aplicable a piezas de roca y agregados gruesos de basalto.

1.18.2. APARATOS

Todos los aparatos utilizados en este ensayo deberán estar conformes con los requerimientos generales de la Norma UNE-EN 932-5. Estos aparatos serán:

- Máquina de corte de roca.
- Recipiente de acero con tapa de agua fría o con una tapa dotada de una pequeña abertura o respiradero.
- Estufa capaz de hacer hervir el contenido del recipiente.
- Paño para secar.
- Juego de tamices conformes con la Norma UNE-EN 933-2.
- Balanza con capacidad suficiente para medir la masa de la porción de muestra sometida a ensayo, con una precisión del 0,1 %.
- Horno de secado ventilado, con circulación forzada de capacidad adecuada. Dicho horno deberá ser capaz de ser controlado a 110 ± 5 °C.

1.18.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El muestreo se hará según la Norma UNE-EN 932-1 y el apartado 3.2 de esta Norma: "Toma de muestras en frentes canterables". La muestra de roca tomada en los frentes de la cantera tendrá dos partes diferentes, una para la realización de la observación visual con objeto de ver si hay signos de "Sonnebrand" y otra parte de muestra para determinar la pérdida de masa de basalto por ebullición. Para la primera parte del ensayo se tomará un trozo de roca de tamaño suficiente como para lograr la superficie de corte que se especifica en el párrafo siguiente. La otra porción será de árido grueso, que se reducirá y preparará según la Norma UNE-EN 932-2.

La porción de la muestra para el **ensayo de examen visual de un trozo de roca para establecer si hay signos de "Sonnebrand"** se preparará cortando la muestra de tal forma que presente dos superficies mayores o iguales a 0,005 m². Ambas superficies se marcarán para su posterior identificación. Se procederá al lavado de la muestra para eliminar partículas adheridas.

Otra porción de la roca se preparará para el **ensayo de determinación de pérdida de masa en árido grueso de basalto después de ebullición**. Para esta parte del ensayo se reducirá la muestra de balasto siguiendo la Norma UNE-EN 932-1 y se secará a masa constante, tras lo que se enfriará a temperatura ambiente, según Norma UNE-EN 933-1.

El paso final del ensayo consiste en la determinación de la **resistencia al desgaste - fragmentación del árido sometido a ebullición**. Con el árido sometido a ebullición se prepara una muestra de la misma forma que para el ensayo de resistencia a la fragmentación "Los Ángeles", siguiendo el procedimiento previsto en la Norma UNE-EN 1097-2.

1.18.4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Poner la primera porción de la muestra en un recipiente de acero y rellenar con agua destilada de tal forma que la muestra esté siempre cubierta durante la ebullición. Tapar el recipiente y someter el conjunto a ebullición durante 36 ± 1 hora. Retirar la muestra y dejarla secar. Humedecer ligeramente la superficie de la muestra con un paño mojado y observar la superficie. El fenómeno de Sonnebrand se reconoce por la aparición de las características manchas grises y blancas en forma de estrella, grietas radiales, grandes grietas y disgregación de la muestra.

Con la segunda porción de muestra, convenientemente preparada, pesarla y registrar la masa como M_0 . Realizar el mismo proceso de ebullición con una porción de la muestra, dejando otra porción aparte. Proceder después al secado de la muestra sometida a ebullición, ahora a masa constante y a 110 ± 5 °C. Tamizar la muestra con una apertura la mitad del tamaño nominal del árido y pesar nuevamente la masa, anotándola como M_1 . Realizar el ensayo de "Los Ángeles" según la Norma UNE-EN 1097-2 con ambas porciones de muestra, anotando las resistencias sobre la porción de muestra sometida a ebullición y no sometida a ese proceso como LA_1 y LA_0 respectivamente.

Se calcula el porcentaje de pérdida de masa del balasto después de la ebullición mediante la expresión:

$$S_M = \frac{(M_0 - M_1) \times 100}{M_0}$$

Siendo S_M el porcentaje de pérdida en masa.

Para calcular el porcentaje de pérdida de resistencia a la fragmentación "Los Ángeles" (S_{LA}) del balasto basáltico se utiliza la expresión:

$$S_{LA} = \frac{(LA_0 - LA_1) \times 100}{LA_0}$$

La diferencia en el Coeficiente "Los Ángeles" antes y después de la ebullición **no debe ser superior al 5 % del peso total de la muestra**.

1.18.5. INFORME

El informe contendrá:

- Referencia a la norma utilizada, es decir la UNE-EN1367-3.
- Método de recogida de muestra.
- Forma, tamaño, número de muestras.
- Descripción de la observación, incluyendo, si los hay, los signos del efecto "Sonnebrand".
- Resultado del ensayo de ebullición, con aproximación de 0,1 % en masa.
- Resultados del ensayo de pérdida de resistencia al desgaste, con aproximación del 0,1 %.

1.19. ENSAYO DE COMPONENTES PERJUDICIALES

El balasto para vía férrea no podrá contener fragmentos de madera, carbonosos o de otras materias orgánicas expansivas. Tampoco podrá contener metales o plásticos.

ACEPTABILIDAD DE LA PLANTA DE TRITURACIÓN Y CRIBADO PARA LA FABRICACIÓN DE BALASTO

1.20. CONSIDERACIONES GENERALES

El otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif a la cantera de balasto, así como su inclusión en el CATÁLOGO Y MAPA DE CANTERAS SUMINISTRADORAS (Anejo IV), se efectuará tras la verificación de la idoneidad de las instalaciones de machaqueo y clasificación para asegurar la producción de balasto y el cumplimiento de las disposiciones que, en este sentido, se recogen en la presente Norma. Para la puesta en explotación de la cantera de producción de balasto, se deberán tener en cuenta las condiciones que se describen a continuación.

1.21. INSTALACION Y ORGANIZACIÓN DE LA PLANTA DE MACHAQUEO Y CLASIFICACIÓN

1.21.1. INTRODUCCIÓN

La instalación y organización típica de una cantera para balasto constará de los equipos siguientes:

- Primario, con tolva de alimentación y machacadora de mandíbulas de apertura regulable y dotado de una instalación de riego por goteo para evitar la excesiva producción de polvo.
- Secundario, con machacadora de impacto o combinación de cono e impacto, para evitar la formación de porcentajes excesivos de elementos aciculares y lajosos.
- Cribado y clasificación. Cuando la naturaleza de la roca y las características de la planta de fabricación de balasto no permita cumplir con el porcentaje de elementos aciculares y lajosos prescritos en el Pliego PAV 3-4-0.0/7ª Edición, se instalarán cribas antilajas que dispondrán de orificios de forma rectangular, con su dimensión mayor, al menos de tres veces la dimensión menor.

- Tolvas de almacenamiento de balasto. Las salidas de balasto de la planta de machaqueo y clasificación se deberán almacenar en una tolva que evite la contaminación por finos y la segregación de tamaños gruesos, con carácter previo a su acopio en cantera o estación de carga.
- Cintas transportadoras.

La Fig. 4.1.1 del Anejo III representa un esquema-tipo de funcionamiento de una cantera de balasto.

A continuación se detallan las características exigibles a cada una de las instalaciones y equipos de una planta de trituración y cribado de balasto.

1.21.2. TRATAMIENTO EN PRIMARIOS DE LAS ROCAS PROCEDENTES DEL FRENTE DE EXPLOTACIÓN

1.21.2.1. SELECCIÓN DE LA MACHACADORA PRIMARIA

Estas máquinas representan la primera etapa de la conminución de la roca. Tradicionalmente, estas machacadoras se alimentan directamente con roca extraída en de los frentes de explotación en la cantera por medio de volquetes, o indirectamente por medio de una alimentador con parrilla de discos. El tamaño máximo de admisión varía, pero puede oscilar entre 1 y 1,5 metros de dimensión mayor de bloque.

Para que el triturador o quebrantadora primaria tengan un rendimiento óptimo es preciso, que el material de partida tenga unas dimensiones máximas determinadas. Así se establece que en el caso de las quebrantadoras de mandíbulas, estas dimensiones deben ser un 80 %, de la dimensión menor de la boca de la máquina. Quiere decirse que debemos arrancar la roca a tratar de forma tal que tenga dichas dimensiones máximas, es decir, debe prepararse la voladura y / o ripado de la masa canterable con la precisión y el cuidado adecuado para conseguir los bloques de dimensión máxima adecuados.

En cuanto a esta preparación, es deseable que exista una homogeneización del material de partida, para lo cuál se adiestrará a los operarios que realizan la carga en el frente de cantera para que procuren escoger el material a cargar de tal forma que exista ya casi una homogeneización de salida.

La selección de la machacadora primaria no es una decisión aislada, sino que debe considerar el diseño de la voladura y / o ripado de la masa canterable, el tamaño del cazo de la excavadora y la selección del volquete.

Mayores cantidades de admisión suelen implicar el tratamiento de mayores tamaños, pero esto es sólo eficaz si cada elemento del equipo se utiliza totalmente. Se debe alcanzar un compromiso o diseño óptimo de las operaciones, comparando los costes de la perforación y voladura y / o ripado de la masa canterable para reducir el tamaño de fragmento, con los costes de producción y operativos de manipular y procesar fragmentos más grandes.

Para una inversión económica dada, la machacadora de mandíbulas será capaz de admitir los trozos de roca más grandes.

1.21.2.2. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN Y PRECRIBADO

Una vez preparado en los frentes canterables el material a triturar, se transporta al puesto de trituración primario, descargándolo, bien directamente sobre la máquina de trituración o bien en una tolva, equipada con alimentador.

La regla general es servir a la máquina de trituración primaria el material a triturar mediante un alimentador. Éste preserva a la machacadora de los daños que puede sufrir por la caída directa de bloques de roca y proporciona una alimentación más uniforme y regular, que evita atascos por avalancha incontrolada.

En el mercado existen tres tipos fundamentales de alimentadores aplicables a la trituración primaria a saber:

- Alimentadores de paletas tipo Apron.
- Alimentadores de vaivén.
- Alimentadores vibrantes electromecánicos con precribadores.

Los alimentadores de paletas metálicas tipo Apron, compuestos por placas enlazadas mediante bulones unidos a dos cadenas laterales sin fin, se utilizan generalmente cuando existen dificultades para tener una cota de altura suficiente para instalar el puesto de trituración primaria y cuando se trata de manejar materiales húmedos y adherentes, caso difícilmente reproducible en el machaqueo de balasto.

Los alimentadores de vaivén (Fig. 4.1.2.2.a del Anejo III) pueden utilizarse en todos los casos que no existen muchos finos (tamaños menores de 10 mm). Desde luego son desaconsejables cuando hay arcillas húmedas y adherentes. Este aparato es el que mejor precisa el punto de caída sobre el primario del material dosificado.

Los alimentadores vibrantes, constituidos por bandejas rectangulares accionadas mediante vibración unidireccional, (Fig. 4.1.2.2.b del Anejo III) tienen su aplicación principal cuando son además precribadores, no siendo adecuados cuando existen materiales arcillosos húmedos acompañando al todo-uno.

Los alimentadores pueden equiparse con reguladores de velocidad para ajustar su capacidad de dosificación a la producción real que puede dar el triturador primario. No obstante, su utilización no es demasiado importante, pues cuando llega un bloque de grandes dimensiones, a las proximidades de la boca del aparato de trituración, el alimentador debe pararse.

También pueden instalarse sondas de "eco" sobre la tolva receptora del todo-uno para detectar su llenado y, en combinación con el amperaje que absorbe el motor de la máquina de trituración, proceder a la regulación de la alimentación. Estos sistemas permiten mejorar el rendimiento de las máquinas facilitando el trabajo al operario que vigila su funcionamiento.

En cualquier caso, tanto si los alimentadores son de vaivén como si son vibrantes, si no llevan incorporado un precribador, será necesario instalar una criba vibrante de limpieza para separar finos antes de la entrada del material a la machacadora de mandíbulas. Los tamices de estas cribas vibrantes de limpieza varían en función del tipo de materiales explotados, de su procedencia dentro de los frentes explotables (los materiales procedentes de zonas próximas a la montera de alteración producen más material fino que la roca competente), y de la humedad natural del material. La apertura de la luz de dichos tamices varía entre 30 y 80 mm, de acuerdo con los factores señalados anteriormente.

1.21.2.3. MACHACADORAS DE MANDÍBULAS

La machacadora de mandíbula, generalmente de un solo efecto, comprime la roca entre una mandíbula fija y otra móvil para producir la rotura de la roca. El

movimiento de retorno de la mandíbula móvil o de "vaivén", facilita la entrada de material en la cavidad de trituración. El material suficientemente triturado se descarga por gravedad.

La dimensión máxima de la abertura de alimentación, utilizada universalmente para designar a la machacadora, se denomina el "paso", y el tamaño del producto está principalmente determinado por la dimensión de la apertura de descarga cuando en la mandíbula móvil se ha retirado completamente la "regulación de la apertura". La razón de reducción suele estar entre 4:1 y 6:1.

La mandíbula móvil puede estar impulsada por dos mecanismos principales (Fig. 4.1.2.3.a del Anejo III):

- Articulación doble. En la máquina de "articulación doble" la rotación de un eje excéntrico produce un movimiento vertical recíproco de un componente denominado Pitman, que es convertido por dos tejas o articulaciones en el movimiento de vaivén de la mandíbula móvil que rota alrededor de su borde superior. La acción resultante crea unas fuerzas compresivas muy fuertes por apalancamiento en la parte superior de la cámara de trituración y la ausencia casi total de movimiento abrasivo (movimiento relativo vertical entre las planchas de las mandíbulas). Por lo tanto, esta máquina es muy adecuada para la trituración de todos los tipos de rocas duras y abrasivas como las utilizadas para producir balasto.
- Articulación sencilla. En una máquina de "articulación sencilla", la mandíbula móvil es impulsada por un eje excéntrico que también actúa como pivote a lo largo del borde superior de la mandíbula. La acción resultante incluye un movimiento vertical relativo entre los blindajes de las mandíbulas, que tiene la ventaja de una mayor producción en rocas menos abrasivas. (Fig. 4.1.2.3.b del Anejo III).

En ambos casos, las mandíbulas están protegidas por placas o blindajes de aleación (acero al manganeso), que pueden ser lisas u onduladas para reducir la producción de partículas lajasas.

Los equipos de trituración primaria son capaces de dar un gran caudal instantáneo y, por otra parte, su descarga se realiza a una altura considerable. Por ello es conveniente colocar, para recoger el producto triturado, diversos dispositivos, como son:

- Cintas transportadoras cortas de "sacrificio".
- Alimentadores.
- Tolvas reguladoras con su correspondiente alimentador.

Para producciones menores de 400 a 500 t/h las dos soluciones primeras son muy válidas, pero para producciones mayores es aconsejable tener bajo la máquina de trituración una tolva que permita trabajar con cierta garantía de seguridad. Estas tolvas pueden equiparse de sondas de nivel, que permitan controlar su llenado y, por lo tanto, informar en todo momento a los operarios de la planta si ocurre en ellas algún incidente.

1.21.3. PRESTOCK O TOLVA INTERMEDIA

El producto triturado procedente de la instalación de trituración primaria, seguirá el camino hacia su transformación posterior en producto terminado (balasto), pero antes deberá procederse a regular su velocidad de alimentación a secundario.

La regulación siempre es aconsejable hacerla, dado que el primario arroja un caudal muy irregular; como consecuencia de ello en caso de no hacerlo, a las instalaciones

secundaria y terciaria les llegará un material bastante homogeneizado, pero de forma discontinua en cuanto a producción.

Los sistemas mas normales de regulación son la tolva de gran capacidad y el acopio de pretriturados.

La tolva de gran capacidad se aplicará cuando la capacidad de producción de la planta es pequeña (menor de 100 t/h) o bien cuando exista poco espacio para la realización del stock intermedio, para producciones mayores, es aconsejable colocar un stock de pretriturados.

El stock de pretriturados (Fig. 4.1.3 del Anejo III) con capacidad suficiente, en función de la producción de la instalación, cumple las siguientes funciones:

- Es un elemento de almacenamiento, que homogeneizará el material pretriturado.
- El arranque de roca en cantera estará ligado intimamente a la capacidad del montón de pretriturados, de manera que la instalación primaria trabajará independiente de la instalación de productos finales. De esta manera en el arranque pueden trabajarse 8 horas, por ejemplo, y en la instalación secundaria a dos turnos.
- Gracias a la regulación del caudal, la producción de la instalación secundaria será óptima pues permite a los molinos secundarios trabajar con la cámara de trituración llena.
- Una parada en la instalación primaria para labores de mantenimiento permite seguir trabajando en la instalación secundaria durante cierto tiempo.

El acopio de pretriturados puede estar cubierto o no. Es aconsejable cubrirlo en plantas instaladas en zonas de clima húmedo o cuando el material almacenado contenga cantidades apreciables de finos.

1.21.4. TRATAMIENTOS EN EQUIPOS SECUNDARIOS

1.21.4.1. INTRODUCCIÓN

Los tratamientos en secundarios se pueden definir como un conjunto de procesos mecánicos que, aplicados a través de una determinada maquinaria, sobre un material procedente de un tratamiento primario, permitirá la adecuación de sus características a las del producto terminado (balasto) o un máximo acercamiento a los rasgos y propiedades buscadas.

Los tratamientos secundarios toman la roca procedente de primario en tamaños aproximados de 0/200 - 0/300 mm y la entregan en granulometrías 0/30 - 0/60 mm y, en concreto para el balasto, 31,5 - 50 mm.

Los aspectos que definen los tratamientos en secundarios son:

- Procesos mecánicos: Conjunto de diferentes procesos aplicados al material procedente del primario y relacionados con la reducción del tamaño del producto y su clasificación.
- Maquinaria utilizada: Trituradoras y cribas.
- Material: Características, forma y cantidad.
- Producto terminado: Determinación de producciones, tamaños, etc.

Los tratamientos secundarios engloban una importante serie de operaciones a definir en función de una información preliminar exacta y detallada. Estos trata-

mientos se realizarán desde la salida del material de la machacadora primaria hasta su acopio final (balasto) o su entrada en posteriores tratamientos terciarios específicos.

La maquinaria involucrada en los tratamientos secundarios en las plantas de tratamiento de balasto comprenden, para el proceso de trituración, molinos impactores y trituradoras de cono o combinación de ambos. Para la clasificación de tamaños se utilizan diferentes tipos de cribas. A continuación se hace una breve reseña de este tipo de maquinaria y los aspectos de optimización que pueden aplicarse en una planta de balasto.

1.21.4.2. MOLINOS IMPACTORES

Los molinos impactores consisten en una cámara recubierta de placas de choque o yunques, dentro de la cuál gira un rotor sobre un eje horizontal. El rotor lleva adosados martillos de vaivén articulados con pasadores o barras batidoras de acero de aleación, fijas por abrazaderas mecánicas o hidráulicas (Fig. 4.1.4.2.a del Anejo III).

Los martillos o las barras batidoras impactan sobre la roca dando como resultado una conminución eficaz desde el punto de vista de la energía consumida y un producto típicamente cúbico. La conjunción del impacto con el rotor, el impacto con el forro de la cámara (paladares) y la propia colisión interparticular, contribuye a la conminución. Se pueden conseguir grados de reducción de 20:1 en una sola fase e incluso 40:1 para impactores de doble rotor.

El impactor ofrece, por lo tanto, ventajas potenciales de un elevado grado de reducción; un bajo coste financiero y operativo; facilidad de instalación; bajo requisito de cámara y un buen coeficiente de forma. El tamaño del producto se puede variar dentro de determinados límites cambiando la velocidad del rotor y la separación entre el rotor y las placas o barras de choque.

La principal limitación al uso de los impactores es el desgaste por abrasión. El desgaste por abrasión implica la necesidad de costosas sustituciones de martillos y barras batidoras, pero, lo que es más importante, produce una pérdida de tiempo de funcionamiento y una menor disponibilidad.

Los recientes avances han afectado principalmente al tipo de barra batidora fija (Fig. 4.1.4.2.b del Anejo III), que actualmente puede utilizarse como machacadora primaria, y que puede reducir trozos muy grandes combinando un efecto de impacto con uno de "mordida". El empleo de unas pocas barras batidoras forjadas en aleaciones especiales en lugar de muchos martillos, y el diseño de la cámara de trituración para permitir un rápido acceso para su mantenimiento, (ej. mecanismos hidráulicos para abrir el bastidor y desmontar las piezas de desgaste), ha superado en cierta medida las desventajas de los impactores. Los molinos impactores se utilizan para la trituración de cuarcitas y demás rocas silíceas utilizadas para balasto y, sobre todo, cuando por las características intrínsecas de la roca explotable sea necesaria su utilización para obtener un valor de coeficiente de aciculares y lajas inferior al límite fijado en el PAV 3-4-0.0/7^a. Cuando en el proceso de machaqueo se produce un incumplimiento reiterado del coeficiente de aciculares y lajas, Adif está facultado para exigir la instalación de un molino de impactores en el circuito secundario de machaqueo. Con ello, se cambia el carácter facultativo de los molinos impactores en obligatorio, para el circuito secundario de machaqueo de producción de balasto.

En la mayoría de los casos, el impactor funciona en circuito abierto, controlándose el tamaño del producto mediante la apertura entre rotor y los paladares, la velocidad de rotación y la velocidad de la alimentación. Existen molinos de martillos cerrados que incorporan rejillas en la descarga, pero los problemas de desgaste y atascos pueden ser muy graves y su empleo se suele restringir a minerales blandos, como arcillas, carbón, etc. por lo que no son utilizables para balasto.

1.21.4.3. IMPACTORES DE EJE VERTICAL

Estas máquinas representan un avance para conseguir la forma cúbica del producto al mismo tiempo que salvan el problema del desgaste cuando se trituran rocas muy abrasivas. Especialmente populares son sus aplicaciones para trituración de gravas cuarcíticas y para la producción de balasto (Fig. 4.1.4.3 del Anejo III).

La máquina se compone de una mesa horizontal o rotor, que gira rápidamente alrededor del eje vertical de transmisión. La roca triturada, alimentada en el centro del rotor, es expulsada a alta velocidad por "fuerzas centrífugas" y se rompe por impacto contra los paladares de aleación endurecida que rodean al rotor y por colisión interparticular. En los puntos adecuados, el rotor se encuentra blindado con materiales extremadamente duros como los carburos. El desgaste de los paladares se puede reducir añadiendo un pequeño reborde o repisa que forma una "caja" donde se acumulan los fragmentos, que de este modo tapan y protegen al paladar. Las partículas de roca impactan sobre materiales similares y no contra los blindajes.

1.21.4.4. TRITURADORES DE CONO

Aunque se pueden adaptar las machacadoras de mandíbulas y los trituradores de cono al machaqueo secundario y terciario, la mayor capacidad de los trituradores de cono hace que se utilicen muy frecuentemente en la trituración de rocas competentes y abrasivas, como las empleadas en la producción de balasto. Sin embargo su mayor tendencia a dar elementos lajosos en comparación con los molinos de impactos hace que estos últimos se estén generalizando en el proceso de fabricación de dicho material.

Los trituradores de cono son una evolución de las trituradoras giratorias primarias, patentadas por Symons en 1930 (Fig. 4.1.4.4.a del Anejo III). El triturador consta de un eje vertical equipado con el núcleo "giratorio", que soporta la pieza de trituración. Ésta es una pieza de trituración móvil, cabezal o nuez blindada, dentro de una cámara cónica de trituración recubierta con metal de desgaste, normalmente denominada aro o "cóncavo". Los trituradores se suelen designar por el diámetro, en pies o milímetros, de la nuez.

La principal diferencia con las trituradoras giratorias es que la cámara de trituración en los trituradores de cono (Fig. 4.1.4.4.b del Anejo III) es un cono truncado vertical invertido y que el cono "giratorio", al tener un ángulo de aproximadamente 45° está totalmente apoyada por debajo sobre la excéntrica de rodamientos de rodillos. Otra diferencia significativa es que el eje excéntrico en las máquinas modernas gira mucho más rápidamente (> 200 rpm) que en la trituradora giratoria. Como consecuencia, la acción trituradora se puede considerar que es defecto intermedio entre la compresión y el impacto, lo que mejora el consumo de energía y el coeficiente de forma del producto.

Una crítica específica a los trituradores de cono, ha sido la tendencia a producir partículas lajosas, debido a la geometría de la cámara de trituración. Esto

puede contrarrestarse por el uso de grados de reducción bajos y asegurándose que la cámara de trituración esté siempre llena de material, una situación conocida como "alimentación obstruida".

Hay trituradores de cono de diversos tipos para adecuarse a los requisitos de las fases secundarias y terciarias de la conminución.

El triturador de cono secundario (cono estándar) tiene una cámara de trituración con mucha pendiente, a veces escalonada, formada por el cóncavo y una nuez más aplanada y menos inclinada. Los coeficientes de reducción conseguidos varían entre 4:1 y 8:1. Para balasto se suele utilizar el modelo denominado "omnicone", que presenta como característica esencial que la nuez presenta una forma más aplanada, con ángulos bajos. Con ello se consigue que la roca permanezca más tiempo en la cámara de trituración y produzca la rotura roca contra roca, con lo que la forma del material triturado mejora substancialmente (Fig. 4.1.4.4.c del Anejo III).

Actualmente se dispone de gran experiencia y conocimientos para optimizar el diseño detallado de la cámara de trituración, el ataque de la excéntrica, etc, en función de la distribución granulométrica de la alimentación, producto deseado, consumo energético y vida de los blindajes.

El tamaño máximo de la partícula está principalmente controlado por la distancia entre la nuez y el cóncavo en el lado abierto de la trituradora. Dado que esta apertura no se puede medir fácilmente, el ajuste de la zona más cerrada se suele hacer apalstando un trozo de plomo.

La experiencia indica que el tamaño máximo del producto es aproximadamente dos veces la regulación de la parte más cerrada. Esto se puede modificar dentro de ciertos límites, bien elevando el cono o bajando el cóncavo. Ambos métodos se utilizan, como en la Fig. 4.1.4.4.b del Anejo III, donde se observa un soporte hidráulico del eje de la excéntrica y roscas o soportes hidráulicos de la estructura de la cámara de trituración. Estos mecanismos permiten compensar el desgaste de los blindajes y proporcionan un sistema de seguridad de las sobrecargas en caso de que caiga en la alimentación algún material no triturable, p.ej. una rejilla de metal. Además, el apoyo hidráulico permite un control automático del tamaño del producto y/o del consumo energético máximo, sin peligro de sobrecargar al triturador. Todo ello puede dar lugar a una mejora significativa en la productividad de la planta.

Es práctica corriente hacer funcionar las trituradoras terciarias y secundarias y los molinos en circuito cerrado con un dispositivo clasificador, tal como una criba o un separador, según convenga.

El producto que sale del molino secundario pasa a la instalación de clasificación donde se eliminan las partículas sobredimensionadas que son recirculadas de nuevo al molino. Con dicho circuito es posible controlar de manera muy estricta el tamaño máximo, para evitar la generación excesiva de finos indeseables o para ahorrar energía.

1.21.4.5. COMBINACIÓN DE CONO E IMPACTOR

En las plantas de fabricación de balasto, y en general en canteras de materiales de alta abrasividad, es recomendable la instalación de un cono y un impactor en paralelo, ya que así se reduce el costo por desgaste respecto al uso de dos impactores y se mejoran los resultados granulométricos y de coeficiente de forma con respecto al uso de dos giratorios. Aunque cada roca presenta unas características litológicas y tectónicas que implican un diseño

de la trituración "ad hoc", Adif está autorizada a exigir molinos impactores, cuando el incumplimiento de forma en el coeficiente de aciculares y lajas sean reiterados.

1.21.5. LA CLASIFICACIÓN: CRIBAS VIBRANTES INCLINADAS

1.21.5.1. INTRODUCCIÓN

Las máquinas conocidas como cribas vibrantes, empleadas en las instalaciones de fabricación de balasto, son máquinas cuyo principal cometido es la clasificación de un todo-uno en dos o más productos a través de una o varias superficies, con vaciados, llamados de cribado y que permiten el paso de los granos de dimensión inferior por los mencionados vaciados.

Las cribas vibrantes inclinadas son los tipos de cribas que se utilizan más corrientemente en la industria del balasto. La combinación de superficie inclinada (15° a 20°) y la vibración, produce un proceso de cribado continuo durante el cuál los finos son rápidamente segregados y pasan a través de la malla cerca del punto de alimentación (Fig. 4.1.5.1.a del Anejo III). Las partículas retenidas de tamaño "superior" y "los tamaños críticos inferiores" al de la malla, son transportadas a lo largo de la criba y presentadas repetidamente a las aperturas de la malla, favoreciendo una elevada eficacia en la eliminación de tamaños inferiores.

Los aparatos son relativamente sencillos, y están constituidos por un bastidor vibrante, al que se le pueden acoplar una gran variedad de superficies de cribado de bajo coste y capaces de proporcionar una elevada capacidad unitaria. No obstante, para beneficiarse de estas ventajas es muy importante que la alimentación de la malla sea correcta, en especial que se utilice la anchura total de la criba y que el régimen de la alimentación sea constante.

Una desventaja es que el propio bastidor de la criba y la estructura que lo soporta debe estar diseñado para soportar las cargas vibratorias, aunque actualmente hay ya mucha experiencia.

El empleo de una criba inclinada implica evidentemente la necesidad de un mayor espacio vertical y de estructuras más altas, que con un equipo de cribado horizontal.

Todas las cribas vibrantes, por su naturaleza, tienden a producir ruido y polvo, que se pueden mitigar por confinamiento y por la elección de la superficie de cribado.

La vibración de la criba se puede generar de diversas maneras, p.ej. rotación de un eje excéntrico, rotación de un contrapeso o dispositivos Electromagnéticos. En general, se utilizan frecuencias más bajas y mayores amplitudes para el cribado de las partículas más gruesas. Cualquier elemento de la superficie de la criba describirá un movimiento circular en un plano perpendicular a la superficie de la criba.

La forma de la vibración se puede modificar para adecuarla a la aplicación específica. En el caso más simple, el movimiento es circular. No obstante, es también posible diseñar el movimiento para que sea elíptica o lineal, con un eje que tiene una cierta inclinación con respecto a la superficie cribante que, o bien favorece el transporte del material (caída), o se opone a él.

Una "caída positiva" (a favor de la pendiente de los tamices) aumenta el régimen de transporte de los tamaños superiores y se opone a la "obs-

trucción", pero puede perjudicar a la eficacia del cribado, al reducir el tiempo de retención de los materiales de tamaños críticos inferiores al de los tamices sobre la superficie de cribado. Alternativamente, una "caída inversa" (contra la pendiente de los tamices) reducirá la capacidad, pero mejorará la eficacia al retener sobre la criba los tamaños críticos y los superiores. Por estas razones hay disponibles una gran variedad de cribas vibrantes, muchas de las cuales llevan incorporado un sistema de ajuste de la frecuencia, la amplitud y la dirección del movimiento.

La posición del impulsor con respecto a la superficie de la criba es también variable. Existen cribas para las cuales la dirección del movimiento cambia a medida que el material avanza a lo largo del panel. El máximo beneficio se suele obtener utilizando una caída positiva en el extremo de alimentación, cambiando a caída inversa en el extremo de descarga.

De la discusión anterior se deduce que se puede retener el material sobre el panel, reduciendo el ángulo de inclinación de la criba. Esto significará una mejor utilización del área de cribado disponible, si se aplica sólo a la clasificación de la fracción de los tamaños críticos inferiores. Actualmente se construyen cribas de pendientes múltiples, a veces denominadas cribas modulares, para aprovechar este hecho, la pantalla está formada por varios elementos con inclinaciones en reducción progresiva.

Una ventaja adicional de las cribas vibrantes es que en el bastidor se pueden montar una, dos, tres o más cribas, para facilitar la producción simultánea de varias granulometrías.

Obviamente el área de la criba estará determinada por la capacidad del panel que tenga la menor apertura, y las cribas estarán dispuestas en orden de apertura creciente para reducir el desgaste de las superficies más frágiles. Los paneles individuales pueden estar constituidos por mallas de diferentes luces o cerradas, para actuar como freno al transferir material dentro del bastidor.

La presencia de humedad en el material de alimentación a una criba vibrante es especialmente perjudicial para el rendimiento de la criba, ya que induce la adherencia y retarda la segregación de finos.

Debido a que el secado de la alimentación suele ser muy costoso, un remedio sencillo es destruir la cohesión de las partículas añadiendo más agua; un proceso denominado "cribado en húmedo". El agua se añade por medio de pulverizadores situados encima del panel. Esta práctica es muy eficaz cuando se tamiza entre 1 y 10 mm y la salida inferior del tamiz va directamente a los clasificadores, por lo que no es común utilizarlo en el proceso de clasificación del balasto.

1.21.5.2. ESPESOR DE LA CAPA DE ÁRIDO SOBRE LA SUPERFICIE DE CRIBADO

El espesor de la capa sobre la superficie de cribado es diferente y, decrece a lo largo de la malla dependiendo del caudal de alimentación, del caudal pasante, de la velocidad del transporte y del ancho de la criba.

El espesor óptimo debe ser aquel con el que para unas dimensiones de criba, se dé cuantas oportunidades sean necesarias a todas las partículas inferiores a la luz de malla elegida, para que puedan atravesar la malla a lo largo del recorrido. Lógicamente, el conseguir que pasen la totalidad de los granos sería antieconómico o imposible de realizar, por lo que siempre existe un porcentaje de desclasificados en cada fracción que se desea obtener. Es aconsejable utilizar los espesores expresados en la Tabla 4.1.5.2 del Anejo II.

1.21.5.3. VELOCIDAD DE TRANSPORTE

La velocidad de transporte de los productos sobre la superficie de cribado depende de diversos factores, como el tipo de vibración y movimiento de las partículas, la inclinación de las bandejas y tamices y otros, por lo que cada diseño determina unas velocidades de transporte diferentes. Las velocidades normales suelen estar entre 12 y 24 m/min.

1.21.5.4. INCLINACIÓN DE LAS CRIBAS

La inclinación de las cribas tiene una incidencia considerable sobre su capacidad y eficacia; cuanto más pronunciada es su inclinación mayor es la velocidad de transporte. Si la velocidad de transporte es demasiado rápida, la eficacia del cribado disminuye, ya que los productos de alimentación pasan demasiado rápido por la abertura de la malla. El cuadro siguiente indica las inclinaciones más adecuadas en función de las luces de malla expresadas en la Tabla 4.1.5.4 del Anejo II.

Lógicamente, de acuerdo con este cuadro se observa claramente que las cribas normalmente utilizadas en las instalaciones de balasto deberán tener una inclinación de 19°.

1.21.5.5. RELACIÓN ENTRE LONGITUD Y ANCHO DE CRIBA

El ancho de la criba podrá determinarse en función de la producción y del espesor óptimo. La longitud, una vez seleccionado el ancho, es función de la superficie de cribado necesario. No obstante, un menor ancho obliga a una mayor velocidad o a un mayor espesor lo que reduce la eficiencia. Las relaciones normales entre longitud y ancho de criba en las instalaciones que nos ocupan suelen estar entre 2 y 3,3 veces. En la Tabla 4.1.5.5 se indican producciones máximas en t/h según los anchos de las cribas y tipos expresados en la Tabla 4.1.5.5 del Anejo II.

1.21.5.6. AMPLITUDES Y FRECUENCIAS DE VIBRACIÓN

Las amplitudes prácticas en el cribado están comprendidas entre 2 y 8 mm. Las frecuencias prácticas están comprendidas entre 700 y 1.450 rpm, aunque no son aconsejables las superiores a 1.200 rpm.

En la Tabla 4.1.5.6 del Anejo II, se indica la cifra característica o número de aceleraciones en función de la amplitud, frecuencia y luces de mallas.

1.21.5.7. SUPERFICIES DE CRIBADO

A continuación se describen los principales tipos de superficie (Fig. 4.1.5.7 del Anejo III) utilizados en las cribas vibrantes:

- **Chapas perforadas:** Son usadas principalmente para luces de < 100 mm. Pueden tener perforaciones cuadradas, redondas, rectangulares, hexagonales, etc. y pueden ser de distribución alineada o al tresbolillo. Las alineadas presentan una menor superficie útil o porcentaje vacío. No suelen ser muy utilizadas en el proceso de cribado y clasificación del balasto.
- **Tejidos metálicos (mallas onduladas):** Son mallas que siguen la técnica del tejido, de tal forma que los hilos van ondulados.

- **Rejillas metálicas (mallas rectas):** Son tejidos sin orillas, con hilos independientes y preformados.
- Tanto los tejidos como las rejillas metálicas se definen normalmente por la luz y el diámetro de los alambres; las luces más usuales son cuadradas, pero existen otras formas como las rectangulares con una relación de longitud / anchura muy variable.
- La malla rectangular mejora el rendimiento de una criba y disminuye las probabilidades de colmataje y sobre todo actúan como cazalajas reduciendo el coeficiente de aciculares y lajas del balasto.

Para la producción de balasto se suelen utilizar mallas metálicas, cuyo rechazo es el balasto producido, con agujeros rectangulares de dimensiones 30 x 90 mm ó 25 x 90 mm a 25 x 120 mm ó 30 x 120 mm, que actúan como antilajas, dispuestas, con el lado mayor del rectángulo, paralelo o perpendicular a la dirección del flujo del balasto en la criba. Por regla casi general, el lado mayor del rectángulo de la luz de malla se monta en el sentido del flujo del balasto sobre la criba, aunque es necesario realizar ensayos experimentales, a fin de aportar forma y disposición de las mallas cazalajas.

- **Tela de goma:** Son planchas de goma perforadas en forma redonda, cuadrada o rectangular. Su espesor es mucho mayor que los de los tejidos y rejillas metálicas y por lo tanto presenta mayor dificultad al paso de los áridos.

Debido a su elasticidad permite una autolimpieza de los productos que se incrustan en sus aberturas.

Presentan una mayor resistencia al desgaste que los tejidos y rejillas metálicas y pueden ser muy rentables para materiales de gran abrasividad como el balasto, a pesar de su mayor valor de adquisición. Esta ventaja se ve muy reducida cuando la abrasividad del producto a cribar decrece, llegando a ser antieconómica en materiales de poca abrasividad.

Para balasto se suelen emplear en los tamices superiores de las cribas, con agujeros redondos o cuadrados de 60-70 mm de lado o diámetro, que representan el corte de tamaño superior (50 mm) del balasto. El rechazo de estas cribas superiores se recircula re-transportándolo a los molinos secundarios para su reducción de tamaño.

Usualmente se utilizan cribas de goma de 30 cm de diámetro o de lado, en el primer paño de la criba de corte inferior, siendo los restantes paños metálicos de agujeros rectangulares, por su mayor resistencia a la abrasividad del flujo de material que procede del pasante del tamiz de corte del tamaño superior del balasto.

1.21.5.8. RIEGO EN LAS CRIBAS

En muchas ocasiones y debido al polvo y a la suciedad que trae consigo el producto al que se va a dar el tratamiento de trituración y clasificación, es necesario el lavado. Para lavar los áridos y separar el polvo libre o adosado a ellos, se utiliza el sistema de lavado sobre criba.

Este lavado consiste en hacer pasar el producto sobre la criba a la cual, sobre cada una de las superficies de cribado, se ha incorporado un sistema de riego que consiste en una red de tuberías en las que se han colocado, a la distancia adecuada, unos pulverizadores de agua que cubren toda la superficie.

Estos pulverizadores lanzan un chorro de agua sobre los áridos a su paso por la superficie de cribado, consiguiéndose el lavado de éstos.

1.21.6. DISPOSITIVOS DE TRANSPORTE

Es muy importante tener en cuenta el dimensionado de los elementos de transporte por banda (Fig. 4.1.6 del Anejo III), dado que las granulometrías a transportar tienen grandes dimensiones (30 a 200 mm) e incluso mayores en una dimensión. También deben estudiarse cuidadosamente los conductos de transvase de unos transportadores a otros, sobre todo si se hace cambiando su dirección con ángulos extraños. Estos conductos deben ser amplios, si es posible con cajas de piedra y los transportadores deben equiparse incluso con estaciones amortiguadoras anti-choque.

Se pueden situar sondas de nivel en los transvases de una cinta sobre otra y también equiparlas con controladores de rotación para detectar inmediatamente una baja de velocidad de la banda, debido a atascos ó a rotura de la propia banda.

La optimización de una instalación de producción de balasto debe preverse desde el principio.

1.21.7. TOLVA DE ALMACENAMIENTO DE BALASTO

La salida de balasto de las cribas de clasificación (rechazo de los tamices del segundo panel o antilajas), se deberá conducir a una tolva de almacenamiento (Fig. 4.1.6 del Anejo III) que evite la contaminación por elementos finos arrastrados por el viento, la segregación de materiales y la fragmentación de balasto por caída sobre acopio en suelo. En ningún caso se permitirá la constitución de acopios por caída libre del árido sobre un montón de balasto.

1.22. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

1.22.1. LIMPIEZA DEL LUGAR DE EXTRACCIÓN Y RECINTO RESERVADO PARA EL ALMACENAMIENTO DE BALASTO

Previamente a la apertura de un nuevo frente de cantera, será necesario limpiar y sanear convenientemente la montera, apartando y no empleando para la fabricación de balasto, cualquier clase de suelo o de roca alterada que puedan perjudicar la calidad de la piedra extraída. Se procederá de igual forma siempre que se necesite ampliar el frente de ataque de la cantera.

La explanada de la cantera deberá quedar expedita y sin obstáculos que puedan dar lugar a accidentes durante la extracción y transporte interno del material, debiendo mantener una zona reservada para el acopio exclusivo de material a suministrar para usos ferroviarios. El contratista está obligado a la retirada, en dicha área, de todos los detritus procedentes de todas las operaciones inherentes al suministro.

1.22.2. CANTERAS PRÓXIMAS A INSTALACIONES FERROVIARIAS

La Administración ferroviaria se reserva el derecho a mantener el personal oportuno en las canteras que se exploten en las cercanías de una vía. Dicho personal deberá coordinar el momento oportuno para hacer explotar los barrenos, de forma que dicha explosión no interfiera en la circulación ferroviaria.

La presencia del agente no eximirá al Contratista de la responsabilidad en que pudiera incurrir y del abono de los daños y perjuicios ocasionados por cualquiera de las operaciones de la explotación de la cantera, incluida la citada explosión de los barrenos.

El agente designado para vigilar la ausencia de interferencias entre la cantera y una vía en funcionamiento dispondrá de todos los elementos necesarios para el cumplimiento de

esta misión, entre ellos conexión telefónica con las estaciones inmediatas anterior y posterior a la cantera, así como la documentación y elementos que señala el Reglamento General de Circulación de Adif.

1.22.3. ORGANIZACIÓN DE LA CANTERA

El Contratista instalará en la cantera la maquinaria más adecuada para que el balasto fabricado cumpla las prescripciones del Pliego PAV 3-4-0.0/7ª Ed.

Así mismo, dispondrá el balasto almacenado en silos adecuados o bien en acopios aislados por medio de muros o pantallas separadoras adecuadas que impidan su contaminación. Para evitar la contaminación con otros áridos más finos deben reservarse áreas concretas para acopios de balasto alejados de los acopios con áridos más finos.

En el caso de que el balasto se almacene en acopios de estación de cargue o acopios de obra, deberá realizarse al abrigo de cualquier tipo de contaminación por finos arrastrados por el viento y alejados de cualquier zona de tránsito de vehículos.

En lo referente al sistema de acopio queda terminantemente prohibido el tránsito de camiones y palas cargadoras por encima de los acopios, exigiéndose al contratista la eliminación de los elementos redondeados y el recribado de dichos acopios cuando se observen rodadas de camiones o maquinaria, aunque las mismas hayan sido enmascaradas por cualquier medio.

Queda prohibida la realización de acopios en cantera o estación, de altura sobre el suelo superior a tres (3) metros. La limitación de la altura de los acopios tiene la finalidad de evitar la segregación o separación de los tamaños gruesos del balasto y evitar el nocivo tránsito de camiones y maquinaria sobre los mismos.

I. Definiciones

Absorción de agua.- Porcentaje de agua en masa que puede ser absorbida por el balasto en condiciones saturadas con la superficie seca.

Acopio.- Montón de balasto para su posterior transporte en vagón o camión.

Afloramiento.- Área total en la que una unidad rocosa determinada o estructura geológica aparece en la superficie del terreno.

Atricción.- Proceso de desgaste por rozamiento.

Balasto.- Material granular pétreo sobre el que se asientan las traviesas.

Bancos.- Niveles horizontales a los que se van llevando los frentes de cantera.

Clasificación de la piedra.- Proceso de cribado y separación por tamaños de la piedra triturada para obtener la granulometría deseada para su empleo como balasto.

Coefficiente de absorción de agua.- Relación entre el aumento de la masa de la muestra de balasto debida a una inundación parcial de agua y teniendo la superficie seca y la masa seca de la muestra de balasto. La inundación parcial se obtiene sumergiendo la muestra de árido en agua durante 24 h a 20 °C y a la presión atmosférica.

Coefficiente de Resistencia a la Fragmentación "Los Ángeles".- Coeficiente que expresa el valor de la resistencia de un árido a una combinación de impacto y abrasión en condiciones determinadas.

Conminución.- Reducción del tamaño de las partículas.

Contenido de agua de los áridos.- Relación entre la diferencia de masa de la muestra con su contenido de agua tal como viene y su masa seca, y la masa seca de la muestra de balasto.

Criba.- Aparato para separar por tamaños similar a un tamiz, que consiste en una superficie inclinada (normalmente plana) que está atravesada por orificios de tamaño y forma característica.

Cribado.- Operación de separación granulométrica que se realiza utilizando una criba.

Cuarteo de la muestra global de balasto.- Proceso de reducción de una muestra global representativa de un lote de balasto, para obtener una o varias muestras supuestamente iguales, pero de menor volumen, con similares características granulométricas que la muestra global.

Densidad absoluta.- Cociente entre la masa seca de árido y el volumen de su materia sólida (excluidos todos los huecos accesibles e inaccesibles).

Densidad aparente de un árido.- Cociente entre la masa seca de la muestra de árido grueso que llena un recipiente y el volumen de dicho recipiente. La densidad aparente es función de la densidad aparente de las partículas y de las características de forma de las partículas, en particular la forma, angularidad y rugosidad de su superficie del material y su contenido en agua.

Densidad real.- Cociente entre la masa seca de la muestra del árido grueso y el volumen ocupado por la materia sólida, comprendiendo los huecos accesibles e inaccesibles contenidos en los granos.

Densidad real saturada pero con la superficie seca.- Cociente entre la masa de la muestra de los áridos parcialmente embebida y con superficie seca y el volumen que ocupa (volumen real).

Diaclasa.- Plano de discontinuidad, de fractura o de separación en una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento. Las diaclasas se presentan en familias de planos paralelos, caracterizados por una orientación y un espaciado, y dividen la masa de roca en bloques.

Diagrama de flujo.- Representación esquemática del flujo del material en una planta de tratamiento, que

muestra la secuencia de operaciones y sus relaciones mutuas.

Elementos aciculares y lajosos.- Partículas de balasto cuya dimensión mayor es superior al triple de la dimensión menor, medidas ambas según dos pares de planos perpendiculares entre sí y paralelos dos a dos, que se ajustan perimetralmente a cada partícula según las citadas dimensiones.

Estabilidad del balasto.- Resistencia del balasto a los ataques físico-químicos producidos por los agentes meteóricos.

Fábrica de una roca.- Disposición y orientación física de las partículas minerales de una roca, que caracteriza su textura y estructura tanto a una escala visible como microscópica.

Falla.- Estructura geológica originada por fracturación y caracterizada por un desplazamiento que puede variar entre unos pocos milímetros a muchos kilómetros. La roca en la zona del plano de falla aparece más fracturada, frecuentemente triturada y más alterada.

Frente.- Talud artificial en la masa canterable donde se realizan las operaciones de arranque de la roca que se explota para balasto.

Geofísica.- Estudio de las características físicas de la Tierra mediante instrumentos y métodos para determinar las condiciones del substrato por el análisis de dichas propiedades físicas, tales como peso específico, conductividad eléctrica, susceptibilidad magnética, radioactividad, propagación de ondas sísmicas, flujo calorífico, etc.

Grado de reducción.- Término utilizado en la trituración, para indicar la relación entre los tamaños máximos de partícula de la alimentación y del producto.

Impacto ambiental.- Conjunto de acciones, en general negativas, que la cantera produce en el medio físico y biológico, que comprende la modificación del paisaje, emisión de polvo, ruido, cambios en las aguas superficiales o subterráneas y alteración del hábitat de la flora y la fauna.

Impactor.- Triturador por impactos.

Luz de malla.- Aberturas de la superficie cribante, o el tamaño de dichas aberturas.

Machacadora.- Máquina para fragmentar la roca, en la que los componentes que tienen contacto con la roca siguen un recorrido estrictamente controlado.

Machacadora de mandíbulas.- Máquina de trituración consistente en una placa trituradora fija y casi vertical y otra móvil inclinada, que se mueve de tal forma que amplía y reduce alternativamente la separación entre ambas placas.

Machaqueo de la piedra.- Proceso de trituración de la roca procedente de la voladura en una cantera para reducir su tamaño y darle la forma adecuada para su empleo como balasto.

Mapa geológico de síntesis.- Documento gráfico en el que se representan las formaciones litológicas y las estructuras tectónicas de la zona alrededor de la cantera y que tiene por objeto conocer la extensión de afloramiento y distribución de la masa canterable, así como las circunstancias geológicas que la condicionan. La escala de representación es 1:25.000.

Mapa geológico-geotécnico de detalle.- Mapa de escala 1:2.000 donde se representan las unidades litológicas en la cantera, su estructura geológica, la sectorización geotécnica y la situación de las muestras del estudio petrológico y las de los ensayos de laboratorio.

Molino.- Máquina de moler áridos.

Muestra global.- Reunión de muestras individuales o unitarias, representativas de un lote concreto de balasto, previamente al cuarteo.

Muestra para ensayo.- Muestra obtenida a partir del cuarteo de una muestra global.

NAV 3-4-0.1

Muestra unitaria.- Cantidad de material recogida sobre una zona determinada de un lote de balasto o parte de un lote, en una operación de muestreo, que ha de ser representativa del conjunto parcial al que corresponde.

Muestreo.- Operación de recogida de muestras de roca en un frente de cantera para su posterior estudio petrográfico o para realizar los ensayos de caracterización geotécnica. El material recogido se trata en la planta de trituración y se transforma en balasto, en el caso de ser utilizada para los ensayos de laboratorio.

Obstrucción.- Bloqueo de la superficie de una criba, por fragmentos que se quedan incrustados en los orificios.

Planta de producción.- Instalación de maquinaria dedicada al tratamiento de la roca de cantera para la fabricación de balasto.

Pliego de prescripciones técnicas.- Conjunto de especificaciones relativas a un proyecto u obra que definen los requisitos técnicos que deberán cumplir cada una de las partidas o trabajos a ejecutar por un contratista.

Porosidad.- Relación entre el volumen de huecos contenidos en los granos y accesibles al agua y el volumen real de la muestra de árido.

Precibado.- Eliminación de la fracción más fina de la alimentación a la planta de tratamiento para rechazar los materiales perjudiciales.

Silo.- Depósito de almacenaje.

Tamiz.- Dispositivo consistente en un medio tamizante.

Tamizado.- Proceso de separación granulométrica por tamaños, de las partículas de un material granular, que se efectúa haciendo pasar dicho material por una serie de tamices con diferentes luces de malla.

Triturador de conos.- Máquina de trituración compuesta básicamente por dos superficies de trituración concéntricas y que apuntan hacia arriba. El efecto de trituración se produce por la rotación excéntrica de una superficie cónica e inercial contra la exterior.

II. Documentos relacionados con la presente Norma

<u>Código</u>	<u>Denominación</u>	<u>Validez desde</u>
UNE-EN 13450:2003	Áridos para balasto.	12-12-2003
UNE	146 146 Áridos para balasto. Especificaciones adicionales.	
P.A.V. 3-4-0.0	Prescripciones técnicas para el suministro y utilización de balasto. 7ªEd	01/01/2007
N.A.V. 3-4-0.2	Balasto. Control de Calidad, Toma de Muestras y Ensayos. 4ªEd	01/01/2007
N.R.V. 3-4-0.0	Balasto. Características determinativas de la calidad. 2ªEd.	
UNE-EN 932-1:1997	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.	10-02-1997
UNE-EN 932-2:1999	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 2: Métodos para la reducción de muestras de laboratorio.	29-11-1999
UNE-EN 932-3:1997	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 3: Procedimiento y terminología para la descripción petrográfica simplificada.	10-02-1997
UNE-EN 933-5:1999	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso.	26-02-1999
UNE-EN 933-1:1998	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.	14-04-1998
UNE-EN 933-4:2000	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 4: Determinación de la forma de las partículas. Coeficiente de forma.	20-07-2000
UNE-EN 1097-2:1999	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.	22-03-1999
UNE-EN 1367-2:1999	Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 2: Ensayo de sulfato de magnesio.	24-03-1999
UNE-EN 1097-6:2001	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.	20-07-2001
UNE 22950-5:1996	Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 5: Resistencia a carga puntual.	22-11-1996
UNE 22950-1:1990	Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 1: resistencia a la compresión uniaxial.	24-12-1990
UNE-EN 45011:1998	Requisitos generales para entidades que realizan la certificación de producto (Guía ISO/CEI 65:1996)	18-11-1998
UNE-EN ISO/IEC 17025:2005	Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.	15-06-2005
NAV.3-4-0.1 (2ªEd)	Balasto. Homologación de canteras suministradoras	01-01-2004
NAV.3-4-0.2 (3ªEd)	Balasto.	01-01-2004

Ed.: Documento editado que figura en el catálogo oficial. Las Normas NA.V. que carecen de esta abreviatura serán contempladas en la programación de futuras publicaciones.

ANEJO I. NOMENCLATURA PETROLÓGICA

A.0. Introducción

Para la clasificación petrográfica de los tipos de rocas que pueden utilizarse para la producción de balasto se sigue esencialmente la Norma UNE-EN 932-3, que se complementa en sus definiciones, con las contenidas en el presente anejo. Estas definiciones, ligeramente ampliadas, se dan en los apartados siguientes.

Aunque los tipos descritos en dichos apartados son en la mayor parte de los casos, suficientes para clasificar las rocas utilizables para la producción de balasto, en algunas ocasiones es necesario precisar algo más la clasificación. Por otra parte, muchos tipos rocosos se reconocen por su composición mineralógica. También con objeto de facilitar el trabajo de clasificación petrográfica se añaden una serie de diagramas con la clasificación científica (Anejo A.4) de aquellas rocas silíceas que son susceptibles de ser explotadas para producir balasto de calidad.

A.1. Rocas Ígneas

Rocas formadas a partir de magma fundido tanto en la superficie de la Tierra como en profundidad. Éstas últimas se pueden dividir en dos tipos: plutónicas y subvolcánicas o hipoabisales. Las rocas plutónicas se forman en profundidad a partir de grandes cuerpos de magma y suelen tener una textura cristalina gruesa, cuyos cristales se ven a simple vista (textura fanerítica). Las rocas subvolcánicas se forman en cuerpos más pequeños cerca de, pero no en, la superficie de la Tierra y tienen una textura cristalina fina, que puede ser fanerítica, afanítica (grano no visible a simple vista) o mixta. Las rocas volcánicas se forman como lavas y piroclastos en la superficie de la Tierra y tienen una textura cristalina muy fina o vítrea (generalmente afanítica).

A.1.1. Rocas Plutónicas

Son rocas formadas por enfriamiento y cristalización de cuerpos de magma en profundidad, muy por debajo de la superficie. Sus cristales son visibles a simple vista, proporcionando a la roca una textura granular que puede ser de grano fino (<1 mm), grano medio (1-5 mm) o grano grueso (>5 mm). En ocasiones destacan cristales de talla mayor (textura porfídica).

Granito: Roca plutónica de color claro que está compuesta fundamentalmente por feldespato alcalino, algo de plagioclasa cuarzo y mica (biotita y/o moscovita). Según los porcentajes relativos de feldespato alcalino y plagioclasa puede subdividirse en sienogranito (más del 35 % de feldespato alcalino) y monzogranito (con menor proporción de ese tipo de feldespato).

Sienita: Roca de color variable, desde claro a gris azulado oscuro en algunas variedades, de composición química intermedia entre un granito y un gabro, con menos de un 20 % de cuarzo y que contiene feldespato alcalino (generalmente más del 65 %) y minerales ferromagnesianos (hornblenda, biotita, etc.). Pueden tener cantidades reducidas de nefelina o cuarzo, pero no ambos al tiempo.

Granodiorita: Roca de composición intermedia entre granito y diorita, formada por cuarzo, plagioclasa, algo de feldespato potásico y micas, a veces con algo de anfíbol.

Diorita: Roca de composición intermedia entre granito y gabro, que contienen plagioclasa, hornblenda y ocasionalmente biotita y piroxeno. El cuarzo no suele estar presente.

Gabro: Roca oscura que contiene plagioclasas cálcicas y piroxeno y ocasionalmente olivino, biotita y hornblenda.

Peridotita: Roca oscura, muy densa, formada principalmente por piroxeno y olivino.

A.1.2. Rocas Subvolcánicas

Las rocas subvolcánicas tiene un grano más fino que sus equivalente plutónicas y se suelen distinguir

utilizando el prefijo "micro" delante del correspondiente nombre de roca plutónica, como es el caso de los términos microgranito, microdiorita, etc. La textura es en general porfídica, con una pasta microcristalina sobre la que destacan cristales mayores (fenocristales). En lugar de formar grandes cuerpos plutónicos aparecen en forma de diques o pequeños cuerpos intrusivos. Los siguientes términos son excepciones a esta regla que tienen interés para el balasto:

Diabasa o Dolerita: Roca hipoabisal de grano fino, equivalente del gabro y generalmente compuesta por plagioclasa, piroxeno y, ocasionalmente, por óxidos de hierro. Es de color oscuro y densa.

Ofita: Denominación aplicada a rocas cuya clasificación geológica más precisa sería como dolerita o diabasa, con textura ofítica bien desarrollada. Se trata del equivalente de grano fino de un gabro y está compuesta generalmente por plagioclasas cálcicas, piroxenos y ocasionalmente óxidos de hierro. La textura ofítica consiste en la inclusión de pequeños cristales de plagioclasa dentro de cristales mayores de piroxeno. Es de color oscuro y muy compacta.

A.1.3. Rocas Volcánicas

Las rocas volcánicas se forman por enfriamiento rápido y cristalización de coladas de lava o acumulación de material fragmentario eyectado durante una erupción volcánica. Estas rocas son de grano muy fino y no han cristalizado necesariamente por completo, de tal manera que pueden contener una cierta proporción de vidrio. Cuando la masa de roca está formada por fragmentos de material volcánico recibe el nombre de Toba volcánica. En ocasiones el material volcánico está brechificado y consolidado, recibiendo la denominación de brecha volcánica. Se incluye a continuación el equivalente químico de cada tipo de roca volcánica.

Riolita: Roca de tonos muy claros equivalente a un granito o microgranito, que suele estar constituida por cristales de cuarzo y feldespato alcalino en una pasta criptocristalina o vítrea. Cuando el material está formado por vidrio muy vesicular y poroso recibe la denominación de pumita o piedra pómez.

Traquita: Roca generalmente masiva, de color gris claro, compuesta principalmente por feldespato alcalino y algún mineral oscuro en proporción escasa, estando el cuarzo en general ausente. Es característica su textura con cristales orientados según el flujo magmático (textura traquítica). Es el equivalente volcánico de la sienita.

Dacita: Roca de color gris equivalente a la granodiorita, formada por cuarzo y plagioclasa con algún mineral oscuro, generalmente hornblenda y en ocasiones mica oscura (biotita).

Andesita: Roca equivalente a la diorita, que suele presentar cristales visibles de plagioclasa, piroxeno, anfíbol de tipo hornblenda y ocasionalmente biotita, englobados en una pasta afanítica.

Basalto: Roca volcánica equivalente al gabro o a la dolerita, de color muy oscuro y grano fino, con una pasta microcristalina, vítrea o mixta y cristales de mayor talla, donde pueden apreciarse los cristales de plagioclasa y de piroxeno (augita más frecuentemente). En algunos tipos de basaltos aparece bien representado el olivino. Forma claras coladas que fluyeron sobre la superficie y en ocasiones aparecen como masas almohadilladas, indicando que hicieron erupción bajo el agua.

Espilita: Roca volcánica equivalente al basalto pero con una composición más rica en sodio, siempre muy alterada por procesos hidrotermales o metamórficos. Está compuesta por clorita, calcita y óxidos, presentando frecuentemente una textura amigdalar. Su color es oscuro y los cuerpos de roca frecuentemente llevan estructura en almohadillas. Son rocas basálticas que hicieron erupción bajo el mar y sufrieron posterior alteración.

A.2. Rocas Metamórficas

Rocas formadas a partir de rocas pre-existentes por efecto del calor y/o la presión en la corteza de la Tierra, que han causado transformaciones mineralógicas y estructurales. Existen tres tipos de rocas metamórficas, derivadas de otros tantos tipos de metamorfismo. Las rocas de metamorfismo regional suelen tener una textura anisotrópica, con desarrollo de una estructura planar denominada foliación o esquistosidad. Las rocas de metamorfismo de contacto presentan esta misma estructura o, cuando el metamorfismo es intenso, una estructura isótropa masiva. Las rocas debidas a metamorfismo dinámico muestran una

estructura, orientada o no, en la que se distingue una matriz de material triturado y unos fragmentos derivados de la roca original. Los diferentes tipos de rocas se distinguen por su composición, su grado de metamorfismo y su facies. A continuación se da una breve descripción de las rocas metamórficas silíceas de interés para la producción de balasto.

Anfibolita: Roca compuesta fundamentalmente por anfíbol (normalmente hornblenda), con algo de feldespato tipo plagioclasa, varios minerales característicos del metamorfismo, como epidota o granate, en ocasiones cuarzo y minerales accesorios. Aunque se observa una foliación formada por orientación paralela de minerales puede tener un aspecto algo masivo. Es una roca dura y tenaz que suele tener un color verde oscuro.

Gneis: Roca que está compuesta esencialmente por cuarzo, feldespato y mica, muy abundante y presentando una estructura bandeada o lenticular muy característica, en la que alternan lechos claros ricos en minerales como el cuarzo y el feldespato, y lechos oscuros formados normalmente por micas (biotita y moscovita) y a veces incluyendo granate, anfíbol y piroxeno. Cuando se ha formado a partir de metamorfismo de rocas ígneas recibe el nombre de ortogneis mientras que si provienen del metamorfismo de rocas sedimentarias se denomina paragneis.

Granulita: Roca de alto grado de metamorfismo de grano fino compuesta por cuarzo, feldespato, piroxeno (hiperstenas) y granate, con una foliación planar muy marcada.

Corneana: Roca normalmente masiva y muy dura, que resulta de la acción térmica sobre la roca circundante de un cuerpo de magma caliente que se emplaza en profundidad. Aparece por ello formando aureolas más o menos anchas en el borde de un cuerpo grande de roca plutónica, normalmente granitos, granodioritas o gabros. Está formada con cristales muy pequeños, de minerales bien equidimensionales, formando un agregado granular, bien de forma planar, estando entonces dispuestos al azar, sin orientación preferente. En ocasiones es visible una estructura nodular, formada por agregados de minerales especiales de metamorfismo (cordierita y andalucita).

Cuarcita: Roca compuesta casi totalmente por granos de cuarzo recristalizados, formada a partir de rocas sedimentarias detríticas ricas en cuarzo (ortocuarcitas y arenitas cuarcíticas). Conserva estructuras sedimentarias y forma unidades estratificadas.

Serpentinita: Roca oscura, de tonos verdosos, muy densa, formada a partir de peridotita mediante un proceso de hidratación y alteración. Compuesta principalmente por mineral del grupo de la serpentina, clorita y restos de cristales de olivino y piroxeno no transformados.

Cataclasita: Roca cohesiva formada por cizallamiento, fragmentación y conminución de los materiales rocosos dentro de una zona de falla. La deformación se ha realizado por rotura frágil y en la roca se observan fragmentos de roca y minerales englobados en una matriz triturada de grano muy fino en la que no se observa foliación.

Milonita: Roca metamórfica cohesiva producida por el cizallamiento y la fragmentación de materiales dentro de una zona de falla. Los fragmentos de minerales y roca, denominados porfiroclastos, están englobados en una matriz de material triturado, de grano muy fino y con una foliación bien definida.

A.3. Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias se producen por litificación de sedimentos de origen diverso:

En las rocas detríticas, el sedimento puede provenir de la acumulación de material detrítico, tipo grava, arena o arcilla, procedente de la erosión de rocas preexistentes de áreas emergidas más o menos alejadas.

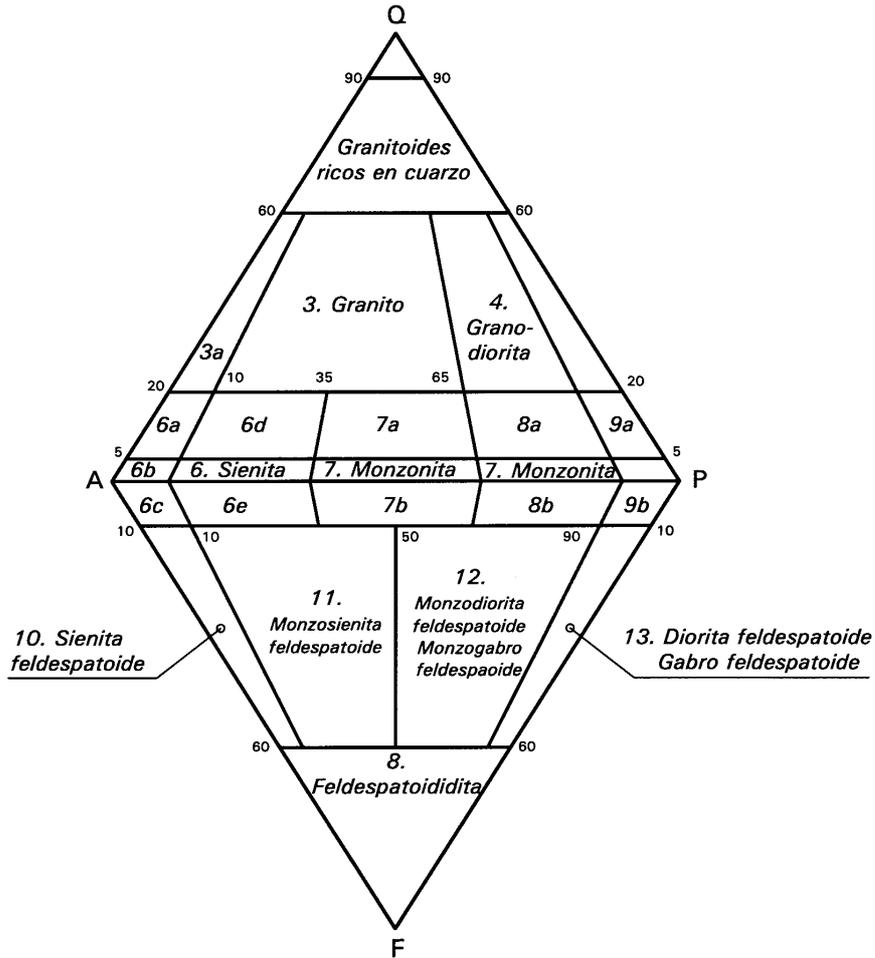
Las rocas no detríticas se forman a partir de material acumulado por la acción de los seres vivos (rocas de origen orgánico o biológico) o por precipitación química de soluciones bajo ciertas circunstancias climáticas o del medio (rocas evaporíticas). Para la producción de balasto únicamente se utiliza un tipo de roca detrítica consolidada de composición silícea, la cuarcita.

Cuarcita: Roca formada por granos clásticos de cuarzo de tamaño arena (entre 2 mm y 0,0625 mm) cementados con sílice depositada en los huecos entre granos. Los clastos son prácticamente en su

NAV 3-4-0.1

totalidad de cuarzo con sólo algunos minerales pesados (turmalina, circón, ...) como accesorios. Petrográficamente se denomina "Cuarzo-arenita".

- A.1. Clasificación científica detallada de las rocas
- A.1.1. Diagramas de clasificación de las rocas ígneas
- A.1.1.1. Rocas plutónicas



3.a. GRANITO DE FELDESPATO ALCALINO

7b. MONZONITA CON FELDESPATOIDE

6a. SIENITA CON CUARZO Y FELDESPATO ALCALINO

8a. MONZODIORITA CUÁRCICA MONZOGABRO CUÁRCICO

6b. SIENITA CON CUARZO

8b. MONZODIORITA CON FELDESPATOIDE O MONZOGABRO CON FELDESPATOIDE

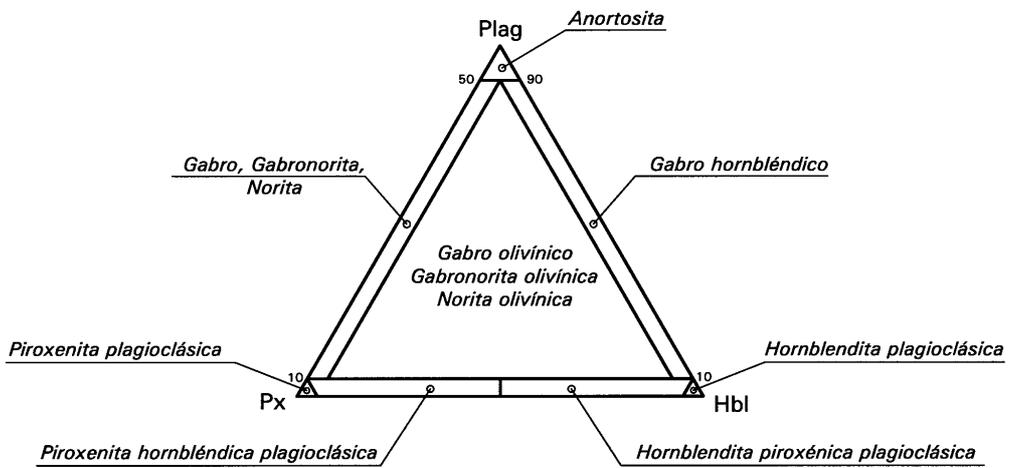
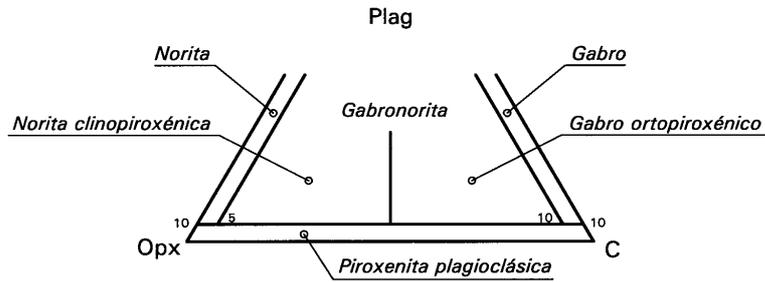
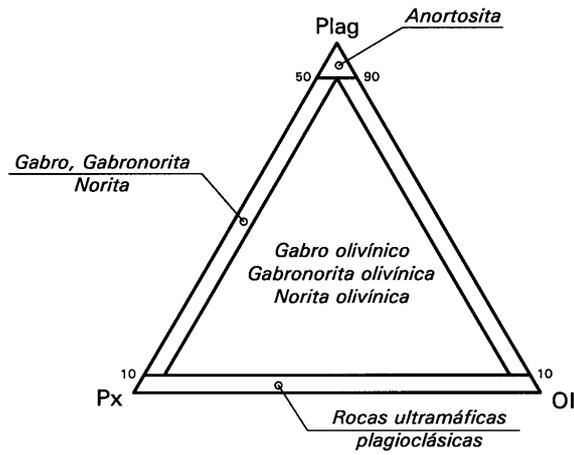
6c. SIENITA CON FELDESPATOIDE

9a. DIORITA CUÁRCICA. GABRO CUÁRCICO. ANORTOSITA CUÁRCICA

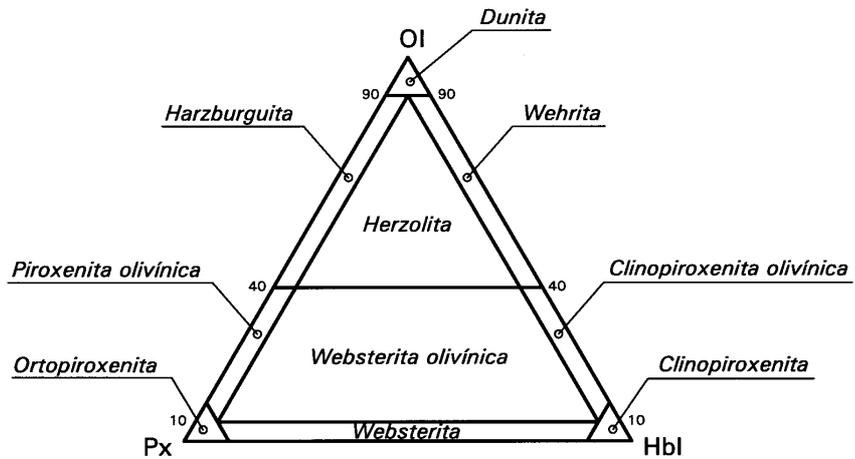
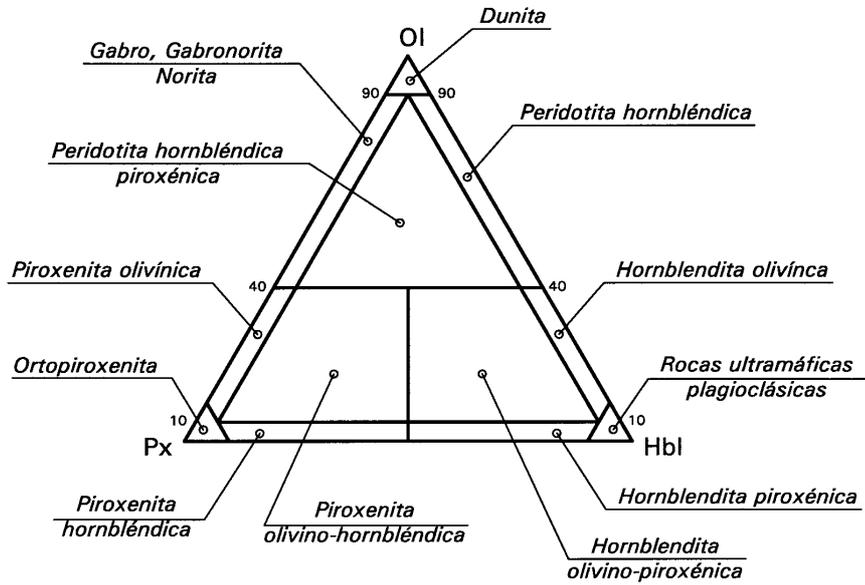
7a. MONZONITA CUÁRCICA

9b. DIORITA CON FELDESPATOIDE. GABRO CON FELDESPATOIDE. ANORTOSITA CON FELDESPATOIDE

DETALLE DEL CAMPO 9 (DIORITA, GABRO & ANORTOSITA)

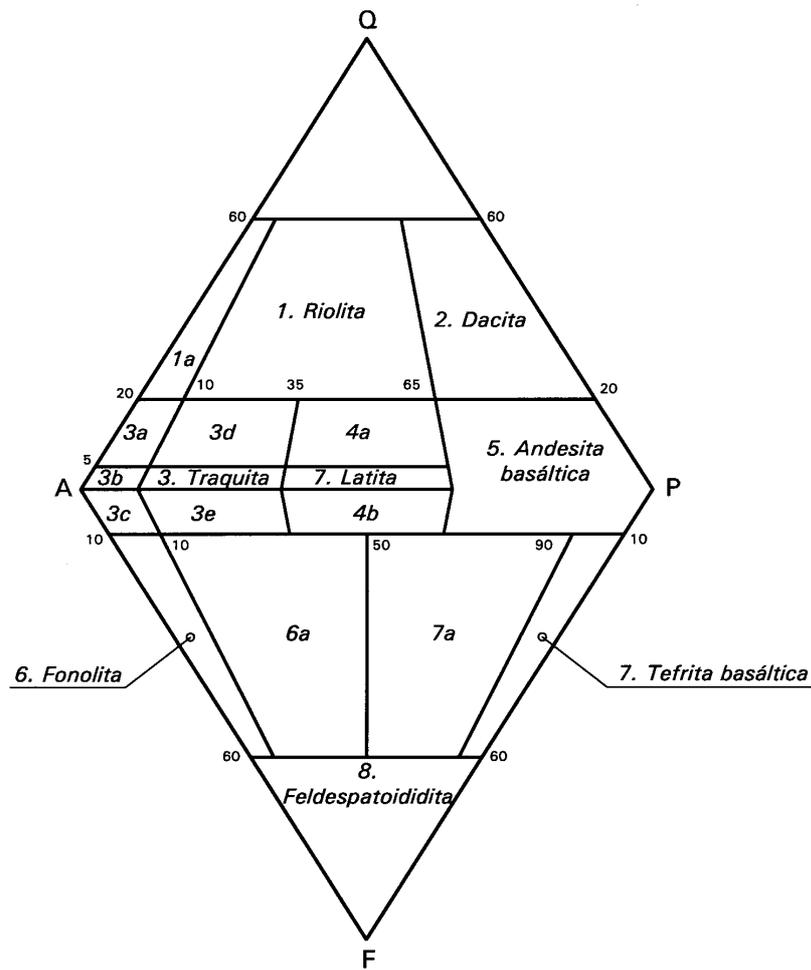


DETALLE DEL CAMPO 9 (DIORITA, GABRO & ANORTOSITA)



- A= FELDESPATO ALCALINO (Feldespato potásico y Albita, AnO a An5)
- CPX= CLINOPIROXENO
- F= FELDESPATOIDES
- HBL= HORNBLENDA
- OL= OLIVINO
- OPX= ORTOPIROXENO
- P= PLAGIOCLASA (An5 a An100 y Escapolita)
- PX= PIROXENO
- Q= CUARZO

A.1.1.2. Rocas volcánicas



1A. RIOLITA CON FELDESPATO ALCALINO

3A.TRAQUITA CON CUARZO Y FELDESPATO ALCALINO

3B.TRAQUITA CON FELDESPATO ALCALINO

3C. TRAQUITA CON FELDESPATO ALCALINO Y FELDESPATOIDE

3D.TRAQUITA CUARCICA

3E.TRAQUITA CON FELDESPATOIDE

4A.CUARZO - LATITA

4B.LATITA CON FELDESPATOIDE

6A.FONOLITA TEFRÍTICA

7B.BASANITA FONOLÍTICA. TEFRITA FONOLÍTICA

A= FELDESPATO ALCALINO (FELDESPATO POTÁSICO, ALBITA).

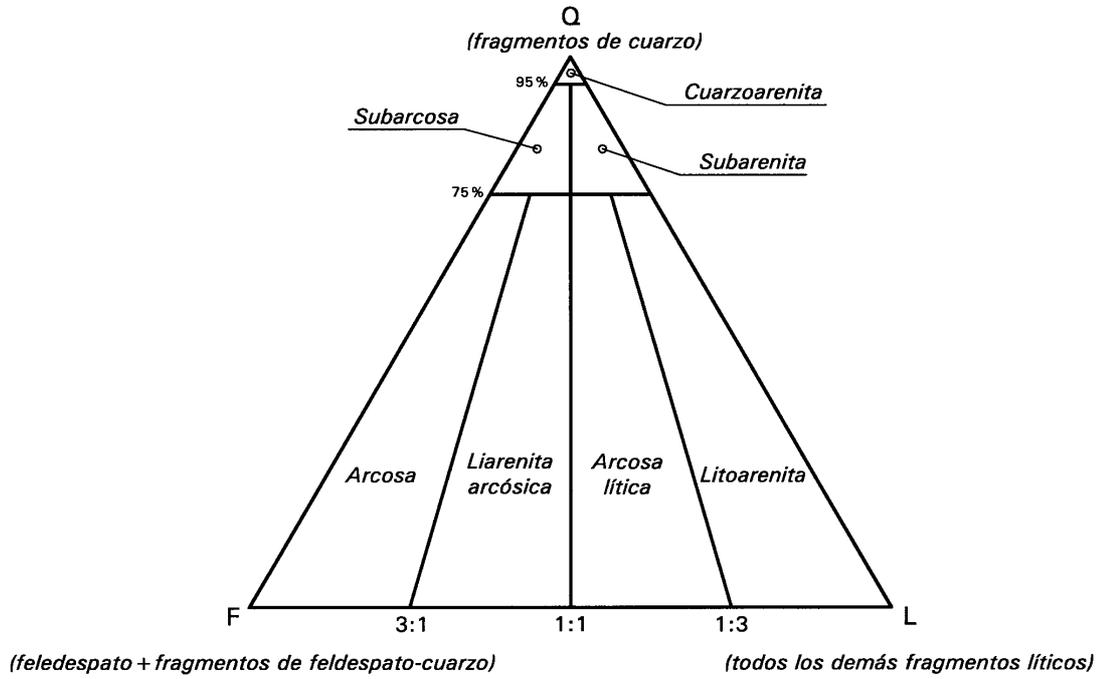
Q= CUARZO

P= PLAGIOCLASA

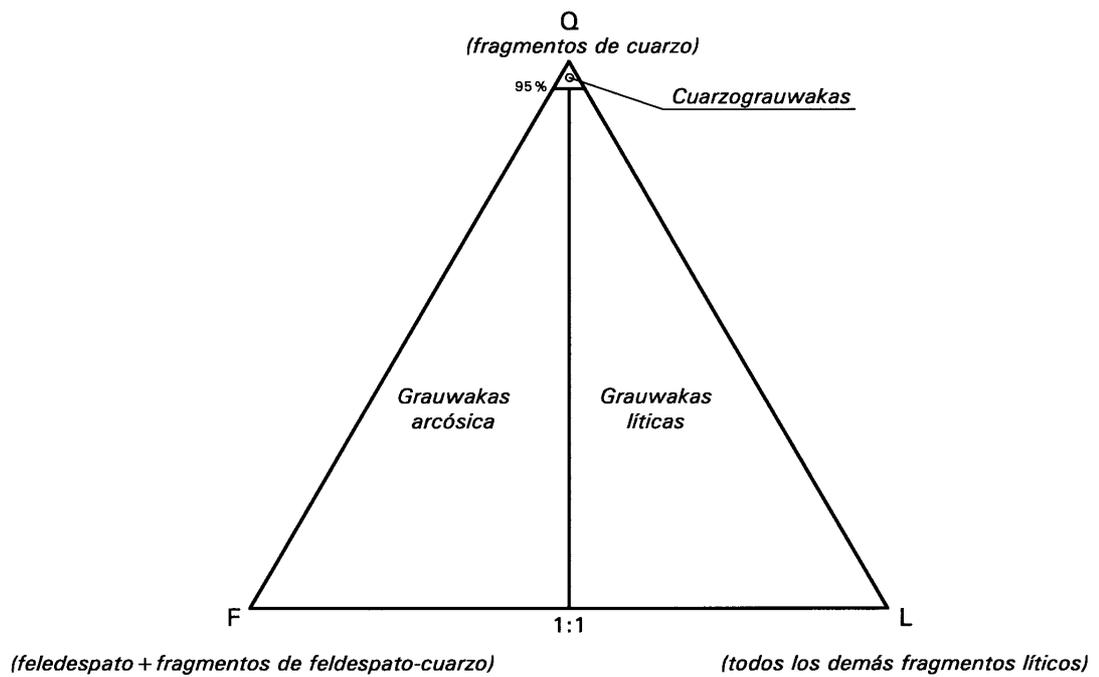
F= FELDESPATOIDE

A.4.2. Rocas Sedimentarias

A.4.2.1. Clasificación de areniscas, según Folk



A.4.2.2. Clasificación de grauwackas. según Folk



Bibliografía complementaria para la descripción petrográfica:

ASTM C 295. Standard guide for petrographic examination of aggregate for concrete. (Edición 1990).

ASTM C 294. Standard descriptive nomenclature for constituents of natural mineral aggregates. (Edición 1986).

BS 812.Parte 104:1994. Procedure for qualitative and quantitative petrographic examination of aggregates.

DIN 52100-Part 2. Natural stone and mineral aggregates; petrographical methods; general and summary. (Edición 1990).

DS 405.1. Testing of sand, gravel and stone materials. Classification of natural aggregates.

NF P 18-557. Elements for identification of aggregates. (Edición 1990).

SN 670 720d. Sand and gravel, chippings and crushed stone for road surfaces. Requirement and quality. (Edición 1988).

UNI 8520 Parte 4. Aggregates for use in concretes. Petrographic examination (Edición 1984).

TP Min-StB Teil 1.2.1. Specification for test methods - Aggregates - Road construction Part 1.2.1: Petrographic nomenclature and quarries. Research Society for Roads and Transport, 1986.

FOUCAULT A., RAOULT J.F. (1988): Dictionary de Géologie - Masson - 3éme édition 352 p.

LE MAITRE (1989): A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the IUGS Subcommission on the systematics of igneous rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London.

EN 12407 "Test on natural stone – Petrographic description of natural stone".

ANEJO II. TABLAS

FASE	Situación geográfica	Cartografía geológica	Estudio petrográfico	Ensayos de laboratorio	Estudio geotécnico	Estudio de la planta de tratamiento	Plan de explotación	Análisis de viabilidad económica	Estudio de impacto ambiental
1ª) Trabajos Previos de Gabinete	Consulta de mapas topográficos y foto aérea.	Consulta mapas geológicos. Sensores remotos. Foto aérea.	Consulta de informes previos y de bibliografía geológica de la zona.	Análisis de informes y hojas de ensayos previos.	Análisis crítico de informes previos.	Recogida de planos y listas de maquinaria.	Recogida de antecedentes y planes de labores	Recogida de antecedentes y planes de labores.	Recogida de datos y mapas previos. Informes medioambientales de las CC.AA.
2ª) Trabajos de Campo	Reconocim. de accesos y estación de cargue	Cartografía de campo. Toma de datos geológicos. Sondeos. Geofísica	Toma de muestras de litologías y grados de alteración	Toma de muestras en, al menos, cuatro puntos	Toma de datos Diaclasas Montera Agua	Inspección de los frentes y la planta: Arranque Cargue Transporte Machaqueo Cribado Acopio			Polvo y ruido. Vegetación Paisaje. Fauna.
3ª) Trabajo de Laboratorio y Gabinete		Elaboración de mapas y cortes. Análisis de datos.	Estudio de láminas delgadas. Contajes de fases minerales. Difracción de rayos X.	Desgaste Compresión simple. Franklin. Absorción densidad. SO ₄ Mg	Análisis de estabilidad. Problemas de agua. Sectorización geotécnica.			Cálculo de reservas. Evaluación de costes. Ratios.	Análisis de datos. Propuesta de restauración.
4ª) Elaboración de memoria	Redacción de la memoria. Digitalización de planos y figuras. Elaboración de Anejos.								

Tabla 3.0 Esquema de las diferentes fases de la investigación a realizar.

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA D EN MM	MASA MÍNIMA DE MUESTRA Q EN kg
63	50
31,5	25
16	8
8	2
<4	0,5

Tabla 3.3.4 Relación entre el tamaño máximo de partícula D y el tamaño mínimo de muestra Q.

TAMAÑO DE TAMIZ UNE		MASAS DE LA MUESTRA PARA ENSAYO (G)
Pasa	Retiene	
50,0 mm	40,0 mm	5.000 +/- 50
40,0 mm	31,5 mm	5.000 +/- 50
Totales		10.000 +/- 100

Tabla 3.5.5.2 Masas de muestra para ensayo de fragmentación según tamices UNE.

Desviación de la generatriz respecto a la dirección axial (tolerancia de paralelismo)	$\pm 0,25$ mm
Tolerancia de planitud de la base	$\pm 0,02$ mm
Desviación respecto a la perpendicular del ángulo entre la base y el eje de la probeta del ángulo recto	$\pm 10'$

Tabla 3.6.2.6 Tolerancia de la elaboración de probetas de rocas para el ensayo de compresión simple. Rocas empleadas para balasto (Poca deformabilidad).

DIMENSIÓN DE LAS PARTÍCULAS	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA
Fracción 50 – 63mm.	300 g
Fracción 40 – 50mm.	150 g

Tabla 3.7.3.4 Masa mínima de las muestras para el ensayo de densidad y absorción de agua por el método de pesada hidrostática.

Longitud de la criba (m)	< 3 m	3,5 < 5 m	5'5 < 7,5m
Espesor de la capa (dm)	1,5 a 2	2 a 2,5	2,5 a 3

Tabla 4.1.5.2 Espesor de capa en función de las luces de malla.

Luz de malla (mm)	0,8 - 2,3	3,15 – 45	50 – 125	> 150
Inclinación	24°	19°	19°	15°

Tabla 4.1.5.4 Inclinaciones de las cribas en función de las luces de malla.

Anchos de cribas (mm)	Cribas horizontales (T/h)	Cribas primarias (T/h)	Cribas secundarias (T/h)
900	135	180	110
1.200	225	315	225
1.500	450	450	315
1.800	585	585	425
2.100		720	540
2.400		855	675

Tabla 4.1.5.5 Producciones en T/h según ancho y tipos de cribas.

Luz Malla (mm)	Ampli-tud	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450
5						1.8	2.01	2.23	2.46	2.7	2.95	3.21	3.21	3.77	4.07	4.37	4.69
8				1.78		2.26	2.51	2.79	3.07	3.37	3.69	4.02	4.02	4.71	5.08	5.47	5.87
12			1.00	2.14	2.42	2.71	3.02	3.35	3.7	4.05	4.43	4.82	4.82	5.66	6.1	6.58	7.04
25	3.5	1.91	2.10	2.65	2.82	3.16	3.52	3.9	4.3	4.72	5.16	5.82	5.82	6.00			
36		2.18	2.51	2.85	3.22	3.61	4.03	4.46	4.92	5.4	5.90	6.43	6.43				
50	4.5	2.46	2.82	3.21	3.63	4.07	4.53	5.02	5.54	6.08	6.64						
63	5	2.73	3.14	3.57	4.03	4.52	5.04	5.50	6.15	6.75							
71	5.5	3	3.45	.84	4.43	4.97	5.54	6.14	6.77								
90	6	3.28	3.70	4.28	4.84	5.42	6.04	6.7									
100	6.5	3.55	4.06	4.64	5.24	5.87	6.55										
120	7	3.82	4.4	5	5.64	6.33											
150	7.5	4.1	4.71	5.36	7.05												
180	8	4.37	5.02	5.71	6.45												

Tabla 4.1.5.6 Cifra característica o número de aceleraciones en función de la amplitud, frecuencia y luces de mallas.

ANEJO III. FIGURAS

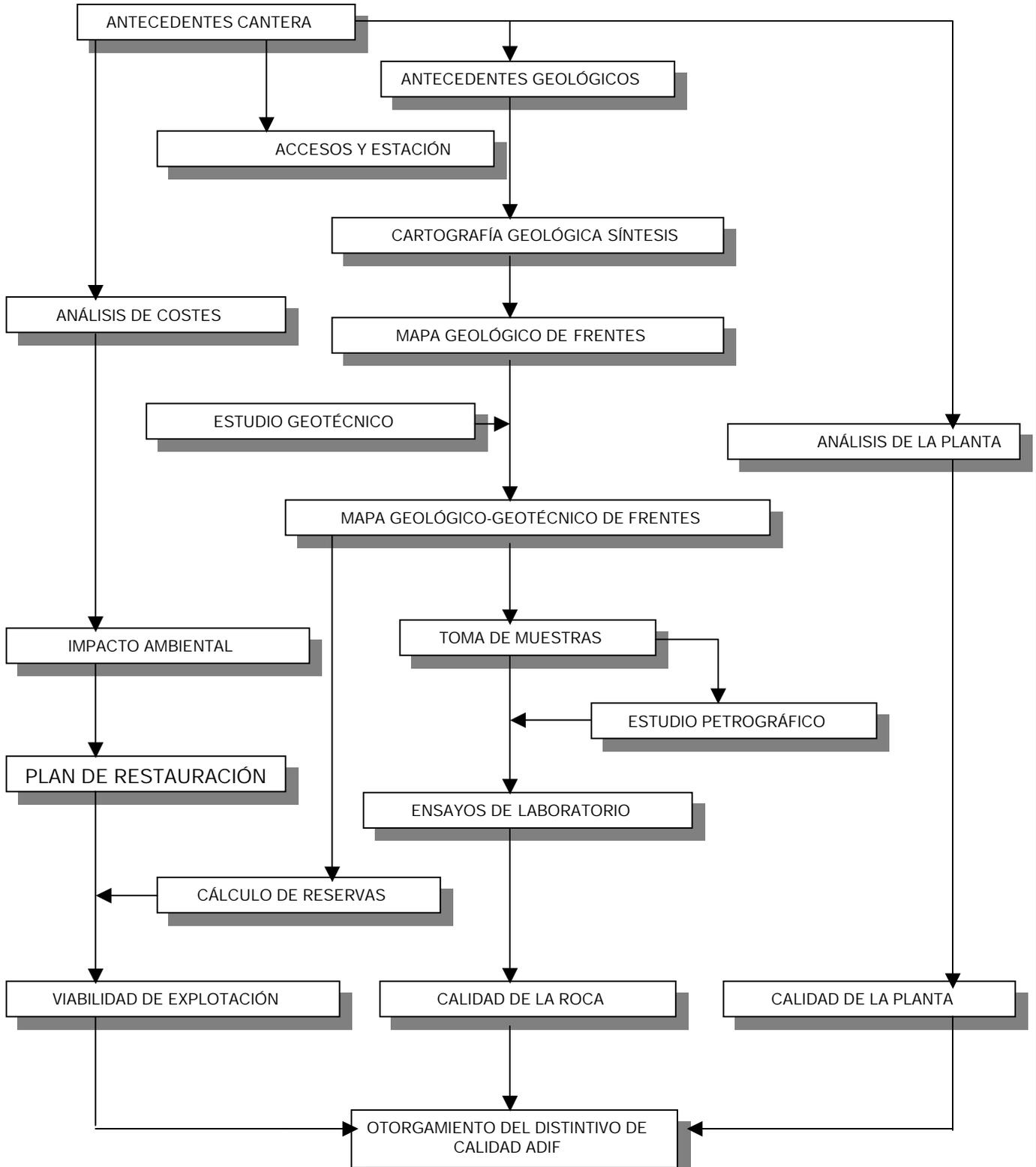


Fig. 3.0 Diagrama de flujo del trabajo para el otorgamiento del Distintivo de Calidad Adif.

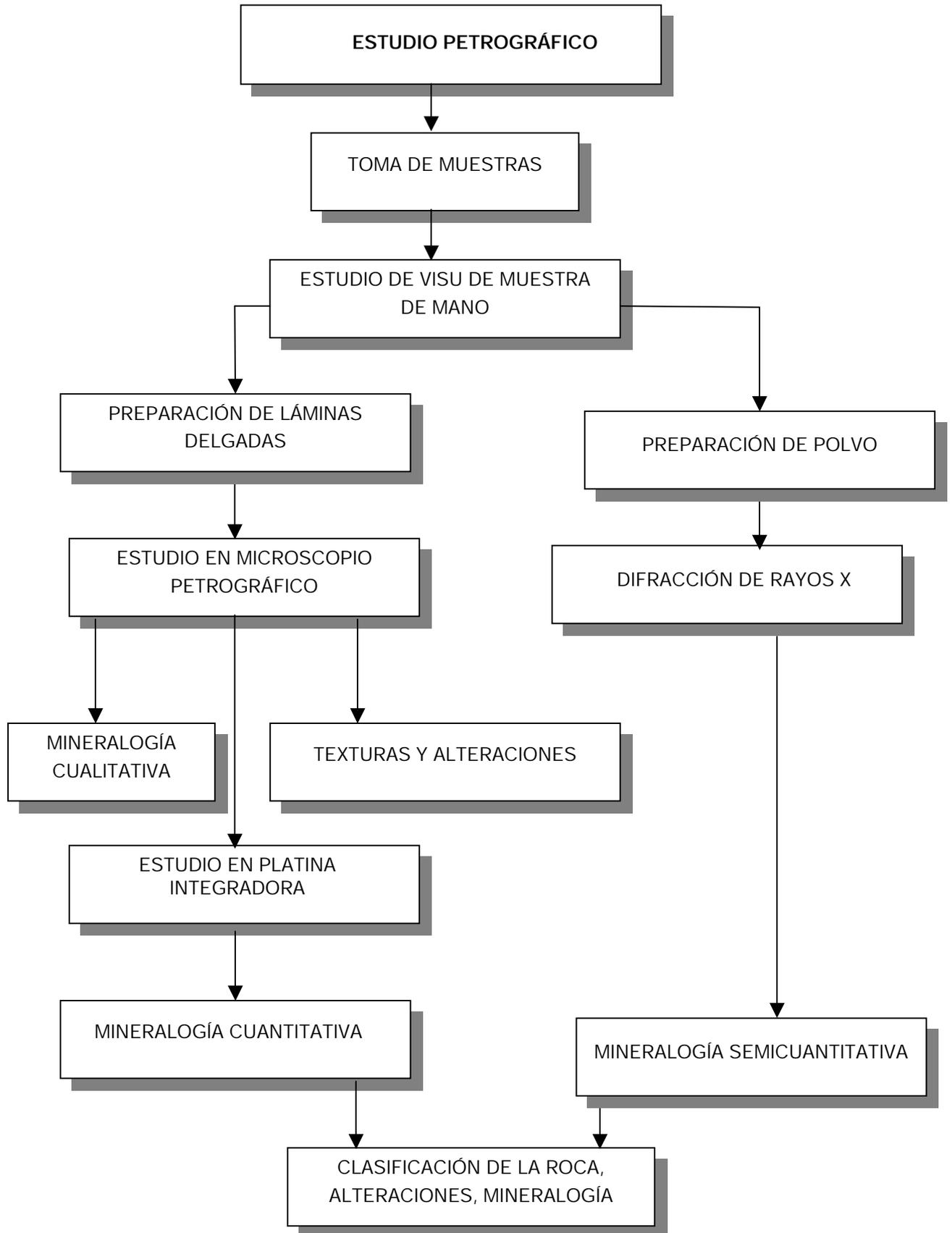
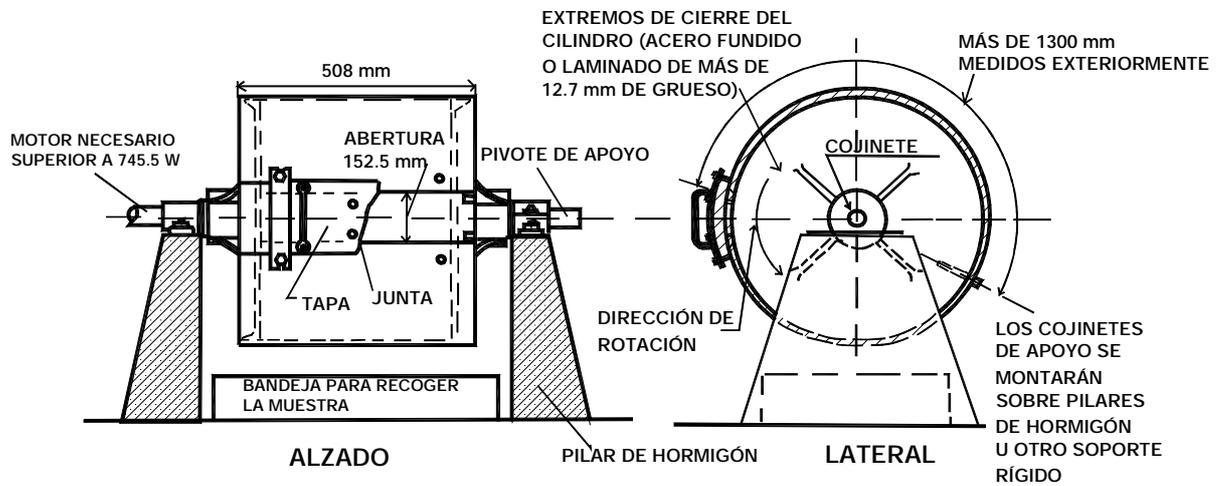
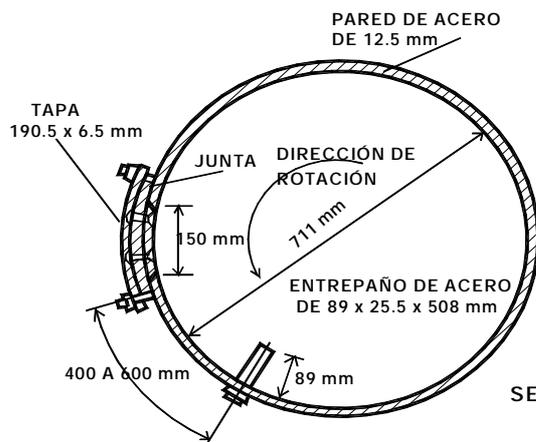


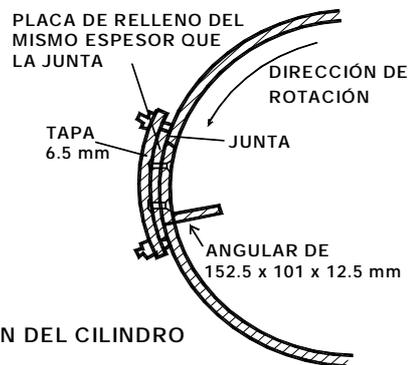
Fig. 3.3.2 Organización del estudio petrográfico.



a) VISTAS DE CONJUNTO



b) DISPOSICIÓN MÁS CONVENIENTE



c) DISPOSICIÓN DEL ENTREPAÑO EN LA TAPA

Fig. 3.5.4 Máquina de "Los Ángeles".

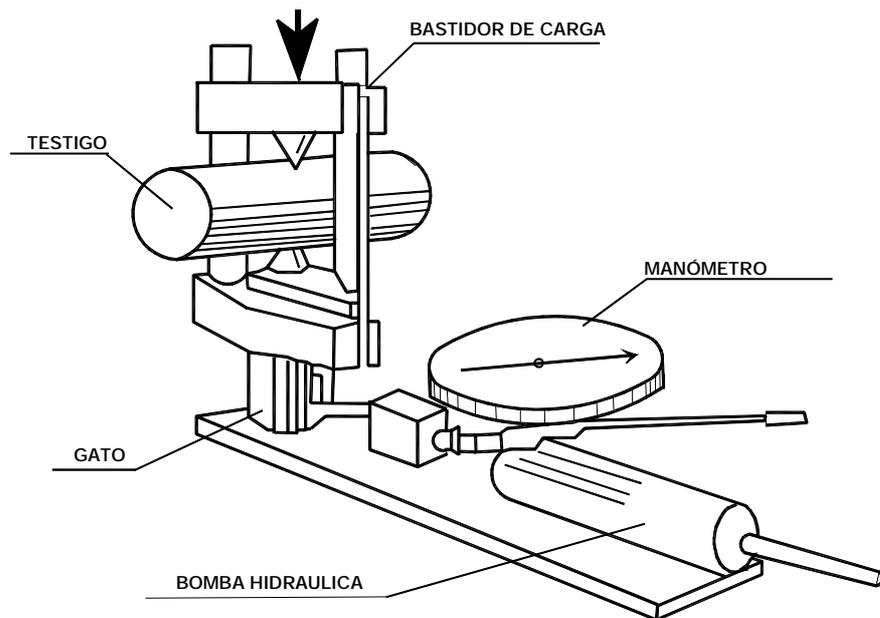


Fig. 3.6.1.3.a Esquema general del dispositivo para el ensayo de carga puntual Franklin.

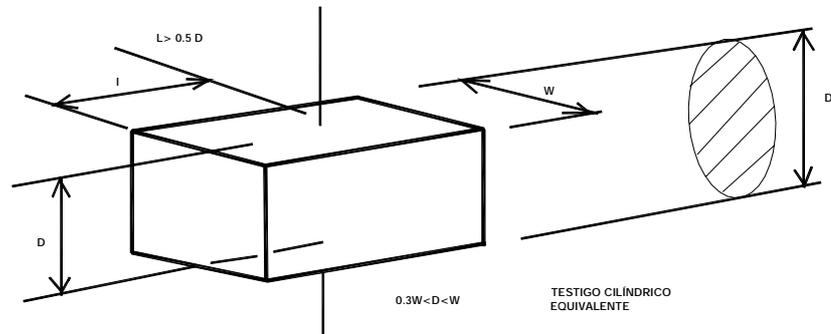


Fig. 3.6.1.1 Especificaciones exigidas a la forma de las muestras para el ensayo de Carga Puntual con elementos irregulares.

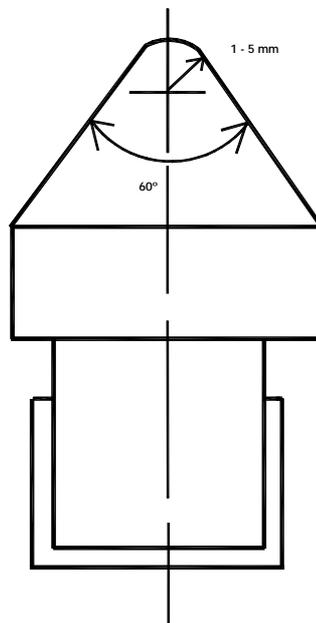


Fig. 3.6.1.3.b Forma y dimensiones de las bases de aplicación de la carga. Ensayo de Carga Puntual Franklin.

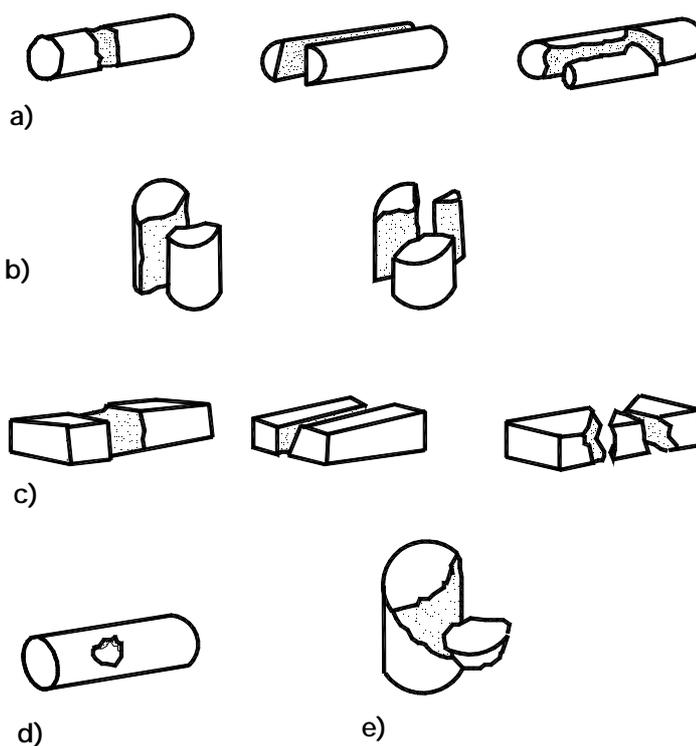


Fig. 3.6.1.5 Formas típicas de fallo para ensayos válidos y no válidos. a) Ensayos diametrales válidos. b) Ensayos de bloques válidos. c) Ensayos Axiales válidos. d) Ensayos de testigo no válidos. e) Ensayo axial no válido.

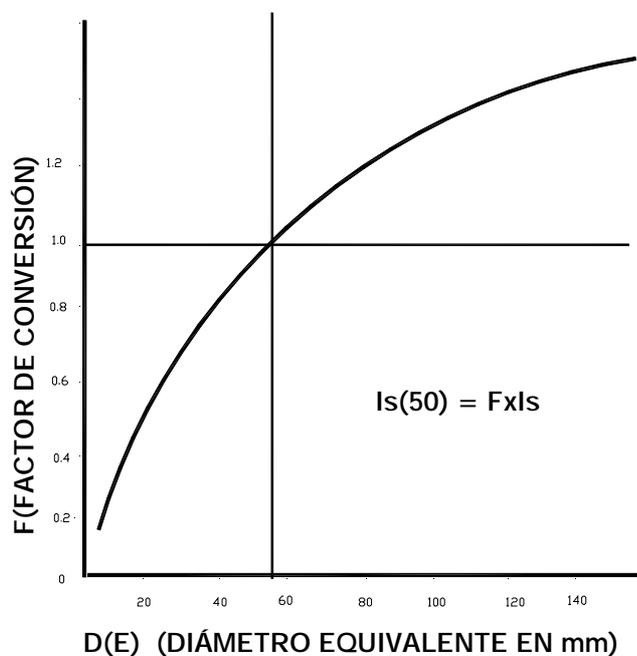


Fig. 3.6.1.6.a Gráfico para obtener el factor de corrección de tamaño. Ensayo de Carga Puntual Franklin.

Datos de la muestra		Ensayo de carga puntual					Fecha 17/11/83			
Nº	Tipo	W(mm)	D(mm)	P(KN)	De2(mm2)	D _e (mm)	Is	F	Is(50)	
1	l	30.4	17.2	2.687	666	25.8	4.03	0.75	3.03	
2	l	16	8	0.977	163	12.8	5.99	0.54	3.74	
3	l	10.7	15.6	1.962	321	19.8	5.02	0.66	3.31	
4	l	35.8	18.1	3.641	875	28.7	4.41	0.765	3.40	
5	l	42.5	29	6.119	1569	39.6	3.90	0.875	3.49	
6	l	42	35	7.391	1872	43.3	3.95	0.935	3.69	
7	b l	44	1	4.600	1176	34.3	3.91	0.84	3.29	
8	b l	40	30	5.940	1578	39.1	3.88	0.89	3.46	
9	b l	10.5	15	2.040	372	19.3	5.48	0.655	3.59	
10	b l	33	16	2.87	672	25.9	4.27	0.75	3.20	
11	d/	-	49.93	5.107	-	-	-	-	2.05	
12	d/	-	49.88	4.615	-	-	-	-	1.85	
13	d/	-	49.82	5.607	-	-	-	-	1.55	
14	d/	-	49.82	4.109	-	-	-	-	1.67	
15	d/	-	49.86	4.546	-	-	-	-	1.83	
16	d/	-	25.23	1.837	-	-	2.89	0.74	2.14	
17	d/	-	25.00	1.891	-	-	3.02	0.735	2.22	
18	d/	-	25.07	2.118	-	-	3.37	0.735	2.48	
19	d/	-	25.07	1.432	-	-	2.32	0.735	1.70	
20	d/	-	25.04	1.340	-	-	2.46	0.735	1.31	

d= diametral

b= bloque

f= fragmentos

l = perpendicularidad

l= paralelo plano de debilidad

Valor medio (l)	3.38
Valor medio (l)	1.98

Fig. 3.6.1.6.b Forma de recoger los resultados del ensayo de Carga.Puntual Franklin realizado sobre 20 probetas distintas.

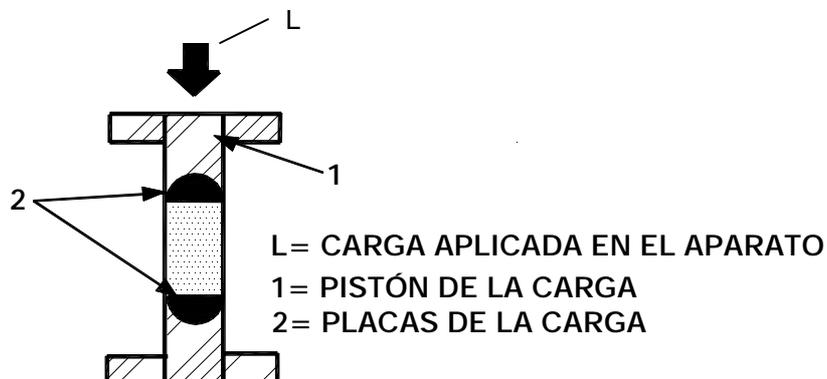


Fig. 3.6.2.6 Dispositivo de carga. Ensayo de Compresión Simple.

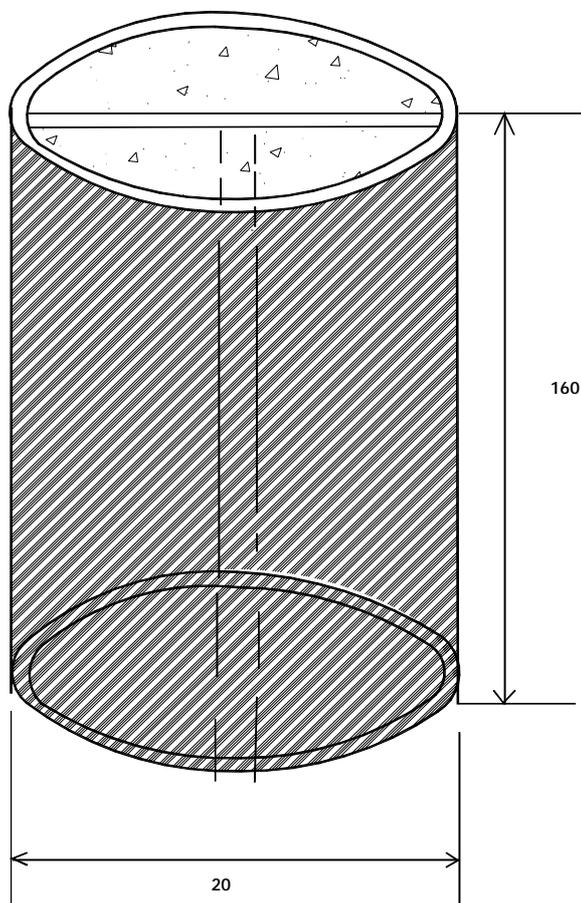


Fig. 3.7.4.3 Ejemplo de cesto para contener la muestra sumergida en el ensayo de sulfato de magnesio.

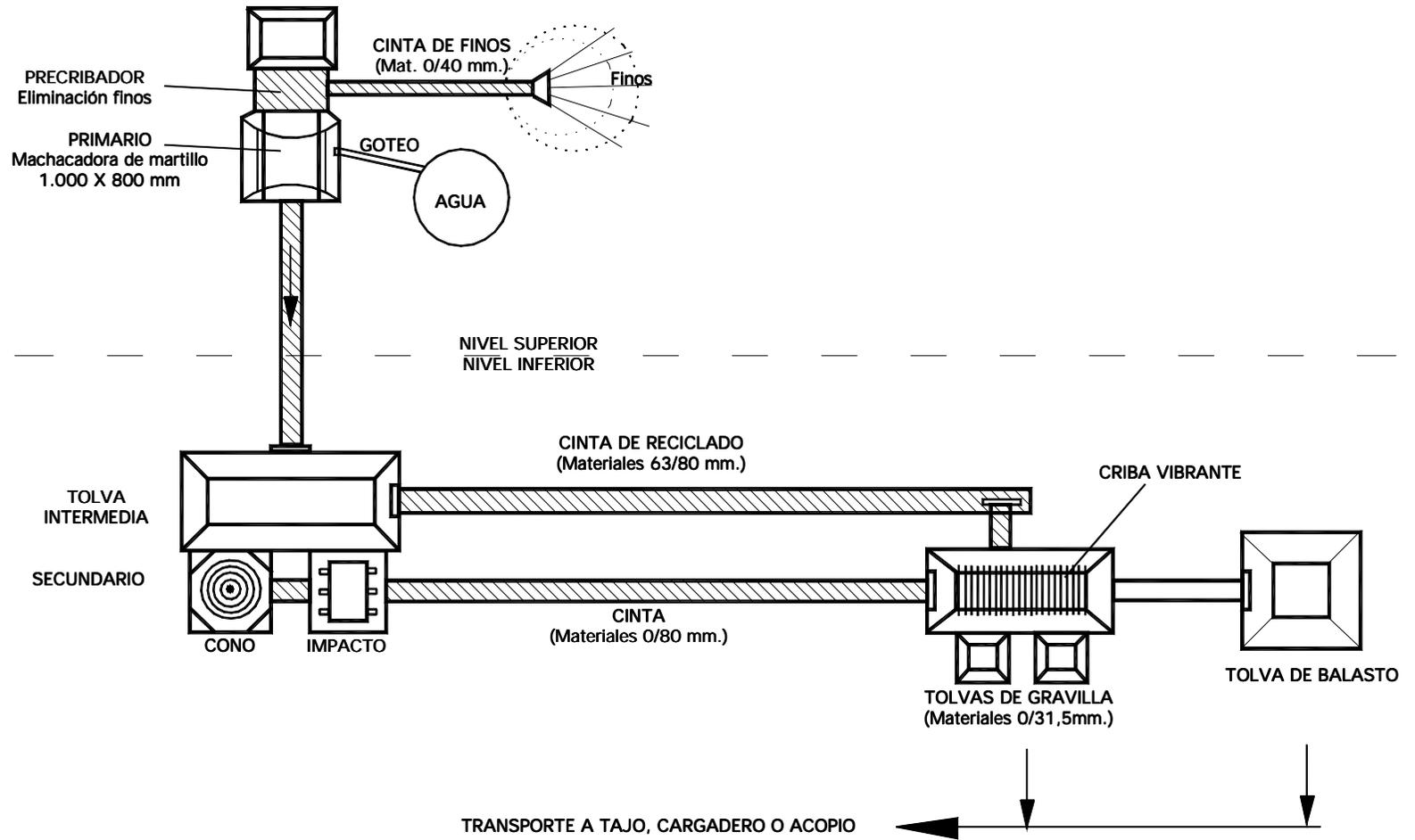


Fig. 4.1.1 Esquema tipo de funcionamiento de una cantera de balasto.



Fig. 4.1.2.2.a Alimentador de vaivén.



Fig. 4.1.2.2.b Alimentador vibrante.

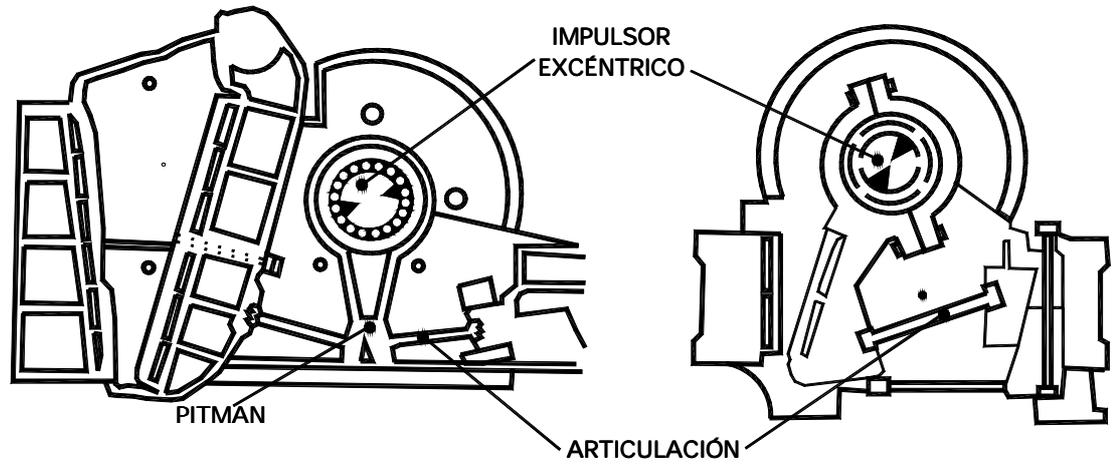


Fig. 4.1.2.3.a Mecanismos de articulación simple y doble para machacadoras de mandíbulas.

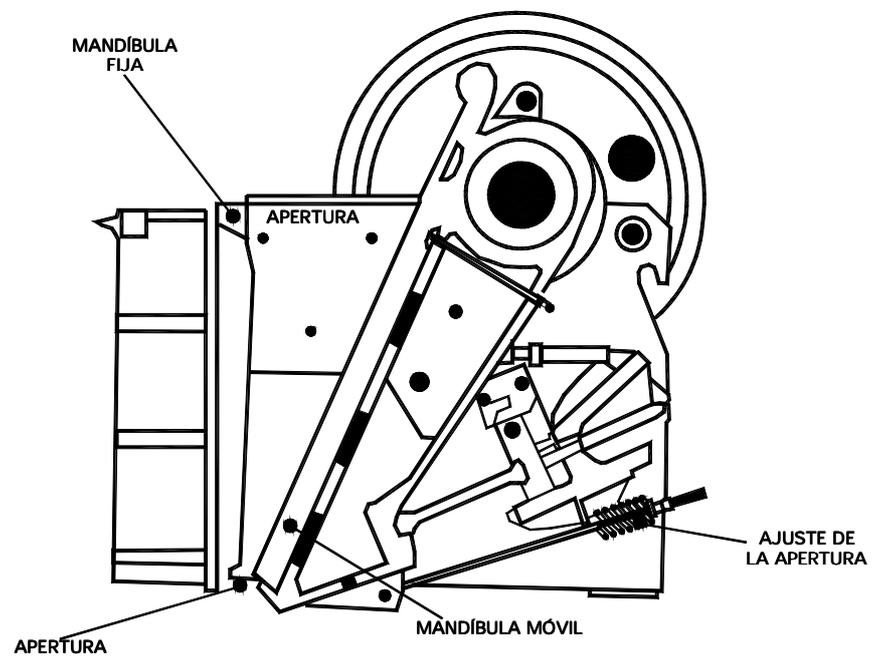


Fig. 4.1.2.3.b Sección de una machacadora de mandíbula de articulación simple.



Fig. 4.1.3 Stock de pretriturados cubierto.

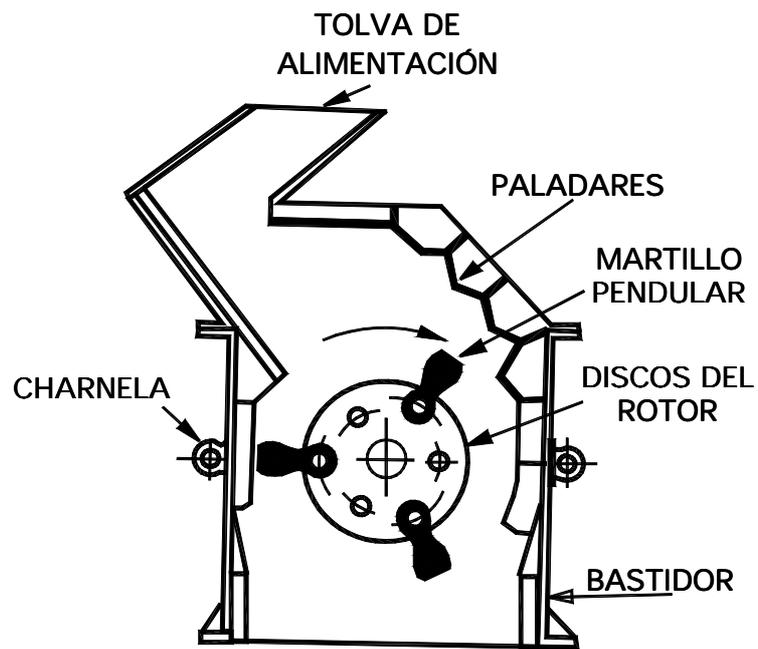


Fig. 4.1.4.2.a Molino impactor.

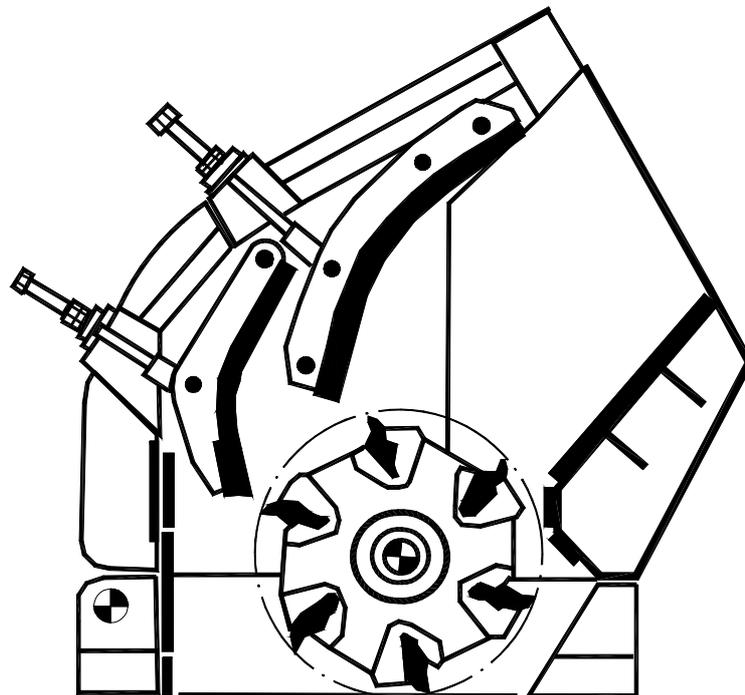


Fig. 4.1.4.2.b Impactor de barras fijas.

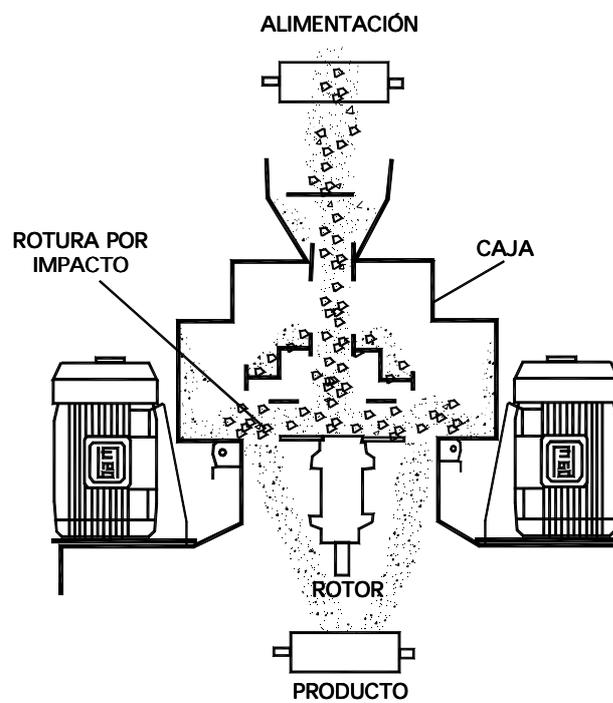


Fig. 4.1.4.3 Impactor de eje vertical.

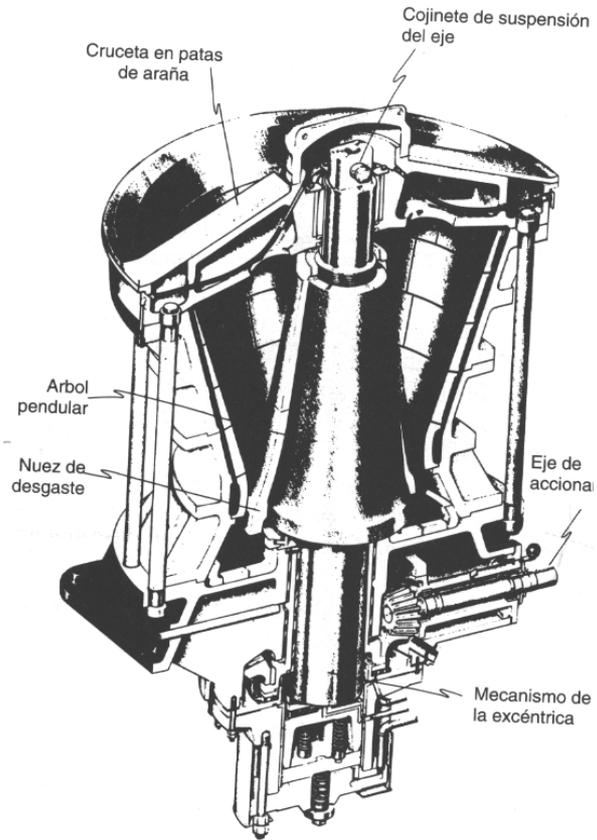


Fig. 4.1.4.4.a Sección de trituradora giratoria.

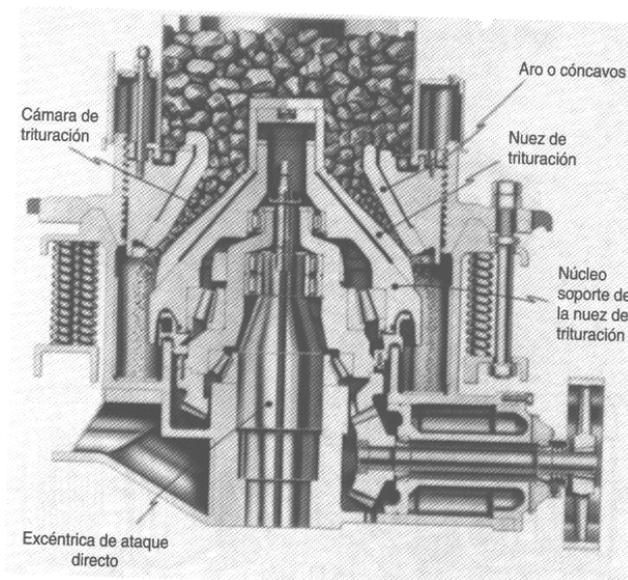


Fig. 4.1.4.4.b Trituradora de cono.

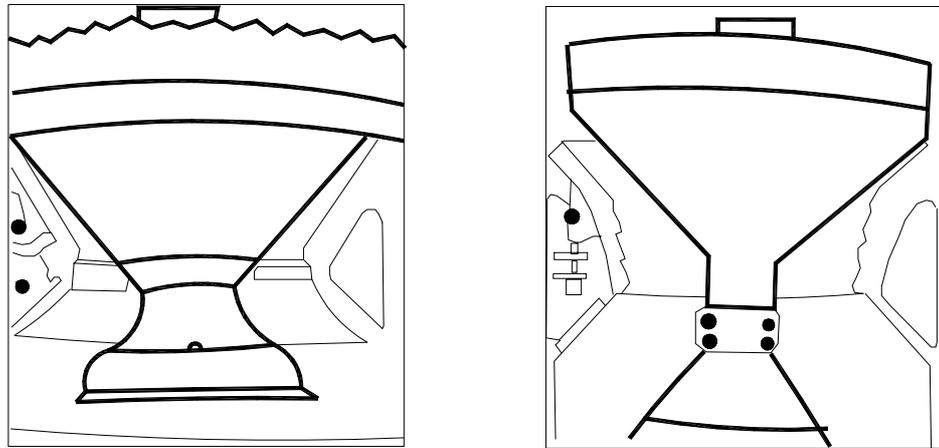


Fig. 4.1.4.4.c Comparación entre una machacadora de conos normal(izquierda) y de cabeza corta (derecha).



a)



b)

Fig. 4.1.5.1.a (a) Criba múltiple. (b) Criba en funcionamiento.

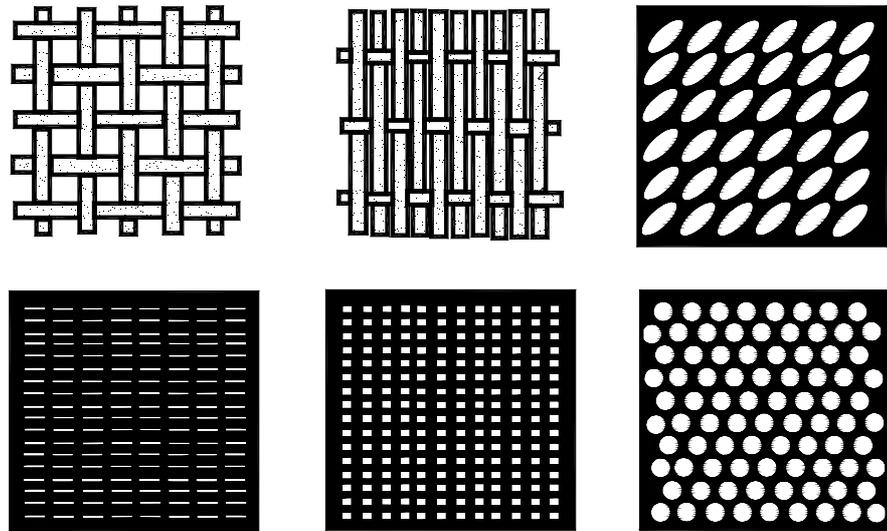


Fig. 4.1.5.7 Superficies de cribado. Fila superior: alambre trenzado (cuadrados), alambre trenzado (ranuras), placa perforada (ranuras). Fila inferior: polímero moldeado, malla de goma perforada, placa perforada.



Fig. 4.1.6 Zona de cintas de transporte y silos de almacenamiento en una planta de machaqueo y clasificación.

ANEJO IV: Catálogo de canteras con Distintivo de Calidad Adif para el suministro de balasto

(FECHA DE REVISIÓN: 1 DE ENERO DE 2.007)

DELEGACIÓN TERRITORIAL ESTE

CENTRO DE PRODUCCIÓN O CANTERA	Tip	ESTACIÓN DE CARGUE	TIPO DE ROCA	SUMIN.
ALPEDROCHES ⁽¹⁾	1	SIGÜENZA / TORRALBA	ANDESITA	SI
ARNÓ	1	TAMARITE DE LITERA	OFITA	SI
IVONNE	1	MONCADA	GRANITO	SI
LA ALFORJA	1	BORJAS DEL CAMPO	CORNEANA	SI
MAGAN	1	BREDA / CALDAS DE MALABELLA	GRANITO	NO
PILAR	1	FLAÇA	CORNEANA	NO
PUIG MARI	1	TARRAGONA CLASIFICACIÓN	GRANITO / CORN.	NO

DELEGACIÓN TERRITORIAL NORTE

CENTRO DE PRODUCCIÓN O CANTERA	Tip	ESTACIÓN DE CARGUE	TIPO DE ROCA	SUMIN.
ALDEAVIEJA ⁽²⁾	1	SANCHIDRIÁN	CORNEANA	SI
BÓVEDA DE LA RIVERA	1	BRIVIESCA	OFITA	SI
BUENAVISTA	1	REINOSA / MATAPORQUERA	OFITA	SI
OFITA NAVARRA	1	ELZABURU	OFITA	NO
SALINILLAS	1	BRIVIESCA	OFITA	NO
SAN FELICES - SANTUTIS	1	SAN FELICES	OFITA	NO
HOYA DE LOS TORILES	1	-	CORNEANA	NO

DELEGACIÓN TERRITORIAL SUR

CENTRO DE PRODUCCIÓN O CANTERA	Tip	ESTACIÓN DE CARGUE	TIPO DE ROCA	SUMIN.
CERRO SILLADO	1	LA CALAHORRA-FERREIRA	ANFIBOLITA	SI
EL MANZANITO	1	CERRO ANDEVALO	DIABASA	NO
EL PARAMO	1	LOJA	OFITA	NO
EL VÉRTICE	1	EL HIGUERÓN - LA ALHOND.	GRANITO	SI
LA RIBERA	1	EL HIGUERÓN	TRAQUITA	SI
LAS ARENILLAS	1/2	LOS ROSALES	BASALTO	SI
LLANOS DEL PINO	2	LORA DEL RÍO	GRANITO	NO
OFICARSA	1	IZNALLOZ	OFITA	NO
UMBRIA JABATA	1	CALAÑAS	RIOLITA	SI

DELEGACIÓN TERRITORIAL LEVANTE

CENTRO DE PRODUCCIÓN O CANTERA	Tip	ESTACIÓN DE CARGUE	TIPO DE ROCA	SUMIN.
CABEZO NEGRO	1	CIEZA	OFITA	SI
PEÑAS ARAGONESAS	1	MONCOFAR	CUARCITA	SI
SANDRA	1	MORA DE RUBIELOS	OFITA	NO
SIERRA CARRASCOY	1	ALHAMA DE MURCIA / NONMUERDAS	OFITA	SI

DELEGACIÓN TERRITORIAL MADRID OESTE

CENTRO DE PRODUCCIÓN O CANTERA	Tip	ESTACIÓN DE CARGUE	TIPO DE ROCA	SUMIN.
CANTERAS DE AVILA	1	AVILA	CORNEANA	SI
EL ALJIBE ⁽³⁾	1	ALGODOR / TEMBLEQUE	MILONITA	SI
FRADE	1	NAVALMORAL DE LA MATA	GRANITO	SI
LA CURVA	1	CUATRO VIENTOS / LAS MATAS	GRANITO	SI
LAS HERRERÍAS	1	ALMAGRO	BASALTO	SI
MARINA	1	ALGODOR	MILONITA	NO
SAN CARLOS	1	JEREZ DE LOS CABALLEROS	GRANITO	SI
VILLALUENGO	1	CASAR DE CÁCERES	DIABASA	SI
NEGRO VILLAR	1	MONTIJO	DIABASA	NO

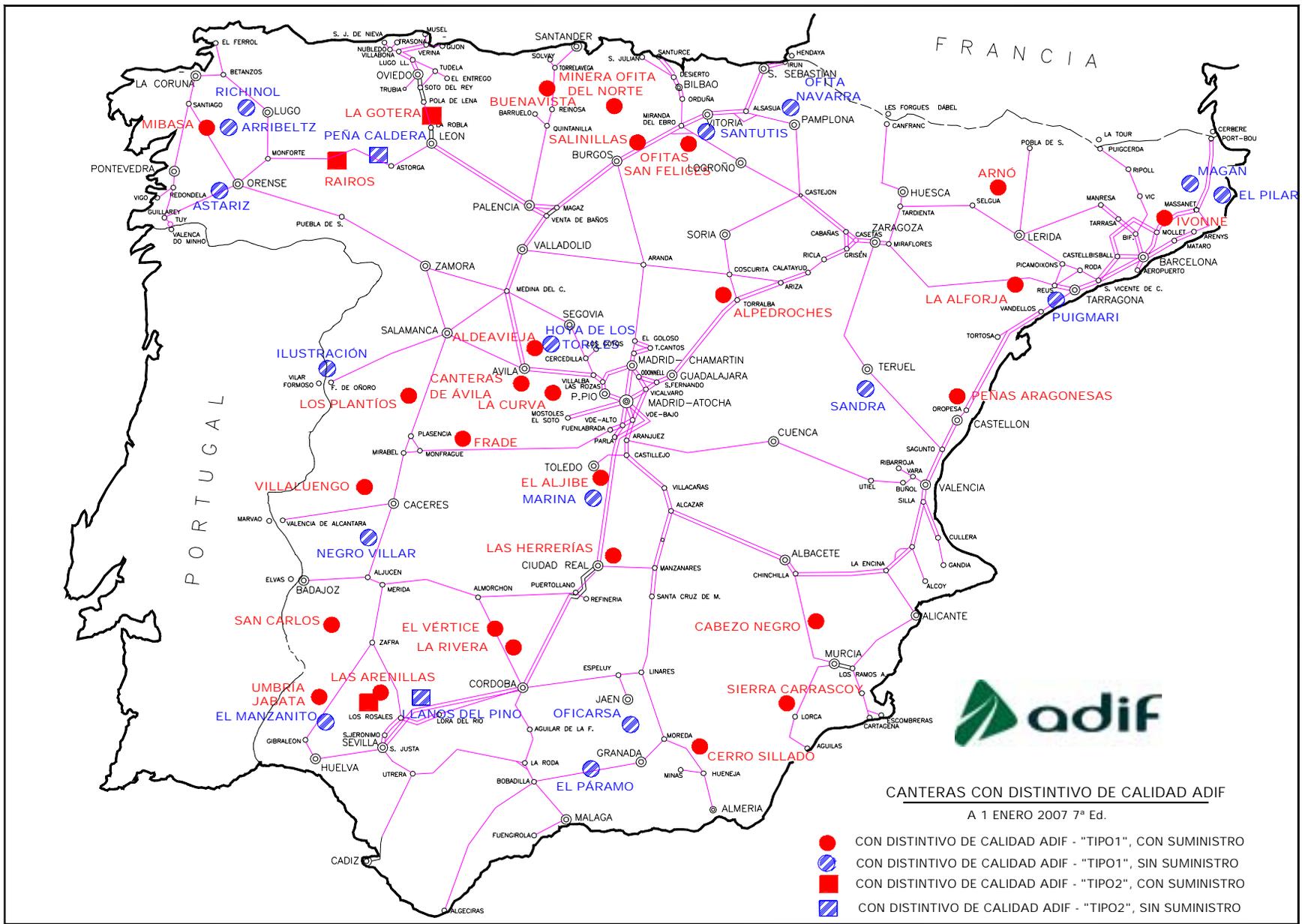
DELEGACIÓN TERRITORIAL NOROESTE

CENTRO DE PRODUCCIÓN O CANTERA	Tip	ESTACIÓN DE CARGUE	TIPO DE ROCA	SUMIN.
ARRIBELTZ	1	CURTIS	ANFIBOLITA	NO
ASTARIZ	1	SANTA CRUZ DE ARRABALDO	CORNEANA	NO
ILUSTRACIÓN	1	FUENTES DE OÑORO	CORNEANA	NO
LA GOTERA	2	CIÑERA	CUARCITA	SI
LOS PLANTIOS	1	GUIJUELO	CORNEANA	SI
MIBASA	1	BANDEIRA	SERPENTINITA	SI
PEÑA CALDERA	2	SAN MIGUEL DE LA DUEÑAS	CUARCITA	NO
RAIROS	2	SAN CLODIO-QUIROGA	CUARCITA	SI
RICHINOL	1	LALIN	ANFIBOLITA	NO

⁽¹⁾ La centro de producción o cantera Alpedroches suministra también a la Delegación Territorial Madrid-Oeste.

⁽²⁾ La centro de producción o cantera Aldeavieja suministra también a las Delegaciones Territoriales Madrid-Oeste y Noroeste.

⁽³⁾ La centro de producción o cantera El Aljibe suministra también a la Delegación Territorial Madrid-Oeste.



CANTERAS CON DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF
A 1 ENERO 2007 7ª Ed.

- CON DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF - "TIPO1", CON SUMINISTRO
- ◐ CON DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF - "TIPO1", SIN SUMINISTRO
- CON DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF - "TIPO2", CON SUMINISTRO
- ◐ CON DISTINTIVO DE CALIDAD ADIF - "TIPO2", SIN SUMINISTRO

CANTERAS.DWG



ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS