

4

Materiales granulares y tratados con cemento

Los materiales granulares son empleados en la construcción de las capas de base y subbase de los firmes de carreteras. La función de la subbase granular es actuar como una capa de transición entre la explanada y las capas más resistentes del firme, base y pavimento. Por ello, suele emplearse con firmes con base granular o bituminosa, como apoyo de estas capas, sobre todo, cuando la explanada tiene una baja capacidad soporte, explanada E1 y E2. También suele tener una función drenante para evacuar el agua que haya podido introducirse en el firme, por lo que a veces se suele exigir a este material que sea permeable.

Como material granular se solían utilizar zahorras naturales en la capa de subbase y zahorras artificiales y macadam en la capa de base. La Instrucción no considera el empleo de zahorras naturales, por problemas básicamente ecológicos, ni el del macadam, por su bajo rendimiento al ser un proceso poco mecanizado. Por tanto, como capa granular, la instrucción sólo considera en principio el uso de zahorras artificiales, aunque el artículo 510 del PG-3 continúa recogiendo ambos tipos de zahorras.

Cuando se desea que la subbase tenga una mayor rigidez para proporcionar un apoyo más resistente y menos deformable a las capas del firme, en especial a las capas de base de grava-cemento, se recurre a la estabilización con cemento de los materiales granulares, capas de suelo-cemento. Como capa de base pueden emplearse también material granular de calidad tratados con cemento, grava-cemento.

4.1. ZAHORRAS (Art. 510, PG-3)

Son capas granulares de granulometría continua. El PG-3 define dos tipos de zahorras: naturales y artificiales. Los requerimientos que debe cumplir la zahorra artificial son más exigentes que los correspondientes a las zahorras naturales y en particular se diferencian porque los áridos de las primeras deben someterse a un proceso de trituración, con lo que se consigue un alto rozamiento interno y en consecuencia, mayor capacidad portante.

Dentro de los tipos de zahorra artificial existen las llamadas “drenantes”, que se caracterizan por tener una elevada permeabilidad y ofrecer un mejor comportamiento del firme cuando está expuesto a la acción del agua.

Zahorra artificial. Husos granulométricos (Art. 510, PG-3)

| TIPO DE ZAHORRA ARTIFICIAL (*) | ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm) | | | | | | | | |
|--------------------------------|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 40 | 25 | 20 | 8 | 4 | 2 | 0,500 | 0,250 | 0,063 |
| ZA25 | 100 | 75-100 | 65-90 | 40-63 | 26-45 | 15-32 | 7-21 | 4-16 | 0-9 |
| ZA20 | - | 100 | 75-100 | 45-73 | 31-54 | 20-40 | 9-24 | 5-18 | 0-9 |
| ZAD20 | - | 100 | 65-100 | 30-58 | 14-37 | 0-15 | 0-6 | 0-4 | 0-2 |

Zahorra natural. Husos granulométricos (Art. 510, PG-3)

| TIPO DE ZAHORRA NATURAL (*) | ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm) | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 50 | 40 | 25 | 20 | 8 | 4 | 2 | 0,500 | 0,250 | 0,063 |
| ZN40 | 100 | 80-95 | 60-90 | 54-84 | 35-63 | 22-46 | 15-35 | 7-23 | 4-18 | 0-9 |
| ZN25 | - | 100 | 75-95 | 65-90 | 40-68 | 27-51 | 20-40 | 7-26 | 4-20 | 0-11 |
| ZN20 | - | - | 100 | 80-100 | 45-75 | 32-61 | 25-50 | 5-24 | 5-24 | 0-11 |

(*) La designación del tipo de zahorra se hace en función del tamaño máximo nominal que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

Zahorras. Especificaciones sobre materiales (Art. 510, PG-3)

| | | T00 | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | ARCÉN | | | | | | |
|--------------------|----|------------|------|------------|--------|------|--------|------------|----|--------|----|-----|-----|----|
| | | | | | | | | T00 | T0 | T1 | T2 | T31 | T32 | T4 |
| EA | ZA | > 40 ó 35* | | > 35 ó 30* | | | | > 30 ó 25* | | | | | | |
| | ZN | > 35 | | > 30 | | | | > 25 | | | | | | |
| IP | ZA | NP | | | | | | < 10** | | | | | | |
| | ZN | NP | | | < 6*** | | < 6*** | | | < 10** | | | | |
| LA | ZA | ≤ 30 | | | ≤ 35 | | | | | | | | | |
| | ZN | ≤ 35 | | | ≤ 40 | | | | | | | | | |
| Lajas | ZA | < 35 | | | | | | | | | | | | |
| Partíc. trituradas | ZA | 100 | ≥ 75 | | | ≥ 50 | | | | | | | | |

Con * AM < 10

Con ** LL < 30

Con *** LL < 25

La fórmula de trabajo determinada para una zahorra deberá respetar las tolerancias granulométricas y de humedad admisibles, que se indican en la siguiente tabla, en función de la categoría de tráfico.

Tolerancias de la fórmula de trabajo (Art. 510, PG-3)

| CARACTERÍSTICA | UNIDAD | CATEGORÍA TRÁFICO PESADO | |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| | | T00 A T1 | T2 A T4 Y ARCENES |
| Cernido por los tamices UNE-EN 933-2 | > 4 mm | ± 6 | ± 8 |
| | ≤ 4 mm | ± 4 | ± 6 |
| | 0,063 mm | ± 1,5 | ± 2 |
| Humedad de compactación | % respecto de la óptima | ± 1 | -1,5 / +1 |

Durante la etapa constructiva los controles de ejecución de estas capas se dirigen al grado de compactación alcanzado, al módulo de compresibilidad obtenido con el ensayo de carga con placa y sobre sus características geométricas: cotas y regularidad.

Zahorras. Especificaciones unidad terminada (Art. 510, PG-3)

Densidad, módulo y cotas

| | | T00 | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | ARCÉN | |
|---------------------|----|---------------------------|----|------------|------------|--------------------------|-----------|-------|--|
| Densidad γ_d | ZA | $\geq 100\% \gamma_{dPM}$ | | | | $\geq 98\% \gamma_{dPM}$ | | | |
| | ZN | $\geq 98\% \gamma_{dPM}$ | | | | | | | |
| E_{v2}^* (MPa) | ZA | ≥ 180 | | ≥ 150 | ≥ 100 | ≥ 80 | | | |
| | ZN | | | | | ≥ 80 | ≥ 60 | | |
| Dif. cota (mm) | | < 15 | | | | < 20 | | | |

* sobre coronación de explanada: $E_{v2} \geq 1,3 E_{v1}$ y $E_{v2}/E_{v1} < 2,2$

Zahorras. Especificaciones unidad terminada (Art. 510, PG-3)

Regularidad. Rangos de IRI y porcentajes máximos admitidos

| IRI (dm/mm) | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $e_{csz} \geq 20$ cm | | 50 | | 80 | | 100 |
| 20 cm $> e_{csz} > 10$ cm | 50 | | 80 | | 100 | |
| $e_{csz} < 10$ cm | 50 | | 80 | 100 | | |

e_{csz} : espesor de capa sobre zahorra

4.2. SUELOCEMENTO Y GRAVACEMENTO

El sueloceemento es una mezcla homogénea de materiales granulares, cemento y agua, realizada en una central, que posteriormente se extiende y se compacta.

La gravacemento es una combinación parecida a la del suelo cemento, con una menor proporción de partículas finas y con mayores exigencias de calidad en los áridos y en la resistencia de la mezcla.

Suelo cemento. Husos granulométricos (Art. 513, PG-3)

| TIPO DE SUELOCEMENTO | ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm) | | | | | | | | | |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | 50 | 40 | 25 | 20 | 12,5 | 8 | 4 | 2 | 0,500 | 0,063 |
| SC40 | 100 | 80-100 | 67-100 | 62-100 | 53-100 | 45-89 | 30-65 | 17-52 | 5-37 | 2-20 |
| SC20 | - | - | 100 | 92-100 | 76-100 | 63-100 | 48-100 | 36-94 | 18-65 | 2-35 |

Gravacemento. Husos granulométricos (Art. 513, PG-3)

| TIPO DE GRAVACIMIENTO | ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm) | | | | | | | |
|-----------------------|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 40 | 25 | 20 | 8 | 4 | 2 | 0,500 | 0,063 |
| GC25 | 100 | 76-100 | 67-91 | 38-63 | 25-48 | 16-37 | 6-21 | 1-7 |
| GC20 | - | 100 | 80-100 | 44-68 | 28-51 | 19-39 | 7-22 | 1-7 |

Materiales tratados con cemento. Especificaciones sobre materiales (Art. 513, PG-3)

| | | T00 | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | ARCÉN | |
|-----------------------|----|---|----------|------|------|-------|------|-----------|---------|
| | | | | | | | | T00 a T1 | T2 a T4 |
| IP | SC | < 15* | | | | | | | |
| | GC | NP | | | | < 6** | | | |
| EA | GC | > 40 (GC 20), > 35 (GC 25), > 30*** (GC 25) | | | | | | | |
| LA | GC | ≤ 30 | ≤ 30 | | ≤ 35 | | ≤ 40 | | |
| | | | ≤ 35**** | | | | | | |
| Lajas | GC | < 30 | | | | < 35 | | < 40 | |
| Partículas trituradas | GC | > 75 | | > 50 | | > 30 | | > 50 > 30 | |

Con * LL < 30 Con ** LL > 25 Con *** AM > 10 Con **** materiales reciclados

La composición de ambos tipos de mezclas deberá cumplir con un mínimo contenido de cemento y se les exigirá una mínima resistencia a compresión a 7 días, según la NLT-305, tal como se resume en la siguiente tabla.

Materiales tratados con cemento. Tipo y composición de la mezcla (Art. 513, PG-3)

| | | T00 | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | ARCÉN |
|--------------------------|-------|-------------|----|-------|----|----|----|-----------|
| | | Cemento (%) | SC | > 3,0 | | | | |
| GC | > 3,5 | | | | | | | |
| Resistencia 7d (*) (MPa) | SC | 2,5 - 4,5 | | | | | | |
| | GC | 4,5 - 7,0 | | | | | | 4,5 - 6,0 |

(*) Por resistencia media se entiende la media aritmética de los resultados obtenidos al menos sobre tres (3) probetas de la misma amasada.

En el caso de emplearse cementos para usos especiales (ESP VI-1) estos valores se disminuirán en un quince por ciento (15%).

Además, estas mezclas deberán garantizar un plazo de trabajabilidad mínimo, determinado según la UNE 41240, así como unas tolerancias máximas de su fórmula de trabajo.

Materiales tratados con cemento. Plazo mínimo de trabajabilidad
(Art. 513, PG-3)

| TIPO DE EJECUCIÓN | PLAZO DE TRABAJABILIDAD (min) |
|-------------------|-------------------------------|
| Anchura completa | 180 |
| Por franjas | 240 |

Materiales tratados en cemento. Tolerancias de la fórmula de trabajo
(Art. 513, PG-3)

| | | TAMAÑO MÁXIMO | 0 |
|-----------------------------|-------------------------|---------------|-------------|
| Tolerancia Cernido (%) | | > 4 mm | ± 6 |
| | | ≤ 4 mm | ± 3 |
| | | 0,063* | ± 1,5 |
| Tolerancia Cemento (%) | | | ± 0,3 |
| Humedad de Compactación (%) | % respecto de la óptima | | -1,0 / +0,5 |

(* incluido el cemento)

En el suelocemento únicamente se exigen las tolerancias relativas al cemento y a la humedad de compactación

Las especificaciones de la unidad terminada para las mezclas con cemento exigen que al finalizar el proceso de compactación de la capa, la misma alcance un 98% de la densidad obtenida en el ensayo Proctor Modificado (UNE 103501). Además, la resistencia a compresión simple a 7 días, determinado según la NLT-305, deberá encontrarse entre los límites especificados para la composición de las mezclas. Al igual que en el caso de las zahorras, también se deben cumplir requerimientos geométricos (rasante, espesor y ancho) y de regularidad (NLT-330).

Materiales tratados con cemento. Especificaciones unidad terminada
(Art. 513, PG-3). Densidad y cotas.

| | | |
|----------------------------|----|------|
| DENSIDAD (% γ_s PM) | SC | > 98 |
| | GC | > 98 |
| DIFERENCIA COTA (mm) | | > 15 |

Materiales tratados con cemento. Especificaciones unidad terminada (Art. 513, PG-3). Regularidad. Rangos de IRI y porcentajes máximos admitidos.

| IRI (dm/mm) | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
|--|-----|-----|-----|-----|
| T00 a T2 (1 ^{era} capa bajo mezcla) | 50 | 80 | 100 | |
| T00 a T2 (2 ^{da} capa bajo mezcla) | | 50 | 80 | 100 |
| T3, T4 y ARCENES | | 50 | 80 | 100 |