

**LIBRO:** **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

**PARTE:** **2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS**

**TÍTULO:** 02. Materiales para Concreto Hidráulico

**CAPÍTULO:** 037. Examen Petrográfico de los Agregados

**A. CONTENIDO**

Este Manual describe el procedimiento para realizar el examen petrográfico de muestras representativas de materiales propuestos para su empleo como agregados pétreos en mezclas de concreto hidráulico, a que se refieren las Normas N·CMT·2·02·002, *Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico* y N·CMT·4·06·001, *Calidad de Agregados para Carpetas de Concreto Hidráulico*, en muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·2·02·019, *Muestreo de Agregados Pétreos*.

**B. OBJETIVO DE LA PRUEBA**

Identificar los elementos minerales que constituyen una muestra de roca, de materiales pétreos gruesos o de materiales pétreos finos, para determinar sus características físicas y químicas, el grado de intemperismo y la cantidad de aquellos elementos que puedan tener efectos nocivos en el concreto hidráulico.

**C. REFERENCIAS**

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico .....	N·CMT·2·02·002
Calidad de Agregados para Carpetas de Concreto Hidráulico .....	N·CMT·4·06·001
Muestreo de Agregados Pétreos .....	M·MMP·2·02·019
Granulometría de los Agregados Pétreos .....	M·MMP·2·02·020

**D. PERSONAL, EQUIPO Y MATERIALES**

**D.1. PERSONAL**

El examen petrográfico que se realice será efectuado por un geólogo o ingeniero geólogo especializado en petrografía, con al menos 5 años de experiencia en el examen petrográfico de materiales pétreos para mezclas de concreto hidráulico, capaz de evaluar el efecto de los agregados en las propiedades físicas y químicas del concreto endurecido, identificar los minerales de partículas del agregado, clasificar los tipos de roca y categorizar sus propiedades físicas y químicas.

## D.2. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución del examen petrográfico estará en condiciones de operación, limpio, completo en todas sus partes y calibrado, garantizando la eficiencia de la prueba. Todos los materiales por emplear serán de calidad, considerando siempre su fecha de caducidad.

El equipo y materiales para la realización del análisis petrográfico pueden variar dependiendo del alcance del estudio, sin embargo, lo mínimo recomendable es lo siguiente:

### D.2.1. Microscopio estereoscópico

Con objetivos y oculares para proporcionar ampliaciones desde 6x hasta 150x y lámpara con luz blanca.

### D.2.2. Microscopio petrográfico

Con polarizador con platina móvil, objetivos de baja, media y alta potencia; oculares de varios aumentos con ampliaciones de hasta 600x, dispositivos para centrar el objetivo; compensadores de onda completa y de un cuarto de onda, cuña de cuarzo, micrómetro ocular, equipo microfotográfico y lámpara de arco de sodio con luz blanca.

### D.2.3. Dispositivo o sistema de montaje

Adecuado para el montaje de placa de roca de sección delgada.

### D.2.4. Mallas N° 200 y N° 325

Fabricadas con alambre de bronce o de acero inoxidable de 0,053 y 0,032 mm de diámetro nominal, respectivamente, tejido formando cuadrículas con aberturas nominales de 0,075 y 0,045 mm, respectivamente. El tejido es sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o de latón, de  $206 \pm 2$  mm de diámetro interior y  $68 \pm 2$  mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado metálico, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.

### D.2.5. Cortadora

Con motor eléctrico para cortar rocas, con hoja de diamante de 35 cm de diámetro.

### D.2.6. Esmeril

Con motor eléctrico y disco horizontal de 40 cm de diámetro.

### D.2.7. Disco

Pulidor, de 20 a 30 cm de diámetro.

### D.2.8. Porta objetos

Transparentes, rectangulares de 25 por 45 mm, de material no corrosible.

### D.2.9. Cubre objetos

De vidrio, cuadrados de 12, 18 y 25 mm de lado.

### D.2.10. Placas cuadradas

De vidrio, de 30 cm de lado aproximadamente, para pulido en sección delgada.

### D.2.11. Morteros para minería

Cilíndricos con fondo plano, de aleación de acero endurecido, y con diámetros de 15, 20 y 25 mm.

**D.2.12. Cajas de petri**

Recipiente redondo de cristal con tapa para cultivo.

**D.2.13. Charolas**

De lámina galvanizada de forma rectangular de 40 x 70 x 10 cm, para selección y separación de las muestras por cuarteo.

**D.2.14. Agujas con porta agujas**

De disección.

**D.2.15. Frasco gotero**

Con capacidad de 60 mL.

**D.2.16. Imán**

De aleación de aluminio, níquel y cobalto, también se les conoce como imanes de alnico, o un electroimán.

**D.2.17. Contador**

Con rango de conteo de al menos 9 999.

**D.2.18. Cucharón de acero**

De 20 cm de largo, 11 cm de ancho y 10 cm de altura, formando un cajón rectangular con sólo cuatro caras, cuya cara menor lleva acoplado un mango metálico de sección circular de 13 cm de largo.

**D.2.19. Martillo de geólogo**

De acero inoxidable.

**D.2.20. Pinzas**

Lisas de peralte recto.

**D.2.21. Cuarteador miniatura**

Capaz de cuartear partículas menores de 4,75 mm.

**D.2.22. Bálsamo del Canadá**

Neutro, diluido en xileno, de grado analítico.

**D.2.23. Aceite de inmersión para microscopía**

Con índices de refracción de 1,410 a 1,785, con incrementos de hasta 0,005. Sin embargo, el aceite de inmersión que se seleccione será tal que su índice de refracción facilite la identificación de los elementos minerales constituyentes más importantes presentes en el material con la mayor definición posible.

**D.2.24. Polvos abrasivos**

De grano de carburo de silicio N° 100 (122 µm), N° 220 (63 µm), N° 320 (31 µm), N° 600 (16 µm) y N° 800 (12 µm); y de alúmina M-305 (5 µm).

**D.2.25. Papel**

Para limpiar lentes.

**D.2.26. Xileno**

De uso comercial para usarse como disolvente.

**E. PROCEDIMIENTO PARA EXAMINAR FRAGMENTOS DE ROCAS Y NÚCLEOS EXTRAÍDOS**

**E.1.** Por cada fragmento o corazón extraído se examina y se reporta, al menos, la siguiente información:

- La longitud del núcleo extraído o forma y tamaño del fragmento de roca, en cm.
- Para los núcleos extraídos, la ubicación y volumen del material aprovechable.
- Localización y espaciamiento de fracturas y planos de falla.
- Tipo o tipos de fractura.
- Tipo o tipos de roca y su grado de alteración.
- Grado de intemperismo.
- Tenacidad, dureza, cohesión y porosidad aparente.
- Estructura interna, incluyendo observaciones de espaciamientos de poros, compacidad y cementación de los granos.
- Tamaño de los granos.
- Textura de las superficies del fragmento o núcleo extraído, clasificándola como lisa, áspera o porosa.
- Color.
- Composición mineralógica.
- Presencia de elementos capaces de reaccionar perjudicialmente en el concreto hidráulico.
- Cuando el tamaño del fragmento de roca o núcleo extraído lo permita, se determina la posibilidad de producir el agregado al tamaño requerido.

**E.2.** La mayoría de la información requerida a la que se refiere la Fracción anterior, se obtiene mediante un examen visual cuidadoso, pruebas de rayado y con ácidos, y golpeando el núcleo o la roca con un martillo. Además, para identificar las características y cambios litológicos del material, la superficie del núcleo extraído o fragmento de roca que se esté examinando se humedece de modo que facilite su identificación.

Durante el examen de núcleos o fragmentos de rocas es importante tomar en cuenta lo siguiente:

- E.2.1.** En el caso de rocas de grano fino, se puede utilizar el microscopio estereoscópico, para lo cual se preparan placas cortadas de las partes seleccionadas del núcleo o fragmento de roca para su examen.
- E.2.2.** Cuando se examinen rocas calizas, es importante considerar la presencia de impurezas arcillosas, su tipo y distribución. Las rocas calizas que contienen vetas delgadas de lutitas blandas intercaladas pueden ser aprovechadas, siempre y cuando la lutita esté distribuida de forma tal que no impida la producción de agregados con el tamaño requerido y que pueda eliminarse o reducirse durante el proceso de producción del agregado.
- E.2.3.** Cuando se detecten impurezas arcillosas, se evalúa si éstas son del grupo de las esmectitas y en particular de las montmorillonitas (arcillas expansivas). Podrá realizarse un análisis por medio de difracción de rayos X para la identificación y determinación cuantitativa de los minerales de arcilla, además del uso de técnicas de pigmentación con azul de metileno para la identificación de las esmectitas.
- E.2.4.** Cuando se examinen rocas ígneas de grano fino, se identifica la naturaleza de los granos que las componen. Este examen incluye la determinación de la presencia o ausencia de ópalo, calcedonia, vidrio natural y arcillas expansivas; si se encuentra alguno de estos

minerales, se estima su cantidad y si se encuentra vidrio natural, se determina el tipo al cual pertenece.

- E.2.5.** El grado de intemperismo se clasifica como se muestra en la Tabla 1 de este Manual. Pueden clasificarse hasta tres grados de intemperismo por tipo de roca. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, con dos grados será suficiente.

**TABLA 1.- Ejemplo de clasificación del grado de intemperismo**

N° de grados de intemperismo de una muestra	Grado de intemperismo ( <i>k</i> )		
	1	2	3
3	Sanas y densas	Moderadamente intemperizadas	Muy intemperizadas
2	Densas	Porosas y desintegrables	

## F. PROCEDIMIENTO PARA EXAMINAR GRAVAS Y ARENAS

El examen petrográfico puede realizarse en gravas y arenas naturales o procesadas, como se indica a continuación:

### F.1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- F.1.1.** A la muestra de grava o arena se le determina su granulometría de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-2-02-020, *Granulometría de los Agregados Pétreos*. De cada fracción retenida en cada malla, se obtendrá una porción que contenga al menos 150 partículas.
- F.1.2.** Para el caso de las arenas, si una vez concluido el cribado a que se refiere el Inciso anterior se observa que en el material acumulado en la charola de fondo existe arcilla en tal cantidad que pueda sobrepasar los límites establecidos en la Tabla 2 de las Normas N-CMT-2-02-002, *Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico* y N-CMT-4-06-001, *Calidad de Agregados para Carpetas de Concreto Hidráulico*, o si contiene elementos que pudieran tener un efecto adverso en el concreto hidráulico, ese material se criba por lavado en las mallas N° 200 y N° 325, debidamente acopladas, teniendo la precaución de recuperar el material retenido en cada una de esas mallas, de modo que del material retenido en la malla N° 200 se obtenga, mediante el uso de las pinzas y espátula, una porción de 150 partículas y que del retenido en la malla N° 325 se pueda obtener una porción cuya masa sea de 4 a 5 g.

### F.2. EXAMEN DE GRAVAS

Cada fracción del material retenido en cada una de las mallas se examina por separado comenzando con el tamaño máximo, considerando lo siguiente:

#### F.2.1. Recubrimientos

Se examinan las partículas del agregado para verificar si en su exterior se observan recubrimientos. Si los hay, se determina si los recubrimientos consisten en materiales que probablemente sean perjudiciales para el concreto hidráulico como el ópal, yeso, sales fácilmente solubles y materia orgánica, entre otros. También se verifica cualitativamente el grado de adherencia del recubrimiento a la pieza.

#### F.2.2. Tipos de roca

- F.2.2.1.** Mediante un examen visual y pruebas de rayado o ácido, se clasifican las gravas según el tipo de rocas al que correspondan. Si todas o la mayor parte de las partículas presentes corresponden a tipos de roca fácilmente identificables mediante el examen

visual y pruebas de rayado o ácido, entonces no será necesaria una identificación posterior mediante microscopía.

**F.2.2.2.** Las gravas de rocas de grano fino que no se puedan identificar mediante examen visual y pruebas de rayado o ácido, o que puedan contener elementos nocivos para el concreto hidráulico, se examinan con el microscopio estereoscópico. Si no se pueden identificar por este medio, se examinan con el microscopio petrográfico. Es importante considerar que el examen por medios microscópicos puede ser un proceso lento, en tal caso, se podrá hacer uso de otros métodos petrográficos distintos a la microscopía, como la difracción de rayos X, que permitan la identificación en menor tiempo, aunque su costo pueda ser mayor.

### **F.2.3. Grado de intemperismo**

**F.2.3.1.** Los grupos de gravas separados de acuerdo con el tipo de roca como se indica en el Inciso anterior, se examinan para determinar si se requiere una separación adicional debido a su grado de intemperismo.

**F.2.3.2.** Cuando se encuentren en un mismo grupo de gravas, partículas con diferentes grados de intemperismo, éstas se agrupan según su grado de intemperismo, y se clasifica como se muestra en la Tabla 1 de este Manual. Se pueden clasificar hasta tres grados de intemperismo por tipo de roca. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, con dos grados será suficiente.

### **F.2.4. Registro**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Para cada grupo de gravas se realiza lo siguiente:

**F.2.4.1.** Se registra para cada tipo de roca, por lo menos lo siguiente:

- Tipo de roca.
- Forma: equidimensional, prismática, cilíndrica o laminar.
- Textura de la superficie: lisa, áspera o porosa.
- Tamaño de los granos.
- Estructura interna, incluyendo observaciones de espaciamientos de poros, compacidad y cementación de los granos.
- Color.
- Composición mineralógica.
- Heterogeneidades significativas.
- Grado de intemperismo.
- Recubrimientos o incrustaciones y sus características.
- Presencia de elementos constituyentes que puedan causar reacciones químicas perjudiciales en el concreto hidráulico.

**F.2.4.2.** Se realiza el conteo del número de partículas con características similares de cada grupo. Los resultados del conteo se presentan utilizando el formato mostrado en el ejemplo de la Tabla 2 de este Manual, la cual contiene la información de la composición

por tamaño de partículas, por su grado de intemperismo, así como el porcentaje ponderado de cada elemento constituyente para cada fracción de material retenida en las mallas.

**TABLA 2.- Ejemplo de formato para presentar la composición de las fracciones del material pétreo retenidas en cada malla**

Composición parcial de elementos constituyentes de materiales pétreos														
Elementos constituyentes <sup>[1]</sup> $n_k$	Por tamaño %											Según el grado de intemperismo $k$ %		
	Malla 19,0 mm (¾ in)			Malla 12,5 mm (½ in)			Malla 9,5 mm (⅜ in)			Malla 4,75 mm (Nº4)		Composición parcial <sup>[5]</sup> $C_{p_{kz}}$	Composición parcial por grupo de elementos <sup>[6]</sup> $C_{p_k}$	
	$x_{19}^{[2]}$	$C_{p_{19}}^{[2]}$	$P_{19}^{[4]}$	$x_{12.5}^{[2]}$	$C_{p_{12.5}}^{[2]}$	$P_{12.5}^{[4]}$	$x_{9.5}^{[2]}$	$C_{p_{9.5}}^{[2]}$	$P_{9.5}^{[4]}$	$x_{4.75}^{[2]}$	$C_{p_{4.75}}^{[2]}$	$P_{4.75}^{[4]}$		
A1	75	50,0	8,7	60	40,0	13,0	45	30,0	8,9	15	10,0	2,1	32,7	
A2	15	10,0	1,7	30	20,0	6,5	38	25,0	7,4	30	20,0	4,1	19,7	
A3	3	2,0	0,4	15	10,0	3,3	23	15,0	4,4	30	20,0	4,1	12,2	
B1	32	21,4	3,7	21	14,0	4,6	19	12,4	3,7	10	6,4	1,3	13,3	
B2	23	15,2	2,6	16	10,6	3,5	6	3,8	1,1	26	17,4	3,6	10,8	
B3	---	---	---	6	4,0	1,3	13	8,6	2,5	29	19,2	3,9	7,7	
C1	2	1,0	0,2	2	1,0	0,3	6	4,0	1,2	6	4,0	0,8	2,5	
C2	1	0,4	0,1	1	0,4	0,1	2	1,2	0,3	3	2,0	0,4	0,9	
C3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2	1,0	0,2	0,2	
Total	150	100,0	17,4	150	100,0	32,6	150	100,0	29,5	150	100,0	20,5	100	
Retenido parcial, $R_{D_i}^{[3]}$													17,4	20,5
Porcentaje ponderado con grado de intemperismo $k=1$ del total de la muestra <sup>[7]</sup>													48,5	
Porcentaje ponderado con grado de intemperismo $k=2$ del total de la muestra													31,4	
Porcentaje ponderado con grado de intemperismo $k=3$ del total de la muestra													20,1	

[1] Donde  $n$  se refiere a los distintos elementos constituyentes encontrados, en este caso indicados como A, B y C, y  $k$  el grado de intemperismo con la que el elemento constituyente fue encontrado, en este caso indicado con los subíndices 1, 2 y 3.

[2]  $C_{p_i}$  corresponde al porcentaje de la fracción retenida en cada malla  $i$ , en %, calculada como la relación del número de piezas,  $x_i$ , entre el total de piezas de la fracción retenida en dicha malla.

[3]  $R_i$  corresponde al porcentaje de la masa del material retenido en cada malla  $i$ , con respecto a la masa total de la muestra, en %, obtenido de acuerdo con lo indicado el Manual M-MMP-2-02-020, *Granulometría de los Agregados Pétreos*.

[4]  $P_i$  corresponde al porcentaje ponderado de cada elemento constituyente de cada fracción retenida en la malla  $i$ , en %, calculado como  $[C_{p_i} \times R_{p_i}] / 100$ .

[5] La composición parcial según el grado de intemperismo por cada elemento constituyente,  $C_{p_{kz}}$ , se calcula sumando los porcentajes ponderados de cada elemento constituyente  $n_k$  para todas las fracciones retenidas en las mallas  $i$ . En este ejemplo, para el elemento constituyente A1, con el grado de intemperismo  $k=1$ ,  $C_{p_{kz}}$  corresponde a la suma de  $8,7+13,0+8,9+2,1=32,7$  %.

[6] La composición parcial por grupo de elementos constituyentes,  $C_{p_k}$ , se calcula sumando las composiciones parciales del mismo elemento constituyente. En este ejemplo, para el elemento constituyente A, se calcula como  $32,7+19,7+12,2=64,6$  %.

[7] El porcentaje ponderado de cada grado de intemperismo  $k$ , se obtiene sumando todos los porcentajes de la composición parcial  $C_{p_{kz}}$  de la muestra con el mismo grado de intemperismo  $k$ . En este ejemplo, el porcentaje ponderado con grado de intemperismo  $k=1$ , se calcula como  $32,7+13,3+2,5=48,5$  %.

**F.3. EXAMEN DE ARENAS**

El procedimiento para examinar las arenas es similar al empleado para las gravas, salvo que, debido a la diferencia de tamaño de las partículas, se realiza lo siguiente:

**F.3.1. Tamaños menores que la malla N° 4 (4,75 mm) y mayores que la malla N° 30 (0,60 mm)**

- F.3.1.1.** Cada fracción retenida en las mallas N° 8 (2,36 mm), N° 16 (1,18 mm) y N° 30 (0,60 mm) se reduce mediante cuarteo con el cuarteador miniatura o en un papel limpio hasta obtener una porción de la cual se puedan tomar al menos 150 granos. Para separar los granos necesarios para el examen, el material se extiende en un recipiente de vidrio de fondo plano, tal como una caja de petri y se manipulan los granos con la pinza y una aguja de disección. Se examinan, identifican y cuentan los elementos constituyentes de la porción de material empleando el microscopio estereoscópico.
- F.3.1.2.** Los granos de arena de mayor tamaño pueden ser sumergidos en agua, lo cual facilita su identificación al reducir la reflexión de la luz en sus caras, permitiendo observar características que no pueden ser vistas cuando los granos están secos. Sin embargo, si la identificación de los granos se dificulta, se examinan sus superficies (natural o fracturada) seca y húmeda junto con las pruebas de rayado y con ácidos fluorhídrico o clorhídrico, entre otros.
- F.3.1.3.** Los granos que no puedan ser identificados mediante el uso del microscopio estereoscópico o que se sospeche que se componen o contienen sustancias que reaccionan perjudicialmente en el concreto hidráulico, se examinan con el microscopio petrográfico.
- F.3.1.4.** Si se sospecha la existencia, en el material pétreo, de sustancias reactivas con los álcalis del cemento Pórtland, se realiza lo siguiente:
- Si los granos más grandes de la porción de la arena de grano fino son de roca ígnea vítrea, se seleccionan varias partículas representativas de ese tipo de roca para determinar la presencia o ausencia de vidrio, utilizando el microscopio petrográfico, triturando los granos y examinándolos en un medio de inmersión.
  - Si la arena contiene sílice amorfa, se toma una cantidad representativa de granos de la fracción retenida en la malla N° 30 (0,60 mm) que la contengan y se determina su índice de refracción.

**F.3.2. Tamaños menores que la malla N° 30 (0,60 mm) y mayores que la malla N° 200 (0,075 mm)**

- F.3.2.1.** Cada fracción retenida en las mallas N° 50 (0,30 mm), N° 100 (0,15 mm) y N° 200 (0,075 mm), se reduce mediante cuarteo con el cuarteador miniatura o en un papel limpio, hasta obtener una porción de la cual se puedan tomar al menos de 4 a 5 g aproximadamente. Si la cantidad de material retenido en las mallas N° 100 (0,150 mm) y N° 200 (0,075 mm) es poco significativa, el cuarteo no será necesario.
- F.3.2.2.** El examen de las porciones retenidas en cada malla se realiza de manera similar al examen indicado en el Inciso anterior, salvo que cuando se utilice el microscopio petrográfico, el material se esparce en una capa delgada sobre un vidrio o papel limpio y se transfieren los granos mediante la aguja de disección humedecida en aceite de inmersión a una gota de aceite de inmersión contenida en uno o varios portaobjetos limpios, hasta obtener al menos 150 granos, los cuales se examinan colocando el o los portaobjetos con los granos en el microscopio.
- F.3.2.3.** Cuando se trate de arenas procesadas, se examina con mayor detalle la cantidad y extensión de las caras de fracturamiento, así como la cantidad y naturaleza del polvo de roca desarrollado por las operaciones de molienda.

**F.3.3. Tamaños menores que la malla N°200 (0,075 mm)**

- F.3.3.1.** Del material que pasa la malla N°200 (0,075 mm) se obtiene directamente una porción cuya masa sea de 4 a 5 g aproximadamente.
- F.3.3.2.** En un portaobjetos se colocan los granos de material siguiendo el procedimiento descrito en el Párrafo F.3.2.2. de este Manual. Si se presenta una cantidad



inusualmente grande de granos menores de 0,075 mm o si se identifican elementos constituyentes que tengan un efecto nocivo en el concreto hidráulico, el material que pasa la malla N° 200 (0,075 mm) se lava sobre la malla N° 325 (0,045 mm) y se cuentan los granos que fueron retenidos.

## G. RESULTADOS

### G.1. FRAGMENTOS DE ROCA O NÚCLEOS EXTRAÍDOS

En el caso de fragmentos de roca o núcleos extraídos se reporta como resultado del examen petrográfico la información indicada en la Fracción E.1. de este Manual.

### G.2. GRAVAS Y ARENAS

Como resultado del examen petrográfico de las gravas y arenas se reporta lo siguiente:

**G.2.1.** Utilizando el formato del ejemplo mostrado en la Tabla 2 de este Manual, se reporta la composición por tamaño de partículas y por su grado de intemperismo, así como el porcentaje ponderado de cada elemento constituyente para cada fracción de material retenida en las mallas, con aproximación al décimo, incluyendo el porcentaje de la masa de cada fracción retenida en cada malla con respecto a la masa total de la muestra,  $R_{pi}$ , obtenido como lo establecido en el Manual M-MMP-2-02-020, *Granulometría de los Agregados Pétreos*. Si es el caso, se reporta el número de granos que fueron retenidos en la malla N°325 (0,045 mm) a que se refiere el Párrafo F.3.3.2. de este Manual.

**G.2.2.** Con base en el formato de la Tabla 2 de este Manual, se elabora la Tabla 3 en donde los resultados se resumen en la composición de los elementos constituyentes de la muestra según su tamaño y su grado de intemperismo, con aproximación a la unidad. Los elementos constituyentes que representan un 0,5 % o menos de la fracción retenida en cada malla se reportan como "trazas" y se considerarán despreciables para efecto del cálculo. El reporte se realiza considerando que se podrán agrupar aquellos elementos que se presenten en menor cantidad y que sean de poca importancia. Sin embargo, aquellos elementos constituyentes que se sabe reaccionan perjudicialmente en el concreto hidráulico, aun cuando su cantidad en el total de la muestra o en alguna fracción sea muy pequeña, se incluirán en el reporte de la composición y grado de intemperismo de la muestra.

## H. INFORME DEL EXAMEN PETROGRÁFICO

Además del reporte de resultados al que se refiere la Cláusula anterior, se entrega un informe que incluya por lo menos lo siguiente:

**H.1.** Los datos de identificación de la muestra a que se refiere el Manual M-MMP-2-02-019, *Muestreo de Agregados Pétreos*, así como de una descripción del material mencionando los datos más relevantes de su composición y sus propiedades, obtenidos durante el examen petrográfico. En el informe se mencionan los procedimientos de prueba empleados y se presentará la descripción de la naturaleza y las características de cada elemento constituyente de la muestra, acompañado de las tablas y fotografías necesarias para presentar adecuadamente los resultados del análisis, así como los resultados de la granulometría de la muestra. Los resultados y conclusiones se expresan en términos claros y accesibles de modo que permita decidir si el material es adecuado para su empleo como agregado para concreto hidráulico.

**H.2.** Cuando se determine que la muestra posee propiedades o elementos constituyentes que se sabe tienen efectos específicos desfavorables en el concreto hidráulico, esas propiedades o elementos constituyentes se describen cualitativamente y de ser posible cuantitativamente. También se hace mención de los efectos desfavorables que puedan presentarse en el concreto.

**TABLA 3.- Ejemplo de reporte de la composición y grado de intemperismo de una muestra de agregado**

Composición de elementos constituyentes en la muestra <sup>[1]</sup>									
Elementos constituyentes <i>n</i>	Por tamaño %					Según grado de intemperismo <i>k</i> %			
	De las fracciones retenidas en cada malla <sup>[2]</sup>				De la muestra <sup>[3]</sup>	Composición <sup>[4]</sup>			
	Grado de intemperismo			Total		Grado de intemperismo			Total
	19,0 mm (¾ in)	12,5 mm (½ in)	9,5 mm (¾ in)			4,75 mm (N° 4)	1	2	
A	62	70	70	50	65	33	20	12	65
B	37	29	25	43	32	13	11	8	32
C	1	1	5	7	3	2	1	trazas	3
Total	100	100	100	100	100	---	---	---	100
Retenido parcial, $R_{pi}$	17,4	32,6	29,5	20,5					
Porcentaje ponderado del grado de intemperismo <i>k</i> <sup>[5]</sup>						48	32	20	

[1] Esta tabla se elabora con base en la Tabla 2 de este Manual.

[2] Cada elemento constituyente se agrupa por tipo y se anota la suma de los porcentajes del número de piezas para cada grado de intemperismo. Por ejemplo, el porcentaje de piezas del elemento constituyente A, para la fracción retenida en la malla de 19,0 mm (¾ in), según lo indicado en la Tabla 2, corresponde a la suma de los porcentajes  $C_{p19}$ , es decir,  $50,0+10,0+2,0=62$ .

[3] La composición de cada elemento constituyente respecto del total de la muestra se calcula como la sumatoria de la composición ponderada de cada elemento constituyente por cada fracción retenida multiplicada por el retenido parcial  $R_{pi}$  de cada malla *i*, dividido entre 100. Por ejemplo, para el elemento A, su composición respecto del total de la muestra se calcula como  $((62 \times 17,4) + (70 \times 32,6) + (70 \times 29,5) + (50 \times 20,5))/100 = 65\%$ .

[4] Por cada elemento constituyente *n* se anota la composición parcial según su grado de intemperismo,  $C_{pk}$ , obtenida de la Tabla 2, redondeada a la unidad. Por ejemplo, la composición parcial para el elemento A con el grado de intemperismo  $k=1$  para todas las fracciones retenidas en cada malla, que en el ejemplo de dicha Tabla corresponde a 33, para el mismo elemento con el grado de intemperismo  $k=2$ , corresponde a 20 y para ese elemento con el grado de intemperismo  $k=3$ , corresponde a 12 y así sucesivamente para todos los elementos constituyentes y todos los grados de intemperismo.

[5] Porcentaje ponderado del grado de intemperismo *k*, se calcula para cada grado de intemperismo *k* de todos los elementos constituyentes *n*. Por ejemplo, para el grado de intemperismo  $k=1$  y los elementos constituyentes A, B y C, el porcentaje ponderado se obtiene al sumar  $33+13+2=48$ .

**H.3.** Las conclusiones del informe petrográfico se basan únicamente en los resultados del examen del material, a menos que el geólogo o ingeniero geólogo responsable de la elaboración del examen petrográfico haya sido autorizado para determinar otros datos relevantes no petrográficos.

**H.4.** Además de lo mencionado anteriormente, el informe del examen petrográfico incluye las recomendaciones relativas a cualquier análisis petrográfico, químico, físico o geológico adicional que sea necesario para la evaluación de propiedades desfavorables que hayan sido identificadas durante el examen petrográfico. Cuando sea el caso, se puede recomendar el uso de otros métodos de examen adicionales que se consideren adecuados para la identificación y descripción de los elementos constituyentes del agregado pétreo, como la difracción por rayos X y diferencial térmico, entre otros.

# SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



## SCT

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

### SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA

Dirección General de Servicios Técnicos

Av. Coyoacán 1895

Col. Acacias

Ciudad de México, 03240

[www.gob.mx/sct](http://www.gob.mx/sct)



### INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Av. Universidad No. 1738, Edificio B, Nivel 1

Col. Santa Catarina

Ciudad de México, 04010

<https://normas.imt.mx>

[normas@imt.mx](mailto:normas@imt.mx)