

Nuria Monasterio Gisasola

# ERAI- KUN- TZAKO MATE- RIALAK





# ERAIKUNTZAKO MATERIALAK

Nuria Monasterio Gisasola

Udako Euskal **Unibertsitatea**  
Bilbo, 2009

© Udako Euskal Unibertsitatea

© Nuria Monasterio Gisasola

ISBN: 978-84-8438-285-0

Lege-gordailua: BI-3546-09

Inprimategia: CUATROAS, Bilbo

Azalaren diseinua: Iñigo Ordozgoiti

Hizkuntza-zuzenketen arduraduna: Ander Altuna Gabiola

Banatzailleak: UEU. Erribera 14, 1. D BILBO telf. 946790546 Faxe. 944793039

Helbide elektronikoa: [argitalpenak@ueu.org](mailto:argitalpenak@ueu.org)

[www.ueu.org](http://www.ueu.org)

Elkar Banaketa: Igerabide, 88 DONOSTIA

Galarazita dago liburu honen kopia egitea, osoa nahiz zatikakoa, edozein modutara delarik ere, edizio honen Copyright-jabeen baimenik gabe.



# Aurkibidea

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. GAINBEGIRATU OROKOR BAT . . . . .                                        | 15 |
| 1.1. Sarrera. . . . .                                                       | 15 |
| 1.2. Material motak . . . . .                                               | 15 |
| 1.3. Materialen egituraren, propietateen eta lanketaren arteko erlazioa . . | 17 |
| 1.3.1. Propietateak. . . . .                                                | 17 |
| 1.3.2. Egitura. . . . .                                                     | 17 |
| 1.3.3. Lanketa . . . . .                                                    | 18 |
| 1.4. Materialen portaeran eragina duten zenbait faktore garrantzitsu . . .  | 18 |
| 1.4.1. Tenperatura . . . . .                                                | 18 |
| 1.4.2. Korrosioa. . . . .                                                   | 19 |
| 1.5. Materialen diseinua eta aukeraketa. . . . .                            | 19 |
| 2. MATERIALEN EGITURA . . . . .                                             | 23 |
| 2.1. Sarrera. . . . .                                                       | 23 |
| 2.2. Atomoaren egitura . . . . .                                            | 23 |
| 2.3. Lotura atomikoa . . . . .                                              | 24 |
| 2.3.1. Lotura metalikoa . . . . .                                           | 24 |
| 2.3.2. Lotura kobalentea . . . . .                                          | 25 |
| 2.3.3. Lotura ionikoa. . . . .                                              | 26 |
| 2.3.4. Van der Waals-en loturak . . . . .                                   | 26 |
| 2.4. Atomoen kokapena . . . . .                                             | 27 |
| 2.5. Irregularitasunak ordenamendu kristalinoan . . . . .                   | 37 |
| 2.5.1. Dislokazioak . . . . .                                               | 37 |
| 2.5.2. Akats puntualak. . . . .                                             | 41 |
| 2.5.3. Gainazal-akatsak . . . . .                                           | 42 |
| 2.6. Atomoen mugimendua materialetan. . . . .                               | 44 |
| 2.6.1. Difusio-mekanismoa . . . . .                                         | 44 |
| 2.6.2. Difusiorako aktibazio-energia. . . . .                               | 46 |
| 2.6.3. Fick-en legeak . . . . .                                             | 46 |
| 3. MATERIALEN PROPIETATEAK . . . . .                                        | 51 |
| 3.1. Sarrera. . . . .                                                       | 51 |
| 3.2. Materialen propietate fisikoak . . . . .                               | 51 |
| 3.2.1. Propietate elektroikoak . . . . .                                    | 51 |

|                                                            |        |
|------------------------------------------------------------|--------|
| 3.2.2. Propietate magnetikoak . . . . .                    | 53     |
| 3.2.3. Propietate optikoak . . . . .                       | 55     |
| 3.2.4. Propietate termikoak . . . . .                      | 57     |
| 3.2.5. Propietate mekanikoak . . . . .                     | 61     |
| 3.3. Materialen propietateen aldakortasuna . . . . .       | 74     |
| 3.4. Segurtasun-faktoreak . . . . .                        | 75     |
| <br>4. ARROKAK ERAIKUNTZAN . . . . .                       | <br>77 |
| 4.1. Sarrera . . . . .                                     | 77     |
| 4.2. Eraikuntza-arroken propietateak . . . . .             | 77     |
| 4.3. Eraikuntzan erabiltzen diren arroka motak . . . . .   | 80     |
| 4.3.1. Sailkapen orokorra . . . . .                        | 80     |
| 4.3.2. Arroka erabilienak . . . . .                        | 80     |
| 4.4. Arroken prestaketa . . . . .                          | 85     |
| 4.5. Harritzko materialen aplikazioak . . . . .            | 87     |
| 4.5.1. Aplikazio orokorrak . . . . .                       | 87     |
| 4.5.2. Arroken aplikazio espezifikoak . . . . .            | 89     |
| <br>5. ZERAMIKAK . . . . .                                 | <br>93 |
| 5.1. Sarrera . . . . .                                     | 93     |
| 5.2. Material zeramiko motak . . . . .                     | 93     |
| 5.2.1. Zer da zeramika bat? . . . . .                      | 93     |
| 5.2.2. Zeramika tradizionalak . . . . .                    | 94     |
| 5.2.3. Ingeniaritzako zeramikak . . . . .                  | 94     |
| 5.3. Zeramiken oinarritzko propietateak . . . . .          | 95     |
| 5.3.1. Propietate fisikoak . . . . .                       | 95     |
| 5.3.3. Propietate termikoak . . . . .                      | 98     |
| 5.3.3. Propietate mekanikoak . . . . .                     | 99     |
| 5.3.4. Propietate optikoak . . . . .                       | 104    |
| 5.3.5. Propietate magnetikoak . . . . .                    | 104    |
| 5.3.6. Propietate elektrikoak . . . . .                    | 105    |
| 5.4. Zeramiken prozesaketa . . . . .                       | 105    |
| 5.4.1. Materialen prestaketa . . . . .                     | 105    |
| 5.4.2. Moldeaketa . . . . .                                | 106    |
| 5.4.3. Tratamendu termikoak . . . . .                      | 107    |
| 5.5. Eraikuntzan erabilitako material zeramikoak . . . . . | 108    |
| 5.5.1. Adreiluak . . . . .                                 | 108    |
| 5.5.2. Gangatilak . . . . .                                | 113    |
| 5.5.3. Teilak . . . . .                                    | 114    |

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 6. BEIRAK .....                                          | 117 |
| 6.1. Sarrera.....                                        | 117 |
| 6.2. Beiren egitura .....                                | 117 |
| 6.2.1. Konposizio orokorra .....                         | 117 |
| 6.2.2. Zenbait beira garrantzitsuren konposizioa .....   | 118 |
| 6.3. Beiren propietateak.....                            | 119 |
| 6.3.1. Beira-trantsiziozko tenperatura.....              | 119 |
| 6.3.2. Beiren deformazio biskosoa .....                  | 120 |
| 6.4. Beiraren konformazioa.....                          | 121 |
| 6.4.1. Beira-xaflen eta -plaken fabrikazioa.....         | 122 |
| 6.4.2. Beiraren puztea, prentsaketa eta moldeaketa ..... | 122 |
| 6.4.3. Termikoki trataturiko beirak.....                 | 123 |
| 6.4.4. Beirazko zeramikak.....                           | 124 |
| 6.5. Beirak eraikuntzan .....                            | 124 |
| 6.5.1. Beira-plakak .....                                | 124 |
| 6.5.2. Beira moldekatuak .....                           | 125 |
| 6.5.3. Beira urtua.....                                  | 125 |
| 7. KONGLOMERATZAILE ETA MORTEROAK.....                   | 127 |
| 7.1. Sarrera.....                                        | 127 |
| 7.2. Prozesu konglomeratzailea.....                      | 127 |
| 7.3. Konglomeratzaileen ezaugarriak .....                | 129 |
| 7.3.1. Disolbagarritasuna .....                          | 129 |
| 7.3.2. Ehotze-fintasuna .....                            | 129 |
| 7.3.3. Konposizioa .....                                 | 129 |
| 7.3.4. Fraguatzea.....                                   | 130 |
| 7.3.5. Bolumen-egonkortasuna .....                       | 130 |
| 7.3.6. Erresistentzia.....                               | 131 |
| 7.3.7. Beste propietate batzuk.....                      | 131 |
| 7.4. Morteroak .....                                     | 131 |
| 7.4.1. Definizioa .....                                  | 131 |
| 7.4.2. Morteroen osagaiak.....                           | 132 |
| 7.4.3. Sailkapena.....                                   | 133 |
| 7.4.4. Morteroen ezaugarriak .....                       | 134 |
| 7.4.5. Morteroen fabrikazioa.....                        | 137 |
| 8. ZEMENTUAK .....                                       | 139 |
| 8.1. Sarrera.....                                        | 139 |
| 8.2. Zer da zementu bat? .....                           | 139 |
| 8.3. Zementu motak.....                                  | 139 |
| 8.3.1. Zementu naturalak.....                            | 139 |
| 8.3.2. Porlan zementua .....                             | 140 |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 8.3.3. Alumina-zementua . . . . .                 | 143 |
| 8.3.4. Zementu puzolanikoak . . . . .             | 145 |
| 8.3.5. Labe garaiko zementuak . . . . .           | 145 |
| 8.4. Zementuen fabrikazioa . . . . .              | 146 |
| 8.5. Zementuen erabilera . . . . .                | 146 |
| 8.5.1. Kontuan izan beharreko faktoreak . . . . . | 146 |
| 8.5.2. Aplikazio-esparruak . . . . .              | 148 |
| 9. KAREAK . . . . .                               | 151 |
| 9.1. Sarrera . . . . .                            | 151 |
| 9.2. Definizioa eta izaera . . . . .              | 151 |
| 9.2.1. Aire-kareak . . . . .                      | 152 |
| 9.2.2. Ur-kareak . . . . .                        | 152 |
| 9.3. Kareen propietateak . . . . .                | 153 |
| 9.3.1. Dentsitatea . . . . .                      | 153 |
| 9.3.2. Hidraulikotasuna . . . . .                 | 153 |
| 9.3.3. Fraguatzea . . . . .                       | 153 |
| 9.3.4. Plastikotasuna . . . . .                   | 154 |
| 9.3.5. Bolumen-egonkortasuna . . . . .            | 154 |
| 9.3.6. Erresistentzia mekanikoak . . . . .        | 155 |
| 9.4. Kareen fabrikazioa . . . . .                 | 155 |
| 9.4.1. Lehengaiak . . . . .                       | 155 |
| 9.4.2. Harrobien ustiaketa . . . . .              | 156 |
| 9.4.3. Instalazio-operazioak . . . . .            | 156 |
| 9.5. Kareen aplikazioak . . . . .                 | 161 |
| 9.5.1. Kare-morteroak . . . . .                   | 161 |
| 9.5.2. Luzituak . . . . .                         | 162 |
| 9.5.3. Adreilu siliko-kalkareoak . . . . .        | 162 |
| 10. IGELTSUAK . . . . .                           | 163 |
| 10.1. Sarrera . . . . .                           | 163 |
| 10.2. Definizioa eta izaera . . . . .             | 163 |
| 10.3. Igeltsuaren propietateak . . . . .          | 164 |
| 10.3.1. Ehotze-fintasuna . . . . .                | 164 |
| 10.3.2. Fraguatzea . . . . .                      | 165 |
| 10.3.3. Zabalkuntza . . . . .                     | 165 |
| 10.3.4. Erresistentzia mekanikoak . . . . .       | 165 |
| 10.3.5. Ur-xurgapena . . . . .                    | 166 |
| 10.3.6. Itsaskortasuna . . . . .                  | 166 |
| 10.3.7. Korrosioa . . . . .                       | 166 |
| 10.3.8. Suarekiko erresistentzia . . . . .        | 166 |

|          |                                                          |     |
|----------|----------------------------------------------------------|-----|
| 10.4.    | Igeltsuen fabrikazioa . . . . .                          | 167 |
| 10.4.1.  | Lehengaiak . . . . .                                     | 167 |
| 10.4.2.  | Harrobien ustiakuntza. . . . .                           | 167 |
| 10.4.3.  | Aurretiko birrinketa . . . . .                           | 168 |
| 10.4.4.  | Deshidratazioa, kaltzinazioa edo erreketeta . . . . .    | 169 |
| 10.4.5.  | Ehoketa, biltegitratzea eta ontziraketa. . . . .         | 170 |
| 10.5.    | Igeltsu motak eta aplikazioak . . . . .                  | 171 |
| 11.      | HORMIGOIAK . . . . .                                     | 173 |
| 11.1.    | Sarrera . . . . .                                        | 173 |
| 11.2.    | Definizioa . . . . .                                     | 173 |
| 11.3.    | Osagaiak . . . . .                                       | 174 |
| 11.3.1.  | Agregakinak . . . . .                                    | 174 |
| 11.3.2.  | Zementua . . . . .                                       | 181 |
| 11.3.3.  | Ura . . . . .                                            | 181 |
| 11.3.4.  | Gehigarriak. . . . .                                     | 182 |
| 11.4.    | Dosifikazioa. . . . .                                    | 184 |
| 11.4.1.  | Sarrera . . . . .                                        | 184 |
| 11.4.2.  | Bete beharreko baldintzak . . . . .                      | 184 |
| 11.4.3.  | Dosifikazio-metodoak . . . . .                           | 184 |
| 11.5.    | Fabrikazioa . . . . .                                    | 194 |
| 11.6.    | Ontzea . . . . .                                         | 198 |
| 11.7.    | Propietateak . . . . .                                   | 201 |
| 11.7.1.  | Sarrera . . . . .                                        | 201 |
| 11.7.2.  | Dentsitatea . . . . .                                    | 201 |
| 11.7.3.  | Elastikotasuna. . . . .                                  | 201 |
| 11.7.4.  | Konpresioarekiko erresistentzia . . . . .                | 204 |
| 11.7.5.  | Erresistentzia karakteristikoa . . . . .                 | 207 |
| 11.7.6.  | Trakzioarekiko erresistentzia . . . . .                  | 207 |
| 11.7.7.  | Iragazkortasuna . . . . .                                | 208 |
| 11.7.8.  | Uzkurdura. . . . .                                       | 208 |
| 11.7.9.  | Hanpadura . . . . .                                      | 209 |
| 11.7.10. | Isurpena . . . . .                                       | 210 |
| 11.7.11. | Propietate termikoak . . . . .                           | 211 |
| 11.7.12. | Pitzadurak. . . . .                                      | 212 |
| 11.8.    | Saiakuntzak . . . . .                                    | 213 |
| 11.8.1.  | Loditasunaren neurketa . . . . .                         | 213 |
| 11.8.2.  | Konpresioarekiko erresistentziaren neurketa . . . . .    | 215 |
| 11.8.3.  | Trakzioarekiko erresistentziaren neurketa . . . . .      | 216 |
| 11.8.4.  | Flexotrakzioarekiko erresistentziaren neurketa . . . . . | 217 |

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.9. Hormigoi motak . . . . .                                        | 217 |
| 11.9.1. Hormigoi arinak . . . . .                                     | 218 |
| 11.9.2. Hormigoi astunak . . . . .                                    | 218 |
| 11.9.3. Hormigoi erregogorak . . . . .                                | 219 |
| 11.9.4. Zuntzekin gogorturiko hormigoiak . . . . .                    | 219 |
| 11.9.5. Hormigoi proiektatua . . . . .                                | 220 |
| 11.9.6. Erresistentzia altuko hormigoiak . . . . .                    | 220 |
| 12. MATERIAL METALIKOAK . . . . .                                     | 221 |
| 12.1. Sarrera . . . . .                                               | 221 |
| 12.2. Propietateak . . . . .                                          | 221 |
| 12.2.1. Mekanikoak . . . . .                                          | 221 |
| 12.2.2. Elektriakoak eta termikoak . . . . .                          | 228 |
| 12.2.3. Kimikoak . . . . .                                            | 229 |
| 12.3. Metalen eta aleazioen egiturak . . . . .                        | 230 |
| 12.3.1. Metal puruen solidotzea . . . . .                             | 231 |
| 12.3.2. Disoluzio solidoak eta gogordura . . . . .                    | 232 |
| 12.3.3. Oreka-diagramak . . . . .                                     | 233 |
| 12.3.4. Mikroegiturak . . . . .                                       | 235 |
| 12.4. Fabrikazio-prozesuak . . . . .                                  | 235 |
| 12.4.1. Hasierako etapak . . . . .                                    | 235 |
| 12.4.2. Altzairuaren fabrikazioa . . . . .                            | 237 |
| 12.4.3. Burdinartuaren fabrikazioa . . . . .                          | 243 |
| 12.4.4. Beste metalen fabrikazioa . . . . .                           | 244 |
| 12.5. Eraikuntzan erabilitako metalak eta haien aplikazioak . . . . . | 245 |
| 12.5.1. Altzairuak . . . . .                                          | 245 |
| 12.5.2. Burdinartuak . . . . .                                        | 248 |
| 12.5.3. Kobrea . . . . .                                              | 249 |
| 12.5.4. Zinka . . . . .                                               | 251 |
| 12.5.5. Aluminioa . . . . .                                           | 251 |
| 13. MATERIAL POLIMERIKOAK . . . . .                                   | 253 |
| 13.1. Sarrera . . . . .                                               | 253 |
| 13.2. Polimeroen egitura . . . . .                                    | 254 |
| 13.2.1. Polimero termoplastikoak . . . . .                            | 255 |
| 13.2.2. Elastomeroak . . . . .                                        | 257 |
| 13.2.3. Polimero termoegonkorak . . . . .                             | 258 |
| 13.3. Polimeroen propietateak . . . . .                               | 259 |
| 13.3.1. Propietate fisikoak . . . . .                                 | 259 |
| 13.3.2. Propietate mekanikoak . . . . .                               | 261 |
| 13.3.3. Kimikoak . . . . .                                            | 266 |

|         |                                                                                 |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.4.   | Polimeroen fabrikazioa . . . . .                                                | 267 |
| 13.5.   | Polimeroen aplikazioa eraikuntzan . . . . .                                     | 271 |
| 13.5.1. | Isolatzaile termikoak . . . . .                                                 | 271 |
| 13.5.2. | Soinu-isolatzaileak . . . . .                                                   | 271 |
| 13.5.3. | Hodiak . . . . .                                                                | 272 |
| 13.5.4. | Zoruak . . . . .                                                                | 272 |
| 13.5.5. | Margoak eta estaldurak . . . . .                                                | 272 |
| 13.5.6. | Itsasgarriak, juntak eta seilanteak . . . . .                                   | 273 |
| 13.5.7. | Beira organikoak . . . . .                                                      | 273 |
| 13.5.8. | Altzariak, panelak, tresnak eta erabilera mugatueterako<br>plastikoak . . . . . | 273 |
| 13.6.   | Eraikuntzan erabilitako polimero garrantzitsuenak . . . . .                     | 273 |
| 13.6.1. | Binil polikloruroa . . . . .                                                    | 273 |
| 13.6.2. | Poliiolefinak . . . . .                                                         | 275 |
| 13.6.3. | Poliestirenoa . . . . .                                                         | 276 |
| 13.6.4. | Poliuretanoak . . . . .                                                         | 277 |
| 13.6.5. | Epoxi erretxinak . . . . .                                                      | 278 |
| 13.6.6. | Polimero akrilikoak . . . . .                                                   | 280 |
| 14.     | EGURRAK . . . . .                                                               | 281 |
| 14.1.   | Sarrera . . . . .                                                               | 281 |
| 14.2.   | Egitura eta konposizio kimikoa . . . . .                                        | 282 |
| 14.2.1. | Egitura makroskopikoa . . . . .                                                 | 282 |
| 14.2.2. | Mikroskopikoa . . . . .                                                         | 285 |
| 14.2.3. | Konposizio kimikoa . . . . .                                                    | 286 |
| 14.3.   | Propietate fisikoak . . . . .                                                   | 286 |
| 14.3.1. | Kolorea . . . . .                                                               | 286 |
| 14.3.2. | Distira . . . . .                                                               | 286 |
| 14.3.3. | Testura . . . . .                                                               | 286 |
| 14.3.4. | Anisotropia . . . . .                                                           | 287 |
| 14.3.5. | Higroskopia . . . . .                                                           | 287 |
| 14.3.6. | Deformagarritasuna . . . . .                                                    | 288 |
| 14.3.7. | Pisu espezifikoa . . . . .                                                      | 289 |
| 14.3.8. | Propietate mekanikoak . . . . .                                                 | 290 |
| 14.4.   | Saiakuntzak . . . . .                                                           | 291 |
| 14.5.   | Egurren sailkapena . . . . .                                                    | 291 |
| 14.5.1. | Egur erretxinadunak . . . . .                                                   | 291 |
| 14.5.2. | Hostozabalen egurrak . . . . .                                                  | 291 |
| 14.5.3. | Gineako egurrak . . . . .                                                       | 292 |
| 14.5.4. | Egur exotikoak . . . . .                                                        | 292 |
| 14.6.   | Egurraren akatsak . . . . .                                                     | 292 |



|         |                                         |     |
|---------|-----------------------------------------|-----|
| 14.7.   | Fabrikazioa                             | 295 |
| 14.7.1. | Lehorketa                               | 295 |
| 14.7.2. | Zahartze artifiziala                    | 296 |
| 14.7.3. | Babesleak                               | 296 |
| 14.8.   | Aplikazioak                             | 296 |
| 14.8.1. | Taula kontraxapatuak                    | 297 |
| 14.8.2. | Egur laminatua                          | 297 |
| 14.8.3. | Egur konprimitua                        | 298 |
| 14.8.4. | Egur metalizatua                        | 298 |
| 14.8.5. | Egur bakelizatua                        | 298 |
| 14.8.6. | Egur inpregnatuak                       | 298 |
| 14.8.7. | Taula aglomeratuak                      | 299 |
| 15.     | MATERIAL BITUMINOSOAK                   | 301 |
| 15.1.   | Sarrera                                 | 301 |
| 15.2.   | Egitura eta konposizioa                 | 301 |
| 15.2.1. | Betunak                                 | 301 |
| 15.2.2. | Galipotak                               | 302 |
| 15.2.3. | Material bituminosen konposizio kimikoa | 302 |
| 15.3.   | Propietateak                            | 302 |
| 15.3.1. | Dentsitatea                             | 303 |
| 15.3.2. | Biskositatea                            | 303 |
| 15.3.3. | Biguntze-puntua                         | 304 |
| 15.3.4. | Harikortasuna                           | 304 |
| 15.3.5. | Hauskorra                               | 305 |
| 15.4.   | Fabrikazioa                             | 305 |
| 15.4.1. | Betun naturalak                         | 305 |
| 15.4.2. | Betun artifizialak                      | 305 |
| 15.4.3. | Galipotak                               | 307 |
| 15.5.   | Aplikazioak                             | 307 |
| 15.5.1. | Errepideetako zoladurak                 | 308 |
| 15.5.2. | Iragazgaizgarriak                       | 308 |
| 16.     | LEHERGAIK                               | 311 |
| 16.1.   | Sarrera                                 | 311 |
| 16.2.   | Lehergaien ezaugarriak                  | 311 |
| 16.2.1. | Egonkortasun kimikoa                    | 311 |
| 16.2.2. | Sentikortasuna                          | 311 |
| 16.2.3. | Detonazio-abiadura                      | 312 |
| 16.2.4. | Potentzia-lehergaia                     | 312 |
| 16.2.5. | Kartutxoratze-dentsitatea               | 312 |
| 16.2.6. | Urarekiko erresistentzia                | 312 |
| 16.2.7. | Keak                                    | 312 |

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 16.3. Lehergai industrialak . . . . .                  | 313 |
| 16.3.1. Dinamitak . . . . .                            | 313 |
| 16.3.2. Anfoak . . . . .                               | 314 |
| 16.3.3. Hidrogelak . . . . .                           | 314 |
| 16.3.4. Emultsio-lehergaiak . . . . .                  | 314 |
| 16.3.5. Heavy anfo . . . . .                           | 315 |
| 16.3.6. Meatze-bolbora . . . . .                       | 315 |
| 16.3.7. Segurtasun-lehergaiak . . . . .                | 316 |
| 16.4. Lehergaien aukeraketa . . . . .                  | 316 |
| 16.5. Leherketa-osagaiak . . . . .                     | 317 |
| 16.5.1. Detonagailuak . . . . .                        | 317 |
| 16.5.2. Kordoi-detonagailuak . . . . .                 | 319 |
| 16.5.3. Biderkatzaileak . . . . .                      | 320 |
| 17. HORMIGOIZKO AURREFABRIKATUAK . . . . .             | 321 |
| 17.1. Sarrera . . . . .                                | 321 |
| 17.2. Produktu aurrefabrikatuaren abantailak . . . . . | 321 |
| 17.2.1. Ezaugarri teknikoei dagokienez . . . . .       | 322 |
| 17.2.2. Arrazoi ekonomikoei dagokienez . . . . .       | 323 |
| 17.3. Egitura-sistema aurrefabrikatuak . . . . .       | 323 |
| 17.4. Fabrikazio-sistemak . . . . .                    | 324 |
| 17.4.1. Aurrefabrikazio arina . . . . .                | 324 |
| 17.4.2. Aurrefabrikazio industrial . . . . .           | 326 |
| 17.4.3. Hormigoi aurreatezatua . . . . .               | 327 |
| 18. MARGOAK . . . . .                                  | 329 |
| 18.1. Sarrera . . . . .                                | 329 |
| 18.2. Margoen osagai orokorrak . . . . .               | 329 |
| 18.2.1. Pigmentuak . . . . .                           | 329 |
| 18.2.2. Aglutinatzaileak . . . . .                     | 329 |
| 18.2.3. Lehortzaileak . . . . .                        | 330 |
| 18.3. Bernizak . . . . .                               | 331 |
| 18.4. Esmalteak . . . . .                              | 331 |
| 18.5. Margo-teknika . . . . .                          | 331 |
| 18.6. Propietate fisikoak . . . . .                    | 332 |
| 18.7. Korrosio-kontrako babesak . . . . .              | 333 |
| BIBLIOGRAFIA . . . . .                                 | 335 |
| TAULEN AURKIBIDEA . . . . .                            | 337 |
| IRUDI ETA GRAFIKOEN AURKIBIDEA . . . . .               | 339 |



# 1. Gainbegiratu orokor bat

## *1.1. SARRERA*

Eguneroko produktuen manufakturan, lanketan, produkzioan, diseinuan eta eraikuntzan materialak aukeratu behar dira.

Aukeraketa hori egiteko orduan, hurrengo baldintzak izan beharko dira kontuan:

1. Aukeraturiko materialari obrak eskatzen dituen itxura eta dimentsioak era merke eta errazean eman ahal zaizkio.
2. Materiala gai da itxura edo forma mantentzeko obraren biziraupen osoan zehar.
3. Materialaren propietateak denboran zehar mantentzen dira.
4. Materiala bateragarria da obran dauden beste materialekin.
5. Materiala erraz birzikla daiteke. Haren produkzioan eta erabiltze-etapan sor ditzakeen ingurumen-arazoak kontuan izan beharko dira.
6. Materiala ekonomikoki errentagarria da.

Ezinbestekoa da material ezberdinak ezagutzea, hau da, haien portaera orokorra eta ahalatasunak ezagutzea, eta, aldi berean, inguruak haien gain izango duen eragina eta haien portaerak mugaturiko erabilera-baldintzen jabe izatea.

## *1.2. MATERIAL MOTAK*

Materialen barne-egituraren, propietateen eta fabrikazioaren artean dagoen erlazioa ezagutzea da Materialen Zientziaren helburu nagusia. Materialen ingeniartzak, aldiz, materialen ezagupen orokor hori era aplikatuan aztertzen du gizarteak behar dituen produktuak ekoizteko.

Materialen Zientzia material natural eta artifiziai guztiez arduratzen da, haien aplikazioak bereziki landuz.

Propietate edo aplikazioen arabera materialak era honetan sailka daitezke:

- **Egiturazkoak:** eraikuntza batean kargak jasango dituztenak, esate baterako habeen altzairua.

- **Elektronikoak:** propietate elektriko garrantzitsuak dituztenak, eremu elektrikoek materialekin dituzten elkarrekintzen bidez sorturikoak.
- **Magnetikoak:** propietate magnetiko garrantzitsuak dituztenak, eremu magnetikoek materialekin dituzten elkarrekintzen bidez sorturikoak.
- **Fotonikoak:** argiaren elkarreraginaren ondorioz propietate bereziak azaltzen dituztenak.
- **Biomaterialak:** bizidunengan ordezkapen-funtzioa dutenak, esate baterako lentillak.
- **Funtzionalak:** egiteko berezia daukatenak, itsasgarriak eta pinturak adibidez.

Konposizioari begira materialak era honetan sailka daitezke:

- **Metalak:** erabilienak altzairua, aluminioa, magnesioa, zinka, titanioa, kobrea eta nikela dira. Eroankortasun elektriko eta termiko ona daukate, erresistentzia, zurruntasun eta harikortasun handikoak dira eta talken aurrean erresistentzia handia dute ere. Karga handiak jasan behar dituzten eraikuntza-aplikazioetan bereziki erabilgarriak dira. Nahiz eta egoera batzuetan metal puruak erabili, gehienetan aleazioak erabiliko dira, hau da, metal ezberdinen arteko nahasketak; hauek, metal puruen propietateak hobetzen baitituzte.
- **Zeramikoak:** adreiluek, beirek, portzelanek, erregogorrek eta urratzaileek material zeramiko klasikoen taldea osatzen dute. Eroankortasun elektriko eta termiko txikia daukate, eta askotan isolatzaile moduan erabiltzen ohi dira. Material hauek gogorak dira baina oso hauskorrak. Prozesaketa-teknika berrien bidez, aplikazio estukturaletan erabiltzeko, hausturen aurrean erresistentzia handitzea lortu izan da. Silizioa, germanioa eta galio artseniuroko (GaAs) zenbait konposatu aplikazio elektronikoetarako bereziki garrantzitsuak dira. Material hauen eroankortasun elektrikoa kontrolagarria da transistore, diodo eta zirkuitu integratuetaiko gailu elektronikoetan erabiltzeko; material erdieroaleak deituriko taldea osatzen dute.
- **Polimeroak:** makromolekulen bidez sorturiko konposatu organikoak dira. Talde honetan kautxua, plastikoak eta hainbat itsasgarri daude. Eroankortasun elektriko eta termiko txikia dute, erresistentzia baxuak eta ez dira aproposak tenperatura altuetan erabiltzeko.
- **Konpositeak:** bi material ezberdinen edo gehiagoren arteko konbinazioaren bidez sortzen dira, banakako materialetan aurki ezin daitezkeen propietateak lortzeko. Adibiderik ezagunena hormigoia izan daiteke. Kontzeptu hau erabiliz, materialen ingeniarietza gero eta arinagoak, gogorragoak, harikorrak, goi-tenperaturen aurrean erresistenteagoak diren produktuak lortzen saiatzen ari da.

### **1.3. MATERIALEN EGITURAREN, PROPIETATEEN ETA LANKETAREN ARTEKO ERLAZIOA**

Materialaren barne-egituraren, lanketa moduaren eta amaierako propietateen artean erlazio zuzena dago; era horretan, hiru aspektu horietariko bat aldatzen denean, gainerakoak ere aldatuko dira: adibidez, materialaren barne-egitura aldaketak sartzen direnean, atomo talde berri bat esate baterako, bere propietateak aldatuko ditu eta, horrela, forma egokia emateko egiten diren operazioak ere birmoldatu beharko dira propietate berrietara egokituz.

#### **1.3.1. Propietateak**

Materialen propietateek beren ezaugarri funtzionalak eta erabilgarritasuna definitzen dituzte. Normalean, aplikazio konkretu batean, material baten erabilgarritasuna zenbait propietateren menpe dago.

Eraikuntzan propietaterik garrantzitsuenak propietate mekanikoak dira, zeinek materialaren portaera aplikaturiko indar baten aurrean deskribatzen baitute, eta erresistentzia, zurruntasuna eta harikortasuna bezalako kontzeptuak aztertzen baitituzte. Kasu batzuetan, talken aurrean edo denboran zehar ziklikoki aplikatzen diren kargen aurrean (nekea) materialak daukan portaera aztertu nahiko da. Beste zenbaitetan tenperatura altuen aurrean daukaten erantzuna (termofluentzia) edo baldintza urratzaileetan daukatena aztertu nahiko da. Propietate mekanikoek materiala forma erabilgarri bat lortzeko zein erraztasunez deformatu daitekeen aztertzen dute ere, beraz, lanketarako ezinbestekoa izango da haiek ezagutzea.

Askotan, egitura aldaketa txikiek eragin handia dute materialen propietateetan.

#### **1.3.2. Egitura**

Material baten egitura maila ezberdinetan azter daiteke, neurri atomikoetatik milimetroko neurrietara.

Atomo bakarren inguruan dauden elektroien kokapenak portaera elektrikoan, magnetikoan, termikoan eta optikoan zeresan handia dute. Gainera, banaketa elektronikoak atomoen arteko loturetan eragina dauka.

Hurrengo mailan, atomoek espazioan duten kokapena kontuan hartzen da. Metalek, erdieroaleek, zeramiko askok eta zenbait polimerok erregulartasun handia dute atomo ezberdinen kokapen horretan, hau da, egitura kristalinoa daukate. Beste material zeramiko batzuek eta polimero askok ez dute itxura ordenaturik espazioan. Material amorfo edo beiratsu horiek oso modu ezberdinean jokatzen dute. Ordena atomikoaren inperfekzioak kontrolagarriak dira propietateetan eraldaketa garrantzitsuak sortzeko.

Metal, erdieroale eta zeramiko gehienetan ale-egitura dago. Ale horien tamainak eta itxurak materialaren portaeran eragina dauka.

Azkenik, material gehienetan fase bat baino gehiago agertzen dira. Horietariko bakoitzean egitura, konposizioa eta propietateak homogeneousak dira eta besteekiko ezberdinak. Fase horien neurria, distribuzioa eta kantitatearen kontrola egitea propietateak aldatzeko beste era bat da.

### ***1.3.3. Lanketa***

Hasieran formarik ez duten materialei forma egokia eta erabilgarria ematea lanketa izenez ezagutzen da.

Metalak likido-eran molde batean jarritz prozesa daitezke (fundizioa), pieza indibidualak elkarrekin lotuz (soldadura), presio altuen bidez (forja, tenkaketa, estrusioa, ijezketa, tolesketa), hauts metaliko partikula txikiak trinkotuz masa solido bihurtzeko (hautsen metalurgia), edo soberan dagoen materiala kenduz (mekanizazioa).

Era berdintsuan, material zeramikoak kolada, estrusio edo trinkotzearen bidez landu daitezke. Normalean, prozesu hauek hezetasuna mantentzen duten bitartean gauzatzen dira, jarraian tenperatura altuko tratamendu termiko bat emanez.

Polimeroak moldetan injektaturiko plastiko urtuaren bidez ekoizten dira (fundizioaren antzera) edo estrusioaren bidez.

Askotan, materialek tratamendu termikoak jasaten dituzte, beren fusio-puntuaren azpitik, egitura aldatzeko asmoz.

Material bakoitzean erabiltzen den lanketa-era propietateen eta egituraren menpe dago proportzio handi batean, gero baldintza ekonomikoak ere kontuan izango dira, jakina.

## ***1.4. MATERIALEN PORTAERAN ERAGINA DUTEN ZENBAIT FAKTORE GARRANTZITSU***

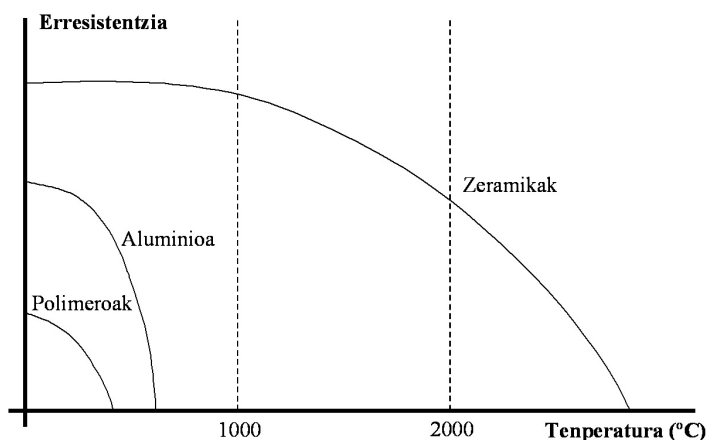
Egitura-propietateak-lanketa erlazioa materialak jasaten duen ingurunearen baldintzek aldatzen dute, tenperatura altuek eta ingurune korrosiboek besteak beste.

### ***1.4.1. Tenperatura***

Tenperatura-aldaketek materialen propietateak nabarmen aldatzen dituzte. Tratamendu termiko edo konformazio-teknika jakin batzuen bidez gogorturiko materiala berotzen denean, bere propietateak bat-batean gal ditzake.

Tenperatura altuek zeramiken propietateak aldatzen dituzte eta polimeroen urketa edo erreketak ekar ditzakete; tenperaturek txikiak, aldiz, metalen edo polimeroen apurketa hauskorra ekar dezakete, nahiz eta aplikaturiko kargak txikiak izan.

Hurrengo grafikoan, (ikus *1. irudia*) tenperatura handitzen doan heinean zenbait materialen erresistentzia-aldaketa ikus daiteke. Oro har, eraikuntzan erabiltzen diren material guztien erresistentzia txikituz doa tenperatura handitzen denean. Zeramiken portaera tenperatura handien aurrean oso ona da, ia 3.000 °C inguru behar dira euren ezaugarri mekanikoak guztiz galtzeko. Tenperatura horren handiak ez dira eraikuntzako aplikazio arruntetan lortzen. Aldiz, beste muturrean polimeroak daude, zeinek, oro har, ezingo dituzten 400-500 °C-ak gainditu guztiz urtu edo erre gabe.



**1. irudia. Zenbait materialen erresistentzia tenperaturaren funtzioan.**

#### **1.4.2. Korrosioa**

Metal eta polimero gehienek oxigeno eta beste gasekin erreakzionatzen dute, bereziki tenperatura altuetan. Metalak eta zeramikoak desintegratu daitezke eta polimeroak hauskor bihurtu.

Likido korrosiboek zenbait material erasotzen diete eta behar baino lehenago hausturak sor ditzakete. Hori horrela, material talde egokiak eta estaldurak aukeratu beharko dira ingurune berezi hauetan lan egiteko.

#### **1.5. MATERIALEN DISEINUA ETA AUKERAKETA**

Aplikazio jakin baterako material bat aukeratzen denean, obra horren inguruan dauden baldintzak kontuan izan beharko dira. Materialak, jakina, obrak behar dituen propietateak izan beharko ditu, proiektuak eskatzen duen formarekin lantzeko ahalmena izan beharko du, eta, gainera, irtenbide ekonomikoki interesgarria



izatea eskatuko zaio. Horretaz gain, ingurunea ez du kaltetuko. Diseinu-baldintzak betetzeko, materialaren ezaugarri, portaera eta kostuaren artean oreka batera heldu beharko da.

Horrela, normalean material baten kostua kalkulatzeko kilogramo bateko pisuaren arabera kostuaren bidez egiten da. Diseinuan eta aukeraketan materialaren dentsitatea kontuan izaten da, hau da, bere pisua bolumen-unitateko. Agian, aluminioaren prezioa pisu-unitateko altzairuarena baino handiagoa izan daiteke, baina aluminioak altzairuaren pisuaren herena dauka. Aluminioa erabiliz ekoitzi beharko lirakeen piezek sekzio handiagoa izan beharko lukete, hala ere altzairua baino merkeagoa izan daiteke pisu-diferentzia dela-eta.

Materialek beren artean lehiatu egiten dute merkatuetan. Zenbait aplikaziotan material baten ordeztu beste bat erabiltzeko zenbait faktore aztertu beharko dira. Kostua faktore horietatik garrantzitsuenetakoa da. Material baten prozesaketan aurrerakuntza handia gertatzen denean kostua txikituz, zenbait aplikaziotan ohiko materialaren ordezkapena gertatzea posiblea da. Materialak ordeztzeko beste arrazoi bat propietate bereziak dituzten material berrien garapena da. Horren ondorioz, denbora-tarte jakin baten ostean, zenbait materialen erabilera aldatu egiten da.

Ingeniariek materialak ezagutu behar dituzte: propietateak, egiturak, fabrikazio erak eta gai ekonomikoak eta ingurumenekoak, besteak beste. Pieza edo obraren konplexutasuna handitzen den heinean, aukeraketa zaildu egiten da, kontuan izan behar diren faktoreen kopurua asko handitzen delako.

Hurrengo taulan (ikus *1. taula*) ingeniariak maiz erabiltzen dituzten taulen adibide bat ageri da. Normalean, propietate eta material ezberdinak erlazionatzen dituzten grafikoak eta taulak erabilgarriak izango dira aplikazio jakin baterako materialaren aukeraketa era egokian egiteko.

| Materiala                                    | Trakzioarekiko erresistentzia (GPa) | Dentsitatea ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | Erresistentzia-pisua erlazioa (cm) |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|
| Polietilenoa (dentsitate altukoa)            | 0,08                                | 0,97                                            | 0,08                               |
| Aluminio purua                               | 0,05                                | 2,7                                             | 0,02                               |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$                      | 0,21                                | 3,16                                            | 0,07                               |
| Epoxi erretxinak                             | 0,1                                 | 1,1                                             | 0,1                                |
| Tratamendu termikodun altzairu herdoilgaitza | 1,8                                 | 7,74                                            | 0,23                               |
| Tratamendu termikodun aluminiozko aleazioa   | 0,27                                | 2,7                                             | 0,1                                |
| Karbono-karbono konposatua                   | 0,23                                | 1,7                                             | 0,14                               |
| Tratamendu termikodun titaniozko aleazioa    | 1,2                                 | 4,43                                            | 0,27                               |
| Kevlar-epoxi konposatua                      | 0,45                                | 1,4                                             | 0,32                               |
| Karbono-epoxi konposatua                     | 0,55                                | 1,4                                             | 0,4                                |

**1. taula. Ingeniaritzako zenbait materialen propietate garrantzitsuak.**



## 2. Materialen egitura

### 2.1. SARRERA

Materialen atomoen arteko lotura motak eragin zuzena dauka haien egiturean, horrela materialak metaletan, zeramiketan, polimeroetan eta abarretan sailka daitezke. Horrek eragin zuzena dauka materialen propietate mekanikoetan eta portaera fisikoan ere.

### 2.2. ATOMOAREN EGITURA

Atomo bat nukleo batez eta bere inguruan biraka dauden elektroiez osatuta dago. Nukleoak neutroiak eta protoiak ditu; protoiak positiboki kargatuta daude; neutroiak, aldiz, ez dute kargarik; horregatik nukleoak karga neto positiboa du. Elektroiak, negatiboki kargatuta daudenak, nukleora loturik daude erakarpen elektros-tatikoaren bidez. Elektroi edo protoi bakoitzaren karga elektrikoak  $1,60 \cdot 10^{-19}$  C balio du. Atomo batean elektroi eta protoien kopurua berdina denez, elektrikoki neutroa da. Masa gehiena nukleoan kontzentratuta dago.

Zenbaki atomikoa elementu baten atomo batek dituen elektroi edo protoien kopurua da; era horretan burdinak, adibidez, bere zenbaki atomikoa 26 izanik, 26 elektroi eta 26 protoi ditu.

Masa atomikoak nukleoan dauden protoi eta neutroien masa totala adierazten du. Elementu berdinen isotopoek nukleoan neutroi kopuru ezberdinak dituzte, eta bakarrik masa atomikoan ezberdintzen dira.

Elektroiek, atomoan, era ez-jarraian kokaturiko energia-mailak betetzen dituzte. Elektroi bakoitzak energia karakteristiko bat dauka, horrela atomo batean energia berdina duten bi elektroi baino gehiago ez dira egongo. Hori horrela, elektroi bakoitzean energia-diferentzia jakin bat dago.

Elektroi bakoitzak duen energia-maila lau zenbaki kuantikoren bidez adierazten da. Energia-maila ezberdinak lehenengo hiru zenbaki kuantikoen bidez definituta daude.

a.  $n$  zenbaki kuantiko printzipala: zenbaki osoa da eta elektroia dagoen geruza kuantikoa adierazten du.

- b.  $l$  zenbaki kuantiko azimutala: geruza kuantiko bakoitzean dauden energia-mailak adierazten ditu. Zenbaki osoak dira,  $0$ tik  $(n-1)$ -ra doaz.
- c.  $m_l$  zenbaki kuantiko magnetikoa: zenbaki kuantiko azimutal bakoitzarentzat energia-mailak, edo orbitalak, adierazten ditu.  $l$  bakoitzarentzat dauden zenbaki kuantiko magnetikoen kopurua da.  $m_l$  balioak zenbaki osoak dira,  $-l$ -tik  $+l$ -ko balioak hartzen dituzte.
- d.  $m_s$  spin zenbaki kuantikoa: Pauli-ren eskusio-printzipioaren arabera, material batean ezin dira kontrako biraketa duten bi elektroik baino gehiago egon. Zenbaki honek hurrengo balio posibleak ditu:  $+\frac{1}{2}$  edo  $-\frac{1}{2}$ .

Zenbaki kuantikoak erabiliz atomoen banaketa elektronikoa gertatzen da, bakoitzak bere banaketa elektroniko berezia izango du. Ezaugarri hau atomoak ordenatzeko erabilgarria da, eta horrela, taula periodikoa eratu zen.

Taula periodikoaren egitura zutabe eta lerroetan (talde eta periodo izenez ezagutzen direnak, hurrenez hurren), elementuen konfigurazio elektronikoan oinarritzen da. Lerroak, edo periodoak, zenbaki kuantiko printzipalen funtzioan definitzen dira. Zutabeak edo taldeak, aldiz,  $s$  kanpo energia-mailan dauden elektroik-zenbakien funtzioan definitzen dira, eta balentzia ohikoenei dagokie.

### 2.3. LOTURA ATOMIKOA

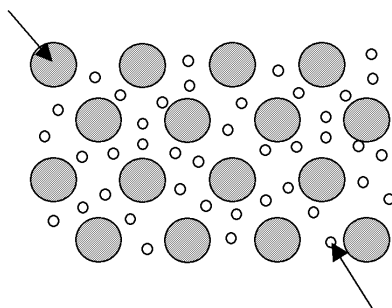
Atomoek lau mekanismoren bidez lot daitezke elkarrekin. Horietatik hirutan, atomoak  $s$  eta  $p$  kanpo-mailak betetzen dituztenean gertatzen dira.

#### 2.3.1. Lotura metalikoa

Lotura mota honetan balentzia-elektroiak ez daude inolako atomoek lotuak, elektroik-hodei batean mugitzen dira (ikus 2. irudia). Nukleo positiboak elektroiekin duten erakarpen-indarren bidez lotuta daude, lotura metalikoa sortuz.

Lotura metalikoak norabide gabekoak dira, hau da, atomoak loturik mantentzen dituzten elektroik ez daude posizio jakin batean finkaturik. Ezaugarri horri esker metal baten gainean indar bat aplikatzen denean tolesteko asmoz, atomoak beren posizioa aldatzen saiatzen direnean, loturaren norabidea aldatu egiten da indarrari egokitzeko, apurtu gabe. Propietate hau metalezko hainbat pieza fabrikatzeko orduan erabilgarria da, forma ezberdinetan moldatzeko.

Positiboki kargaturiko nukleoak



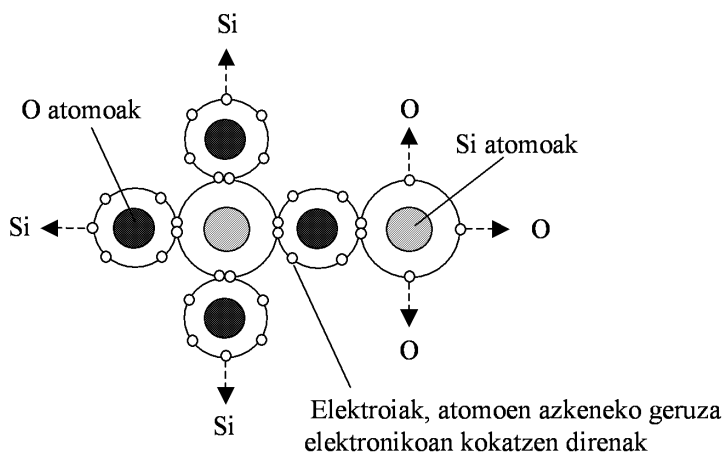
Negatiboki kargaturiko elektroaiak

### 2. irudia. Lotura metalikoa.

Elektroien posizioa finkoa ez izateak metalak eroale elektriko zein termiko onak bihurtzen ditu.

#### 2.3.2. Lotura kobalentea

Lotura mota honetan bi atomok, edo gehiagok, elektroaiak konpartitzen dituzte (ikus 3. irudia, hemen silizea osatzen duten atomoen arteko loturak nola sortzen diren agertzen da adibide gisa). Oso gogorrak diren norabidezko loturak sortuz, materialari harikortasun eta eroankortasun elektriko txikia ematen diote. Esate baterako, siliziozko barra bat tolesten saiatzen garenean, loturak apurtuko dira elementu horren atomoek euren artean duten erlazioa betirako aldatuz. Era berdinean, korronte elektriko bat garraiatzeko elektroai bat mugi dadin, lotura kobalentea apurtu beharko da; elektroia askatzeko tenperatura edo tentsio oso altuak nahitaezkoak dira.



### 3. irudia. Lotura kobalentea.

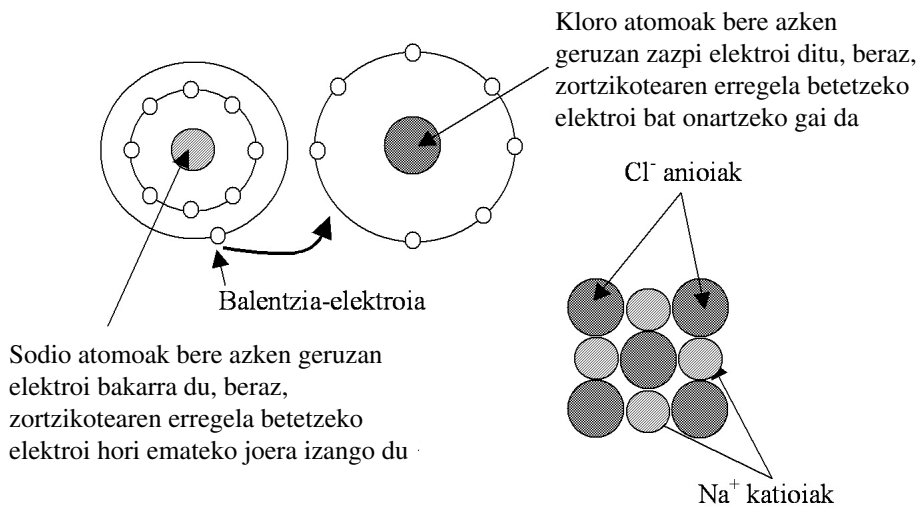
Ondorioz, lotura kobalenteen bidez sortutako materialak hauskorrak dira eta isolatzaile elektriko moduan jokatzen dute.

### 2.3.3. Lotura ionikoa

Material batean atomo ezberdinak daudenean, horietariko batek balentzia-elektroiak eman diezazkioke beste motako atomoari, bigarren atomoaren kanpoko energia-maila betetz. Egoera horretan, biek kanpoko energia-maila beterik edo hutsik izango dute, karga elektrikoa lortuz eta ioi moduan jokatuz. Elektroiak ematen dituen atomoa karga neto positiboarekin gelditzen da (katioia); elektroiak onartzen dituen atomoak, aldiz, karga neto negatiboa lortzen du (anioia). Kontrako karga duten ioiek elkar erakartzen dute lotura ionikoa sortuz (ikus 4. irudia).

Lotura mota honekin osaturiko materialak hauskorrak dira, indarra aplikatzean ioien arteko oreka elektrikoa apurtzen baita. Haien eroankortasun elektrikoa txikia da, karga elektrikoa ioi osoen mugimenduaren bidez transferitu behar baita, eta horiek ez dira elektroien erraztasunarekin mugitzen.

Material asko, zenbait metal barne, hiru lotura-mekanismoen arteko konbinazioen bidez sortzen dira.



4. irudia. Lotura ionikoa.

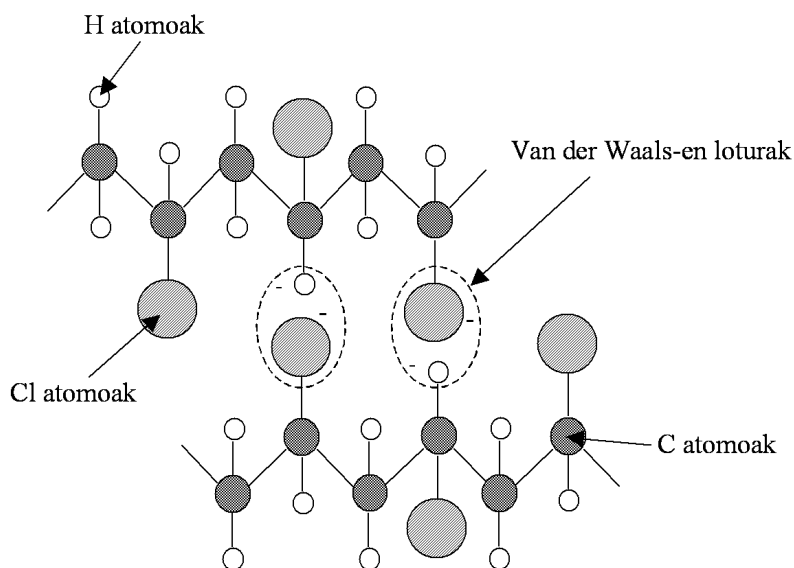
### 2.3.4. Van der Waals-en loturak

Van der Waals-en loturek molekulak edo atomo taldeak elkartzen dituzte erakarpen elektrostatiko ahulen bidez. Plastikoa asko, zeramika, ura eta beste molekula batzuk beti polarizatuta agertzen dira, hau da, molekularen zati batean karga positiboa dago, eta bestean, karga negatiboa. Molekula baten zati positiboaren

eta beste baten zati negatiboaren arteko erakarpen elektrostatikoa bidez, Van der Waals-en lotura sortzen da.

Lotura mota hau ahula da; bigarren mailakotzat hartzen da, atomoek molekulen barruan lotura ionikoak edo kobalenteak baitituzte. Hala ere, lotura hauek materialen propietateetan eragin nabarmena dute.

5. *irudian* polibinil kloruroaren kateen arteko lotura ikus daiteke, bertan kloro atomoak negatiboki kargatuak daude eta oxigeno atomoak positiboki. Bi atomo talde horien artean Van der Waals-en lotura ahulak sortzen dira. Horien eraginez, material horien gainean trakziozko indar bat aplikatzen denean, kateak labaindu egiten dira Van der Waals-en loturak apurtzen direlako.



5. irudia. Van der Waals-en lotura.

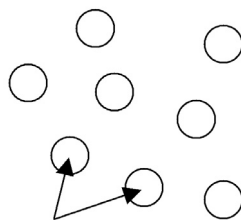
## 2.4. ATOMOEN KOKAPENA

Material solido baten mikroegitura eta portaera atomoen kokalekuak eragin nabarmena dauka. Metaletan, zenbait ordenamendu harikortasun handia ematen dute; beste materialetan, aldiz, erresistentzia handiak sortzen dituzte.

Atomoetan hiru ordenamendu-maila bereizten dira:

**a) Desordenamendua:** gasetan eta likido gehienetan molekulek ez dute kokaleku ordenaturik; hau da, espazioan ausazko tokietan kokatzen dira, ikus 6. *irudia*.

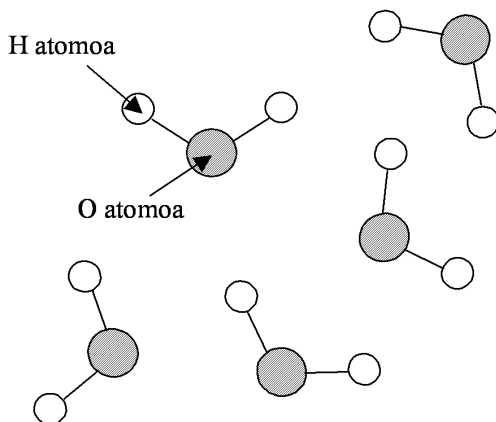




Ar gas atomoak

### 6. irudia. Atomoen desordenamendua.

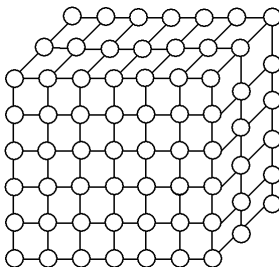
**b) Irispide laburreko ordenamendua:** alboko atomoetan ordenamendua agertzen duten materialetan definitzen da. Lurrin molekula bakoitzean, esate baterako, ordenamendu mugatu bat agertzen da hidrogeno eta oxigeno atomoen arteko lotura kobalenteak eraginda; baina, ur molekulek ez dute lurrunean ordenamendu berezirik, ausazko tokietan kokatzen dira, ikus 7. *irudia*. Polimero gehienek ordenamendu mota antzekoak dituzte.



### 7. irudia. Atomoen irispide laburreko ordenamendua.

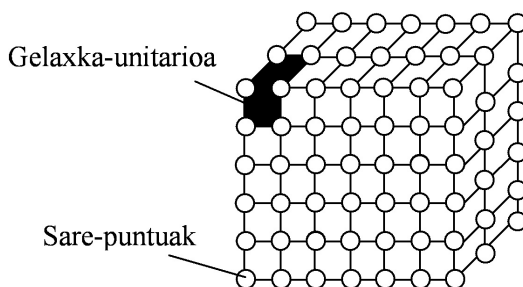
**c) Irispide luzeko ordenamendua:** metaletan, material zeramiko askotan eta zenbait polimerotan ere, atomoek irispide luzeko ordenamendua dute, hau da, material osoan zehar hedatzen den antolamendua. Atomoek sare bat sortzen dute material osoan zehar hedatzen dena, ikus 8. *irudia*.

Sarearen konfigurazioa material batetik bestera aldatuz doa, bai itxuran baita neurrian ere, atomoen neurriaren eta haien arteko loturaren arabera. Material baten egitura kristalinoa sarearen barruko ordenamenduaren, neurriaren eta itxuraren arabera da.



**8. irudia. Atomoen irispide luzeko ordenamendua.**

**Gelaxka unitarioa** propietate orokorrak azaltzen dituen sare baten zatiketarik txikiena da. Gelaxka unitario guztien multzoak sarea sortzen du, ikus 9. *irudia*.



**9. irudia. Gelaxka unitarioa.**

Hamalau gelaxka unitario mota bereizten dira zazpi egitura kristalinoetan banaturik, Bravais-en sareak moduan ezagutzen direnak. Sare-puntuak gelaxka unitarioen ertzetan kokatuta daude, eta zenbait kasutan, aurpegien erdian edo gelaxkaren erdian, ikus 10. *irudia*.



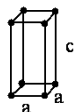
Kubiko sinplea,  
angelu guztiak  
 $90^\circ$ -koak



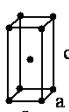
Aurpegietan zentratutako sare  
kubikoa, angelu  
guztiak  $90^\circ$ -koak



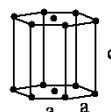
Gorputzean zentratutako  
sare kubikoa, angelu  
guztiak  $90^\circ$ -koak



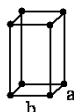
Tetragonal  
sinplea, angelu  
guztiak  $90^\circ$ -koak



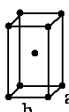
Gorputzean  
zentratutako sare  
tetragonal, angelu  
guztiak  $90^\circ$ -koak



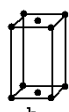
Hexagonala,  $90^\circ$ -ko bi  
angelu eta  $120^\circ$ -ko  
angelu bat



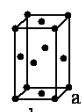
Ortorronbiko  
sinplea, angelu  
guztiak  $90^\circ$ -koak



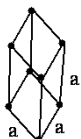
Gorputzean  
zentratutako sare  
ortorronbikoa, angelu  
guztiak  $90^\circ$ -koak



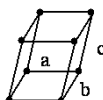
Oinarrietan  
zentratutako sare  
ortorronbikoa, angelu  
guztiak  $90^\circ$ -koak



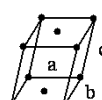
Aurpegietan  
zentratutako sare  
ortorronbikoa, angelu  
guztiak  $90^\circ$ -koak



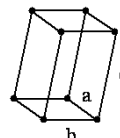
Erronboedrikoa,  
angelu guztiak  
berdinak dira  
baina ez  $90^\circ$ -koak



Monokliniko sinplea,  $90^\circ$ -  
ko bi angelu eta  $90^\circ$ -koa  
ez den beste bat



Oinarrietan  
zentratutako sare  
monoklinikoa,  $90^\circ$ -ko  
bi angelu eta  $90^\circ$ -koa  
ez den beste bat



Triklinikoa,  
angelu guztiak  
ezberdinak eta  
ez  $90^\circ$ -koak

## 10. irudia. Bravais-en sareak.

**Sare-parametroak**, zeinek gelaxka unitarioaren neurria eta itxura deskribatzen dituzten, gelaxka unitarioaren alboen eta angeluen neurriak dira.

Hurrengo taulan (ikus 2. *taula*) ohiko metalek dituzten sare-parametroak agertzen dira:

| Metala     | Egitura mota                           | Sare-parametroa (nm) |
|------------|----------------------------------------|----------------------|
| Kromoa     | Gorputzean zentraturiko sist. kubikoa  | 0,289                |
| Burdina    |                                        | 0,287                |
| Molibdenoa |                                        | 0,315                |
| Potasioa   |                                        | 0,533                |
| Sodioa     |                                        | 0,429                |
| Tantalioa  |                                        | 0,330                |
| Wolframioa |                                        | 0,316                |
| Vanadioa   |                                        | 0,304                |
| Aluminioa  | Aurpegietan zentraturiko sist. kubikoa | 0,405                |
| Kobrea     |                                        | 0,3615               |
| Urrea      |                                        | 0,408                |
| Beruna     |                                        | 0,495                |
| Nikela     |                                        | 0,352                |
| Platinoa   |                                        | 0,393                |
| Zilarra    |                                        | 0,409                |

**2. taula. Zenbait metalen egitura kristalinoa eta sare-parametroak.**

Gelaxka unitario bakoitza sare-puntu kopuru batek definitzen du. **Gelaxka unitario bakoitzeko atomo kopurua** definitzeko gelaxka horren sare-puntuak zenbatzen dira, jakinik zenbait kasutan beste gelaxka baten parte izan daitezkeela eta faktore hau kontuan izan beharko dela kontua egiteko orduan.

Egitura sinpleetan, sare-puntu bakoitzean atomo bakarra duten egituretan batez ere, atomoaren itxurazko neurriaren eta gelaxka unitarioaren arteko erlazioa kalkulatzen da. Horretarako, gelaxkan atomoak elkarrekin kontaktuan dauden norabidea aurkitu beharko da. Norabide horiek konpaktuenak dira. Geometrikoki sare-parametroen norabide erlatiboaren luzera kalkulatuz eta norabide horretan zehar erradio atomikoen balioak gehituz, aipaturiko erlazioa aurki daiteke.

Atomo jakin batekin kontaktuan dauden atomo kopuruari **koordinazio-zenbaki** deritzen, eta paketamenduaren efizientzia adierazten du.

**Paketamendu-faktorea** atomoak beteriko espazioa da, esfera solidoak direla suposatuz. Haren adierazpen matematikoa hau da:

$$\text{Paketamendu-faktorea} = \frac{(\text{atomo-zenbakia/gelaxka}) \cdot (\text{atomo-bolumena})}{\text{gelaxka bolumena}}.$$

Hurrengo taulan (ikus 3. taula) metalen ezaugarri kristalino garrantzitsuenak agertzen dira.

| Egitura                                     | Aldearen neurria<br>atomoaren<br>erradioaren funtzioan | Koord.<br>zenbakia | Paketamendu-<br>faktorea | Adibideak                                        |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|
| Kubiko sinplea                              | $a_0 = 2 \cdot r$                                      | 6                  | 0,52                     | -                                                |
| Gorputzean<br>zentraturiko<br>sare kubikoa  | $a_0 = \frac{4 \cdot r}{\sqrt{3}}$                     | 8                  | 0,68                     | Fe, Ti, W,<br>Mo, Nb, Ta,<br>K, Na, V, Cr,<br>Zr |
| Aurpegietan<br>zentraturiko<br>sare kubikoa | $a_0 = \frac{4 \cdot r}{\sqrt{2}}$                     | 12                 | 0,74                     | Fe, Cu, Al,<br>Au, Ag, Pb,<br>Ni, Pt             |
| Hexagonal<br>konpaktua                      | $a_0 = 2 \cdot r$<br>$c_0 = 1,633 \cdot a_0$           | 12                 | 0,74                     | Ti, Mg, Zn,<br>Be, Co, Zr,<br>Cd                 |

### 3. taula. Metalen ezaugarri kristalino garrantzitsuak.

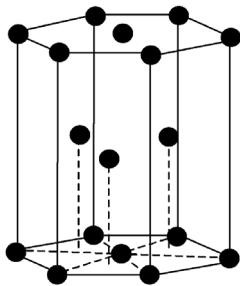
Metaletan, aurpegietan zentraturiko sare kubikoa gelaxkaren egiturarik efizienteena da, dentsitate handienekoa. Metalek paketamendu-faktore baxuak izan ditzakete kohesio atomikoaren ondorioz. Lotura metalikoa soilik duten metaletan atomoak ahalik eta efizienteen kokatuta daude. Lotura mistoak dituzten metaletan, gelaxka unitarioek maximoa baino paketatze-faktore txikiagoa izan dezakete. Ingeniaritzan erabiltzen diren metaletan egitura kubiko sinplea ez da agertzen, gehienek aurpegietan zentraturiko sistema kubikoa (CCC), gorputzean zentraturiko sistema kubikoa (CC) edo egitura hexagonal konpaktua (HC) dituzte.

Aurreko taulan metal batzuek, burdinak eta titanioak esate baterako, egitura kristalino bat baino gehiago dituztela ikus daiteke: tenperatura baxuetan burdinak CC egitura du, baina tenperatura altuagoetan CCC egiturara eraldatzen da. Material batek egitura kristalino bat baino gehiago dituenean alotropiko deritzo, eta propietate horren ondorioz burdinaren eta titanioaren tratamendu termikoak gauzatzen dira. Material zeramiko askotan ere, silizean ( $\text{SiO}_2$ ) adibidez, eraldaketa alotropikoak gertatzen dira berotzen edo hozten direnean. Eraldaketa horiek aldaketa bolumetrikoeekin batera gerta daitezke eta era egokian kontrolatu behar dira materialean pitzadurarik ager ez dadin.

HC egitura hexagonal konpaktua sare hexagonal berezia da, ikus *11. irudia*; bere gelaxka unitarioa prisma bat da eta bi sare-puntu ditu gelaxka bakoitzeko. Egitura honek paketamendu-faktore oso efizientea duenez, material askotan aurki daiteke.

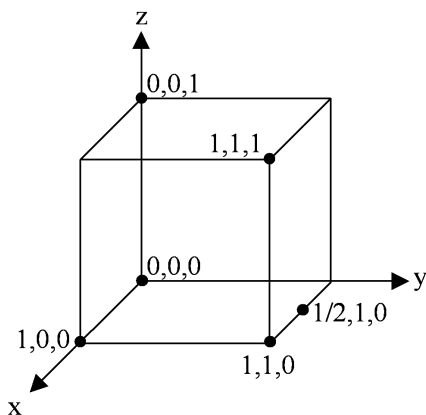
Metal baten dentsitate teorikoa egitura kristalinoaren propietateak era honetan aplikatuz kalkulatzen da:

$$\rho = \frac{(\text{atomoak/gelaxka}) \cdot (\text{masa atomikoa})}{(\text{gelaxka bolumena}) \cdot (\text{Avogradoren zk.})}$$



**11. irudia. Egitura hexagonal konpaktua.**

Puntuen koordinatuak bilatzen ohi dira, hau da, gelaxka unitarioan dauden atomoen koordinatuak. Koordinatu horiek sare-parametroak bezala izendatzen dira, koordinatu-jatorritik puntu jakinetara dagoen distantzia neurtuz. 12. irudian adierazten den moduan, hiru distantziak komen bidez banaturik ematen dira.



**12. irudia. Sare-parametroak.**

**Gelaxka unitarioan zenbait norabide** garrantzitsuak dira; metaletan, adibidez, deformazioa atomoen arteko kontaktu handiena ematen den norabideetan gertatzen da. Material baten propietateak neurtzeko orduan, zenbait kasutan kristalean zehar propietate hori neurturiko norabidearen menpe egon daiteke. Miller-en indizeak erabiltzen dira norabide horiek definitzeko.

Kristal batean zenbait plano garrantzitsuak dira ere; metalak, adibidez, plano konpaktuenetan zehar deformatzen dira. Miller-en indizeak plano horiek izendatzeko erabil daitezke.

Erradio atomikoaren eta sare-parametroaren arteko erlazioa aztertzen denean, atomoak konpaktuak diren norabideak bilatzen dira. Norabide horiei Miller-en indizeak esleitzen zaizkie.

Ordenamendu atomikoaren barruan planoen eta norabideen artean ezberdintasunak daudenez, propietateak ere norabidearen arabera aldakorrak dira. Material bat anisotropikoa dela esaten da bere propietateak norabide kristalografikoaren arabera aldakorrak direnean. Propietateak norabide guztietan berdinak direnean, orduan, kristala isotropikoa dela esaten da.

Miller-en indize berdinak dituzten bi plano paraleloren arteko distantziari  $d_{hkl}$  **planoen arteko distantzia** deritzen. Material kubikoetan distantzia hori hurrengo

eran kalkula daiteke: 
$$d_{hkl} = \frac{a_0}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

non:

$a_0$  = sare-parametroa den

$h$ ,  $k$  eta  $l$  = kontsideraturiko planoen Miller-en indizeak diren

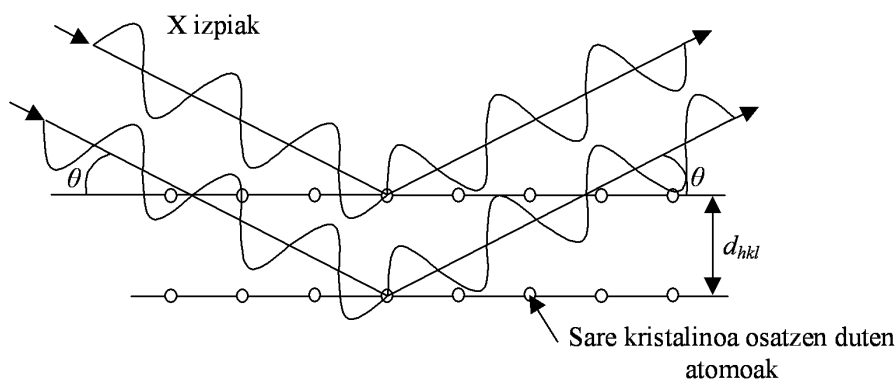
Planoen arteko distantziak kalkulatzeko X izpien difrakzioa erabil daiteke, horrela material ezezagunak edo kristalen orientazioak kalkula daitezke. Teknika horretan X izpiek, uhin-luzera ezagun batekin, normalean hautsa egoeran dagoen lagin baten aurka jotzen dute, ikus 13. irudia. X izpi-sorta difraktatu egiten da angelu jakin batekin Bragg-en legearen arabera:  $\lambda = 2 \cdot d_{hkl} \cdot \sin\theta$

non:

$\lambda$  = uhin-luzera ezaguna den

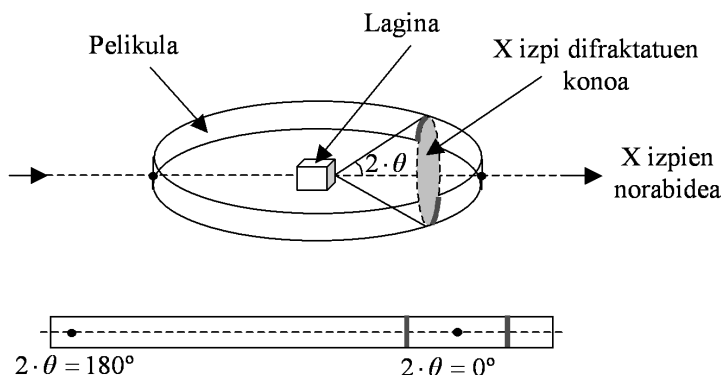
$\theta$  = difrakzio-angelua den

$d_{hkl}$  = planoen arteko distantzia den



13. irudia. Planoen arteko distantzia ezagutzeko X izpien difrakzioa.

Uhin-luzera finkatzen bada, plano konkretu bateko atomoek X izpiak angelu jakin bat difraktatzea eragiten dute. X izpien sorta difraktatuak lagina inguratzen duen pelikula fotografikoa inprimatzen du. Bragg-en legea betetzen duten planoetako erradiazio-konoek soilik inprimatzen dute pelikula, ikus 14. irudia. Pelikula aztertuz eta  $2\theta$  angelua kalkulatu,  $d_{hkl}$  balioa kalkulatu da.



14. irudia. Difraktometroaren funtzionamendua.

Egitura kubikoen kasuan difrakzio-planoek hurrengo baldintzak betetzen dituzte, ikus 4. taula:

| Egitura mota                 | Ezaugarriak                                                             |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Kubikoa                      | $h^2 + k^2 + l^2 \Rightarrow 1, 2, 3, 4, 5, 6$ etab.<br>$h k l$ 0 edo 1 |
| Kubikoa gorputzean zentratua | $h + k + l \Rightarrow$ <b>zenbaki bikoitia</b>                         |
| Kubikoa aurpegieta zentratua | $h k l$ guztiak bikoitiak edo guztiak bakoitiak                         |

4. taula. Egitura kubikoan difrakzio-planoek beteriko baldintzak.

Lotura metalikoak duen norabide gabeko propietatea dela-eta, metalek normalean egitura kristalino sinpleak dituzte sare-puntu bakoitzean atomo bakarra egonik. Hala ere, lotura kobalentea edo ionikoa duten materialek, edo konposatu metalikoek, egitura konplexuagoak dituzte loturak, ioien arteko neurri-diferentziak eta balentziak jarritako mugak betetzeko. Hurrengo puntuetan egitura konplexu ohikoenak azaltzen dira.

#### • Diamantearen egitura kubikoa

Silizioa, germanioa, eztainua eta karbonoa diamante eran, besteak beste, lau lotura kobalentez loturik daude tetraedro bat sortuz, ikus 15. irudian lerro lodiz margo-turiko gelaxka. Talde tetraedriko horiek elkarrekin konbinatzen direnean kubo handi bat sortzen da, irudian ikus daitekeenez.





### • Polimero kristalinoak

Zenbait polimerok egitura kristalinoak sor ditzakete, esate baterako polietilenoak bezala. Karbono eta hidrogenoz sorturiko kateak trinkotu egiten dira gelaxka ortorronbiko bat sortuz.

Zenbait materialek irispide luzeko ordenamendurik ez dute, **material amorfoak** edo ez-kristalinoak dira. Oro har, materialek egoera kristalino bat lortzeko joera daukate, egonkorrena delako eta energia-maila txikiena duelako. Hala ere, material amorfoen atomoak era desordenatuan loturik daude ordenamendu periodikoa galarazten duten faktoreek eraginda. Horrela, material amorfoen atomoek ausazko posizioak betetzen dituzte espazioan, material kristalinoak ez bezala. Polimeroak, beirak eta zenbait metal material amorfoak dira normalean.

## 2.5. IRREGULARTASUNAK ORDENAMENDU KRISTALINOAN

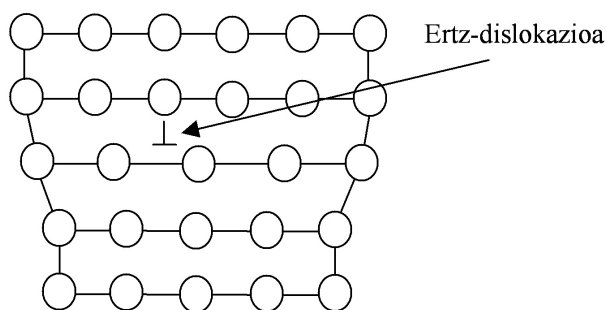
Material askok irregulartasunak edo akatsak dituzte atomoen ordenamenduan, materialaren portaeran eraginak sortuz. Akats horiek materialean apropos sartzen dira propietate mekaniko eta fisiko konketuak lortzeko. Sare-irregulartasunak kontrolatuz metalak eta haien aleazioak erresistenteagoak bihurtzen dira, iman gogorrek eta kolore biziko beirak sortzen dira, etab.

### 2.5.1. Dislokazioak

Dislokazioak, printzipioz perfektua izan zitekeen sare baten inperfekzio linealak dira. Hurrengo dislokazio motak daude:

#### a) Ertz-dislokazioa

Dislokazio mota hau planoerdi bat gehiago kristalean sartzen delako agertzen da, ikus 17. irudia.

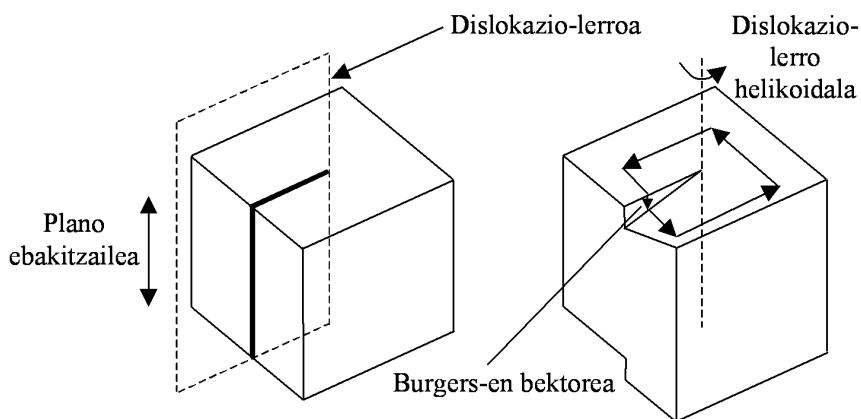


17. irudia. Ertz-dislokazioak.

Dislokazioaren inguruan gertatzen den atomoen desplazamenduaren distantziari labainketa edo Burgers-en bektore deritzo, eta kasu honetan ertzaren dislokazio-lerroarekiko elkarzuta da. Dislokazioak ez-oreka akatsak dira eta sarearen zati distortsionatuan energia metatzen dute dislokazioaren inguruan. Ertz-dislokazioek konpresio-tarte bat dute gehituriko planoerdia kokatzen den aldean, eta tentsio-tarte bat gehituriko planoerdi horren azpian.

### b) Dislokazio helikoidala

Dislokazio helikoidala kristal perfektu batean sor daiteke, plano ebakitzaille batekin banandu diren kristal-tarteen goiko eta beheko aldean ebakidura-indarrak aplikatuz. Ebakidura-esfortzu hauek gune kristalinoan arrapala espiral itxurako distortsioa sortzen dute edo dislokazio helikoidala deitzen dena, ikus 18. irudia.



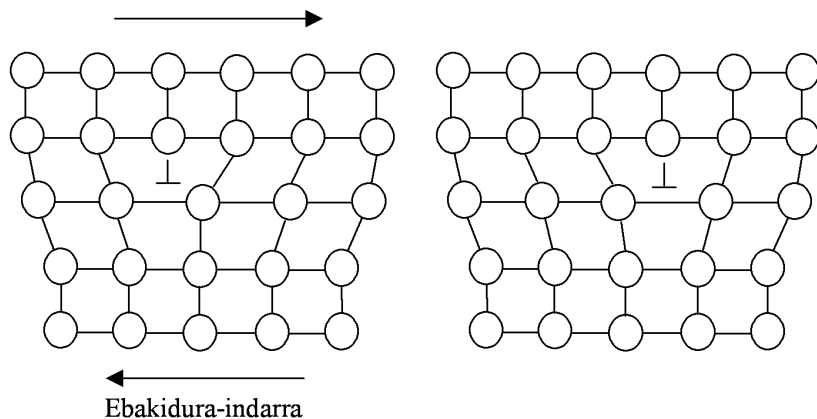
18. irudia. Dislokazio helikoidalak.

Kristalaren zati distortsionatua ez dago ondo definitua eta bere diametroa zenbait atomotakoa da. Horrela, dislokazioaren inguruan energia metatzen den tarte bat agertzen da. Labainketa edo Burgers-en bektorea dislokazio-lerroarekiko paraleloa da kasu horretan.

Kristaletan agertzen diren dislokazio gehienak mistoak dira, hau da, ertz-dislokazio eta dislokazio helikoidalen osagaiak dituzte.

Dislokazio bat duen kristal baten gainean, eta Burgers-en bektorearen norabidean, ebakidura-indar bat eragiten denean, dislokazioa mugitu egiten da planoan dauden atomoen arteko loturak apurtuz, ikus 19. irudia.

Prozesu hori aurrera badoa dislokazioa egituratik zehar mugitzen da kristalaren kanpoaldean eskaloia bat sortuz, eta momentu horretan kristala deformatua egongo da. Kristalaren alde batetik dislokazioek sartzen jarraitzen badute, hauek mugitzean, egitura bi zatitan bana daiteke azkenean.



### 19. irudia. Dislokazioen mugimendua saretik.

Dislokazio bat mugitzen den prozesuari, esate baterako metal batean deformazioa eraginez, labainketa deritzo. Mugimenduaren norabideari dislokazio-lerro edo labainketa-lerro deritzo, ertz-dislokazioen kasuan Burgers-en bektorearen norabidean dena. Labainketa gertatzen den bitartean, ertz-dislokazioak, Burgers-en bektoreak eta dislokazioak sortzen duten planoak ekortu egiten du. Plano horri labainketa-plano deritzo. Norabidearen eta labainketa-planoaren arteko konbinazioak labainketa-sistema sortzen du. Dislokazio helikoidal batek emaitza berdina sortzen du, baina mugimendua Burgers-en bektorearekiko norabide perpendikularrean gertatzen da, nahiz eta kristala bektorearen norabidearekiko paraleloki deformatu.

Kasu horretan, Burgers-en bektoreak eta dislokazio-lerroak lerrokideak izanik ez dute plano espezifikorik definitzen ertz-dislokazioak bezala.

Labainketa-norabidea, posible den guztietan, norabide konpaktua da, eta labainketa-planoa konpaktua ere, hau da, dentsitate altuko norabideak eta planoak dira.

Nahiz eta labainketa-prozesua zenbait zeramika eta polimerotan gerta daitekeen, bereziki nabaria da metaletan. Fenomeno honekin metalek espero zitekeen baino erresistentzia txikiagoa dute, teoriar lotura metalikoak oso erresistentzia handiak ematen baititu, baina ez da errealitatean islatzen.

Burdinazko barra batean lotura metaliko guztiak apurtu beharko balira, ehunka mila kiloko indarra aplikatu beharko litzateke zentimetro karratuko apurketa hori lortzeko; hala ere, barra labainketaren bidez deforma daiteke; kasu horretan, lotura metalikoen portzentaje bakar bat apurtu beharko litzateke aldi berean, eta  $700 \text{ kg/cm}^2$ -ko indarra aplikatzearekin nahikoa izango litzateke.

Bestalde, labainketak harikortasuna ematen die metalei; era horretan, dislokazioak egongo ez balira, burdina-barra hauskorra izango litzateke. Gainera, metal baten propietate mekanikoak kontrolagarriak dira dislokazioen mugimenduan

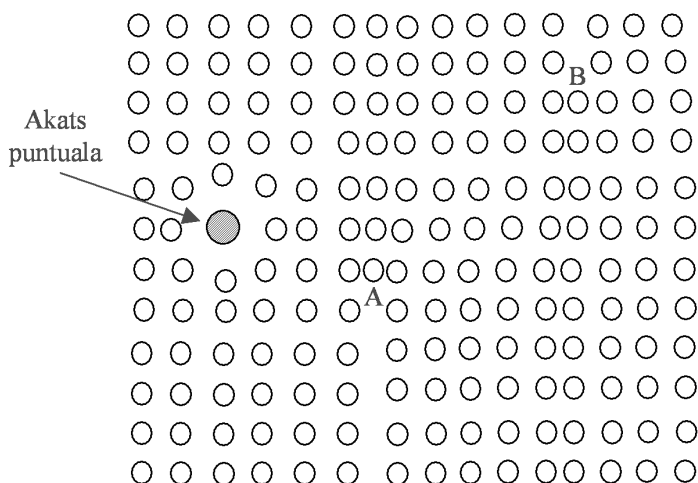
interferituz: kristalean oztopo bat sartzean dislokazioaren labainketa galarazten da indar handiak aplikatu ezean, horrela materialaren erresistentzia handiagoa izango da.

Kristal perfektu batean, atomoen ordenamendu finkoak energiari txikiena sortzen du.

Edozein akatsek sarean, barne-energia handitzen du kokatzen den lekuan. Energia lokala handitu egiten da akatsaren gertutasuna dela-eta: atomoak trinkotu egiten dira (konpresioa) edo aldentzen dira (tentsioa).

Printzipioz perfektua izango litzatekeen sare batean, dislokazio bat zailtasunik gabe kristaletik zehar mugitu daiteke labainketa-esfortzua eta esfortzu kritiko erresultantea berdintzen direnean. Baina dislokazioa atomoak beren ohiko posizioetatik desplazatuak dauden gune batera heltzen bada, indar handiagoa beharko da energia altuko tartetik igarotzeko. Hauxe dela-eta, materiala erresistenteagoa da dislokazioen mugimendua oztopatzen duten akatsak dituenean.

20. irudian ikus daitezkeen moduan, dislokazioek sarearen perfekzioa apurtzen dute. B puntuan, dislokazio-lerrotik behera dauden atomoak konprimituta daude, atomo planoerdi bat gehiago sartu delako egiturari. Dislokazio-lerroaren goiko aldean, atomoak behar baino aldenduago daude trakzio-tarte bat sortuz. Dislokazio-lerrotik gertu dauden atomoak posiziotik kanpo daude. Horrek inguruko atomoak desdoitzen ditu, aldi berean urrunago dauden atomoak desdoituz.



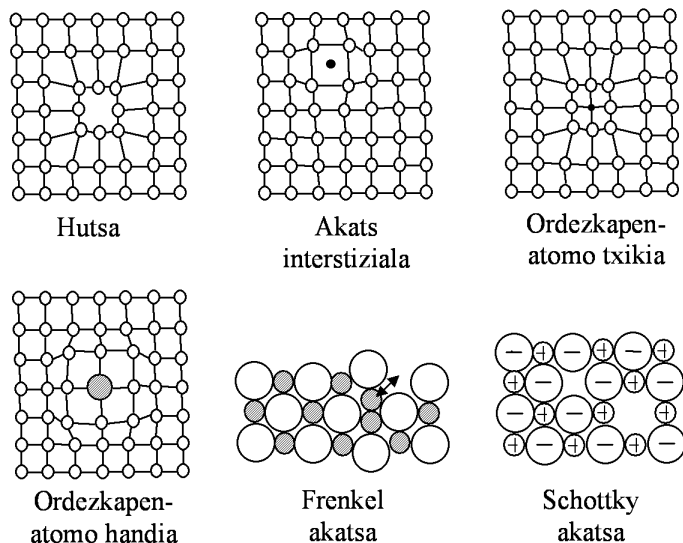
**20. irudia. Dislokazioen efektua sarean.**

A dislokazioa mugitzean, B dislokaziotik gertu igaroz, atomoak egokiro ordenatuta ez dauden gunera helduko litzateke. Esfortzu handiagoak beharko lirateke dislokazio horren mugimendua mantentzeko, horrela materialaren erresistentzia

handiagoa izango litzateke. Sare batean zenbat eta dislokazio gehiago egon, errazago oztopatuko da beste dislokazio baten mugimendua. Horrela, dislokazioen kopurua handitzean metalaren erresistentzia mekanikoa handituko litzateke.

### 2.5.2. Akats puntualak

Sare batean akats puntualak atomo bati edo gehiagori eragiten dieten ez-jarraitutasunak dira, ikus 21. irudia.



21. irudia. Akats puntualak.

**Hutsak**, sare-puntu batean atomo bat galtzen denean sortzen diren hutsuneak dira, egitura kristalinoan solidotzea gertatzen denean, tenperatura altuak direnean edo erradiazioen ondorioz sortzen dira.

Akats **interstizial** bat sarean kanpotik atomo berri bat sartzen denean sortzen da sare-puntu bat ez den lekuan, hau da, interstizio batean. **Ordezkapen**-akats bat gertatzen da sareko atomo bat beste atomo ezberdin batekin ordezten duenean, atomo berria sare-puntu arrunt batean sartzean. Bi akats mota hauek, bai interstiziala bai ordezkapenekoa, ez-purutasun moduan agertzen dira materialetan, eta aleazio-elementuak bezala gehitu daitezke ere. Akats hauek tenperaturarekiko askeak izaten ohi dira.

**Frenkel** akatsa huts interstizial bat da, ioi bat erpin arrunt batetik leku interstizial batera igarotzen denean sortua, atzean huts bat utzita.

**Schottky** akatsa lotura ionikoa duen material batean huts bikote bat da. Kristalean karga berdina mantentzeko anioia eta katioia, biak, saretik atera beharko dira.

Akats puntualek inguruko atomoen kokapen perfektua distortsionatzen dute. Huts bat edo ordezkapeneko atomo txiki bat dagoenean, inguruko atomoek akats puntual horren inguruan kolapsatu egiten dira, inguruko atomoen arteko loturak luzatuz eta trakzio-eremu bat sortuz. Atomo interstizial edo ordezkapeneko atomo handi batek inguruko atomoak bultzatu egiten ditu konpresiozko eremu bat sortuz. Kasu bietan akatsa hedatu egiten da.

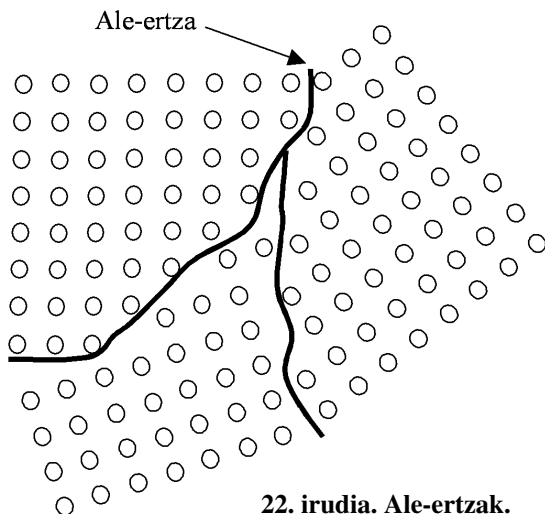
Akats puntual baten inguruan higitzen den dislokazioa atomoak oreka-posizioan ez dituen sare batekin aurkitzen da. Horrek, dislokazioa akatsetik igaro dadin, indarra handiagoa izatea behartzen du, materialaren erresistentzia mekanikoa handituz.

### 2.5.3. Gainazal-akatsak

Gainazal-akatsek materiala eskualde ezberdinetan banatzen dute, bakoitzak egitura kristalino berdina izanik baina orientazio ezberdinekin.

#### 2.5.3.1. Ale-ertzak

Material solido askoren mikroegitura, metaletan batez ere, bata bestearen ondoan kokatzen diren ale edo kristalak agertzen dira. Ale batean, monokristal bat izateagatik, atomoen ordenamendua berdina da, baina aldameneko aleetan egitura kristalinoa ezberdina da, ikus 22. irudia.



Ale-ertz bat ale indibidualak banatzen dituen gainazala da, tarte horretan atomoak ez daude era egokian banatuta. Zenbait lekutan atomoak alearen limitera hurbiltzen dira konpresio-tarte bat sortuz; beste toki batzuetan, aldez, atomoak elkarrengandik oso bananduta agertzen dira trakzio-tarte bat sortuz.

Metal baten propietateak kontrola daitezke alearen neurria txikitzeak dakarren gogortasuna aprobetxatuz. Aleen neurria txikitzen denean, bolumen unitateko, euren kopurua handitzen da, muga edo ale-ertz gehiago agertuz. Beraz, dislokazio batek, mugitzen hastean, berehala aurkituko du ale-limite bat, eta horrela metalaren erresistentzia handituko da dislokazioen mugimendua eragozten delako.

Ale-neurria adierazteko teknika bat ASTMk (American Society for Testing and Materials delakoak) ezarritako ale-neurriaren zenbakia adieraztea da. Hazbete koadro batean dagoen ale kopurua kalkulatzeko  $\times 100$ eko anplifikazioarekin hartutako argazkiarekin.  $N$  hazbete koadro batean dagoen ale kopurua  $N = 2^{n-1}$  ekuazioan sartuz,  $n$  ASTM ale-neurriaren indizea kalkulatzeko da.

ASTM indizea handia denean ale asko daudela esan nahi du, hau da, aleen neurria txikia dela eta, ondorioz, erresistentziak handiak.

#### 2.5.3.2. Angelu txikiko ale-ertzak

Angelu txikiko ale-ertz bat elkarren ondoko sareetan orientazio-galera txiki bat sortzen duen dislokazioen ordenamendu bat da, ikus 23. irudia.

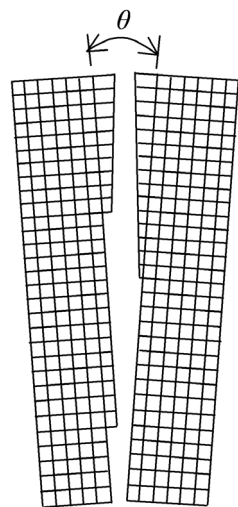
Alboko sarea etena ez denez, ale-ertz arrunt baten kasuan gertatzen den bezala, angelu txikiko ale-ertzak ez dira horren eraginkorrak labainketa galarazteko orduan.

#### 2.5.3.3. Metaketa-akatsak

Akats hauek plano konpaktuen metaketa-sekuentzian gertatzen diren erroreak dira eta CCC eta HC metaletan aurki daitezke.

Normalean CCC sare perfektu batean hurrengo metaketa-sekuentzia agertzen da: ABCABCABC. Baina gerta daiteke, adibidez, hurrengo sekuentzia azaltzea: ABCABABCABC, hau da, C plano bat agertu behar den tokian A plano bat agertzea. Gune horrek HC sekuentzia bat du CCC bat izan beharrean, eta era horretan metaketa-akats bat agertzen da.

Metaketa-akatsak labainketa-prozesuan eragiten dute.



**23. irudia. Angelu txikiko ale-ertzak.**

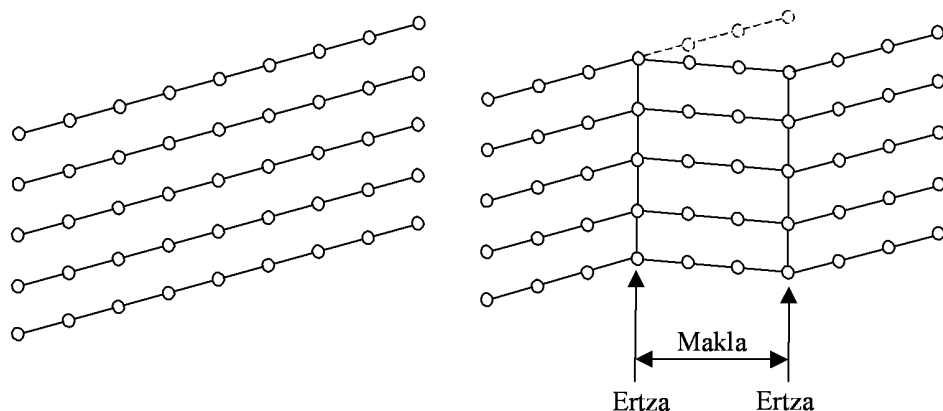


### 2.5.3.4. Makla-ertzak

Makla-ertz bat, alea bi zatitan banatzen duen plano da; alearen planoen artean orientazio-diferentzia txiki bat dago. Sare zati hauek ispiluko irudi bat sortzen dutela dirudi makla-ertzaren planoan, ikus 24. irudia.

Maklak alearen ertzaren luzeran zehar aplikaturiko ebakidura-indar batek eragiten ditu eta atomoek beren hasierako posizioa galtzea eragiten du. Makla-ertza zenbait metalen deformazio edo tratamendu termikoen ondorioz gertatzen da.

Makla-ertzek labainketa-prozesuan eragiten dute metalaren erresistentzia handituz eta haien mugimenduak metal baten deformazioa ere eragiten du.



24. irudia. Makla-ertzak.

## 2.6. ATOMOEN MUGIMENDUA MATERIALETAN

Materialetik zeharreko atomoen mugimenduari difusio deritzen. Atomoak era ordenatuan mugitzen dira kontzentrazio-aldaketak zuzentzeko asmoz, eta tentsio bat edo kanpo-indar bat aplikatzearen ondorioz sor daitezke.

Materialei aplikatzen zaien tratamendu askoren oinarria atomoen mugimenduan dago, horrela, adibidez, difusioak metalen tratamendu termikoetan parte hartzen du, zeramiken fabrikazioan, materialen solidotzean eta material zeramiko askoren eroankortasun elektrikoan, besteak beste.

### 2.6.1. Difusio-mekanismoa

Material guztiz puruetan sareko atomoak posizio batetik bestera higaldi daitezke, kanpo-indarrak edo kontzentrazio-ezberdintasunak agertzen ez badira ere. Prozesu hau autodifusio bezala ezagutzen da, eta material guztietan gertatzen ez bada ere, haien portaera sortzen duen eragina nabaria da.

Aleazio metalikoetan eta zeramikoetan, atomo ezberdinen difusioa gertatzen da. Horrela, adibidez, nikel xafla kobre xafla batekin juntura egiten denean (soldadura bat), nikel atomoak kobre atomoen barruan apurka-apurka barreiatzen dira eta kobre atomoek nikel atomoen aldera jotzen dute. Denbora jakin bat iragan ostean, kobre eta nikel atomoak metal guztitik zehar uniformeki hedatzen dira, leku guztietan kobre- eta nikel-kontzentrazio berdina lortuz.

Atomoek barreiatzeko zenbait mekanismori jarraitzen diete, ikus 25. irudia:

- **Difusioa hutsen bidez**

Atomo batek sarean duen posizioa utzi eta hurbileko huts bat betetzera igarotzen da, bere hasierako posizioan huts bat sortuz. Difusioak aurrera jarraitzen duen bitartean, atomo eta hutsen fluxu bat gertatzen da.

- **Difusio interstiziala**

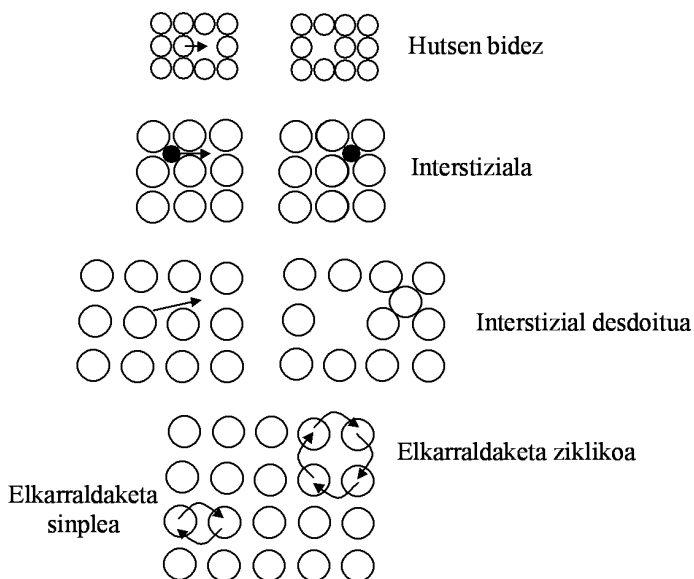
Atomo bat interstizio batetik bestera mugitzen da; mekanismo honek ez ditu hutsak behar gertatzeko.

- **Difusio interstizial desdoitua**

Gutxitan gertatzen da atomo batek sarean duen hasierako posizioa utzi eta interstizio oso txiki batera igarotzea. Ez da maiztasun handiarekin gertatzen, atomoa interstizio txikiago batera moldatu behar delako.

- **Elkarraldaketa sinpleko edo ziklikoko difusioa**

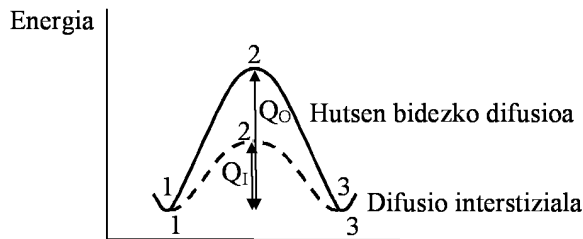
Atomoek posizioak elkarraldatu edo biratu ditzakete.



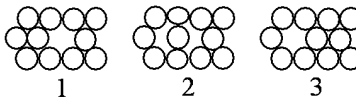
25. irudia. Difusio-mekanismoak.

### 2.6.2. Difusiorako aktibazio-energia

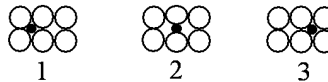
Lehen esan den bezala, barreiatzen den atomo bat inguruko atomoen artean mugitu daiteke eta posizio berri bat lortu. Hasieran, atomo hori energia baxuko posizioan kokatuta egongo da, nahiko egonkor. Beste leku batera mugitzeko energia potentzialeko muga bat pasatu beharko du, horretarako  $Q$  aktibazio-energia beharko du. Atomoari muga hori gainditzeko behar duen energia bero moduan aplikatuko zaio.



Hutsen bidezko difusioa:



Difusio interstiziala:



### 26. irudia. Difusiorako aktibazio-energia.

26. irudian hutsen bidezko difusioak eta interstizialak agertzen dira. Normalean, aktibazio-energia gutxiago behar da atomo interstizialen difusioan hutsen difusioan baino.

### 2.6.3. Fick-en legeak

#### 2.6.3.1. Fick-en lehenengo legea

Matematikoki Fick-en lehenengo legea era honetan adierazten da:  $J = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$

non:

$J$  = fluxu-dentsitatea den ( $\text{atomo}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ), materialean atomoak zein abiaduratan barreiatzen diren adierazten du

$D$  = hedagarritasuna edo difusio-koefizientea ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$\frac{\Delta c}{\Delta x}$  = kontzentrazio-gradiente (atomo/ $\text{cm}^3 \cdot \text{s}$ )

Hurrengo faktoreek eragina dute difusioan:

- **Kontzentrazio-gradienteak**

Kontzentrazio-gradienteak konposizioaren aldaketa distantziaren funtzioan adierazten du. Konposizio ezberdinetan metal desberdinak daudenean gertatzen da. Kasu hauetan, hasieran fluxua altua da kontzentrazio-gradiente handia denean, eta txikituz doa gradiente txikitzen doan heinean.

- **Tenperatura eta difusio-koefizienteak**

Difusio-koefizienteak hurrengo adierazpenaren bidez adierazten da:

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T}}$$

non:

$Q$  = aktibazio-energia den (cal/mol) den

$R$  = 1,987 cal/mol · K, gas idealen konstantea

$T$  = tenperatura absolutua (K) den

$D_0$  = difusio-sistema jakin batentzako konstantea den

Material baten tenperatura handitzen denean, difusio-koefizienteak eta atomoen fluxu-dentsitatea handitzen dira ere. Gero eta tenperatura altuagoetara barreiatzen diren atomoek emandako energia termikoarekin aktibazio-energiaren muga gainditzea posiblea da, horrela desplazamendua sarean zehar erraztuz. Arrazoi honegatik metalen tratamendu termikoak eta zeramikoen prozesaketak tenperatura altuetan egiten dira.

- **Aktibazio-energia eta difusio-mekanismoa**

$Q$  aktibazio-energia txikia izateak difusio-koefizienteak eta fluxu-dentsitatea handiak izatea dakar, energia termiko txikia behar delako energia potentzialaren muga gainditzeko.

Difusio interstiziala, aktibazio-energia baxua duena, magnitude-ordena txikiago batean edo arinago gertatzen da hutsen difusioa edo ordezkapen-atomoen bidez gertaturiko difusioa baino.

Aktibazio-energiak txikiagoak dira egitura kristalino irekietan zehar, egitura kristalino itxietan gertatzen direnetan baino, ikus 6. *taula*.

Aktibazio-energiak ere txikiagoak dira fusio-tenperatura baxuko materialen atomoen difusioa gertatzen denean eta, oro har, ordezkapen-atomo txikietan ere baxuagoak dira atomo handiagoetan baino, ikus 5. *taula*.

| Barreiatzen den atomo mota eta materiala | Fusio-tenperatura (°C) | $Q$ (cal/mol) | $D_0$ (cm <sup>2</sup> /s) |
|------------------------------------------|------------------------|---------------|----------------------------|
| <b>Autodifusioa</b>                      |                        |               |                            |
| Zink                                     | 419                    | 21.900        | 0,1                        |
| Aluminioa                                | 660                    | 39.500        | 0,1                        |
| Kobrea                                   | 1.083                  | 46.900        | 0,36                       |

**5. taula. Aktibazio-energiaren eta tenperaturaren arteko erlazioa zenbait elementutan.**

| Barreiatzen den atomo mota eta materiala | $Q$ (cal/mol) | $D_0$ (cm <sup>2</sup> /s) |
|------------------------------------------|---------------|----------------------------|
| <b>Difusio heterogeneoa</b>              |               |                            |
| Ni atomoak kobrean                       | 57.900        | 2,3                        |
| Cu atomoak nikelean                      | 61.500        | 0,65                       |
| Zn atomoak kobrean                       | 43.900        | 0,78                       |
| Au atomoak zilarrean                     | 45.500        | 0,26                       |
| Ag atomoak urrean                        | 40.200        | 0,072                      |
| <b>Difusio interstiziala</b>             |               |                            |
| C atomoak CCC burdinan                   | 32.900        | 0,23                       |
| N atomoak CCC burdinan                   | 34.600        | 0,0034                     |
| H atomoak CCC burdinan                   | 10.300        | 0,0063                     |
| C atomoak CC burdinan                    | 20.900        | 0,011                      |
| N atomoak CC burdinan                    | 18.300        | 0,0047                     |
| H atomoak CC burdinan                    | 3.600         | 0,0012                     |

**6. taula. Zenbait egituraren aktibazio-energia.**

- Difusio motak**

Difusio bolumetrikok atomoak sare-puntu batetik bestera mugitzen dira, edo huts batetik bestera. Inguruko atomoak direla-eta, aktibazio-energia altua da eta difusio-abiadura nahiko txikia.

Hala ere, atomoak ale-ertzetatik eta materialaren gainazaletik zehar barreja daitezke ere. Atomoak ale-ertzetatik zehar errazago barreiatzen dira, aleen mugetan dagoen atomo-paketatzea eskasa dela-eta. Aktibazio-energia, kasu honetan, txikia izango da atomoek ale-ertz desordenatuak errazago zeharkatzen dituztelako. Gainazalean difusioa errazago da, oraindik oztopo gutxiago baitaude.

### • Denbora

Atomo kopuru handia barreiatu behar bada egitura uniforme bat sortzeko, denbora luzeak beharko dira, nahiz eta tenperatura altuak izan.

#### 2.6.3.2. Fick-en bigarren legea

Fick-en bigarren legeak atomoen difusio dinamiko edo ezegonkorra deskribatzen du, matematikoki haren adierazpena hau da:  $\frac{dc}{dt} = D \cdot \frac{d^2c}{dx^2}$ . Ekuazio diferentzial honen ebazpena, egoera jakin batean, muga-baldintzen funtzioan dago.

$$\text{Ebazpen posibleetarikoa bat hau da: } \frac{c_s - c_x}{c_s - c_0} = \text{erf}\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}}\right)$$

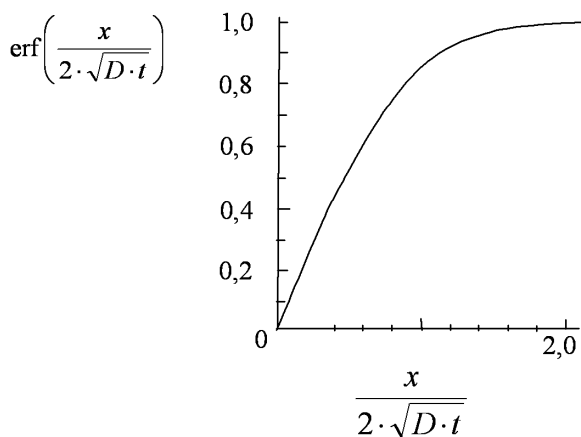
non:

$c_s$  = materialaren gainazaletik zehar barreiatzen diren atomoen kontzentrazio konstantea den

$c_0$  = atomoen hasierako kontzentrazio uniforme materiallean

$c_x$  = gainazalaren azpian  $x$  posiziora barreiatzen den atomoaren kontzentrazioa  $t$  denbora igaro ostean

erf = errore-funtzioa den, zeina 27. irudiaren bidez kalkula baitaiteke



**27. irudia. Fick-en bigarren legearen errore-funtzioa.**

Fick-en bigarren legearen ebazpenarekin laginaren gainazalean dagoen kontzentrazioa denboraren eta distantziaren funtzioan kalkulatzeko posible da; horretarako,  $D$  difusio-koefizientea konstantea izan beharko da, eta  $c_s$  eta  $c_0$  aldaketarik gabe mantendu.



## **3. Materialen propietateak**

### **3.1. SARRERA**

Materialen portaera fisikoa propietate elektrikoek, magnetikoek, optikoek eta termikoek definitzen dute. Horietariko propietate gehienak egitura atomikoak, atomoen ordenamenduak eta egitura kristalinoak mugatzen dituzte. Egitura atomikoaren bidez materialak eroaleetan, erdieroaleetan eta isolatzaileetan sailkatzen dira; portaera ferromagnetikoaren agerpenean zeresan handia dauka eta propietate optiko asko azaltzen ditu.

Propietate fisikoak, atomoen ordenamendua aldatuz eta egitura atomikoan akatsak sartuz eta berauek kontrolatuz alda daitezke.

Bestalde, material askok, zerbitzuan dauden bitartean, kargak jasaten dituzte; kasu hauetan, materialaren ezaugarriak ezagutzea beharrezkoa da, piezaren diseinu egokia egiteko eta, azkenean, piezaren apurketa ekar dezakeen deformazio handiegia gertatzen ez dela ziurtatzeko. Material baten portaera mekanikoak aplikaturiko indarraren eta material horren erantzunaren (deformazioaren) arteko erlazioa adierazten du. Propietate mekaniko garrantzitsuenak erresistentzia, gogortasuna, hari-kortasuna eta zurruntasuna dira.

Aipaturiko propietate mekaniko horiek laborategietan, zerbitzu-baldintzak simulatzen dituzten saiakuntzen bidez lortzen dira. Kontuan izan beharreko faktoreak dira: aplikaturiko karga mota, iraupena eta inguruko baldintzak. Karga, trakzioa, konpresioa edo ebakidurakoa izan daiteke, eta haren magnitudea denboran zehar konstante mantentzen daiteke edo etengabe aldatu. Aplikazio-denbora segundo batekoa izan daiteke edo zenbait urte iraun. Zerbitzu-egoeran piezak jasaten duen tenperatura ere faktore garrantzitsua izan daiteke haren portaera aztertzeko orduan.

### **3.2. MATERIALEN PROPIETATE FISIKOAK**

#### **3.2.1. Propietate elektrikoak**

Zenbait aplikaziotan material baten portaera elektrikoa, portaera mekanikoa baino garrantzitsuagoa da. Horren adibidea dira korrontea distantzia handietara garraiatzeko erabiltzen diren hari eroaleak; hariok eroankortasun elektriko handia izan behar dute ahalik eta energia gutxien galtzeko bero moduan.



Aplikazio elektriko eta elektronikoetarako material bat aukeratzeko eta eraikitzeko, eroankortasun elektrikoa nola kontrolatzen den ezagutzea ezinbestekoa da. Kontuan izan behar da, orobat, portaera elektrikoa materialaren egituraren menpe dagoela, aplikaturiko tratamenduaren menpe eta materiala egongo den inguruaren menpe ere.

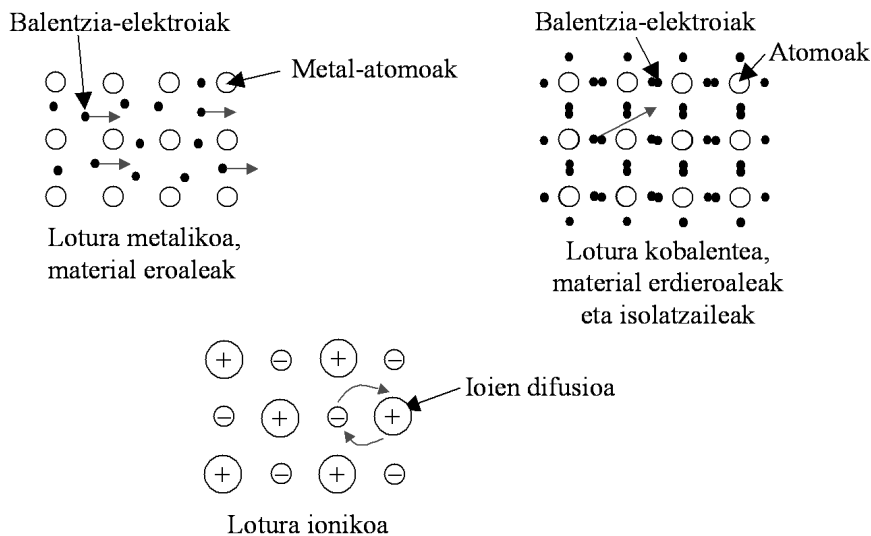
Material baten eroankortasun elektrikoa faktore hauek mugatzen dute:

1. Karga-eramaileen kontzentrazioa.

Elektroien edo ioien kopuruek definitzen dute materialen eroankortasuna; horrela, zenbat eta kopuru handiagoan egon, erraztasun handiagoz garraiatuko da korrante elektrikoa materialetik zehar.

2. Karga-eramaileen mugikortasuna.

Eroaleetan (metaletan esate baterako), erdieroaleetan eta isolatzaile askotan elektroiek dira karga-eramaileak; konposatu ionikoetan, aldiz, ioiek garraiatzen dute karga gehiena, ikus 28. *irudia*. Material eroaleetan elektroiek mugitzeko askatasun handia dute; aldiz, material erdieroale eta isolatzaileetan, lotura kobalentea apurtu behar denez, haien mugimendua asko zailtzen da.



**28. irudia. Karga-eramaileen mugikortasuna.**

Mugikortasuna mugatzen dute: lotura atomikoak, sarearen inperfekzioak, mikroegiturak eta, konposatu ionikoetan, ioien difusio-koefizienteak. Hori horrela, materialen eroankortasun elektrikoa asko aldatzen da, hurrengo taulan adierazten den bezala, ikus 7. *taula*.

Horren arabera, materialen eroankortasun elektrikoak ia 25 magnitude-ordenako tarte-diferentzia dauka: metal eta zeramikoen eroankortasun handienetik polimeroen eroankortasun txikira. Propietate elektrikoak, egitura elektronikoaren funtzioan daude batik bat, hau da, elektroiak, beren karga elektrikoa transferitzeko, loturetatik zein erraztasunez kitzika daitezkeen.

Energia-banden ereduak eroale, erdieroale eta isolatzaileen portaera azaltzeko erabiltzen da.

| <b>Materiala</b>     | <b>Eroankortasuna (<math>\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}</math>)</b> |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Sodioa               | $2,13 \cdot 10^5$                                                         |
| Magnesioa            | $2,25 \cdot 10^5$                                                         |
| Aluminioa            | $3,77 \cdot 10^5$                                                         |
| Burdina              | $1,00 \cdot 10^5$                                                         |
| Kobrea               | $5,98 \cdot 10^5$                                                         |
| Zilarra              | $6,80 \cdot 10^5$                                                         |
| Urrea                | $4,26 \cdot 10^5$                                                         |
| Karbonoa (diamantea) | $< 10^{-18}$                                                              |
| Silizioa             | $5 \cdot 10^{-6}$                                                         |
| Polietilenoa         | $10^{-15}$                                                                |
| Poliestirenoa        | $10^{-17} - 10^{-19}$                                                     |
| Epoxi erretxina      | $10^{-12} - 10^{-17}$                                                     |
| Alumina              | $10^{-14}$                                                                |
| Boro nitruroa        | $10^{-13}$                                                                |
| Silizio karburoa     | $10^{-1} - 10^{-2}$                                                       |
| Boro karburoa        | 1-2                                                                       |

**7. taula. Zenbait materialen eroankortasun elektrikoak.**

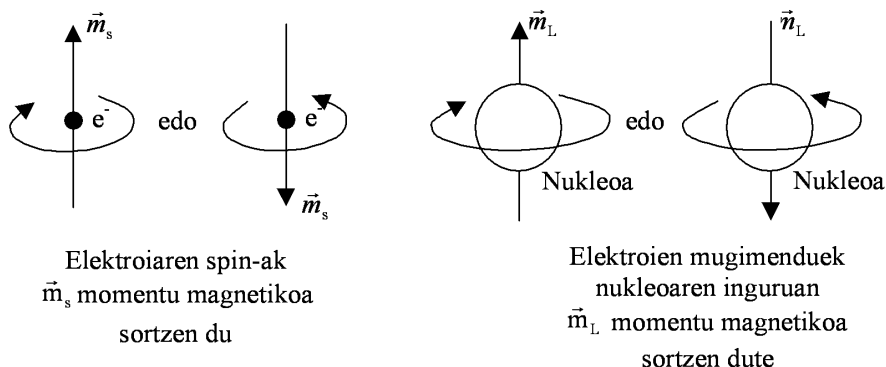
### **3.2.2. Propietate magnetikoak**

Material magnetikoak motor, generadore eta transformadoreetan erabiltzen dira; ordenagailuetan informazioa gordetzeko eta berreskuratzeko; medikuntzan erabiltzen diren gailuetan eta beste hainbat aplikaziotan erabilgarriak dira. Material magnetiko erabilienak metal ferromagnetikotan (burdina, nikela, kobalto eta haien aleazioak) eta zeramika ferrimagnetikoetan (ferritak eta granateak) oinarritzen dira.

Portaera magnetikoa materialaren egitura elektronikoak mugatzen du gehienbat; horrek dipolo magnetikoen sorkuntza kontrolatzen baitu. Dipolo horien arteko elkarreraginak portaera magnetikoa definituko du. Portaera hori materialaren konposizioa, mikroegitura eta prozesaketa aldatuz eralda daiteke.

Imantazioa gertatzen da dipolo magnetikoak (induzituak edo permanenteak) eremu magnetiko baten eraginez orientatzen direnean.

Atomo batean elektroiek nukleoaren inguruan biratzen dute eta, aldi berean, beren ardatzen inguruan. Horietariko mugimendu bakoitzak momentu magnetiko bat sortzen du, ikus 29. irudia.



### 29. irudia. Momentu magnetikoak.

Atomoen egitura elektronikoak aztertuz, energia-maila bakoitzak aurkako spineko bi elektroï izan ditzakeela jakin da. Maila konkretu bateko elektroï pare baten momentu magnetikoak oposizioan daude. Hori horrela, energia-maila bat guztiz beteta dagoen unean momentu magnetikoa zero izango da.

Hori horrela, edozein atomok zenbaki atomiko bakoitia daukanean, elektroï desparekatuak sorturiko momentu magnetiko bat agertzea espero daiteke; baina ez da horrela gertatzen; elementu gehienetan elektroï desparekatua balentziazkoa da. Atomo bakoitzeko balentzia-elektroiek alboko atomoen elektroiekin elkarrekintzak dituztenez, momentu magnetikoak, batez beste, ezeztatu egiten dira eta materialak ez du inolako momentu magnetikorik izango.

Hala ere, zenbait elementuk, trantsizio-metalek bezala, bete gabeko barneko energia-maila bat daukate. 3d mailako elektroïak, gehienetan trantsizio-metaletan, ez dira bikoteetan sartzen geruzetan. Hori gertatu beharrean, lehenengo bost elektroiek spin berdina daukate. Horrela, trantsizio-metaletan atomo bakoitzak momentu magnetiko permanente bat dauka, desparekatu gabeko elektroï kopuruarekin erlazionatuta egongo dena. Atomo bakoitzak dipolo magnetiko baten moduan jokatzeko du.

Material baten portaera eremu magnetiko baten barruan, atomo bakoitzeko dipolo magnetikoek eremu horren aurrean daukaten portaeraren funtzioan egongo da. Trantsizio-elementu gehienetan momentuen arteko batura zero egiten da. Al-diz, burdinan, kobaltoan eta nikelan atomoek elkarri eragiten diote, horrela atomo baten dipoloaren orientazioak inguruan daudenen gain eragina du bere orientazioa

berdina izatera bortxatuz, eta horrela eremu magnetikoaren efektua handituz materialean.

Eremu magnetiko bat aplikatzen denean atomo talde bati, portaera ezberdinak ikus daitezke:

- **Diamagnetikoa:** elektroien mugimendu orbitalaren gainean eremu magnetiko batek eragiten du, ondorioz atomo horretan momentu magnetiko bat sortzen da aplikaturikoaren kontrako zentzuan. Kobrea, zilarra, urrea eta alumina material diamagnetikoak dira giro-tenperaturan.
- **Paramagnetikoa:** atomoek elektroiei desparekatuak dituztenean, atomo bakoitzari momentu magnetiko bat dagokio, elektroien spinek sortua. Kanpotik eremu magnetiko bat aplikatzean dipoloek eremuarekin lerrokatzen dira zentzu berean magnetizazioa sortuz. Hala ere, dipoloek euren artean eragiten ez dutenez, berauek lerrokatzeko eremu magnetiko handiak behar dituzte; gainera eremua desagertzen denean, efektua desagertzen da. Portaera hau aluminioak, titanioak eta kobre-aleazioek dute.
- **Ferromagnetikoa:** portaera hau burdinan, nikelan eta kobaltoan agertzen da, 3d zenbait energia-maila hutsik dituztelako. Dipolo iraunkor desparekatuak aplikaturiko eremu magnetikoarekin erraz lerrokatzen dira, dipoloen arteko elkarrekintzak direla-eta. Nahiz eta eremu magnetiko txikiak aplikatu magnetizazio handiak lortzen dira.
- **Antiferromagnetikoa:** manganeso, kromo, MnO eta NiO bezalako materialetan, dipoloetan sorturiko momentu magnetikoak aplikaturiko eremu magnetikoarekin lerrokatzen dira batzuk besteei kontrajarriz. Ez dute imantaziorik.
- **Ferrimagnetikoa:** material zeramikoetan ioi ezberdinek momentu magnetiko ezberdinak dituzte. Eremu magnetiko batean, A ioiaren dipoloak eremuaren zentzu berean lerroka daitezke, eta B ioien dipoloek kontrako zentzua har dezakete. Baina haien momentu magnetikoak berdinak ez direnez, imantazio neto bat agertuko da. Ferritek portaera hau dute.

### 3.2.3. Propietate optikoak

Propietate optikoak harremanetan daude erradiazio elektromagnetikoek (uhin edo energia-partikulen itxuran) eta materialek dituzten elkarrekintzekin. Erradiazio elektromagnetiko horiei fotoi izena ematen zaie. Erradiazio horiek argi ikusgaiaren espektroan sartzen diren ezaugarriak izan ditzakete, edo begientzat ikusezina izan daitezke. Propietate optikoak aprobetxatzeko bi era daude: fotoiak nola emititzen dituzten aztertuz, eta material horiekin fotoiek nola jokatzen duten aztertuz.

Fotoiak emititzen dituzten hainbat iturri daude, bakoitza maiztasun, uhin-luzera eta energia ezberdinarekin. Esate baterako, nukleo atomiko batean egitura-aldaketak eginez gamma izpiak sor daitezke; bestalde, atomo baten egitura elektronikoan aldaketak eginez X izpiak, erradiazio ultramoreak eta espektro ikusgaia sortzen dira. Mikrouhinak eta erradio-uhinak energia baxuko eta uhin-luzera altuko erradiazioak dira, atomoen edo egitura kristalinoen bibrazioek eraginak.

Fotoiek material batekin elkarreragiten dutenean, efektu optikoak sortzen dira: absortzioa, transmisioa, islapena, errefrakzioa eta trantsizioen agerpena materialean zehar.

Materialen propietate optikoek erradiazio elektromagnetikoarekin edo fotoiekin dituzten elkarrekintza eta emisioekin zerikusia dute. Materialaren egitura atomikoan trantsizioak gertatzen direnean, fotoien emisioa gertatzen da:

- Gamma izpiak nukleo ezegonkorren deskonposizioaren ondorioz sortzen dira. Izpi hauen energia atomo konkretuetan konstantea da beti.
- X izpiak atomoen barneko energia-mailetan gertatzen diren trantsizio elektronikoen bidez sortzen dira. Elementu bakoitzeko atomoek espektro konkretu bat sortzen dute, horrela X izpiak materialen identifikaziorako erabiltzen dira.
- Espektro elektromagnetikoaren zati ikusgaian, fotoiak atomoen kanpoko energia-mailetan trantsizio elektronikoen bidez sortzen dira. Portaera honek izen berezia dauka: lumineszentzia. Fluoreszentzia, fosforeszentzia, elektrolumineszentzia (argia emititzen duten diodoetan erabilia) eta laserrak honen adibideak dira.
- Fotoiak kitzikapen termikoaren eraginez emititzen dira; horrela tenperatura nahiko altua bada, espektroaren tarte ikusgaian fotoiak sor daitezke.

Material baten eta emitituriko fotoien arteko elkarrekintzek hainbat propietate optiko sortzen dituzte:

- Errefrakzioa: materialak fotoiak xurgatu egiten ditu eta igorri.
- Islapena: materialak fotoiak berehala igortzen ditu.
- Absortzioa, fotoiek energia galdu eta materialaren atomoei ematen dietenean gertatzen da.
- Foto-eroankortasuna fotoiek, tentsio bat sortuz, materialaren elektroiak kitzikatzen dituztenean gertatzen da.

### 3.2.4. *Propietate termikoak*

#### 3.2.4.1. *Sarrera*

Material gehienetan propietate fisikoak eta kimikoak lan- edo prozesaketa-tenperaturaren menpe daude. Material baten propietate termikoak menderatzeak hutsegite mekaniko posibleak ezagutzera eramango gaitu; hau bereziki garrantzitsua da zeramiketan, estalduretan eta zuntzetan tenperatura-aldaketak jasaten dituztenean; edo bero-transferentzia azkarra bilatzen den kasuetan (gailu elektronikoetan).

#### 3.2.4.2. *Bero-ahalmena eta bero espezifikoa*

Zero absolutuan material baten atomoek energia minimoa dute. Beroa aplikatzean, atomoek energia termikoa lortzen dute eta anplitude eta maiztasun jakin batean bibratzen hasten dira. Atomo bakoitzaren bibrazioa alboko atomei igortzen zaie, fonoi izeneko uhin elastikoa sortuz.

Material batek beroa hartu edo ematen du fonoiak hartu edo ematen ditue-nean. Hori horrela, tenperatura gradu bat aldatzeko behar den energia edo fonoi kopurua, bero-ahalmen edo bero espezifikoko moduan adieraz daiteke.

Bero-ahalmena da substantzia baten mol bati tenperatura gradu bat igotzeko eman behar zaion energia. Bero-ahalmena presio konstantean ( $C_p$ ) edo bolumen konstantean ( $C_v$ ) adieraz daiteke.

Bero espezifikoa da material baten pisu edo masa jakin batean tenperatura gradu bat igotzeko eman behar zaion energia da. Bero-ahalmenaren eta bero espezifikoren arteko erlazioa hau da:

$$\text{Bero espezif} = \frac{\text{Bero - ahalmena}}{\text{Pisu atomikoa}}.$$

Ingeniaritza-kalkuluetan bero espezifikoa gehiagotan erabiltzen da bero-ahalmena baino. Hurrengo taulan erabilera handiko zenbait materialen bero espezifikoen balioak agertzen dira, ikus 8. *taula*.

Materialaren egiturak ez dauka zeresan handirik bero-ahalmenean edo bero espezifikokan; horrela, dislokazioen dentsitate-aldaketek, aleen tamainek edo egituran egon daitezkeen hutsek ez dute efektu nabarmenik. Bero espezifikokan zeresana daukan faktore garrantzitsuenaren sare edo fonoiaren bibrazioa da.

| Materiala                      | Bero espezifikoa (cal/g·K) |
|--------------------------------|----------------------------|
| Aluminioa                      | 0,215                      |
| Kobrea                         | 0,092                      |
| Burdina                        | 0,106                      |
| Beruna                         | 0,038                      |
| Silizioa                       | 0,168                      |
| Titanioa                       | 0,125                      |
| Zink                           | 0,093                      |
| Alumina                        | 0,20                       |
| Diamantea                      | 0,124                      |
| Silizio karburoa               | 0,25                       |
| Silizio nitruroa               | 0,17                       |
| Dentsitate altuko polietilenoa | 0,44                       |
| Dentsitate baxuko polietilenoa | 0,55                       |
| Nylon                          | 0,40                       |
| Poliestirenoa                  | 0,28                       |
| Ura                            | 1,00                       |

**8. taula. Zenbait materialen bero espezifikokoak.**

### 3.2.4.3. Dilatazio termikoa

Energia termikoa irabazi eta bibratzen hasten den atomo batek erradio atomiko handiagoa izango balu moduan jokatzeko du. Atomoen batez besteko distantzia handitu egiten da eta materialaren dimentsio orokorrak handitzen dira ere. Dimentsio-aldaketa luzera-unitateko ( $\Delta l$ ) dilatazio termikoaren koefiziente linealaren bidez ematen da ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{l_f - l_0}{l_0 \cdot (T_f - T_0)} = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T}$$

non:

$T_0$  = hasierako tenperatura den

$T_f$  = amaierako tenperatura den

$l_0$  = hasierako dimentsioa den

$l_f$  = amaierako dimentsioa den

Dilatazio termikoaren koefiziente bolumetrikoa ( $\alpha_v$ ) defini daiteke ere, material batean tenperatura-aldaketak sortzen duen bolumen-aldaketa adierazteko. Materiala isotropikoa bada, orduan:  $\alpha_v = 3 \cdot \alpha$ .

| <b>Materiala</b>       | <b>Dilatazio termikoaren<br/>koefiziente lineala (<math>^{\circ}\text{C}\cdot 10^{-6}</math>)</b> |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aluminioa              | 25,0                                                                                              |
| Kobrea                 | 16,6                                                                                              |
| Burdina                | 12,0                                                                                              |
| Beruna                 | 29,0                                                                                              |
| Wolframioa             | 4,5                                                                                               |
| Silizioa               | 3,0                                                                                               |
| Altzairua 1020         | 12,0                                                                                              |
| Aluminio aleazioa 3003 | 23,2                                                                                              |
| Altzairu herdoilezina  | 17,3                                                                                              |
| Nylon                  | 80,0                                                                                              |
| Polietileno            | 100,0                                                                                             |
| Poliestireno           | 70,0                                                                                              |
| Alumina                | 6,7                                                                                               |
| Silizio karburoa       | 4,3                                                                                               |
| Silizio nitruroa       | 3,3                                                                                               |

**9. taula. Zenbait materialen dilatazio termikoaren koefiziente linealak.**

Dilatazio termikoaren koefizientea lotura atomikoen gogortasunarekin erlazionatuta dago. Atomoak beren oreka-posiziotik mugitu daitezenean, energia eman behar zaio materialari. Material horrek lotura atomiko gogorra badu, atomoak gutxiago aldenduko dira eta dilatazio-koefiziente lineala txikia izango da. Erlazio horrek adierazten du, orobat, ezen fusio-tenperatura altua duten materialek, atomoen arteko erakarpene indar handiek eraginda, dilatazio-koefiziente txikiak izango dituztela. Horregatik, berunak, esate baterako, wolframioak baino dilatazio-koefiziente handiagoa dauka, ikus 9. taula. Material zeramiko gehienek, lotura ioniko edo kobalente gogorrak dauzkatenak, metalekin konparatuz gero dilatazio-koefiziente txikiak dituzte.

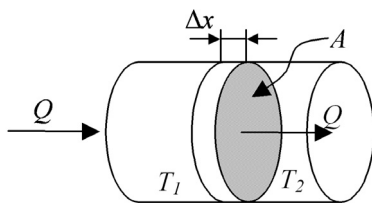
Materialen dimentsio-aldaketak kalkulatzeko orduan, hurrengo faktoreak izango dira kontuan:

1. Material batzuen dilatazio-ezaugarriak anisotropikoak dira, batez ere monokristalak edo orientazio preferente bat agertzen duten materialak direnean.
2. Material alotropikoek fase-aldaketa gertatzen denean dimentsio-aldaketa handiak jasaten dituzte. Aldaketa sakon horiek, esate baterako, erregogorretan eta altzairu tenplatuetan arrakalak sor ditzakete berotzen edo hozten direnean.
3. Dilatazio termikoaren koefizientea tenperaturarekin etengabe aldatzen da. Manualetan,  $\alpha$  tenperaturaren menpeko adierazpen konplikatu baten moduan agertzen da edo tenperatura-tarte baterako konstante bat bezala.



### 3.2.4.4. Eroankortasun termikoa

$K$  eroankortasun termikoak material batetik zehar beroa zein azkartasunez hedatzen den adierazten du. Eroankortasunak  $A$  azalerako plano batetik zehar segundo batean transferitutako  $Q$  beroa erlazionatzen du  $\Delta T/\Delta x$  temperatura-gradiante bat dagoenean, ikus 30. irudia:  $\frac{Q}{A} = K \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$ .



30. irudia. Eroankortasun termikoa.

Hurrengo taulan eraikuntzan erabiltako ohiko material batzuen eroankortasun termikoa agertzen da, ikus 10. taula.

| Materiala              | Eroankortasun termikoa (W/m·K) |
|------------------------|--------------------------------|
| Aluminioa              | 238,49                         |
| Kobrea                 | 401,66                         |
| Burdina                | 79,50                          |
| Beruna                 | 35,15                          |
| Wolframioa             | 171,54                         |
| Silizioa               | 150,62                         |
| Altzairua 1020         | 100,42                         |
| Aluminio aleazioa 3003 | 280,33                         |
| Altzairu herdoilezina  | 30,13                          |
| Nylon                  | 0,25                           |
| Polietileno            | 3,35                           |
| Poliestireno aparra    | 0,029                          |
| Alumina                | 15,90                          |
| Silizio karburoa       | 87,86                          |
| Silizio nitruroa       | 14,64                          |

10. taula. Zenbait materialen eroankortasun termikoak.

Energia termikoa bi modu garrantzitsutan transferitzen da: elektroien askeen transferentziaren bidez eta sare-bibrazioarekin (edo fonoiekin). Balentzia-elektroiak energia lortu eta materialaren gune hotzetara mugitzen dira beste atomoen energia transferituz. Transferitutako energia kopurua kitzikaturiko elektroien kopurua eta haien mugikortasunaren funtzioan dago. Eta elektroien material motaren, sare-inperfekzioen eta tenperaturaren menpean daude. Gainera, atomoen bibrazioek, termikoki sorturikoak, energia transferitzen dute materialetik zehar ere.

### 3.2.4.5. Talka termikoa

Material hauskorrak tentsio mekaniko edo termikoen bidez apur daitezke. Pieza bat azkartasunez hoztean tenperatura-gradiente bat sortzen da. Gradiente horrek gune ezberdinetan uzkurdua-balio ezberdinak sorrarazten ditu. Hondar-tentsioak handiak badira, hutsak materialetik zehar heda daitezke eta piezaren apurketa ekarri.

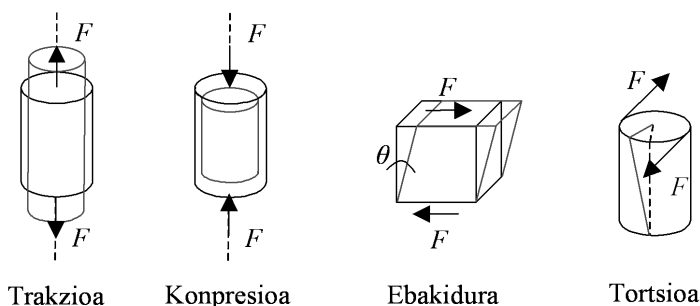
Talka termikoa hurrengo faktoreek eragiten dute:

1. Dilatazio termikoaren koefizientea: koefiziente txiki batek aldaketa dimentsionalak txikiagotuko ditu, talka termikoa txikituz.
2. Eroankortasun termikoa: eroankortasun termiko handi batek bero-transferezentzia handitzen du eta materialaren barnean dauden tenperatura-ezberdintasunak azkartasunez txikitzen ditu.
3. Elastikotasun-modulua: elastikotasun-modulu txikiarekin deformazio handiak lor daitezke apurketa gertatu baino lehen. Horrela, elastikotasun-modulu txikiko materialek talka termikoa hobeto jasango dute.
4. Haustura-tentsioa: material baten haustura-tentsioa zenbat eta altuagoa izan, deformazioa handiagoa izango da. Tentsio hau handia da egituraren dauden hutsen kopurua txikia denean. Horrela, material batek haustura-tentsioa zenbat eta altuagoa izan, talka termikoa hobeto jasango du.
5. Fase-aldaketak: fase-aldaketak gertatzen direnean aldaketa dimentsionalak areagotu daitezke.

### 3.2.5. Propietate mekanikoak

#### 3.2.5.1. Tentsioa eta deformazioa

Lau era daude karga bat aplikatzeko: trakzioa, konpresioa, ebakidura eta tortsioa, ikus 31. irudia.



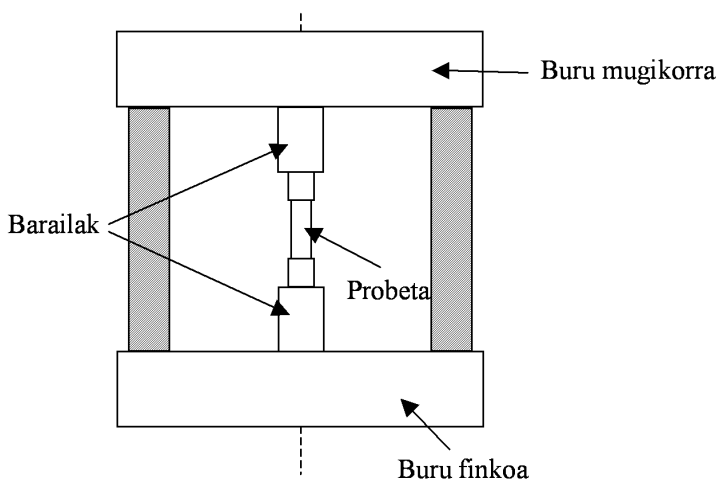
**31. irudia. Tentsio-deformazio motak.**

Karga bat estatikoa bada edo denboran zehar astiro aldatuz bada, eta uniformeki aplikatzen bada sekzio edo gainazal baten gainean, portaera mekanikoa esfortzu-deformazio saiakuntzaren bidez azter daiteke.

### • TRAKZIO-SAIKUNTZAK

Esfortzu-deformazio saiakuntza ezberdinetatik, erabilienetarikoa trakzioan egiten da. Probeta baten gainean, bere ardatza longitudinalarekin bat eginez, progresiboki handitzen doan karga bat aplikatzen da trakzioan, apurketa lortu arte.

Saiakuntzak dirauen bitartean, deformazioa erdialdean mugatuta dago. Probeta makinan kokatzeko, gogorki bere muturretatik heltzen da baraila batzuen bidez, ikus 32. irudia.



32. irudia. Trakzio-makina.

Makina hori probeta abiadura konstantearekin luzatzeko diseinatuta dago, eta bat-batean karga aplikatua eta luzapena neurtzeko gai da. Saiakuntzak minutu batzuk ematen ditu (materialaren izaeraren arabera) eta suntsitzailea da, hau da, probetak betirako gordeko du deformazioa eta gehienetan apurtuta geldituko da.

Saiakuntza honen bidez tentsio nominalaren eta deformazio nominalaren balioak lortzen dira:

$$\text{Tentsio nominala } (\sigma): \sigma = \frac{F}{A_0}$$

non:

$F$  = probetaren sekzioarekiko perpendikularki aplikaturiko bat-bateko karga den

$A_0$  = hasierako sekzioaren balioa karga aplikatu baino lehen

Bere unitateak: [Pa] (pascal = [N/m<sup>2</sup>]), [MPa] = 10<sup>6</sup> [Pa] (eta [kp/cm<sup>2</sup>] ere)

$$\text{Deformazio nominala } (\varepsilon): \varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

non:

$l_0$  = karga aplikatu baino lehen hasieran probetak duen luzera den

$l_i$  = bat-bateko luzera den

### • KONPRESIO-SAIKUNTZAK

Pieza bat zerbitzuan sartzen denean konpresio-kargak jasan behar baditu, mota honetako saiakuntzak egingo dira. Konpresio-saiakuntza bat egiteko, trakzioko bat egiteko erabiltzen den teknika berdina erabiltzen dira baina indarra konpresiokoa izanik, era honetan probeta luzatu beharrean laburtu egingo da indarraren aplikazioaren norabidean.

Trakzioko saiakuntzak erabiliagoak dira egiteko errazagoak baitira. Konpresio-saiakuntzak deformazio iraunkor handiak gertatzean materialaren portaera aztertzeke erabiltzen dira, esate baterako konformazio-prozesuetan edo materiala hauskorra denean trakzioaren aurrean.

### • EBAKIDURA ETA TORTSIO-SAIKUNTZAK

Saiakuntza hauetan ebakidura-indarra erabiltzen da, ikus 31. irudia;  $\tau$  ebakidura-tentsioa hurrengo adierazpenarekin kalkulaten da:  $\tau = \frac{F}{A_0}$

non:

$F$  = materialaren goiko eta beheko aurpegi paraleloetan aplikaturiko karga edo indarra den

$A_0$  = karga edo indarra aplikatzen den aurpegien azalera den

$\gamma$  ebakidura-deformazioa  $\theta$  deformazio-angeluaren tangente bezala definitzen da, ikus 31. irudia.

Tortsioa ebakidura puruaren aldaketa bat da, 31. irudian adierazten diren deformazioak sortuz; tortsio-indarrek mugimendu errotazionala sortzen dute piezaren ardatz longitudinalaren inguruan.

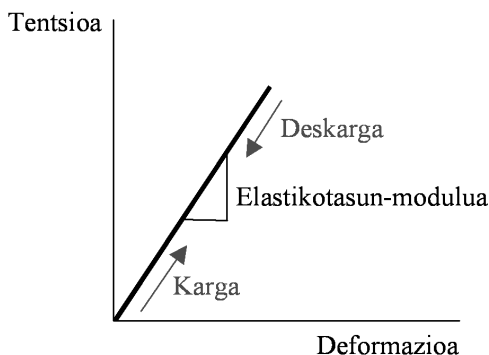
#### 3.2.5.2. Deformazio elastikoa

### • KARGA UNIAXIALEK ERAGINDAKO PORTAERA

Egiturak jasango duen deformazioa aplikaturiko tentsioaren menpean dago. Trakzio-esfortzu txikiak jasaten dituzten materialentzat, tentsioak eta deformazioak proportzionalak dira  $\sigma = E \cdot \varepsilon$  adierazpena betez. Erlazio hori Hooke-ren legea izenez ezagutzen da, eta  $E$  proportzionaltasun-konstanteari elastikotasun-modulu edo Young-en modulu deritzo.

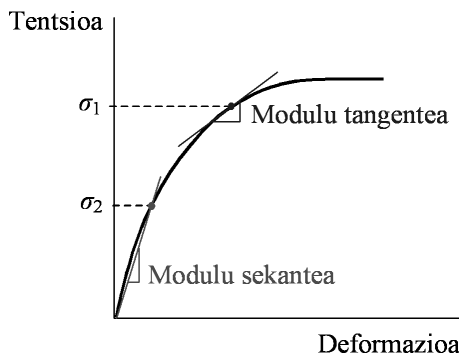
Deformazioa tentsioarekiko proportzionala denean, deformazioari elastiko deritzo; ordenatu-ardatzean tentsioa adieraziz eta abzisetan deformazioa, hurrengo irudian agertzen den erlazio lineala lortzen da. Zati lineal honen malda  $E$  modulu elastikoa da, eta zurruntasun gisa uler daiteke, hau da, materialak deformazio elastikoari jarritako oztopo gisa. Modulua zenbat eta handiagoa izan, materiala zurrunagoa izango da, hau da, tentsio jakin bat aplikatzean deformazio elastikoa are eta txikiagoa izango da. Young-en modulua diseinu-parametro garrantzitsua da deformazioen kalkuluan.

Deformazio elastikoa ez da iraunkorra, hau da, indarra desagertzen denean, pieza bere hasierako formara itzultzen da. 33. irudian, karga kendutakoan zuzena kontrako norabidean zeharkatzen da berriro ere, jatorri-puntura itzuliz.



**33. irudia. Deformazio elastikoa eta elastikotasun-modulua.**

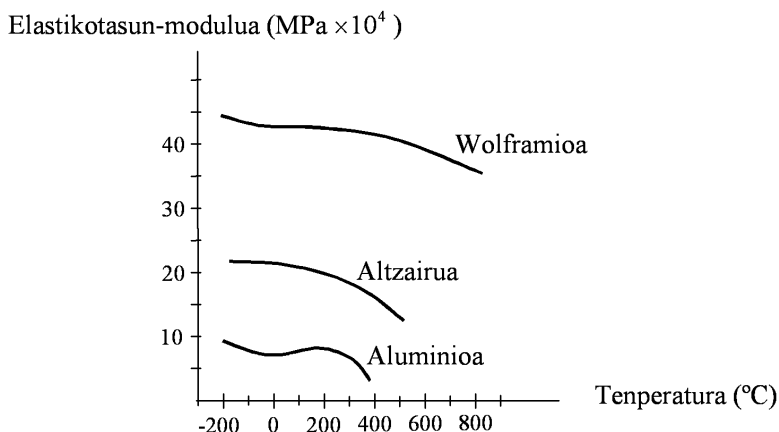
Material batzuetan, fundizio grisaren edo hormigoiaren kasuan esate baterako, tentsio-deformazio diagraman hasierako zati elastikoa ez da lineala; horrela, elastikotasun-modulua ezin da kalkulatu lehen adierazi den eran. Portaera ez-lineal hau gertatzen denean modulu tangentea edo modulu sekantea erabiltzen dira. Modulu tangentea tentsio-deformazio kurbaren maldatzat hartzen da puntu konkretu batean; modulu sekantea, jatorritik  $\sigma$ - $\epsilon$  kurbaren puntu konkretu bateraino definituriko sekantearen maldatzat uler daiteke, ikus 34. irudia.



**34. irudia. Modulu tangentea eta modulu sekantea.**

Eskala atomikoan, deformazio elastiko makroskopikoa atomoen distantzien arteko eraldaketa txiki moduan agertzen da, horren eraginez lotura atomikoak luzatu egiten dira. Hau horrela, elastikotasun-modulua elkarren ondoan dauden atomoek banatzeko jartzen duten oztopo gisa uler daiteke.

Zeramiken elastikotasun-moduluak metalenak baino handiagoak dira normalean; eta polimeroek txikiagoak dituzte. Ezberdintasunok hiru material horietan ageri diren lotura mota ezberdinen ondorio dira. Horretaz gain, temperatura handitzean elastikotasun-modulua txikitzen da, 35. irudian agertzen den bezala.



**35. irudia. Elastikotasun-moduluaren eta tenperaturaren arteko erlazioa.**

Konpresio, ebakidura edo tortsio-esfortzuak aplikatzean, deformazio elastikoak ere sortzen dira. Tentsio-deformazio ezaugarriak tentsio-balio txikiekin, trakzioan eta konpresioan berdintsuak dira, elastikotasun-modulua barne. Ebakidura-indar txikiak aplikatzean tentsioa eta deformazioa elkarrekin proportzionalak dira, aurreko kasuetan gertatzen zen bezala. Baina orain proportzionaltasun hori adierazteko, hurrengo adierazpena erabiliko da:  $\tau = G \cdot \gamma$

non:

$G$  = ebakidura-modulua den, hau da, ebakidura-tentsio eta deformazio-kurbaren zati elastikoaren malda

Hurrengo taulan (ikus 11. taula) zenbait metalen elastikotasun- eta ebakidura-moduluak ikus daitezke:

| <b>Materiala</b> | <b><math>E</math> (MPa <math>\times 10^4</math>)</b> | <b><math>G</math> (MPa <math>\times 10^4</math>)</b> |
|------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Aluminioa        | 6,9                                                  | 2,6                                                  |
| Letoia           | 10,1                                                 | 3,7                                                  |
| Kobrea           | 11,0                                                 | 4,6                                                  |
| Magnesioa        | 4,5                                                  | 1,7                                                  |
| Nikela           | 20,7                                                 | 7,6                                                  |
| Altzairua        | 20,7                                                 | 8,3                                                  |
| Titanioa         | 10,7                                                 | 4,5                                                  |
| Wolframioa       | 40,7                                                 | 16                                                   |

**11. taula. Zenbait materialen elastikotasun- eta ebakidura-moduluak.**

### 3.2.5.3. Anelastikotasuna

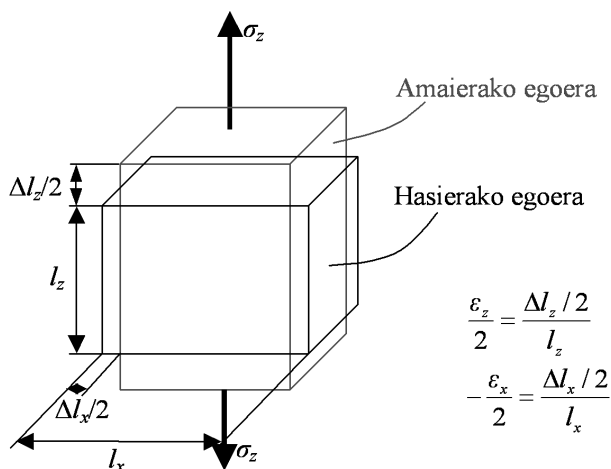
Orain arte, deformazio elastikoa denborarekiko askea zela suposatu da, hau da, tentsio batek aldiuneko deformazio elastiko bat sortzen zuen eta karga aplikatua zen bitartean konstante mantentzen zen. Karga kentzean deformazioa guztiz berreskuratzen zen, hau da, deformazioa berehala zerora itzultzen zen.

Baina ingeniartzako material askotan gerta daiteke deformazio elastikoaren osagai bat denboraren menpe egotea; hau da, deformazio elastikoak aurrera dirau karga aplikatu ostean, eta kendutakoan denbora behar da harik eta materialak hasierako neurriak berreskuratzen dituen arte.

Denboraren funtzioan dagoen portaera elastiko honi anelastikotasun deritzo, eta materiala deformatzen denean gertatzen diren mekanismo mikroskopikoen mendekotasunak sortzen du. Metaletan, osagai anelastikoa txikia izan ohi da, eta gehienetan mespretxugarria. Aldiz, zenbait material polimerikotan haren balioa garrantzitsua da, portaera biskoelastikoa delakoa definituz.

### 3.2.5.4. Materialen propietate elastikoak

Material baten gainean trakzio bat aplikatzen denean, luzapen elastikoa eta  $\varepsilon_z$  deformazio bat (aplikaturiko kargaren norabide berdinean) gertatzen dira, 36. irudian adierazten den bezala.



**36. irudia. Materialen propietate elastikoak.**

Luzapen honen eraginez,  $x$  eta  $y$  norabideetan laburketak gertatzen dira, indarra aplikatzen den norabidearekiko perpendikularki. Laburketa horietatik abiatuta,  $\epsilon_x$  eta  $\epsilon_y$  konpresio-deformazioak kalkula daitezke.

Poisson-en koefizienteak bi deformazio mota hauek erlazionatzen ditu:

$$\gamma = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}.$$

Zeinu negatiboa  $\gamma$ -ren balioa positiboa izan dadin jartzen da,  $\epsilon_x$  eta  $\epsilon_y$  kontrako zeinukoak baitira beti. Teorikoki Poisson-en koefizienteak material isotropikoetan 0,25 izan behar du eta balio maximoa 0,50. Metal askotan Poisson-en koefizientea 0,25 eta 0,35 bitartean dago.

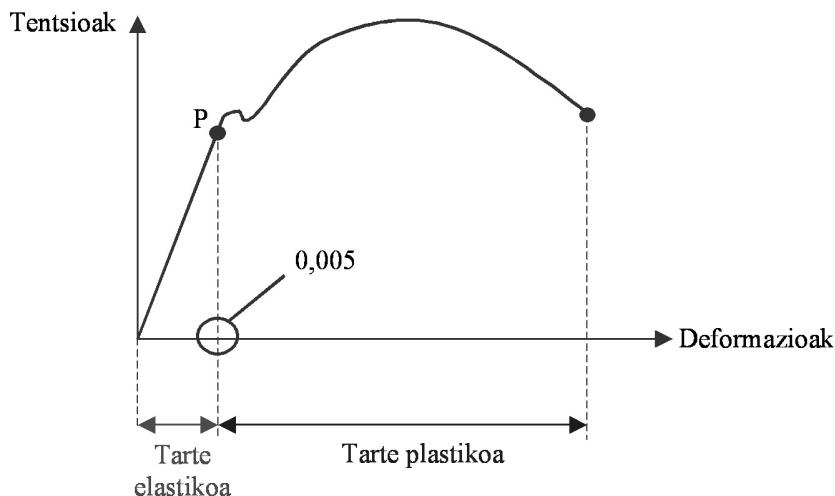
Ebakidura-moduluaren, elastikotasun-moduluaren eta Poisson-en moduluaren artean erlazio hau dago:  $E = 2 \cdot G \cdot (1 + \gamma)$ .

Metal askotan  $G$ -ren balioa  $0,4 \cdot E$  da; horrela, modulu bat ezaguna denean besteak kalkula daitezke.

### 3.2.5.5. Deformazio plastikoa

Material metaliko gehienetan, deformazio elastikoa 0,005ko deformazio-raino mantentzen da soilik. Materialaren deformazioak puntu hori gainditzen duenean, tentsioek eta deformazioek proportzionalak izateari uzten diote eta deformazio plastikoa gertatzen da, iraunkorra dena, hau da, ez-berreskuragarria. 37. irudian eremu plastikoan metal baten tentsio-deformazio portaera adierazten da. Trantsizio elastoplastikoa ez da bat-batean gertatzen metal gehienetan; deformazio plastikoaren hasieran kurbadura bat agertzen da, zeina karga handitzen den heinean handitzen doan.





**37. irudia. Tentsio-deformazio diagrama orokorra.**

Ikuspuntu atomikotik, deformazio plastikoa atomoen arteko lotura-apurketak gertatzen direlako sortzen da, atomo edo molekula asko mugitu egiten dira, eta karga kentzean ez dira beren hasierako posizioetara itzultzen.

#### 3.2.5.6. Trakzio-propietateak deformazio plastikoan

##### • ISURPENA ETA MUGA ELASTIKOA

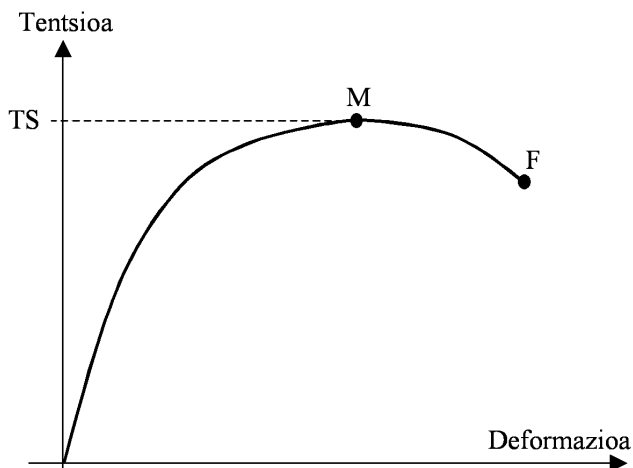
Egitura gehienak, tentsio bat jasaten dutenean, deformazio elastikoa bakarrik gerta dadin diseinatu dira. Horrela, komeni da jakitea deformazio plastikoa zein tentsio-mailarekin gertatzen den, hau da, definitu behar da isurpen-fenomenoa noiz gertatzen den. Trantsizio elastoplastikoa mailaz maila jasaten duten metalentzat, isurpen-puntua tentsio-deformazio kurbak jasaten duen hasierako desbideratze moduan kalkula daiteke. Puntu hau 37. irudian P letrarekin adierazita dago. Kasu hauetan, puntu horren posizioa ezin daiteke zehaztasunez kalkulatu. Arrazoi horregatik, hitzarmenez, zuzen elastikoarekiko 0,002 desplazaturiko zuzen paraleloaren bidez egiten da. Zuzen horrek tentsio-deformazio diagramaren kurbarekin duen ebakidura-puntuari  $\sigma_y$  muga elastiko deritzen.

Eskualde elastiko ez-lineala duten materialentzat ezin daiteke aurreko metodoa erabili; kasu hauetan, muga elastikoa deformazio jakin bat sortzeko ( $\epsilon = 0,005$  esate baterako) aplikatu beharreko tentsio gisa definitzen da.

Muga elastikoaren balioa, deformazio plastikoaren aurrean, materialaren erresistentziaren neurri bat da. Muga elastikoa 35 MPa (erresistentzia txikiko aluminioarentzat) eta 1.400 MPa-eko (erresistentzia altuko altzairuentzat) balioen bitartean egon daiteke.

## • TRAKZIOAREKIKO ERRESISTENTZIA

Deformazio plastikoa hasi ostean, deformazioak jarraitzeko aplikatu beharreko tentsioa handitu egiten da maximo batera heldu arte, 38. irudiko M puntua, eta gero txikituz doa F puntuan apurketa gertatzen den arte. TS trakzioarekiko erresistentzia (MPa-etan) tentsio-deformazio diagramaren maximoa da. Balio hori egiturak trakzioan jasan dezakeen tentsio maximoa da; berau aplikatuz eta mantenduz, apurketa gertatuko da. Puntu horretara heldu arte deformazioa uniforme da probetaren gune estuan. Baina tentsio maximoa lortzen denean, zeharkako sekzioaren puntu batean neurriak txikitzen hasten dira, estrikzio izenez ezagutzen den fenomenoari hasiera emanez. Hortik aurrera gertatzen den deformazio guztia eta apurketa estrikzio-eremuan gertatzen da.

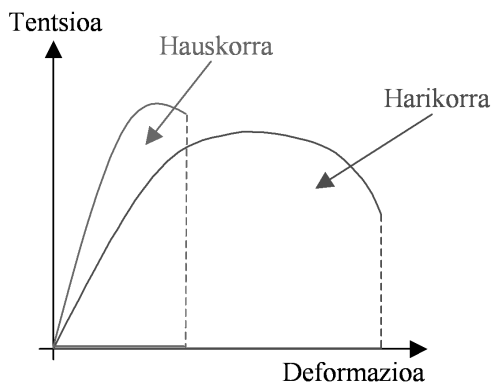


38. irudia. Trakzioarekiko erresistentzia.

Trakzioarekiko erresistentziak oso balio ezberdinak izan ditzake material batetik bestera: aluminioan, batez beste, 50 MPa-eko erresistentziak lortzen dira; erresistentzia handiko altzairuetan, aldiz, 3.000 MPa-eko balioak lor daitezke. Gehienetan, diseinuan materialaren muga elastikoa adierazten da, apurketan materialak duen erresistentzia ez baita erabiltzen kalkuluak egiteko.

## • HARIKORTASUNA

Apurketa gertatzen den arte jasan daitekeen deformazio plastikoaren neurri bat da. Deformazio plastiko txikia jasaten duen material plastiko bati hauskor deritzo. 39. irudian material hauskorrenzat eta hariakorrenzat tentsio-deformazio diagramak duen itxura ikus daiteke.



**39. irudia. Harikortasuna eta hauskortasuna.**

Harikortasuna kuantitatiboki luzapen erlatibo (ehunekotan adierazita) gisa adieraz daiteke, edo azalera murrizketa gisa (ehunekotan adierazita).

Luzapen erlatiboa ehunekotan adierazita deformazio plastikoaren portzentajea da apurketan:  $\%EL = \left( \frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100$

non:

$l_f$  = luzera apurketa-unean den

$l_0$  = hasierako luzera den

Deformazio plastikoaren gehiengoa estrikzio-eremuaren barruan badago,  $\%EL$ -ren balioa probetaren luzeraren menpean egongo da.  $l_0$  zenbat eta laburragoa izan, estrikziotik datorren luzapen totala handiagoa izango da, eta horrela,  $\%EL$ -ren balioa handiagoa izango da. Arrazoi horregatik, luzapen erlatiboa erabiltzen den bakoitzean  $l_0$ -ren balioa eman beharko da.

Azalera-murriztapenaren ehunekoa  $\%AR$  era honetan definitzen da:

$$\%AR = \left( \frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

non:

$A_0$  = hasierako sekzioaren azalera den

$A_f$  = apurketa unean sekzioaren azalera den

Azaleraren murriztapenak ehunekotan  $l_0$  eta  $A_0$ -rekiko askeak dira. Gainera, material jakin batentzat  $\%EL$  eta  $\%AR$  normalean ezberdinak dira. Material gehienek harikortasun txiki bat dute giro-tenperaturan; eta, tenperatura txikitzen doan heinean, hauskorak egiten dira.

Material baten harikortasuna ezagutzea garrantzitsua da hurrengo arrazoiengatik:

- Diseinatzaileari, apurketa gertatu baino lehen, estruktura batek jasan dezakeen deformazioa esango diolako.
- Fabrikazio-operazioetan materialak jasan dezakeen deformazioaren zenbatekoaren berri ematen duelako.

Material hauskortzat % 5 baino deformazio txikiagoa dutenak har daitezke.

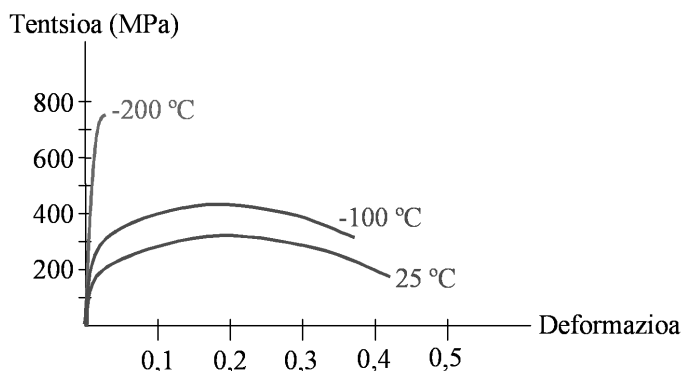
Beraz, tentsio-deformazio saiakuntzen bidez propietate mekaniko garrantzitsuak kalkula daitezke.

Hurrengo taulan (ikus 12. taula), erresistentzia txikia izan dezaten termikoki tratatu diren metal batzuen muga elastikoa, trakzio-erresistentzia eta harikortasunaren balio tipikoak agertzen dira giro-tenperaturara. Propietate horiek hasierako deformazioaren, ezpurutasunen eta materialak jasan dituen tratamendu termikoen menpe daude. Elastikotasun-moduluak ez dauka tratamendu horiekiko mendekotasunik.

| Metala    | Muga elastikoa (MPa) | Trakzioarekiko erresistentzia (MPa) | Harikortasuna 2 pulg. (% EL) |
|-----------|----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Aluminioa | 28                   | 69                                  | 45                           |
| Kobrea    | 69                   | 200                                 | 45                           |
| Altzairua | 130                  | 262                                 | 45                           |
| Nikela    | 138                  | 480                                 | 40                           |
| Titanioa  | 240                  | 330                                 | 30                           |

**12. taula. Zenbait metalen muga elastikoak, trakzio-erresistentziak eta harikortasunak.**

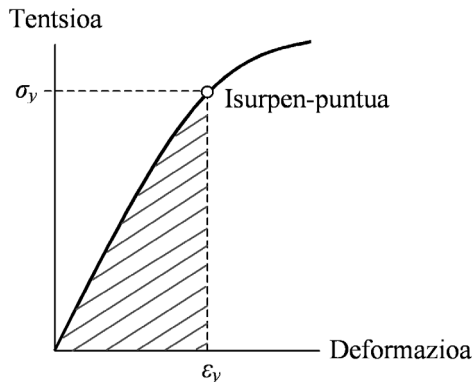
Muga elastikoa eta trakzioarekiko erresistentzia tenperatura handitzen denean txikitzen dira, baina harikortasunarekin kontrakoa gertatzen da, berau normalean handitzen da tenperaturarekin. 40. irudian burdinaren trakzio-kurba tenperaturarekin nola aldatzen den ikus daiteke.



**40. irudia. Trakzio-kurbak tenperaturaren funtzioan.**

## • ERRESILIENTZIA

Material batek deformatua izaten denean energia elastikoa xurgatzeko edo karga aplikatzeari uzten zaionean energia hori emateko duen ahalmenari erresilientzia deritzo. Propietate hau neurtzeko erresilientzia-modulua izeneko magnitudea erabiltzen da, hau da, material bat bere muga elastikoaraino deformatzeko behar den deformazio-energia bolumen unitateko.



**41. irudia. Erresilientzia.**

Matematikoki, karga uniaxial bat jasaten duen probeta baten erresilientzia-modulua tentsio-deformazio kurbaren azpian gelditzen den azalera da (isurpena gertatu arte), ikus 41. irudia, hau da:

$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma \cdot d\epsilon, \text{ elastikoki lineala den eskualdea dela suposatuz: } U_r = \frac{1}{2} \cdot \sigma_y \cdot \epsilon_y$$

non  $\epsilon_y$  muga elastikoan gertatzen den deformazioa den.

$$\text{Aurreko ekuazioan } \sigma = E \cdot \epsilon \text{ adierazpena ordezkatuz: } U_r = \frac{\sigma_y^2}{2 \cdot E} \cdot \epsilon_y.$$

Beraz, erresilientziadun materialek muga elastiko handia dute eta elastikotasun-modulu txikia (malgukietan aplika daiteke).

## • ZAILTASUNA

Material baten zailtasuna testuinguru ezberdinetan erabiltzen den termino mekanikoa da; zentzu zabalean, apurketa baino lehen material batek energia xurgatzeko duen gaitasunaren neurria da. Probetaren geometria eta karga aplikatzeko era garrantzitsuak dira zailtasuna kalkulatzeko. Karga dinamikoa denean eta probetak hozka bat duenean, zailtasuna puntu honetan inpaktu-saiakuntzak erabiliz aztertzen da. Gainera, zailtasuna apurketan, material batean arrakala bat agertzen denean apurketaren aurrean daukan erresistentziaren berri ematen duen propietatea da

Egoera estatiko batean, zailtasuna trakzio-saiakuntzen bidez azter daiteke.  $\sigma$ - $\epsilon$  kurbaren azpian (apurketa arte) geratzen den azalera da.

Material batek zailtasuna izateko erresistentzia altua eta harikortasuna izan behar ditu; askotan, material harikorrek zailtasun handiagoa dute hauskorrek baino. Nahiz eta material hauskorrek muga elastiko handiagoa eta trakzio-erresis-

tentzia handiagoa izan, material harikorrekin baino zailtasun txikiagoa dute, harikortasun falta dela-eta.

### 3.2.5.7. Gogortasuna

Gogortasuna da material batek deformazio plastiko lokalizatu bati jartzen dion oztupoaren neurria. Gogortasuna neurtzeko egin ziren lehenengo saiakuntzak mineral batek beste mineral bigunago bat urratzeko zeukan ahalmenean oinarritzen ziren. Gogortasuna ordenatzeko era kualitatibo bat Mohs-en eskala da: 1 muturrean mineralik bigunena dago, talkoa alegia; eta mutur gogorrean, 10. postuan, diamantea.

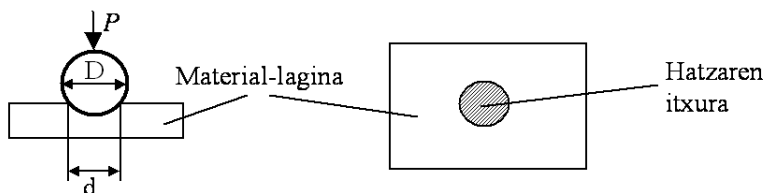
Urteetan zehar gogortasuna neurtzeko teknika kuantitatiboak garatu dira; elementu baten gainean indar bat aplikatuz materialaren gainazalean sartu egiten da, karga-baldintzak eta aplikazio-abiadura kontrolatuz. Saiakuntza hauetan hatzaren sakontasuna edo dimentsioa neurtzen da, zeina gogortasun-zenbaki batekin erlazionatzen den geroago. Materiala zenbat eta bigunagoa izan, hatzaren sakontasuna handiagoa izango da eta gogortasunaren zenbakia txikiagoa.

Hurrengo irudian (ikus 42. irudia), gogortasuna neurtzeko erabiltzen diren saiakuntzak ikus daitezke.

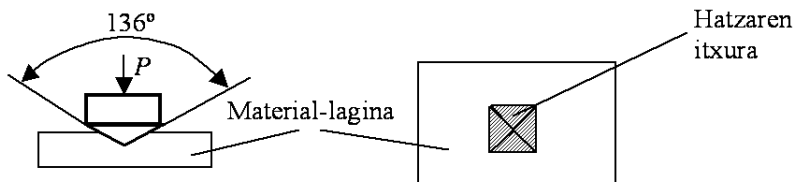
Material batek duen trakzio-erresistentzia eta gogortasunaren balioak deformazio plastiko baten aurrean elkarrekin erlazionaturik daude. Metaletan, esate baterako, propietate horiek gutxi gorabehera proportzionalak dira. Oro har, altzairu gehienetan  $HB$  zenbakien eta haustearen kontrako erresistentziaren artean erlazio hau betetzen da:  $TS(\text{MPa}) = 3,45 \times HB$ .

Gogortasuna kalkulatzeko saiakuntzak maiz egiten dira arrazoi hauek direla-eta:

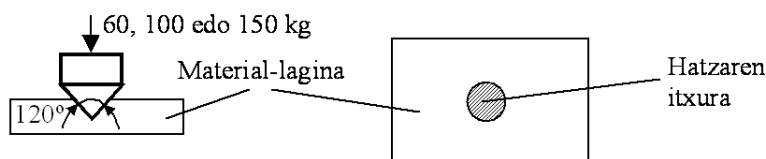
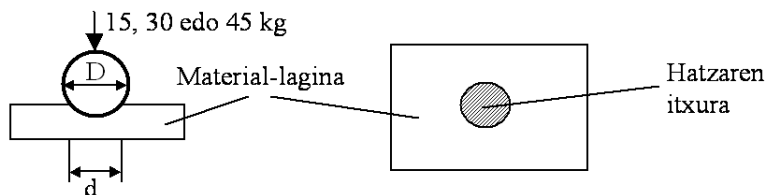
1. Egiteko errazak eta merkeak dira, eta normalean ez da laginik prestatu behar.
2. Saiakuntzak ez du pieza apurtzen ezta gehiegi deformatzen ere; hatz txiki bat baino ez du uzten.
3. Gogortasun-emaitzen bidez beste propietate mekaniko batzuk kalkula daitezke, haustearen kontrako erresistentzia esate baterako.

**Brinell saiakuntza:**

Hatza egiteko 10 mm-ko diametrodun bola erabiliko da bere gainean  $P$  karga aplikatuz

**Vickers saiakuntza:**

Hatza egiteko diamantezko piramide bat erabiliko da bere gainean  $P$  karga aplikatuz

**Rockwell saiakuntza:**

Hatza egiteko diamantezko kono bat edo altzairuzko esfera bat erabiliko da bere gainean karga bat aplikatuz

**42. irudia. Gogortasuna neurtzeko saiakuntzak.****3.3. MATERIALEN PROPIETATEEN ALDAKORTASUNA**

Materialen propietateek ez dute balio zehatzik. Hau da, nahiz eta neurgailurik zehatzena erabili eta prozedura guztiz kontrolatua izan, beti emaitzetan aldakortasuna azalduko da material berdineko probeta ezberdinak erabiliz. Horrela, aleazio metaliko berdineko material baten probeta ezberdinetatik, nahiz eta makina berdina erabili, trakzio-kurba ezberdinak lor daitezke. Eta horrela elastikotasun-modulu, muga elastiko eta trakzio-erresistentziaren balio ezberdinak lortuko dira ere.

Faktore askok eragiten dute emaitzen aldakortasunean, esate baterako probeta egiteko erabili den fabrikazio-prozesuak, langileak berak edo kalibrazioa egiteko erabili den makinak. Gainera, materialaren barruan ere heterogeneotasunak edo konposizio-aldaketa txikiak egon daitezke. Hori horrela, neurketa-erroreak txikitzeko lan-baldintzak ondo aztertu beharko dira.

Aldakortasun hau materialen beste propietateetan ere gerta daiteke, dentsitatean, eroankortasun elektrikoan eta dilatazio-koefiziente termikoan, esate baterako.

Hori horrela, propietate jakin baten balioa adierazteko orduan, balio esperimentalen batez bestekoa ematen da.

### 3.4. SEGURTASUN-FAKTOREAK

Ingeniaritzan erabiltzen diren materialek beren propietate mekanikoetan ziurgabetasunak agertzen dituzte. Baina, gainera, zerbitzuan dauden bitartean jasango dituzten kargen magnitudeei dagokienez ere, ziurgabetasunak daude; horrela, tentsio-kalkuluak hurbilketen bidez egiten dira. Beraz, diseinuan hau guztia kontuan izan beharko da, zerbitzuan apurketa gerta ez dadin. Hori segurtasun-tentsio bat (lan-tentsioa) jarritz egiten da, era honetan definituz:  $\sigma_w = \frac{\sigma_y}{N}$ .

non:

$\sigma_w$  = lan-tentsioa den

$\sigma_y$  = isurpen-tentsioa (muga elastikoa) den

$N$  = segurtasun-faktorea den

$N$  balio egokia aukeratu beharko da.  $N$ -ren balioa handiegia bada, orduan pieza gaineimentsionatua egon daiteke, hau da, material gehiegi erabiliko da edo behar dena baino erresistentzia handiagoko aleazioa erabiliko da, kostuak behar baino gehiago handituz.

$N$ -ren balioak, normalean, 1,2 eta 4,0 artean daude, gehienetan 2 batez besteko balio egokia izan daiteke.  $N$ -ren aukeraketa zenbait faktorek baldintzatzen dute:

- Obraren kostuak.
- Aurretik ingeniariak izan dezakeen esperientziak.
- Indarren kalkuluen zehaztasunak.
- Materialen propietateak.
- Apurketa gertatuko balitz, heriotza eta galera-materialen kopuruek.





## 4. Arroka eraikuntzan

### 4.1. SARRERA

Antzinatek, gizakiak naturak emandako arroka bereizten, sailkatzen eta ezagutzen ikasi du. Horrela kultura askotan, material barriak agertu arte, harria erabili da egurrarekin batera, eraikuntzetan, eskulturetan eta hainbat apaingarritan, ikus 43. irudia.

Arroka ezberdinak bereiztea eta haien ezaugarri eta eraikuntza-propietateak ezagutzea garrantzitsua da aplikazio bakoitzean behar den arroka aukeratzeko.



43. irudia. Harrizko horma.

### 4.2. ERAIKUNTZA-ARROKEN PROPIETATEAK

Naturan aurki daitezkeen arroka mota guztien artean batzuk ez dira eraikuntzan erabiltzeko egokiak; batzuk, nahiz eta interes zientifikoa eduki eta agian komertziala ere, metalekin agertzen direlako hauskorregiak dira eta eraikuntzan erabilezinak. Gainera, beste zenbait faktorek ere arroka aukeraketan zeresana dute: egiturak, gogortasunak, erresistentziak edo meatokiaren hurbiltasunak, besteak beste.

Hori horrela, eraikuntzan erabiltzen diren arrokek hurrengo ezaugarriak izan behar dituzte:

- **DENTSITATEA**

Arrokaren masaren (g-tan) eta bolumenaren (cm<sup>3</sup>-tan) arteko erlazioa da, matematikoki:  $D = \frac{M}{V}$ .

Oro har, dentsitatea zenbat eta altuagoa izan, arroka gogorragoa da. Dentsitatea konposizio mineralogikoaren, testuraren eta arroka egituraren funtzioan dago. Arroka konpaktuek eta sendoeak dentsitate handiagoa dute.

- **PISU ESPEZIFIKOA**

Materialaren pisua kilogramo metro kubikoko gisa definitzen da. Arrokek zenbat eta pisu espezifiko handiagoa izan, gogorrak izango dira.

Eraikuntzan erabiltzen diren zenbait arrokaen sailkapena eginez eta pisu handienetik txikienera ordenatuz haxe daukagu: basaltoa, granitoa, marmola, kareharria, hareharria eta apar-harria.

### • ZAILTASUNA

Arrokak talka baten bidez apurtua izateari jartzen dion oztopoa da. Propietate honen arabera arrokkak zail eta hauskorretan sailkatzen dira. Gogortasuna eta zailtasuna askotan batera doaz, baina hala ere, gerta daiteke arroka bat aldi berean gogorra eta hauskorra izatea, edo biguna eta zaila.

### • GOGORTASUNA

Arrokek marratuak izateari jartzen dioten oztopoa da. Mohs-en eskalaren bidez neurtzen da.

Arroka baten gogortasuna hurrengo faktoreen menpe dago:

- Konposizioa: kuartzoa, adibidez, arrokei gogortasunik handiena ematen dien minerala da.
- Pisu espezifikoa: arroka baten pisu espezifikoa zenbat eta handiagoa izan, gogortasun ere handiagoa izango da.
- Egitura eta testura: ale txikiak dituzten arrokkak, konpaktuak eta kristalinoak direnak, gogorrenak dira.

Arroka gogorren artean basaltoa, gneis, kuartzita eta granitoa daude, eta bigunenen artean harearria, kareharri ez-kompaktuak eta toba bolkanikoak.

### • KONPRESIOAREKIKO ERRESISTENTZIA

Kanpotik eragiten diren presioen aurrean arrokkak jarritako oztopoa da. Erresistentzia hau bere egituraren, pisu espezifikoaren, gogortasunaren, zailtasunaren eta estratifikazio-norabidearen menpean dago.

Arroka erresistenteenak pisu espezifiko handienekoak dira, konpaktuenak eta ale txiki eta uniformeak.

Arroka estratifikatuak eta eskistositatea dutenak okerrago jasaten dute indar mota hau. Hori horrela, haien erresistentzia maximoa izan dadin obretan arroka mota hauen kokapena oso garrantzitsua da: horma baten harlanduak estratifikazioarekiko elkarzut kokatu beharko dira.

### • LANKETA-AHALMENA

Arrokak zatitzeko, arbastatua izateko, landua izateko edo leundua izateko duen gaitasuna da.

Mozketak, zerra edo falcken bidez egiten denak, aleen norabideari jarraitu behar dio, batez ere arroka estratifikatuak badira. Oro har, harria zenbat eta konpaktuagoa eta gogorragoa izan, zatitua izateko oztopo gehiago jarriko ditu.

Arroka batek landua izateko daukan gaitasuna gogortasunarekin edo zailtasunarekin galtzen du, edo gehiegizko estratifikazioarekin. Arroka gogorrak, granitoa adibidez, harrobitik atera bezain laster landu behar dira, airearekin kontaktuan jartzean, euren hezetasuna galtzen duten heinean, gogortzen baitira. Arrazoi berdinagatik, arroka bigunak lantzeko, hareharria esate baterako, hilabete batzuetan uzten dira airearekin kontaktuan gogortzeko eta horrela zatitzen denean apur ez daitezzen.

Arroka konpaktuak, ale txikikoak eta uniformedunak, hala nola marmola, kareharri konpaktuak eta granitoa, erraztasunez leunduak izan daitezke.

### • IRAUNKORTASUNA

Arrokek agente atmosferikoen aurrean duten erresistentzia da. Material hauen apurketa, hau da, meteorizazioa hurrengo eran gerta daiteke:

- Era kimikoan: oxigenoak, anhidrido karbonikoak eta ur-lurrinak eraginda.
- Era fisikoan: aldaketa termikoak, izozketak eta urketak, euriak edo elurrak eraginda.
- Era mekanikoan: haizearen erosio jarraituak eraginda.

Bestalde, arroka baten iraupena hurrengo faktoreen menpe dago:

- Konposizioa: mineral bakar batez osatuak daudenek erresistentzia handiagoa izaten ohi dute.
- Testura: konpaktuak eta ale txikikoak agente atmosferikoen aurrean oso iraunkorrak dira.
- Egitura: porotsuak eta estratifikatuak iraupen txikikoak izan ohi dira.
- Kanpo-faktoreak, esate baterako, klima: iraupena handiagoa da klima lehorra eta beroa bada.
- Obran duen posizioa: oro har, sedimentazio-planoak obran jasango duten indarrarekiko elkarzut jarri beharko dira.
- Giro kutsatuetan edo itsasotik hurbil badaude, elementu metalikoekin kontaktuan badaude edo lanketa-prozesuan apurketa mikroskopikoak sortzen badira, arroka iraunkortasuna txikitu egingo da ere.

Iraupen handieneko arroka konpaktuenak eta pisu espezifiko handienekoak dira, basaltoa, gneisa, kareharri konpaktuak esaterako; eta, aldiz, erresistentzia txikiena dutenak eskisto buztintsuak, konglomeratuak, tobak, apar-harriak, etab. dira.

### **4.3. ERAIKUNTZAN ERABILTZEN DIREN ARROKA MOTAK**

#### **4.3.1. Sailkapen orokorra**

Oro har, arroak hurrengo eran sailkatzen dira:

- **ARROKA MAGMATIKOAK EDO IGNEOAK**

Magma hoztean eta gogortzean sortzen dira. Hozketa-prozesuaren arabera hurrengo sailkapena egin daiteke:

- a. Plutonikoak: lur-gainazalaren azpian gogortzen dira.
- b. Bolkanikoak: erupzio baten ostean lur-gainazalean solidotzen den magmatik sortuak dira.
- c. Filoniarrek: aurretik gogorturiko arroken arrakaletatik igarotzen diren magma-intrusioek sortzen dituzte.

- **ARROKA SEDIMENTARIOAK**

Lur gainazalean beste arroketatik datozen sedimentuen trinkoketaren bidez sortzen dira. Sedimentazio-moduaren arabera hurrengo sailkapena egin daiteke:

- a. Sedimentazio mekanikoa: urak eta aireak sorturiko apurketa eta garraioaren bidez sorturiko metaketa da. Alearen dimentsioaren funtzioan sailkatzen dira: 2 mm baino handiagoak, 0,02 eta 2 mm bitartekoak eta 0,02 mm baino txikiagoak.
- b. Sedimentazio kimiko-biogenikoa: prozesu kimiko edo organismoen eraginez sorturiko sedimentazioa da. Konposizio kimikoaren arabera arroak era honetan sailkatzen dira: gaziak, buztintsuak eta ikatzak.

- **ARROKA METAMORFIKOAK**

Aurretik jadanik existitzen diren beste arroka batzuetatik sortzen dira, haien egitura edo konposizioa aldatuz, lur barnean gertaturiko tenperatura- edota presioaldaketen eraginez. Egituraren funtzioan sailkatzen dira:

- a. Zerrendetan agertzen direnak.
- b. Eskistositatea dutenak.
- c. Masiboak edo konpaktuak.

#### **4.3.2. Arroka erabilienak**

##### **4.3.2.1. Arroka plutonikoak**

- **GRANITOA**

Haren portaeran kristalografiak eta konposizio kimikoak eragin nabarmena daukate.

Granitoaren oinarrizko osagaiak hauek dira:

- Kuartzoa: erresistentzia mekanikoa, gogortasuna eta erresistentzia kimiko handiak ematen dizkio.
- Feldespatoa: mineral gogorra eta erresistentea da, baina ez kuartzoa bezainbeste.
- Mika: granitoari biguntasuna ematen dio eta zabalkuntza termikoa ere handitzen du, horrela arroka erraztasun handiagoz apurtzen da.



**44. irudia. Granitoa.**

Oro har, granitoak konpresioarekiko erresistentzia handia dauka, baita leunketaren aurrean ere, eta arrazoi horregatik herri-lanetan erabili ohi dira.

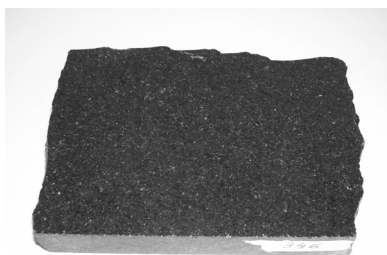
Ale handikoak direnek hobeto jasaten dituzte konpresio-indarrak, baina flexo-trakzioaren aurrean ale txikikoek baino erresistentzia txikiagoa dute. Ikus 44. irudian bi granito mota hauen adibideak.

Ale txikiko granitoek leunketaren aurrean erresistentzia handiagoa dute ale handikoek baino.

#### • SIENITA, DIORITA ETA GABROA

Itxuraz berdintsuak diren hiru arroka mota hauek granito gisa ezagutzen dira maiz (ikus 45. irudia), nahiz eta granitotik bereizten diren, kuartzo gutxi eta mineral ferromagnesiano asko izateagatik. Askotan granitoarekin nahastuta datoz.

Hauen ezaugarriak granitoek dituztenen antzekoak dira, hala ere, gogortasuna eta leunketarekiko erresistentzia txikiagoak izan ohi dira, eta gainera erraztasun handiagoz aldatzen dira.



**45. irudia. Gabroa.**

#### • DIABASA

Izaera basikoa duten arroak dira, oso kalitate onekoak. Erresistentzia eta iragaztezintasun handikoak dira ere.

Baina beren azaleratzeak gutxi eta irregularrak dira; horrela, arroka honen ustiapena garestia izaten da.

#### 4.3.2.2. Arroka filoniarrak

Arroka oso gogorrak eta kanpo agenteen aurrean erresistentzia handikoak dira. Granitoak, gneis etab. baino gogorragoak dira.

Erabilienak aplita (oso arroka azidoa, ale txikikoa eta granitoaren portaera berdinekoa), pegmatita (aplitaren konposizio bera dauka baina ale handiagoekin; horrek meteorizazioaren aurrean bigunagoa egiten du) eta porfidoa dira.

#### 4.3.2.3. Arroka bolkanikoak

##### • BASALTOA

Konposizioan burdina asko daukate eta kuartzo gutxi, baina feldespatoen eta olibinoen gogortasun handia ematen diete, hala ere granitoak baino gutxiago. Erresistentzia mekaniko handikoa da eta kimikoki ez da asko degradatzen. Arroka mota hau erraztasunez landu daiteke.

##### • PUZOLARRIAK

Material silizeoak edo aluminio-silizeoak dira. Puzolarria terminoa Napolitik hurbil dagoen Puzzoli herrian zeuden toba bolkanikoak izendatzeko erabili zen hasieran, baina gaur egun hurrengo ezaugarriak dituzten materialak izendatzeko erabiltzen da:

- Ura dagoenean kaltzio hidroxidoarekin,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -rekin, erreakzionatzeko erraztasuna dute.
- Ezaugarri aglomeratzaileak dituzten produktu hidratatuak sortzeko ahalmena dute.
- Ale tamaina 5 mm baino txikiagoa da.

Puzolarri naturalak granulometria txikiko arroka piroklastikoetatik datoz. Batzuetan granulometria handikoak izan daitezke, kasu horietan arrokek ehotze-prozesua beharko dute.

##### • PUMITAK

Apar-harri bezala ezagutzen dira eta kuartzo-, ferromagnesio- eta feldespatokantitate aldakorrak dituzte. Beiratsuak dira eta dentsitate txikikoak (uretan flotagarriak dira) eta porositate handikoak. Batez ere Puzzoli herrian aurki daitezke.

Laba airera proiektatua irteten denean, deskonpresio handia jasaten du; horren eraginez desgasifikazioa gertatzen da eta horma beiratsu finez banaturiko hutsak gelditzen dira.

- **TRAKITAK**

Laba alkalinoen sendotzearen ondorioz sortzen dira. Konposizioan feldespa-toa eta mineral ferromagnesianoren bat (piroxenoa, anfibol edo mika beltza) dauzkate.

- **FONOLITAK**

Basalto masiboaren antz handia daukate, baina kolore berdeak edo gris urdinxkak dituzte. Mineral basikoak, olibinoa edo piroxenoak esaterako, ez dira agertuko, arroka azidoak baitira. Plagioklasak eta kuartzoa izan ditzakete.

#### 4.3.2.4. Arroka sedimentarioak

Bi talde handitan banatzen dira:

##### A. ARROKA ASKEAK

Hareak eta legarrak dira. Arroka hauen jatorria endogenoa bada, apurketa-norabide finkoak agertzen ez direnean, partikulak gutxi gorabehera kubikoak dira. Baina arrokek jatorri metamorfikoa badute partikulak luzeak eta apurketa-norabide ezberdinekoak izango dira, hori horrela hormigoia egiteko erabiliko dira soilik.

##### B. ARROKA AGLOMERATUAK

- **KUARTZITAK**

Izaera silizeoa duten hareharriak dira, oso gogorrak, azidoak eta apurketa errazekoak. Arroka garestiak dira, hormigoiaaren fabrikazioan erabiltzeko adibidez, beren gogortasuna dela-eta birrinketa-prozesu luzea behar dutelako. Ikus 46. irudia.



46. irudia. Kuartzita.

- **BENTONITAK**

Baseak eta burdina dituzten buztin bereziak dira, oso itsaskorrak, eta asko uzkurten direnak (geruza unitario ezberdinen arteko loturek kaolinitan baino ur-sarrera handiagoak onartzen dituzte) eta erreketak eta hozketa-prozesuetan apurtzeko joera dute.



### • KAREHARRIAK

Konpresioarekiko erresistentzia eta ebakidura-erresistentzia handiko arroak dira, baina granitoak baino askoz ere erresistentzia txikikoak. Haien lanketa, oro har, ona da, erraztasunez zulatzen dira, birrinketa ere erraz egin daiteke eta bloke homogeenak lor daitezke ere. Hala ere, kimikoki ahulak dira.

### • IGELTSUAK

Kaltzio sulfato hidratatuaz eta ezpurutasunez sorturiko arroak dira. Egoera naturalean arroka hauek % 79,07 kaltzio sulfato anhidroz eta % 20,93 urez sortuta daude.

Arroka sedimentariotzat hartzen dira. Kolore gabekoak edo zuriak dira egoera puruan, hala ere, ezpurutasunak (buztina, burdina oxidoa, silizea, hareharria, etab.) dituzte maiz zenbait kolore lortuz.

Uretan azkartasun handiz disolbatzen dira.

#### 4.3.2.5. Arroka metamorfikoak

### • ARBELAK

Loditasun txikiko laminetan bana daitezkeen arroak dira, 5 edo 6 mm-ra helduz. Beste arroekin konparatuta flexioarekiko erresistentzia ona dute, mozteko eta zulatzeko errazak dira eta agente atmosferikoen aurrean erresistentzia ona dute. Gainera porositate oso txikikoak dira. Ikus 47. irudia.



47. irudia. Arbela.

### • MARMOLAK

Kareharrietatik sorturiko arroka konpaktuak dira, temperatura eta presio handiak jasan ostean kristalizazio-maila handia lortzen dutenak. Osagairik garrantzitsuena kaltzio karbonatoa da, zeinak % 90eko kopuruak gainditzin dituen; gainerako osagaiak ezpurutasunetatik har daitezke, kolore ezberdinak ematen dizkiete marmolei eta haien ezaugarri fisikoak definitzen dituzte. Ikus 48. irudia.

Leunketa ondo jasaten dute. Haien erresistentzia kimikoa leunketarekin hobetzen da, baina azidoek eta agente atmosferikoek eragiten diete.



**48. irudia. Marmola.**

#### **4.4. ARROKEN PRESTAKETA**

Arrokak egoera naturalean kokatzen direnez eraikuntzetan, kontserbazio-tratamenduez aparte, kokapenaren aurretik egindako lanak arrokek eraikuntza horretan izan behar duten forma ematera bideratuta daude.

Arroka baten gainean egiten diren operazioak, oro har, lanketa izendatzen dira, eta guztiak ez dira aldi berean arroka batean egiten, aplikazioaren arabera aukeratzen dira.

Lanketa-operazioak hauek dira:

##### **A. MOZKETA**

Harrobian bertan egiten da, blokeak ez dira oso handiak izango garraioa asko zailtzen baita. Lan honetarako mazoak, falkak eta zerrak erabiliko dira. Falkak mazoan bidez jotzean aldeztu aurretik eginiko kosketan sartuta, arrakalak sortzen dituzte arrokan.

Arroka bigun eta erdigogorretan hortz-zerrak erabiltzen dira, eta arroka gogorre-tan hari-zerrak urratzaile baten laguntzaz.

Normalean, zerra metalikoak erabiltzen dira zentimetro gutxiko lodierako xafla meheak lortzeko.

##### **B. ARBASTUA**

Mozketa-operazioan lortzen den forma irregularra denez, arbastu-operazioa egiten da piezei amaierako dimentsioak emateko.

Tailer batean egiten da, zizel, arbastu-mailua edo mailu pneumatiko bat erabiliz. 3 edo 4 cm-ko lasaierak uzten dira erabilera galaraziko luketen apurketak saihesteko.

### **C. AKABERA**

Harriari neurri zehatzak eta kanpoko itxura ematen zaizkio eraikuntzan kokatu baino lehen. Perfekzio-gradu ezberdinetan egin daiteke: lanketa zakarrean, erdian edo finean.

Akabera-operazioak eskuz egin ohi dira, baina azkenaldian, tresna berezia atxikitzen zaion mailu pneumatikoen bidez egiten da, edo makineria automatizatuago batekin. Ekoizpen-teknika berriak, mekanizatuagoak direnak, gehiago erabiltzen ari dira gaur egun arrazoi ekonomikoak direla-eta. Eskulana berriztapen-piezak egiteko utzi da.

### **D. TAILAKETA**

Harriari bere amaierako itxura ematean datza. Akaberek maila altukoa izan behar duenean tailatzea egiten da punta-zizelak, zizelak, gubiak, mutxardak edo azken aldian punta-zizel elektrikoak eta leunketa-diskoak erabiliz.

Harlanduzko harria puntu honetan bukatutzat ematen da, baina zoladurak egiteko leunketa egitea beharrezkoa izango da erresistentzia kimikoa handitzeko.

### **E. LEUNKETA**

Apainketan erabiliko diren harriei egiten zaien operazioa da; baina batzuetan erresistentzia kimikoa handitzeko egiten den operazioa ere bada. Gainazala higatu egiten da leun eta distira gabe utziz.

Arroka leungarria izateko gogorra, ale txikikoa eta homogeneousa izan behar du. Hoberenak marmolak, granitoak eta zenbait kareharri dira.

Produktu urratzaileekin egiten da gainazala igurtziz, lehenengo produktu bigunekin eta gero gogorrago batzuekin, beti leundu behar den arroka baino gogortasun handiagokoak izango dira. Esate baterako, marmoletan apar-harriak erabili ohi dira eta granitoan carborunduma.

Prozesua automatizatua dago gaur egun.

### **F. TXARTAKETA**

Produktu urratzaileek utzitako marrak kentzeko eta distira emateko egiten den operazioa da. Espartzu-diskoekin egiten da.

Operazio hau egin baino lehen piezei poroak ixten zaizkie kola erabiliz. Gaur egun, erretxina sintetikoak erabiltzen dira harriaren hautsarekin nahastuta.

## **4.5. HARRIZKO MATERIALEN APLIKAZIOAK**

### **4.5.1. Aplikazio orokorrak**

Harrizko materialak eraikuntzan beteko duten funtzioaren arabera lau taldetan sailka daitezke:

#### **4.5.1.1. Fabrikak**

Eraikuntzan erabiltzen diren elementu hauek, lehorrean nahiz morteroarekin, konpresioarekiko indarrak jasaten dituzte eta hormak, zutabeak, bobedak etab. egiteko erabiltzen dira.

Hiru motatako piezak bereizten dira lanketa-mailaren eta neurrien arabera:

1. Harlangaitza: aurpegi batean lanketa txikia egiten zaio eta gainerakoa landu gabe uzten da, itxura zakarra dute eta eskuz maneagarriak dira.
2. Silarriak: paralelepipedo itxura daukaten harriak dira, erregularitasunez landuak eta eskuz maneagarriak.
3. Silarriak: oso harri landuak dira, normalean paralelepipedo formakoak nahiz eta beste formakoak ere izan daitezkeen. Eskuz maneagarriak dira.

Hurrengo propietateak eskatzen zaizkie:

- a. Fisikoak: gogorrak izan behar dira baina aldi berean lantzeko erraztasuna izan behar dute. Gainera morteroekin itsaskorrak eta izozketen aurrean erresistentzia izan behar dute.
- b. Mekanikoak: konpresioan  $500 \text{ kg/cm}^2$  inguruko kargak jasatea.
- c. Kimikoak: agente atmosferikoen aurrean erresistenteak izan behar dira.

Fabriketan gehien erabiltzen diren materialak hauek dira:

- a. Kareharriak: lanketa eta erresistentzia mekaniko ona dute, hala ere kimikoki ahulak dira.
- b. Hareharriak: lanketa ona dute eta morteroarekin itsaskorrak dira, hala ere, porotsuek ez dituzte izozketak ondo jasaten.
- c. Silizeoak: erresistentzia kimiko handia dute eta gogorrak dira, baina morteroekin ez dira oso itsaskorrak.
- d. Granitoak: mekanikoki oso erresistenteak dira, baina landuak izateko zailtasunak jartzen dituzte.

Erabiltzen diren piezen arabera, haien eraikuntza-aplikazioak ezberdinak dira:

- a. Harlangaitza: neurri ezberdineko harriez eginiko hormak dira, harrien artean ez dituzte hutsak uzten eta lehorrean edo mortero bat erabiliz eraiki daitezke.
- b. Aparailua: silarrixekin eginiko hormak dira (hutsuneak gera daitezke harriena artean) ilaretan jarrita euren portaera mekanikoa ziurtatzeko.
- c. Silarriak: silarriei zenbakiak jarri eta obran kokatzen dira zehaztasun osoz. Haien arteko loturak ziurtatzeko grapak erabiltzen dira.

#### 4.1.2.5. Zoladurak

Zoruak estaltzeko erabiltzen diren harrizko piezak dira. Haien aplikazioaren arabera, eraikuntzetan edo hirigintzan, forma ezberdinak izango dituzte.

Hauek dira ezaugarri nagusiak:

- a. Fisikoak: kanpoaldean erabiltzen badira, ez-labaingarriak izango dira eta, horretarako, gainazal izurtsua izango dute. Gainera, morteroekin itsaskortasun ona izan behar dute, porositate txikia eta ale txikikoak izan beharko dira ere.
- b. Mekanikoak: urradurarekiko eta flexioarekiko erresistentzia handia izan beharko dute.
- c. Kimikoak: agente atmosferikoak eta azidoak jasan behar dituzte.

Material erabilienak hauek dira:

- a. Granitoak: kuartzo asko dutenak erabiltzen dira, gogortasuna eta erresistentzia kimikoa ematen baitizkie.
- b. Marmolak: trinkotasun handia dela-eta egokiak dira, hala ere kimikoki ahulagoak dira eta bigunagoak.
- c. Kareharri kristalinoak: nahiko gogorrak dira eta leunduak izan daitezke.
- d. Arbel silizeoak
- e. Kareharriak: nahiz eta kimikoki ahulak izan erraztasunez lantzen dira.
- f. Basaltoak: gogortasun handia dute.

Ekoizten diren produktuak hauek dira:

- a. Harlauzak edo xafak: zerren bidez 3 eta 4 cm bitarteko lodietara mozturiko piezak dira, gainazal leundua edo izurtua eduki dezakete.
- b. Zintarriak: prisma itxura izan ohi dute, hala ere, gaur egun neurri eta itxura askotakoak izaten dira.
- c. Galtzada-harriak: paralelepipedo formako piezak dira, silarrixken antzekoak baina neurri txikikoak.
- d. Mailak: harlauza luze eta estuak izan daitezke edo pieza bakar batean egin daitezke.

#### 4.5.1.3. Plakazko estaldurak

Estaldura bertikalak dira, eraikuntza agente atmosferikoetatik babestea da haien egitekoa kanpoaldean kokatzen direnean. Eraikuntzaren barruan, apaingarri gisa erabiltzen dira soilik. Harlauza edo xafla eran jartzen dira.

Hurrengo propietateak izan behar dituzte:

- a. Fisikoak: iragaztezinak izan eta izozketen aurrean erresistentzia izan behar dute. Eroankortasun termiko txikikoak izango dira.
- b. Mekanikoak: talkekiko erresistentzia izan behar dute.
- c. Kimikoak: agente atmosferikoen aurrean erresistentzia izan behar dute.

Mota honetako produktuak ekoizteko marmolak, trabertinoak, kareharriak, hareharriak eta granitoak erabiltzen ohi dira.

Obran kokatzeko altzairuzko arpoiak erabiltzen dira harrizko pieza hauek euren gainean finkatzeko; barrukoa morteroz betetzen da talkekiko erresistentzia hobetzeko.

#### 4.5.1.4. Estalkiak

Teilatueta erabilitako estaldurak dira, normalean harrizko materialen artean arbelak erabiltzen dira.

4-6 mm-ko lodierako eta 200-600 mm-ko luzerako xaflak erabiltzen dira, haien dimentsioak ezin dira handiegia izan, flexioan egingo baitute lan.

Elementu hauek hurrengo ezaugarriak izan behar dituzte:

- a. Fisikoak: arinak eta iragaztezinak izan behar dute.
- b. Mekanikoak: flexioarekiko erresistentzia handia izan behar dute.
- c. Kimikoak: agente atmosferikoen aurrean erresistentzia izan behar dute.

Aplikazio honetarako arbel bituminosoak zein silizeoak erabiltzen dira.

### 4.5.2. Arroken aplikazio espezifikoak

#### 4.5.2.1. Arroka plutonikoak

##### • GRANITOA

Bere propietate mekanikoak direla-eta, granittoa eraikuntzan erabili da harlangaitz moduan, harlanduzkoetan, zintarrietan, harlauzetan, galtzada-harrietan, estalduretan eta abarretan.

Errepideetan macadam moduan erabiltzen da, hasierako geruza moduan; baina beti beste produktu batzuekin estali beharko da alterazioak ekiditeko. Geruza asfaltikoetan ez da agregakin moduan erabiltzen, ez baitu itsaskortasun onik betunarekin.

Mota honetako harriak trenbideetako balastoa egiteko erabili ziren hasieran, konpresioarekiko erresistentzia handia zutelako eta barne-marruskadura angelu handia ere ( $40^\circ$ ); baina denborarekin erabilera hau bertan behera utzi zen hausko-rrak eta ezegonkorrak zirelako, horrela granulometria txikiko zatiek hutsak betetzen zituzten drainatzea galaraziz.

Harri-lubetetan erabiltzen da ere, lehen aipaturiko barne-marruskadura angelu handia dela-eta, bere dentsitate handia dela-eta, eta bloke handiak lor daitezkeelako; hala ere, ertzak biribilduko dira bere egonkortasun txikia dela-eta.

#### • SIENITA, DIORITA ETA GABROA

Hormigoietan agregakin bezala erabiltzeko, balasto, macadam, harri-lubeta eta zimenduetan emaitza onak ematen dituzte.

Diorita eta gabroa agregakin moduan erabiltzen dira geruza asfaltikoetan, izaera basikoa dutenez betunarekin itsaskortasun ona baitute.

#### • DIABASA

Bere dentsitate altua dela-eta, harri-lubetetan erabiltzen dira.

Ofita, diabasa mota berezia, errepideetako errodadura-geruzak egiteko erabiltzen da, erresistentzia-propietate onak eduki eta ez-labainkorrak direlako.

#### 4.5.2.2. Arroka filoniarrak

Arroka mota hauek eraikuntzan asko erabiltzen dira, gogortasun eta erresistentzia altua baitute. Zoruetan erabiltzen dira beren forma-koefiziente ona dela-eta, nahiz eta arroka hauek azidoak izan eta betuna eta haren deribatuekin itsaskortasun ona izan.

#### 4.5.2.3. Arroka bolkanikoak

#### • BASALTOA

Hormigoietan agregakin gisa erabiltzen da, eta errepideetako zoruak egiteko bere trinkotasun handia eta betunarekin eta zementuarekin duen itsaskortasun ona dela-eta. Galtzada-harriak eta harlangaitza egiteko erabiltzen da ere.

#### • PUZOLARRIAK

Hormigoi eta hormigoi berezietan agregakin moduan erabiltzen dira.

- **PUMITAK**

Hormigoi berezietan agregakin moduan erabiltzen dira.

- **TRAKITAK**

Harlangaitzetan erabiltzen dira.

- **FONOLITAK**

Harlangaitzetan erabiltzen dira.

#### 4.5.2.4. Arroka sedimentarioak

##### A. ARROKA ASKEAK

Hareak eta legarrak hormigoian agregakin moduan erabiltzen dira. Itsasotik ateratako hareak, gatz-eduki handia dela-eta, zementuari erasotzen diote; arrazoi horregatik garbitu beharko dira erabili baino lehen. Erreken hondotik datozen hareak garbiagoak dira.

Legarrak ezponden babeserako erabiltzen dira ere. Hareak eta legarrak errepi-deetako macadamean ere erabiltzen dira askotan.

##### B. ARROKA AGLOMERATUAK

- **KUARTZITAK**

Hormigoia egiteko arroka onak dira baina oso garestiak.

Bide-zoruak egiteko oso azidoak dira, beraz, betunarekin ez dute itsaskortasun onik. Gainera erroadura-geruzetan ezin dira erabili leundu egiten baitira eta, ondorioz, gainazal labainkorrak sortu.

- **BENTONITAK**

Oso buztin plastikoak izanik zundaketa- eta zulaketa-prozesuetan lubrifika-tzaile moduan erabiltzen dira.

Bide-zoruetan erabiltzen dira ere, baina nahiz eta buztinen gainean eginiko errepideak nahiko erosoak izan, beste geruza batzuk jarri behar dira, alde batetik haien konpresioarekiko erresistentzia txikia delako, eta, bestetik, oso deformagarriak direlako. Horretaz gain, drainadura-sistema egokia jarri beharko da ura kentzeko.

Kareharriarekin agertzen den buztina (% 63 kareharri eta % 37 buztin portzioetan normalean) lanketa- eta erreketatzen berezietan osten, zementuen ekoizpenean erabiltzen da.

- **KAREHARRIAK**

Silarrietan eta harlangaitzetan erabiliak izan dira eta zementua lortzeko lehengai moduan.



Hormigoien agregakin gisa erabiltzen dira ere, eta errepideetako nahasketa asfaltikoak egiteko (errodadura-geruza salbuespena da), harri-lubetetan eta balastoak egiteko ere erabilgarriak izan daitezke.

- **IGELTSUAK**

Eraikuntzetan barnealdean erabiltzen dira beti, uretan duten disolbagarritasun handiak direla-eta, kanpoaldean kokatzean berehala desegino liratekeelako. Eraikuntzan erabiltzen diren zenbait elementu aurrefabrikatu egiteko ere erabiltzen dira, hormak egiteko esate baterako.

#### *4.5.2.5. Arroka metamorfikoak*

- **ARBELAK**

Teilatuak eta estaldurak egiteko erabiltzen dira, xafla mehe, iragaztezin eta lantzeko errazak direlako.

Kuartzita duenean, hormen harlangaitzetan erabiltzen dira.

- **MARMOLAK**

Eraikuntzan zoru eta estaldura bertikaletan erabiltzen dira; apaindura-elementuetan aurki daitezke ere.

## 5. Zeramikak

### 5.1. SARRERA

Material hauek aplikazio-esparru zabalak dituzte. Buztingintzan, adreiluen, azulejuen eta lozaren fabrikazioan, material erregogorretan, imanetan, urratzaileetan eta industria elektrikoan erabiltzen diren hainbat elementutan erabilgarriak dira, besteak beste.

### 5.2. MATERIAL ZERAMIKO MOTAK

#### 5.2.1. Zer da zeramika bat?

Material zeramikoak, elementu metalikoak zein ez-metalikoak dituzten konposatu konplexuak dira, lotura ionikoz, kobalentez eta zeinbait kasutan Van der Waals lorturez sortuak, ikus 13. taula.

| Konposatua                     | Lotura | Elektronegatibitate-diferentzia | Izaera ionikoa (%) | Izaera kobalentea (%) |
|--------------------------------|--------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| ZrO <sub>2</sub>               | Zr-O   | 2.3                             | 73                 | 27                    |
| MgO                            | Mg-O   | 2.2                             | 69                 | 31                    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al-O   | 2.0                             | 63                 | 37                    |
| SiO <sub>2</sub>               | Si-O   | 1.7                             | 51                 | 49                    |
| Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | Si-N   | 1.3                             | 34.5               | 65.5                  |
| SiC                            | Si-C   | 0.7                             | 11                 | 89                    |

13. taula. Zenbait zeramikaren izaera ionikoa eta kobalentea.

Normalean, material zeramikoak gogorrak eta hauskorrek dira, haien fusio-puntua altua da eta eroankortasun termiko zein elektriko txikiak dituzte; gainera, egonkortasun kimiko eta termikoa dute, eta konpresioarekiko erresistentzia handia ere.

Material hauen konposizio kimikoa oso aldakorra da, konposatu sinpleenetatik abiatuta fase konplexu askoren nahasketaraino iritsiz.

Propietateak ere asko aldatzen dira lotura-ezberdintasunak direla-eta.

Aplikazio industrialetan erabiltzen diren material zeramikoak bi taldetan bana daitezke: material zeramiko tradizionalak eta ingeniariartzako material zeramikoak.

Zeramika tradizionalak hiru osagai erabiltzen ditu: buztina, silizea eta feldespatoa. Mota horretako materialen adibideak beirak, eraikuntza-industrian erabiltzen diren adreilu eta azulejuak, eta industria elektrikoan erabilitako portzelanak dira.

Ingeniaritzako zeramikak konposatu puruak edo ia-puruak dira aluminio oxidoa ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), silizio karburoa ( $\text{SiC}$ ) eta silizio nitruroa ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) bezala, gaur egun gas-turbinetan eta zirkuitu integratuen txipetan aplikatzen ari dira era esperimentalean.

### 5.2.2. Zeramika tradizionalak

Lehen aipatu den moduan, zeramika tradizionalak hiru osagai dituzte: buztina, silizea eta feldespatoa. Buztinek aluminio silikato hidratatuak ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) dituzte gehienbat, eta  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  eta  $\text{K}_2\text{O}$  moduko oxido-kantitate txikiekin nahastuak egon daitezke.

Buztinak materialari manipulatzeko erraztasuna ematen dio gogortze-prozesua gertatu baino lehen, material mota honen osagai nagusia izanik. Silizeak ( $\text{SiO}_2$ ) fusio-tenperatura altua du eta zeramika tradizionalen osagai erregogorra da. Potasio feldespatuak ( $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) fusio-tenperatura baxua du, eta nahasketa erretzen denean, beira bat sortzeko ahalmena dauka; horrela, osagai erregogorren arteko lotura sortzen da.

Buztinezko osagai estrukturalak, eraikuntzako adreiluak bezala, drainatze-hodiak, drainatze-lauzak, teilak eta azulejuak, etab. (ikus 49. irudia), hiru osagai horiek dituen buztin naturalez egiten dira.



49. irudia. Adreilu, teila eta azulejuen adibideak.

### 5.2.3. Ingeniaritzako zeramikak

Ingeniaritzako zeramikak oxido, karburo edo nitruroen konposatu puruak edo ia-puruak dira. Mota honetako zeramika garrantzitsuak hauek dira:

- Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Alumina tenperatura altuetan erabil daitezkeen hodi erregogorrek eta purutasun altuko arragoak egiteko garatu zen, gaur egun hainbat aplikazio ditu. Aluminio oxidoa magnesio oxidoarekin kutsatzen da normalean, gero hotzean konprimitu eta

sinterizatua izaten da, mikroegitura uniformea lortuz. Alumina kalitate altuko aplikazio elektrikoetan erabiltzen da, galera dielektriko txikiak behar direnean eta erresistibitate handiak.

- Silizio nitruroa ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )

Ingeniaritzako zeramiken artean, silizio nitruroak propietate interesgarrienak ditu. Produktu honek  $1.800\text{ }^\circ\text{C}$ -ko tenperaturak gainditzen dituenean disoziatu egiten da, eta horregatik ezin da zuzenean sinterizatu. Produktu honen prozesaketarako lotura-erreakzio bat egiten da non nitrogeno gas-fluxu baten bidez silizio-hauts trinkotuek nitrurazio-prozesua jasaten duten; horrela, erresistentzia ertaineko ( $770\text{ MPa}$ -eko konpresioarekiko erresistentziarekin eta  $255\text{ MPa}$ -eko flexioarekiko erresistentziarekin)  $\text{Si}_3\text{N}_4$  mikroporotsua lortzen da. Erresistentzia handiko  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ez-porotsua egiteko prentsatzeko-prozesua beroa aplikatuz egiten da eta % 1etik % 5era  $\text{MgO}$ -ko kantitateak gehituz.

- Silizio karburoa ( $\text{SiC}$ )

Silizio karburoa osagai erregogor erresistentea da, tenperatura altuak bereziki ondo jasaten dituena. Nahiz eta oxido bat ez izan,  $\text{SiC}$ -ak tenperatura altuetan  $\text{SiO}_2$ -ko geruza bat sortzen du materialaren barnealdea babestuz.  $\text{SiC}$ -a  $2.100\text{ }^\circ\text{C}$ -ra sinterizatu daiteke % 0,5-1 B kantitateak gehituz prozesuan lagungarri bezala.  $\text{SiC}$ , matrize metalikoa eta matrize zeramikoa dituzten konposatuen indartze-fibrotsuak egiteko erabiltzen da.

- Zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ )

Zirkonia purua polimorfikoa da eta bere egitura tetragonala monoklinikora igarotzen da  $1.170\text{ }^\circ\text{C}$  lortzen direnean, bolumen-zabalkuntza bat gertatzen da eta horregatik arrakalatu daiteke. Hala ere,  $\text{ZrO}_2$  beste oxido erregogorrekin konbinatuz,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  eta  $\text{Y}_2\text{O}_3$ -arekin adibidez, bere egitura kubikoa giro-tenperaturan mantendu dezake; era horretan, apurketaren aurrean zailtasun bereziki handia duen zirkonia lortzen da.

### **5.3. ZERAMIKEN OINARRIZKO PROPIETATEAK**

#### **5.3.1. Propietate fisikoak**

##### **5.3.1.1. Dentsitatea**

Dentsitatean hurrengo faktoreek eragina dute: elementuen neurriak eta pisu molekularrak, egitura kristalinoan atomoek duten trinkotasun-graduak eta mikroegituraren porositateak.

Dentsitate hitza era ezberdinetan erabil daiteke, horrela, hurrengo terminoak bereizten dira:

- Dentsitate kristalografikoa

Egitura kristalino jakin baten dentsitate ideala da, bere konposizio kimikoa eta bere dimentsio atomikoen datuak erabiliz kalkulaturik, X izpien difrakzioa erabiliz.

Magnitude honetan eraginik handiena gelaxka unitarioa osatzen duten atomoen pisu atomikoek daukate. Hori horrela, pisu atomiko baxuko elementuek, H, Be, C, N, O, Si eta B-ak esaterako, dentsitate kristalografiko baxua dute eta pisu atomiko altuko elementuek, W-ak edo U-ak adibidez, dentsitate kristalografiko altua. Hurrengo taulan (ikus 14. taula) elementu batzuen dentsitate kristalografikoak agertzen dira:

| Elementua                          | Dentsitate kristalografikoa (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| C (grafitoa)                       | 2.27                                             |
| B <sub>4</sub> C                   | 2.51                                             |
| SiO <sub>2</sub> polimorfikoa      | 2.65                                             |
| SiC                                | 3.22                                             |
| WC                                 | 15.70                                            |
| BaTiO <sub>3</sub>                 | 6.02                                             |
| α - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.99                                             |
| TiO <sub>2</sub>                   | 4.25                                             |

**14. taula. Zenbait zeramikaren dentsitate kristalografikoa.**

Bestalde, ioi edo atomoen kokapenak egituraren dentsitate kristalografikoan ere eragina dauka, atomoak zenbat eta trinkoagoak izan egituraren, dentsitate kristalografikoaren balioa handiagoa izango da.

- Dentsitate teorikoa

Mikroegituraren porositateak ez daukan material baten dentsitatea da, fase aniztunak, egituraren egon daitezkeen hutsegiteak eta disoluzio solidoak kontuan izanik.

Aplikazio askotan porositate gabeko material zeramikoa lortu nahi da; kasu honetan, zeramika, fase solidoen arteko nahasketa bat izango da. Ezaugarri hauen arabera materialak itxurazko dentsitate maximo bat izango du, dentsitate teorikoa deituko dena.

- Itxurazko dentsitatea

Gorputz zeramiko baten dentsitatea da, porositatea, egituraren egon daitezkeen hutsak eta faseak kontuan harturik.

Zeramika komertzial gehienek fase kristalino bat baino gehiago dituzte eta askotan fase ez-kristalinoak. Fase horiek dentsitate ezberdinak dituzte atomoen eta

trinkotasunaren arabera. Gainera, mikroegitura porositatea dago. Kasu hauetan, dentsitate kristalografikoak ez du materiala behar bezala karakterizatzen, arrazoi horregatik itxurazko dentsitatea erabili behar da.

### 5.3.1.2. Porositatea

Porositateak eragin nabarmena izan dezakeenez zeramiken propietateetan, neurtu beharreko parametroa da. Erresistentzia txikitu dezake, materiala gasen edo likidoen aurrean iragazkor bihurtu eta ezaugarri elektrikoak eta portaera optikoa aldatu.

Poroak hutsak bezala kontsidera daitezke. Material zeramiko batean poroak elkarrekin konektatuta egon daitezke edo itxiak izan ahal dira. Normalean bi termino erabiltzen dira porositateari buruz hitz egiteko: alde batetik, itxurazko porositatea, elkarri lotutako poroak neurtzen dituen eta iragazkortasuna neurtzen duena, hau da, gasek eta beste fluido batzuek zein erraztasunez igarotzen duten material zeramikoa; eta bestalde, porositate erreala erabiltzen da, poro interkonektatuak eta poro itxiak kontsideratzen dituen.

### 5.3.1.3. Portaera fusioan

Material zeramiko bakoitzak fusio-ezaugarri ezberdinak ditu, batzuk deskonposatu egiten dira fusiora heldzean; beste batzuk, berriz, sublimatzen dira. Portaera hori lotura atomikoen gogortasunaren menpean dago; horrela, lotura atomiko sendoak dituzten materialek fusio-tenperatura altua izateko joera daukate, diamantea esate baterako. Aldiz, Van der Waals motako loturak dituzten materialek fusio-puntu baxuak dituzte. Hurrengo taulan (ikus 15. taula) fusio-puntuak agertzen dira.

| Materiala                      | Fusio-puntua (°C) |
|--------------------------------|-------------------|
| SiO <sub>2</sub> urtua         | ~1.650            |
| Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | ~1.750-1.900      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.050             |
| B <sub>4</sub> C               | 2.425             |
| SiC                            | 2.300-2.500       |
| BeO                            | 2.570             |
| ZrO <sub>2</sub>               | 2.500-2.600       |
| MgO                            | 2.620             |
| WC                             | 2.775             |
| UO <sub>2</sub>                | 2.800             |
| TiC                            | 3.100             |
| ThO <sub>2</sub>               | 3.300             |

15. taula. Zenbait zeramikaren fusio-puntuak.

### 5.3.2. Propietate termikoak

#### 5.3.2.1. Bero-ahalmena

Bero-ahalmena, material baten mol bati tenperatura gradu bat igotzeko eman behar zaion energia da.

Zenbait material zeramiko polikristalinoren bero-ahalmenaren aldaketa tenperaturaren funtzioan aztertuz, egitura kristalinoarekiko eta materialaren konposizioarekiko askea dela ondorioztatzen da. Aplikazio praktikoetarako beste faktore batzuk kontsideratu beharko dira ere, porositatea esate baterako. Porositate handiko pieza zeramiko batek material solidoaren kantitate txikiagoa dauka bolumen-unitateko porositate gabeko batek baino; arrazoi horregatik porositate gabeko piezak energia kalorifiko gehiago beharko du tenperatura jakin batera berotzeko.

#### 5.3.2.2. Eroankortasun termikoa

Eroankortasun termikoak material batetik zehar beroa zein abiaduratan garraiatzen den adierazten du.

Material zeramikoek eroankortasun termiko tarte zabala daukate. Eroankortasun handienak egitura desordenatueta ageri dira, pisu atomiko antzekoak dituzten elementuen egituretan eta kanpo-atomoak dituzten disoluzio solidoen egituretan.

BeO, SiC eta B<sub>4</sub>C eroankortasun termiko altuko konposatu zeramikoen adibideak dira, antzeko neurri eta pisu atomikoko elementuez osatuak. Bibrazio erretikularrak haien egituratik zehar erraztasunez hīgi daitezke, dispersio erretikularra txikia baita. UO<sub>2</sub> eta ThO<sub>2</sub> materialetan, katioi eta anioien tamaina eta pisu atomikoen diferentzia handia da eta, ondorioz, dispersio erretikularra ere oso altua da; egoera horretan eroankortasun termikoa txikia izango da. UO<sub>2</sub>-ak eta ThO<sub>2</sub>-ak, BeO-ak edo SiC-ak daukaten eroankortasunaren hamarrena dute. Aldiz, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eta TiO<sub>2</sub> materialek erdibideko balioak dituzte.

Disoluzio solidoek zeramiken eroankortasun termikoa txikitzen dute, MgO-arekin gertatzen den bezala.

Tenperaturak eragin handia dauka zeramiken eroankortasun termikoan. Zeramika kristalinoen kasuan, beroa bibrazio kristalinoen bidez garraiatu egiten da eta eroankortasuna txikitu egiten da tenperatura handitzean. Beiren kasuan, egitura desordenatuak dituzte eta bero-ahalmenak eragin handiagoa dauka; normalean eroankortasun termikoa tenperaturarekin handituz doa.

Beste faktore batzuk daude zeramiken eroankortasun termikoan eragina dutenak: disoluzio solidoaren barne ez dauden ezpurutasunak, porositatea, mikroarrakalak, kristaltasun eza (beiran bezala), aleen limiteak eta haien tamaina, besteak beste.

### 5.3.2.3. Dilatazio termikoa

Dilatazio termikoa dimentsioetan gertatzen diren aldaketak adierazteko erabiltzen den kontzeptua da, materialaren tenperatura handitzen edo txikitzen doan heinean.

Lotura ioniko asko dituzten materialek metalen antzeko portaera dute dilatazio termikoari dagokionez. Egiturak trinkoak dira eta horrela hedapen totala atomo bakarren hedapenen batura da. Hala ere, lotura ioniko ahulak dituzten sustantziek, NaCl-ak eta KCl-ak bezala, dilatazio termiko altua dute. Horrela, loturen gogortasuna eta lotura kobalenteen portzentajea handitzen doan heinean, dilatazio termikoa txikituz doa.

Egitura trinkoetan fusio-tenperatura eta dilatazio termikoa elkarrekin erlazionatuta daude. Bai fusio-tenperatura bai dilatazio-koefizientea loturen gogortasuna eta bibrazio termikoen magnitudeen menpe daude. Loturen gogortasuna handitzen doan heinean, fusio-tenperatura ere handitu egiten da, eta dilatazio-koefiziente termikoa txikitu.

Simetria kubikoa duten egitura trinkoek dilatazio termiko uniforme dute hiru ardatz kristalografikoetan, eta isotropiko izena hartzen dute. Hala ere, egitura monokristalino ez-kubikoek norabide kristalografikoetan dilatazio termiko ezberdina dute, eta anisotropiko deritze.

Zeramika baten ale polikristalinoek ausazko orientazioak dituztenean, gorputzaren dilatazio termiko estimatua isotropikoa izango da, norabide kristalografiko bakoitzean kristal bakanen balioen bitartekoa izanik.

$\text{Al}_2\text{O}_3$ -ak,  $\text{TiO}_2$ -ak eta Mullitek egitura ez-kubikoa eta nahiko trinkoa dute, eta haien loturen gogortasuna erdibidekoa da. Horren eraginez, haien dilatazio termikoa ez da oso handia eta norabide kristalografiko ezberdinetan zehar aldakortasun txikiak dituzte. Aldiz,  $\text{CaCO}_3$ -ak eta  $\text{KNO}_3$ -ak oso anisotropoak den egitura kristalinoa dute eta, horren ondorioz, hiru ardatz kristalografikoetan dilatazio termikoaren balioak ezberdintasun handia dauka.  $\text{CaCO}_3$ -aren dilatazioa, adibidez,  $c$  ardatzean horren handia da ezen  $a$  ardatzean kontrakzioa gertatu behar baita mugimendua posible egiteko.

### 5.3.3. Propietate mekanikoak

Material baten propietate mekanikoek aplikazio estrukturalak mugatzen dituzte. Zeramiken kasuan, hurrengo propietate mekanikoak aztertzen dira:

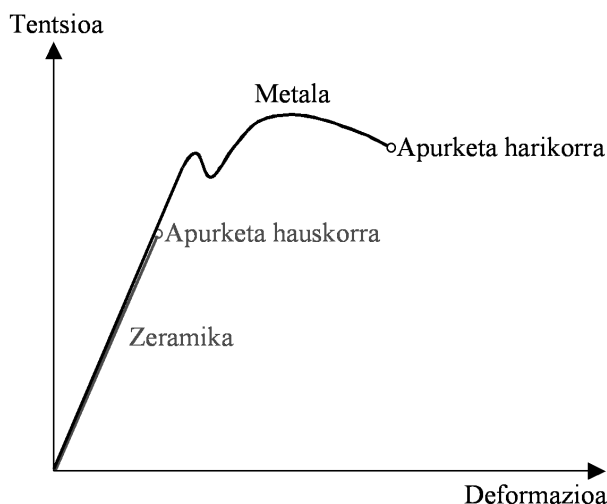
#### 5.3.3.1. Elastikotasuna

Giro-tenperaturan eta karga txikien aurrean, zeramika gehienek apurketa gertatzen den arte portaera elastikoa dute; portaera hori apurketa hauskor gisa



ezagutzen da eta zeramiken ezaugarrietatik kritikoena dela esan daiteke. Beraz, kontuan hartu beharrekoa da aplikazioen diseinua egiten denean.

Hurrengo irudian (ikus 50. irudia) material metaliko baten eta zeramika baten ohiko portaerak ikus daitezke tentsio-deformazio saiakuntza batean.



**50. irudia. Zeramiken apurketa.**

Zeramika guztiak ez dira hauskorak, metal guztiak harikorrak ez diren bezala. Zeramika askok deformazio plastikoak jasaten dituzte tenperatura altuetan. Batzuek, nahiz eta giro-tenperaturan egon kargak jasaten dituztenean, deformazio plastikoak jasaten dituzte, hala nola LiF, NaCl, eta MgO. Zeramika hauek guztiek irristatze-sistemak posible egiten dituen simetria kubikoa daukate, dislokazioen mugimenduen bidez, deformazio plastikoak sortuz.

### 5.3.3.2. Elastikotasun-modulua

Elastikotasun-moduluaren magnitudea materialaren lotura atomikoen gogortasunaren menpe dago. Lotura zenbat eta gogorragoa izan, atomoen arteko espazioa handitzeko behar den tentsioa handiagoa izango da, eta orduan elastikotasun-modulua handiagoa izango da. Lotura ioniko ahulak dituzten zeramikek modulu txikia dute; horrela, NaCl-ak 44,2 GPa-eko modulua du; aldiz, lotura kobalente gogorrak dituzten zeramikek  $E$  balio handiak dituzte, diamanteak bezala, 1.035 GPa-eko modulua duena. Alboko taulan (ikus 16. taula), giro-tenperaturan, zenbait materialen moduluak agertzen dira.

Loturen indarra, eta  $E$  beraz, norabide kristalografikoen arabera aldatzen da. Zeramika gehienak polikristalinoak dira eta ausazko orientazioa duten kristal askok sortu dituzte.

Orientazioa guztiz ausazkoa denean, elastikotasun-moduluaren balioa norabide kristalografiko ezberdinen moduluen batez bestekoa izango da. Zeramiketan azaltzen diren modulu elastikoak gorputz polikristalinoen batez besteko moduluak dira.

Nahiz eta batez besteko balioak erabili, mikroegiturako kristal indibidualak anisotropikoak direla kontuan izan beharko da, horrela, gerta daiteke barne-tentsioak existitzea materialaren aplikazioak baldintzatuz.

Zeramika ezberdinetan elastikotasun-moduluaren tenperaturaren efektua aztertzen denean, haren balioak murriztapen txiki bat jasaten duela ikus daiteke tenperatura handitzen doan heinean. Portaera hori atomoen arteko distantziaren ondorioa da dilatazio termikoaren eraginez. Atomoen arteko distantzia handitzen doan heinean, indar gutxiago beharko da aldentze berdinak sortzeko.

Elastikotasun-moduluaren ere porositateak eragina dauka; horrela, materiala zenbat eta porotsuagoa izan, bere Young-en modulua txikiagoa izango da.

#### 5.3.3.3. Trakzioarekiko erresistentzia

Zeramikoetan trakzioarekiko erresistentzia teorikoa elastikotasun-moduluaren hamarrena eta bostena bitartean dago. Hala ere, balio errealak balio teoriko horiekiko aldentuta egon daitezke, tentsio-kontzentrazioak eta apurketa sor dezaketen fabrikazio-, eta egitura-akatsak egon daitezkeelako.

Pitzadurek, poroek edo inklusioek tentsio-kontzentrazioak eragiten dituzte, oso nabarmenak direnak, nahiz eta inperfekzio kopurua txikia izan.

Erresistentziaren murrizketa honako faktore hauek baldintzatzen dute:

- Poroaren itxura.

Teorian poro esferiko batek tentsio-kontzentrazio gutxiago dauka forma luzatua daukan pitzadura batek baino. Hala ere, zeramiken poroak ez dira guztiz esferikoak, gehienak forma irregularrekoak dira. Poro horiek, gutxi gorabehera esferikoak direnak, lanketa-prozesuan gertaturiko aire-inklusioek sortzen dituzte.

- Aleen artean gertaturiko hutsuneak edo arrakalak.

| Materiala                      | E (GPa) |
|--------------------------------|---------|
| Grafitoa                       | 6.9     |
| NaCl                           | 44.2    |
| SiO <sub>2</sub> urtua         | 69      |
| ZrO <sub>2</sub>               | 138     |
| Mullita                        | 145     |
| UO <sub>2</sub>                | 173     |
| MgO                            | 207     |
| Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 304     |
| BeO                            | 311     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 380     |
| SiC                            | 414     |
| TiC                            | 462     |
| Diamantea                      | 1.035   |

**16. taula. Zenbait zeramikaren modulu elastikoak.**

- Poroen arteko eta poroen eta gainazalaren arteko distantzia.

Barne-poro batek barne-tentsioetan sortzen duen efektua poro horren formaren menpe eta gainazalarekiko daukan posizioaren menpe dago. Gainazaletik gertu kokatzen bada akats kritikoa sor dezake, neurturiko erresistentzia dimentsio berdineko barne-poro batek eragingo lukeena baino txikiagoa izanik.

Poro talde bat beste batetik gertu badago, material-zubiak apur daitezke eta elkarrekin konektatu eta akats handiago bat sortu; horrela, erresistentzia txikitu egingo da nabarmen ere. Poroen arteko distantzia txikia denean, poro-erradio bat baino gutxira daudenean, hau gertatzeko probabilitatea handitzen da.

- Inklusioen tamaina eta forma.

Lanketa-prozesuan, hauts kutsatuen ondorioz, inklusioak gertatzen dira material zeramikoetan. Erresistentzian gertatzen den galera, inklusioek matrizearekiko daukaten propietate termikoen eta elastikoen menpean dago. Horrela, inklusioan eta matrizean gertatzen diren dilatazio termiko diferentziek arrakalak sor ditzakete hozte-prozesuan. Gainera, elastikotasun-moduluan egon daitezkeen ezberdintasunek arrakalak eragin ditzakete tentsio bat aplikatzen denean. Erresistentzia-galera handiagoa da, zenbat eta txikiagoa izan dilatazio termikoaren koefizientea eta elastikotasun-modulua materialaren matrizearekiko. Kasu horretan, hutsaren tamaina efektiboa inklusioak dituen benetako dimentsioak baino handiagoa izango da.

Dilatazio-koefiziente edo elastikotasun-modulu handiko inklusioek eragin txikiagoa izango dute erresistentzian. Baldintza hauek arrakala erradial baino arrakala zirkular gehiago sortuko ditu.

#### 5.3.3.4. *Konpresioarekiko erresistentzia*

Trakzioarekiko erresistentzia neurtuko da materialak egitura-kargak jasan behar dituzenean, adreilu erregogorren edo eraikuntza-adreiluen kasuan esate baterako. Material zeramikoek konpresioarekiko erresistentzia askoz ere handiagoak dituztenez trakzioarekiko baino, era horretan lan egiten duten piezak diseinatuko dira. Batzuetan, material zeramikoei aurreatezatu bat egiten zaie trakzioarekiko erresistentzia handitzeko.

Konpresioarekiko erresistentzian eragina duten faktoreak hauek dira: material zeramikoan egon daitezkeen akatsak, arrakalak, ezpurutasunak, hutsuneak eta anisotropia elastikoak eta termikoak, besteak beste. Aleen tamainek ere eragin nabarmena dute: konpresioarekiko erresistentzia handitu egiten da aleen tamaina txikitzen doan heinean.

### 5.3.3.5. Portaera deformazioan

Zenbait zeramika monokristalinotan, giro-tenperaturan, portaera hariakorra ikus daiteke, eta zenbait zeramika polikristalinotan tenperatura altuetan. Deformazio plastikoa gertatzeko metaletan behar diren baldintza berdinak beharko dira hemen ere:

- Materialean dislokazioak egotea.
- Aplikaturiko tentsio baten ondorioz dislokazio berriak agertzea.
- Dislokazioek mugitzeko ahalmena izatea.

Zeramika ioniko monokristalino batean ez da deformazio plastikoa gertatuko, honako baldintzak gertatzen ez badira:

- Balantze elektrostatikoa ioi bakoitzaren inguruan mantentzen ez bada.
- Egituraren geometria mantentzen ez badu.
- Katioi-anioi erlazioa mantentzen ez bada.

Deformazio plastikoa, dislokazioen mugimenduaren bidez mugatuta, kristal monokristalino konplexuen eta simetria txikiagoa dutenen artean gerta daiteke, baina isurpen-tentsioa askoz ere handiagoa da eta mugimendu-mekanismoa mugatuagoa. Mugimendu hori ez da giro-tenperaturan gertatzen, horregatik material hauek deformazio gabe era hauskorrean apurtzen dira. Mugimendua bakarrik tenperatura altuetan gertatzen da, dislokazioen beste mugimendu batzuk energetikoki posible direnean.

Isurpenari hasiera emateko indar handi bat aplikatu beharko da, baina gero, deformazio plastikoa mantentzeko indar txikiagoa beharko da. Deformazioa hasi ostean, dislokazio berriak sortzen dira tentsio txikiagoetara deformazio plastikoa posible egiten dutenak.

Zeramika polikristalinoen kasuan, apurketa hauskorra da giro-tenperaturan; ale bakarren ausazko orientazioak dislokazioen mugimendua galarazten du. Mugimendu hori aleen limitean gertatzen da. Deformazio plastikoa posible izateko egitura kristalinoan, bost mugimendu-sistema elkarrekiko aske egon behar dute. Giro-tenperaturan zeramiken egitura gehienek hiru (edo gutxiago) mugimendu-sistema dituzte. Zeramika gutxi batzuek bost dituzte tenperatura altuetan NaCl; LiF; MgO; NaF; TiC; UC; diamantea; CaF<sub>2</sub>; UO<sub>2</sub> eta MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> esate baterako.

Konklusio moduan, esan behar da zeramika monokristalino batzuek apurketa baino lehen deformazio plastiko nabarmena izan dezaketela. Hala ere, zeramika monokristalino eta polikristalino gehienak era hauskorrean apurtzen dira deformazio plastikorik gabe. Portaera hori dislokazioen sorkuntzaren eta mugimenduen menpe dago baita akats mikroestruturalean gertatzen diren tentsio-kontzentrazioen menpean ere. Aplikaturiko indarrak isurpen-erresistentzia gaintitzen badu deformazio

plastiko bat gertatuko da. Baina aplikaturiko indarrak hasieran apurketa-erresistentzia gainditzen badu oso maiz agertzen diren akats mikroestruktural batean, apurketa hauskorra gertatuko da.

#### **5.3.4. Propietate optikoak**

Oro har, energia erradiatzailearen eta materiaren arteko interakzioaren arabera bi talde nagusi bereiz daitezke: gorputz gardenak, erradiazioaren gehiengoa pasatzen uzten dutenak, eta gorputz opakak, absortzio, islapen edo beste mekanismo batzuen bidez erradiazioari bidea galarazten diotenak.

Sailkapen hau ez da oso zehatza, material batzuk uhin-luzera konkretu batzuetan gardenak direlako eta opakak beste batzuetarako, edo bitarteko portaerak gerta daitezkeelako ere, gorputz zeharrargitsuen kasuan bezala, eta beste material batzuek azal-tratamenduen bidez propietate optiko bereziak lor ditzaketelako.

Material zeramikoetan kasu hauek guztiak aurki daitezke. Haien propietate optikoek garrantzi handia dute eta era zehatzean kontrolatuak izan behar dira, ez bakarrik aplikazio optikoetan, eraikuntzako elementuetan edo apaingarrietan ere.

Erradiazio baten errefrakzioa, hau da, ibilbide optikoaren aldaketa, erradiazio horrek atomoen kanpoko elektroiekin duen elkarrekintzagatik gertatzen da.

Ezaugarri dielektrikoak dituzten material zeramiko arruntetan, elkarrekintza txikia da, eta gardentasun-maila garrantzitsua lor dezakete (beirak, monokristalak) edo zeharrargitsuak izan daitezke (portzelanak); zeramika polikristalinoak, normalean, opakak dira fasearte kopuru altuak propagazioa moteltzen baitu.

Oro har, erradiazioaren absortzioa, eta argiarena konkretuan, egitura atomiko-molekularrarekin zuzenki erlazionatuta dago. Zenbait atomo eta ioiren agerpenek (batez ere trantsizioak) ultramore eta ikusgaian absortzio karakteristikoak eragiten dituzte. Ultramorean gertatzen den absortzioa kanpo-elektroi eszitatuen funtzioan dago; silikatoetan oinarritzen diren zeramika eta beira garden gehienak 350 nm-tik gora transmititzen hasten dira, baina bai kuartzoa zein silize-beira, beste elementurik gabe, 150 nm-tik transmititzen hasten dira.

#### **5.3.5. Propietate magnetikoak**

Material zeramikoak diamagnetikoak edo paramagnetikoak izan daitezke; azken kasu horretan, elektroiei ezparekatuak izan beharko dituzte. Normalean, haien konposizioan momentu magnetiko handiak dituzten ioiak daude, trantsizio-elementuak gehienetan. Materialaren mikroegituraren arabera, momentu magnetiko horiek elkarri eragiten diote barne-eremu magnetiko bat sortuz, zeinak dipolo magnetikoak lerrokatzeko joera duen. Barne-eremua oso handia bada, ferromagnetismora hel daiteke.

Zeramika magnetikoen artean ferritek aplikazio asko dituzte; haien formula orokorra  $MFe_2O_4$  da, non M, Ni, Zn, Co, Mn, Ca, Ba edo beste elementu batzuk izan daitezkeen. Material horiek espina egitura dute.

Fabrikazio-prozesua purutasun handiko oxidoetatik abiatzen da. Oxigenoaren presio partzialaren kontrola, laborearen atmosferan, kritikoa da beronen menpean baitaude amaierako propietate magnetikoak.

Ferritek eroankortasun elektriko txikia dute, horrela maiztasun handietan lan egin dezakete korrante indusituek sorturiko galeren balioak txiki mantenduz. Haien ferromagnetismo handia dela-eta, iman iraunkor txikiak eta memoria magnetikoak egiteko erabilgarriak dira.

### **5.3.6. Propietate elektrikoak**

Material zeramikoek propietate elektriko oso ezberdinak izan ditzakete. Zenbaitek ez dute korrante elektrikoa igarotzen uzten nahiz eta eremu elektriko handia aplikatu, oso isolatzaile onak dira, beraz. Beste zeramika mota batzuek elektrizitatea igarotzen uzten dute bakarrik baldintza jakin batzuetan edo energia-maila konkretu bat lortu denean, erdieroaleak izango dira. Beste zeramika mota batzuetan elektrizitatea igarotzen da eta eroale moduan erabilgarriak dira.

Atomoen arteko lotura motek eta egitura kristalinoek zeramika bat talde batean edo bestean egotea eragiten dute.

## **5.4. ZERAMIKEN PROZESAKETA**

Zeramika tradizionalen eta ingeniariartzako zeramiketan ekoizten diren produktu gehienak hauts edo partikula trinkotuz egiten dira, gero berotuz partikula horiek elkarrekin atxikitzeko.

Zeramiken prozesaketa partikulen aglomerazioa eginez, pauso hauetan burutzen da:

- Materialaren prestaketa.
- Formazioa edo moldaketa.
- Lehorketaren bidez eginiko tratamendu termikoa (normalean behar ez dena) eta erreketa pieza zeramikoa tenperatura altuetara eramanez partikulak bildu daitezen.

### **5.4.1. Materialen prestaketa**

Produktu zeramiko gehienak partikulen aglomerazioaren bidez egiten dira. Produktu hauen lehengaiak aldatu egiten dira amaierako pieza zeramikoaren propietateen arabera. Partikulak eta beste osagaiak, aglutinatzaileak eta lubrifikatzaileak

leak esaterako, hezetasunarekin edo lehorrean nahastu daitezke. Adreilu eta buztinezko beste produktuetan urarekin nahasketa egitea ohiko prozedura da. Beste produktu zeramikoetan lehengaiak aglutinatzaileekin eta beste gehigarriekin batera lehorrean ehotzen dira.

### **5.4.2. Moldeaketa**

Partikulen aglomerazioaren bidez eginiko produktu zeramikoak era ezberdinetan konforma daitezke baldintza lehorretan, plastikoetan edo likidoetan. Industria zeramikoan gehien erabiltzen den moldeaketa hotzean da, baina zenbait kasutan, berotasunarekin ere egiten dira. Prentsaketa, kare-esnearen moldeaketa eta estrusioa lanketa-metodo ohikoenak dira.

#### **5.4.2.1. Prentsaketa**

Lehengai zeramiko pikortsuak baldintza lehorretan, plastikoetan zein hezeetan kubo baten formarekin prentsa daitezke amaierako produktuak egiteko.

#### **A. PRENTSAKETA LEHORREAN**

Metodo hau erregogorrak eta osagai elektronikoak egiteko erabiltzen da.

Ur- edo aglutinatzaile-kantitate txikiak erabiliz, molde batean, hauts pikortsu baten trinkoketa eta konformazio uniaxial bezala definitzen da.

Hotzean prentsaketa egin ostean, normalean piezak erretzen dira (sinterizazioa) behar duten erresistentzia eta mikroegitura lor dezaten. Prentsaketa lehorrean maiz erabiltzen den prozesua da, piezak azkartasunez, uniformetasunez eta zehaztasunez lor baitaitezke.

#### **B. PRENTSAKETA ISOSTATIKOA**

Prozesu honetan zeramika-hautsa edukiontzi hermetiko eta malgu batean kargatzen da (kautxuz egina normalean), presioa aplikatzen duen fluido hidraulikodun kamera baten barruan. Aplikaturiko presioak hautsa uniformeki trinkotzen du norabide guztietan, horrela amaierako produktuak edukiontziaren forma hartzen du. Hotzean aplikaturiko presio isostatikoaren ostean, piezak erreketara jasaten du (sinterizazioa) amaierako propietateak eta mikroegitura lortzeko. Modu horretan erregogorrak, adreiluak, arragoak, karburo-tresnak eta kojinetak fabrikatzen dira.

#### **C. PRENTSAKETA BEROA**

Prozesu honetan, propietate mekaniko hobetutako eta dentsitate altuko pieza zeramikoak ekoizten dira prentsaketa- eta erreketara-operazioak konbinatuz. Metodo uniaxiala zein isostatikoa konbinatzen dira.

#### 5.4.2.2. *Esekiduraren hustuketaren bidezko moldeaketa*

Moldeaketa mota hau egiteko jarraitzen diren pausoak hauek dira:

1. Era langartuan dagoen material zeramikoarekin eta likido (normalean buztina eta ura) batekin suspentsio bat prestatzen da, kare-esnea deituriko produktua lortuz.
2. Kare-esnea molde porotsu batean (normalean igeltsuz egina) isurtzen da, zeinak kare-esnearen zati likidoa xurgatzen baitu. Likidoa kentzen den heinean, moldearen gainean, material zeramikoak geruza erdigogor bat sortzen du.
3. Hormaren loditasuna egokia denean moldeaketa-prozesua eteten da, suspentsio soberakina kenduz. Drainatze-moldeaketa gisa ezagutzen da. Pieza solidoa lor daiteke moldearen hutsune guztia betetzen uzten bada. Azken moldeaketa honi solido deritzo.
4. Materiala moldean lehortzen uzten da erresistentzia egokia lortzeko, geroago piezaren erauztea egiteko.
5. Azkenik, pieza erre egiten da mikroegitura eta propietate egokiak hartzeko.

Mota honetako moldeaketa horma meheak eta lodiera uniformedun forma konplexuak egiteko egokia da. Bereziki merkea da produkzio laburretarako. Azken aldian prozesu honetan aldaketak egin dira moldeaketa presiopean edo hutsean eginez.

#### 5.4.2.3. *Estrusioa*

Egoera plastikoan dagoen kubo itxurako material batetik abiatuta, huts indibidualak dituzten zeharkako sekzio eta formak egin daitezke. Metodo hau, adreilu erregogorrek, hodiak, lauza ildaskatuak, zeramika teknikoak eta isolatzaile elektrikoak egiteko erabiltzen da. Estrusio-makinan material zeramiko plastikoa (buztina eta ura adibidez) altzairuzko trokel batetik zehar pasarazten da. Zeramika tekniko bereziak presio altuko estrusio-pistoi bat erabiliz ekoizten dira, zehaztasun handiak lortzeko.

#### 5.4.3. *Tratamendu termikoak*

Tratamendu termikoak produktu zeramiko gehienen ekoizpenean oinarritutakoak dira.

##### 5.4.3.1. *Lehorketa eta aglutinatzailearen erauzketa*

Lehorketaren helburua masa zeramikotik ura ateratzea da. Produktuaren erreketan egin baino lehen gauzatzen da tenperatura igoz. Normalean, prozesua 100 °C-an egiten da eta 24 ordu iraun dezake pieza handien kasuan.



Bestalde, aglutinatzaile organikoak kentzeko tenperatura aplikatuko da ere. Produktu gehienak 200-300 °C bitarteko tenperaturetan ken daitezke zeramike-tatik, hala ere hidrokarburo hondakin batzuek tenperatura askoz ere handiagoak behar dituzte.

#### *5.4.3.2. Sinterizazioa*

Material-partikula txikiak elkarrekin atxikitzeko egiten den prozesuari sinterizazio deritzo. Prozesu honetan tratamendu termiko baten bidez eta egoera solidoan gertatzen den difusioa eragiten da, produktu trinko eta koherente bat lortuz.

Sinterizazioa alumina, ferrita eta titanatoak dituzten zeramikei forma ezberdinak emateko erabili ohi da.

Lehen esan bezala, sinterizazio-prozesua egoera solidoan dauden partikulen difusioaren bidez gertatzen da beroa aplikatuz, baina fusio-puntura heldu gabe. Prozesu honetan partikulen kontaktu-gainazalen artean difusio atomiko bat gertatzen da, kimikoki itsatsiz.

Prozesua aurrera doan heinean partikula handiagoak sortzen dira txikiagoak desagertzen doazen bitartean, era horretan porositatea txikituz doa. Amaieran, oreka-ale tamaina bat lortzen da.

Prozesuaren oinarria sistemaren energiaren txikitzea da. Banakako partikulekin erlazionaturiko gainazal-energia altua, aleen limiteen gainazalaren energia txikiak ordezkatzeko du produktu sinterizatuan.

#### *5.4.3.3. Beiraketa*

Zeramikazko zenbait produktuk, portzelanek, buztinezko egitura duten produktuek eta zenbait osagai elektronikok fase beiratsu bat daukate. Fase beiratsu horren eraginez difusioa tenperatura txikiagoetan egin daiteke zeramikaren beste aldeetan baino. Erreketa-prozesuan beiraketa-prozesua burutzen da, bertan fase beiratsua urtu egiten da materialaren tarte porotsuak betez. Fase beiratsu horrek material erregogor solidoaren zati batekin erreakziona dezake. Hozten denean, fase likidoa matrize beiratsu batean gogortzen da partikula ez-urtuekin batuz.

### **5.5. ERAIKUNTZAN ERABILITAKO MATERIAL ZERAMIKOAK**

#### **5.5.1. Adreiluak**

##### *5.5.1.1. Forma*

Adreiluak zeramika erreko bloke paralelepipedoak dira, eskuz maneiatzeko dimentsio eta pisu egokiekin.

Haien barnean hutsuneak dituzte maiz; hauek estrusioaren bidez buztinezko masa pita batetik pasatuz lortzen dira.

#### 5.5.1.2. Motak eta klaseak

Adreilu motak hutsuneen bolumenaren eta kokapenaren funtzioan bereizten dira. Horrela:

- Trinkoak (M): hutsuneen bolumena % 10 baino txikiagoa da eta hutsune horiek agertzekotan adreiluaren goiko aldearekiko elkarzutak izango dira. Ikus 51. irudia.
- Zulatuak (P): hutsuneen bolumena % 10 baino handiagoa da eta hutsune horiek adreiluaren goiko aldearekiko elkarzutak dira. Ikus 52. irudia
- Hutsak (H): hutsuneen bolumena % 10 baino handiagoa da eta hutsune horiek adreiluaren alboko aldearekiko elkarzutak dira. Ikus 53. irudia.



51. irudia. Trinkoa.



52. irudia. Zulatua.



53. irudia. Hutsa.

Adreilu mota bakoitzaren barruan zenbait mota bereizten dira erabileraren arabera, horrela:

- Komuna edo ez-ikusia (NV): eraikuntzetako barruko hormak egiteko erabiltzen direnak, gero zarpeatu egingo direnak.
- Ikusia (V): zenbait fatxadatan ikus daitezkeenak, eraikuntzaren kanpoko estalkia sortzen dutenak.

Normalean bi neurritako adreiluak erabiltzen dira: 29×14 (cm-tan) eta bestea 24×11,5 (cm-tan). Lodierak 3 cm-tik 9 cm-ra joan daitezke.

#### 5.5.1.3. Propietateak

Adreilu batek izan behar dituen propietateak hauek dira:

- Dentsitatea: adreiluak egiten diren buztin errearen itxurazko dentsitatea  $2 \text{ g/cm}^3$ -koa izango da.
- Konpresioarekiko erresistentzia: adreilu trinkoek edo zulatuek behintzat  $98,1 \text{ N/cm}^2$  jasan beharko dute, eta adreilu hutsek, behintzat,  $49 \text{ N/cm}^2$ .

- Xurgapena: adreiluak ezingo ditu  $45 \text{ g/cm}^2\text{min}$ -ko baino ur-kantitate handiagoak xurgatu morteroa ondo itsatsi dadin.
- Eroankortasun termikoa: hormigoiak daukanaren erdia izango da gutxi gorabehera.
- Kolorazioa: adreilu ikusien kolorazioak uniforme eta egonkorra izan behar du.
- Efloreszentziak: adreilu ikusien kasuan saihestu egingo dira, ikus 5.1.4. Akatsak.
- Izozketen aurrean erresistentzia: adreilu ikusiei izozketen aurrean erresistentzia minimo bat eskatzen zaie zenbait urte irauteko.

#### 5.5.1.4. Akatsak

Adreiluetan ager daitezkeen akats garrantzitsuenak hauek dira:

##### 1. Arrakalak

Lodiera guztian zehar hedatzen diren zirrikitu irregularrak dira. Materiala pitetatik igarotzean sor daitezke edo labean beroketa-prozesua azkarregi gertatu delako edo baita, erreketan ostean, hozketa azkarregi gertatu delako ere.

##### 2. Hartxintxarra

Adreiluen gainazalean gertatzen diren altxatuak dira. 1 mm baino handiagoak diren kareharri aleak agertzen direlako sortzen dira.

##### 3. Esfoliazioak

Orri-egitura duten adreiluak dira. Moldeaketa-prozesuan gertaturiko akatsek sortuak, buztina orri forman uzten dute.

##### 4. Deformazioak

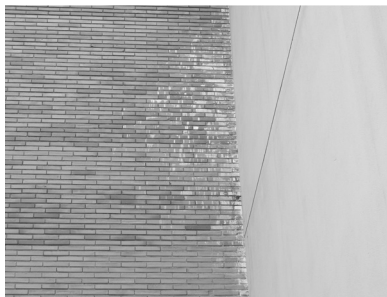
Piten eraginez adreiluak deformatuta ager daitezke. Akats hauek ager daitezke adreiluek pitak zeharkatzen dituztenean marruskadura ezberdinak agertzen direlako edo piezen lehorketan irregulartasunak gertatzen direlako edo bestela adreilua oso azkar berotu delako.

##### 5. Bihotz beltza

Barnealde beltza duten adreiluak dira. Lanketa-prozesuan, oxido ferrosoa ferrikora pasatu ez delako agertzen den akatsa da. Erresistentzian ez dauka eraginik eta pieza apurtzean soilik ikus daiteke.

##### 6. Efloreszentziak

Adreiluen gainazalean agerturiko gatz kristalizatuak metaketak dira, orban zurixkak dira kalterik sortzen ez dutenak normalean. Ikus 54. irudia.



**54. irudia. Efloreszentziak.**

## **7. Kriptofloreszentziak**

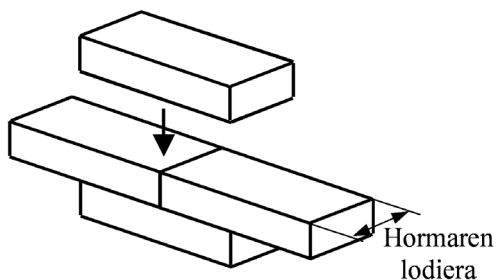
Adreiluen gainazalean gertaturiko altxaketak dira, azpian gertaturiko gatz-kristalizazioek eraginda.

### *5.5.1.5. Kokapena*

Bost era daude adreilu bat obra batean kokatzeko horma bat eraikitzeko. Elementu guztien lotura lortzeko erabiltzen den sistemari aparailu izena ematen zaio:

#### **A. LUZEKAKO APARAILUA**

Hormaren alboa adreiluen perfil luzeek sortzen dute, hau da, haien aurpegi handian finkatzen dira, ikus 55. *irudia*. Adreilu ikusia duten fatxadetan jartzen dira.



**55. irudia. Luzerako aparailua.**

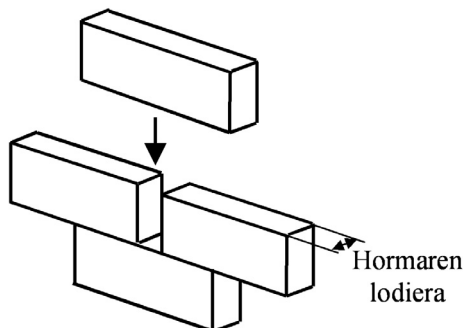
#### **B. ZEHARKAKO APARAILUA**

Hormaren alboa adreiluen perfil motzek sortzen dute, hau da, haien aurpegi handian finkatzen dira ertz txikia erakutsiz, ikus 56. *irudia*. Egitura-kargak jasaten dituzten hormetan oso erabiliak dira.



### E. USO-APARAILUA

Panderete-aparailuaren kokapen berdina du, baina hutsuneak uzten dira pieza horizontalen artean, ikus 59. irudia. Behin-behineko trenkadak egiteko erabiliak dira gelak aireztatzeko.



59. irudia. Uso-aparailua.

Adreiluak elkarrekin atxikitzeko erabiltzen den morteroak, bolumenean, zati bat zementu eta hiru zati harea daramatza, normalean.

Bestalde, horma bat egokia izateko honako baldintzak bete beharko ditu:

1. Juntura bertikalen artean ezin da jarraitutasunik egon.
2. Adreilu baten gainjartzeak beste baten gainean haren luzeraren 1/4ren berdina edo handiagoa izan behar du.

Horma baten gutxi gorabeherako erresistentzia kalkulatzeko Haller-en formula erabil daiteke:  $R_m = (\sqrt{1 + 0,15 \cdot R_L} - 1) \cdot (8 + 0,057 \cdot R_M)$

non:

$R_m$  = hormaren erresistentzia den kg/cm<sup>2</sup>-tan

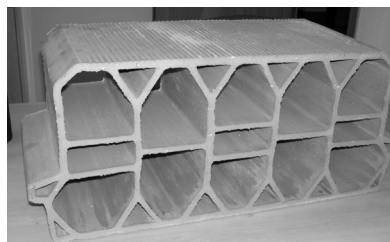
$R_M$  = morteroaren konpresioarekiko erresistentzia den kg/cm<sup>2</sup>-tan

$R_L$  = adreiluen konpresioarekiko erresistentzia den kg/cm<sup>2</sup>-tan

### 5.5.2. Gangatilak

#### 5.5.2.1. Forma

Habeen artean kokatzen diren piezak dira zoladuren edo solairuen eraikuntzan. Ohiko dimentsioak 62 cm zabalean eta 25 cm luzeran dira. Altuera aldakorra izango da solairuaren altueraren funtzioan. Ikus 60. irudia.



60. irudia. Gangatila.

### 5.5.2.2. *Motak*

Gangatilek bi funtzio bete ditzakete: aringarri moduan eta erresistentzia-elementu moduan. Horren arabera ezaugarriak izango dituzte:

- a. Gangatila zeramiko aringarriak (BCA): solairuan betetzen duten funtzioa egituraren pisua arintzeko da. Ez zaie konpresioarekiko erresistentzia minimorik eskatzen.
- b. Gangatila zeramiko erresistenteak (BCR): solairuaren kargaren zati bat jasango dute. Behintzat 175 kg/cm<sup>2</sup>-ko konpresioarekiko erresistentzia eskatzen zaie.
- c. Konpresioarekiko geruza daramaten gangatila zeramiko erresistenteak (BCRC): solairuaren kargaren zati bat jasateaz gain, haien gainean jarri ohi den hormigoi-geruza partzialki ordezkatzeko dute. Behintzat 300 kg/cm<sup>2</sup>-ko konpresioarekiko erresistentzia eskatuko zaie.

### 5.5.2.3. *Propietateak*

Elementu hauen aplikazioaren arabera hurrengo ezaugarriak kontrolatu beharko dira:

- Baoan kokatuko den kargaren zenbatekoa (flexotrakzioko karga izango dena).
- Konpresioarekiko erresistentzia.
- Hezetasunak eragiten dien zabalkuntza.
- Hormigoiaren eta gangatilaren arteko itsaskortasuna.

### 5.5.2.4. *Kokapena*

Solairuak egiteko orduan, hurrengo elementuekin eraikitzen dira ordena honi jarraituz:

1. Lehendabizi hormigoi armatua edo aurreatezaturiko habeak kokatuko dira haien artean distantzia bat utziz.
2. Haben artean utzitako espazio horietan gangatilak jarriko dira.
3. Gero luzetarako, zeharkako eta banaketa-armadurak jarriko dira.
4. Amaieran aurreko elementu guztiak estaliko dituen hormigoia isuriko da.

## 5.5.3. *Teilak*

### 5.5.3.1. *Forma*

Buztin erreko piezak dira, eskuz maneiagarriak, eta teilatuen eta estalkien iragazgaiztea egiteko erabiltzen direnak.

### 5.5.3.2. Motak

#### A. KURBOAK

Kono-erdi huts baten itxura dute, ikus *61. irudia*. Teila arabiarra deitzen da ere. Lerro tartekatuetan kokatzen dira ahurtasuna gorantz (kanalak) eta beherantz (gailurrak) jarritz.

#### B. LAUA

Guztiz lauak edo kurbadura apur batekin egiten dira. Haien kokapena egiteko, beheko aurpegian irtengune bat daramate estalkiaren gainean kokatzeko, eta zuloak, iltzatuak izateko.

#### C. AHOKAGARRIAK

Itxura errektangeluarra dute, irtengune eta sarguneekin teila batzuk besteetan sartzeko, ikus *62. irudia*. Kokapenari dagokionez, lau aldeetatik ahokatu daitezke, bi teila goian geldituz eta beste bi behean. Teila mediterraneo edo marseillar deritzo.

#### D. KURBO-LAUA

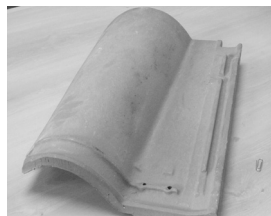
Kurboek teilatuari ematen dioten itxura berdina ematen diote hauek ere, nahiz eta ahokagarrietan erabiltzen den kokapen-sistema erabili. Horrela, teknikoki ahokagarrien antzekoak dira. Ikus *63. irudia*.



**61. irudia. Kurboa.**



**62. irudia. Ahokagarria.**



**63. irudia. Kurbo-laua.**

### 5.5.3.3. Propietateak

Obran kokatzeko honako propietate hauek kontuan izan behar dira:

- Dentsitatea: teilak egiteko erabili behar den buztinaren itxurazko dentsitateak  $2 \text{ g/cm}^3$ -koa izan behar du.
- Flexotrakzioarekiko karga: teilak obran jarri ostean, langile baten pisua jasan beharko dute apurtu gabe, arrazoi horregatik, gutxienez erdian kokaturiko  $100 \text{ kg}$ -ko pisua jasateko gai izatea eskatzen zaie.
- Iragazkortasuna: iragaztezinak izan behar dira agente atmosferikoak jasan-go dituztelako.



- Izozketen aurrean erresistentzia: agente atmosferikoak jasango dituztenez, izozketak apurtu gabe jasan beharko dituzte.
- Obran jartzean ez dute inperfekziorik izan behar.
- Talken aurrean erresistentzia izan behar dute: talken aurrean karga minimo bat jasateko ahalmena izan beharko dute apurtu gabe, agente atmosferikoak jasan behar dituztelako.

## 6. Beirak

### 6.1. SARRERA

Beirek ingeniartzako beste materialetan aurkitzen ez diren propietateak dituzte. Giro-tenperaturaren gardentasunaren eta gogortasunaren arteko konbinazioa dela-eta, trinkotasunari eta korrosioarekiko erresistentziari esker ingeniartzako eta eraikuntzako hainbat aplikaziotan ezinbestekoak dira. Ikus 64. irudia.

Industria elektrikoan ere aplikagarriak dira lanpara askoren fabrikazioan, propietate isolatzaileei esker edukiontzi hermetikoki hutsak egin daitezkeelako.

Bestalde, beirak duen erresistentzia kimiko handia dela-eta, laborategietako gailuak eta korrosiotik babesteko hodien estaldurak egiteko egokiak dira.



64. irudia. Beirazko fatxada.

### 6.2. BEIREN EGITURA

Beira, temperatura altuetan eta material inorganikoak erabiliz fabrikaturiko material zeramikoa da. Hala ere, bere osagaiak berotu egiten dira fusio arte, gero hozketa-prozesuaren ostean, kristalizazio gabeko egoera trinkoa lortuz; hau da beste zeramikekin daukan ezberdintasun nagusia. Beirak egitura amorfoa edo ez-kristalinoa du; bere molekulak ez daude egituran era ordenatu batean kokatuta, solido kristalinoetan gertatzen den bezala. Molekulek ausazko orientazioa dute material solido guztian zehar.

#### 6.2.1. Konposizio orokorra

Hurrengo konposatuek sortzen dituzte beirak:

##### A. BEIRA SORTZEN DUTEN OXIDOAK

Beira inorganiko gehienak silizio oxidoan oinarritzen dira, horregatik beira-sortzaile bezala ezagutzen da konposatu hau. Silizean oinarrituriko beira mota

hauen unitaterik txikiena  $\text{SiO}_4^{4-}$  tetraedroa da, non silizio atomo bat ( $\text{Si}^{+4}$ ) lau oxigeno atomoei lotuta dagoen era kobalentean.

Boro oxidoa,  $\text{B}_2\text{O}_3$ , beira sortzen duen oxidoa da orobat, eta bera bakarrik triangelu lauak diren unitate txikiekin sortuta dago, non boro atomoa oxigeno atomoek sortzen duten planoarekiko gorago dagoen. Hala ere, boro silikatozko beiretan, non alkaliak eta lur arraroen oxidoak gehitzen diren,  $\text{BO}_3^{3-}$  triangeluak  $\text{BO}_4^{4-}$  tetraedro bihurtzeko, neutraltasuna katioi alkalinoak edo lurralkalinoak emanez.

## B. BEIRAREN OXIDO MODIFIKATZAILEAK

Beiraren sarea apurtzen duten oxidoak sare-modifikatzaileak deitzen dira. Silizez eginiko beirari oxido alkalinoak gehitzen zaizkio,  $\text{Na}_2\text{O}$  eta  $\text{K}_2\text{O}$  adibidez, eta oxido lurralkalinoak,  $\text{CaO}$  eta  $\text{MgO}$  adibidez, biskositatea txikituz erraztasun handiagoz landua izateko. Oxidoen oxigeno atomoak silize-sareetan sartzen dira tetraedroaren lotura-puntuetan, sarea apurtuz eta elektroï bat konpartitzen duten oxigeno atomoak sortuz.  $\text{Na}^+$  eta  $\text{K}^+$  ioiak,  $\text{Na}_2\text{O}$  eta  $\text{K}_2\text{O}$ -tik datozenak, ez dira sarean sartzen, baina sarearen interstizioetan, lotura ionikoen bidez, gelditzen dira ioi metalikoak bezala. Zenbait interstizio betetzean beiraren kristalizazioa sortzen dute ioi horiek.

## C. BITARTEKO OXIDOAK

Zenbait oxidok ez dute beirazko sarea sortzeko ahalmenik, baina dagoeneko existitzen den sare bati atxiki dakizkioke. Oxido horiek bitarteko oxido izenez ezagutzen dira. Adibidez, aluminio oxidoa ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) silize-sarean sar daiteke  $\text{AlO}_4^{4-}$  tetraedrikoa bezala, zenbait  $\text{SiO}_4^{4-}$  talde ordezkaturik. Hala ere, Al-aren balentzia +3 denez +4 izan beharrean tetraedroak exijitzen duen bezala, katioi alkalinoek gainerako elektroïak eman behar dituzte neutraltasun elektrikoa mantentzeko.

Bitarteko oxidoak silize-beirari gehitzen zaizkio propietate bereziak lortzeko. Beiraren konposizioaren arabera, bitarteko oxidoei sare-modifikatzaile gisa joka dezakete edo beira-sarearen barruan egon daitezke.

### 6.2.2. Zenbait beira garrantzitsuren konposizioa

#### A. SODA-KAREZKO BEIRAK

Beira hauek ekoizpen totalaren % 90 sortzen dute. Oinarrizko konposizioa hau da: % 71-73  $\text{SiO}_2$ , % 12-14  $\text{Na}_2\text{O}$  eta % 10-12  $\text{CaO}$ . Horretaz gain, % 1-4 gehitzen zaio desbeiraketa ekiditeko eta % 0,5-1,5  $\text{Al}_2\text{O}_3$  iraupena handitzeko.

Beira mota hau beira laueta, ontzietan, gailu prentsatu eta puztuetan, eta argiztapen-produktuetan aplikatzen da, oro har, iraunkortasun kimiko handia eta beroarekiko erresistentzia handia behar ez denean.

## B. BOROSILIKATOKO BEIRAK

Silizezko beira-sarean boro oxidoek oxido alkalinoak ordezkutzen dituztenean, zabalkuntza txikiagoak dituen beira sortzen da. Silize-sarean sartzean, bere egitura ahuldu eta silize-beiraren biguntze-puntua txikitu egiten du. Ahultasuna hiru koordenatu dituzten boro planarren agerpenagatik gertatzen dela uste da. Borosilikatozko beira (Pyrex beira) laborategietako ekipoetan, hodietan, labeen tresnerian eta faroen unitate hermetikoetan erabiltzen da.

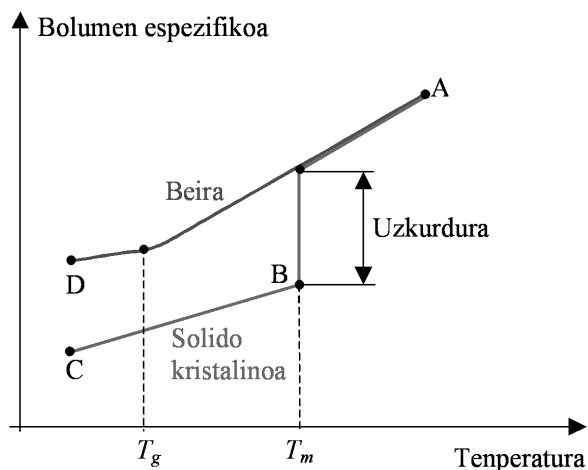
## C. BERUNEZKO BEIRAK

Berun oxidoak silize-sarearen modifikatzaileak izan ohi dira, baina sareen sortzaile gisa joka dezakete ere. Berun oxido kantitate handiak dituzten beirek fusio-puntu baxuak dituzte eta energia altuko erradiazioaren aurka babes-beira bezala eta lanpara fluoreszenteetan erabilgarriak dira. Haien errefrakzio-indize altuak direla-eta, optikan eta apaingarrietan maiz aurki daitezke.

## 6.3. BEIREN PROPIETATEAK

### 6.3.1. Beira-trantsiziozko temperatura

Beiraren portaera solidotzean, solido kristalinoekin konparatuz, ezberdina da, 65. irudian ikus daitekeen moduan. Irudi honetan, bolumen espezifikoak (dentsitatearen alderantzizkoak) temperaturarekiko jasaten duen aldaketa agertzen da, bi material mota hauetarako.



65. irudia. Beira-trantsiziozko temperatura.

Solidotzearen bidez, solido kristalino bat sortzen duen likido bat (metal bat esate baterako) fusio-puntutik kristalizatu egiten da bolumen espezifiko nabarmen txikituz, ABC ibilbideak adierazten duen bezala.

Baina beira bat sortzen duen likidoa hozten denean, ez da kristalizatzen, AD ibilbideari jarraitzen dio. Likido bat gero eta likatsuago bihurtzen da bere tenperatura txikitzen denean, eta egoera plastiko bigun batetik egoera beiratsu, trinko eta hauskor batera igarotzen da; prozesu hau tenperatura-tarte txiki batean gertatzen da irudiko kurbaren malda nabarmenki txikituz. Bi kurben mozketak-puntuak eraldaketa-puntu bat definitzen du,  $T_g$  beira-trantsiziozko tenperatura deritzona. Puntu hori egitura eta hozketa-abiaduren menpean dago (hozketa zenbat eta azkarrago gertatu,  $T_g$ -ren balio altuagoak lortuko dira).

### 6.3.2. Beiren deformazio biskosoa

Beirak likido biskoso (gainhotzitu) bat balitz bezala jokatzeko du bere beira-trantsiziozko tenperaturaren gainetik. Tentsio bat aplikatzean, silize atomoak batzuk besteen gainean labain daitezke eta beiraren betiko deformazioa posible egin. Atomoen arteko lotura-indarrek, beira-trantsiziozko tenperaturaren gainetik, deformazioari eutsi egiten diote, baina ezin dute beiraren fluxu biskosoa ekidin aplikaturiko indarra behar bezain handia bada. Tenperatura handitzen doan heinean, beira-trantsiziozko tenperaturaren gainetik, beiraren biskositatea txikitu egiten da eta fluxu biskosoa erraztasun handiagoarekin agertzen da.

Hurrengo ekuazioak biskositatea eta tenperatura erlazionatzen ditu beira baten fluxu biskosoarentzat:  $\eta^* = \eta_0 \cdot e^{+Q/R \cdot T}$

non:

$\eta$  = beiraren biskositatea den (unitateak P edo Pa · s-tan)

$\eta_0$  = konstante aurre-esponentziala den (unitateak P edo Pa · s-tan)

$Q$  = aktibazio molarraren energia den fluxu biskosoarentzat

$R$  = gas molarraren konstante unibertsala den

$T$  = tenperatura absolutua den

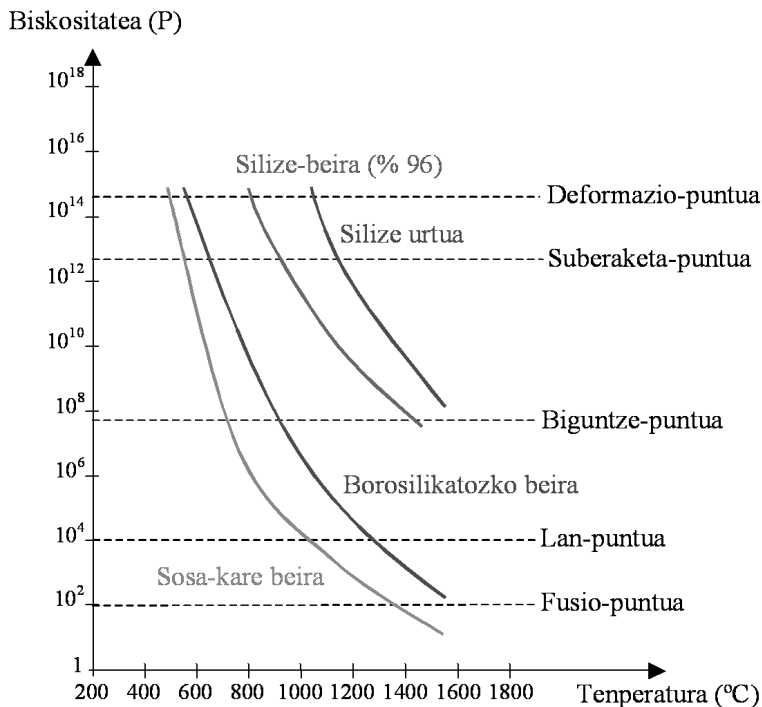
Beiraren biskositate-tenperaturaren ezaugarriak oso garrantzitsuak dira lanketa operazioetan. 66. irudian biskositatearen logaritmoa tenperaturarekiko adierazten da silize urtuarentzat, silize-eduki altuko beirentzat, borosilikatozko beirentzat eta sosa-kare beirentzat.

Biskositate-ekalan zenbait puntu garrantzitsu adierazten dira lanketa- eta prozesaketa-operazioetarako:

**1. Fusio-puntua:** biskositatearen balioa 10 Pa · s deneko tenperatura da; beira likidotzat har daiteke.

**2. Lan-puntua:** biskositatea  $10^3$  Pa · s deneko tenperatura da. Puntu honetan beira erraztasunez deforma daiteke.

**3. Biguntze-puntua:** biskositatea  $4 \cdot 10^6$  Pa · s deneko tenperatura, aldaketa dimentsional garrantzitsuak gertatu gabe beirazko pieza bat manipulatu izan daitekeen tenperatura maximoa da.



66. irudia. Biskositate-tenperatura erlazioa beiraren lanketan.

**4. Suberaketa-puntua:** biskositatea  $10^{12}$  Pa · s deneko tenperatura; tenperatura honetan difusio atomikoa 15 minututan hondar-tentsioa kentzeko behar bezain azkarra da.

**5. Deformazio-puntua:** biskositatea  $3 \cdot 10^{13}$  Pa · s deneko tenperatura. Deformazio-puntuaren azpitik gelditzen diren tenperaturetarako apurketa deformazio plastikoa baino lehen gertatzen da. Beira-trantsiziozko tenperatura deformazio-puntua baino gorago kokatuko da.

Lanketa-operazio gehienak lan-puntuaren eta biguntze-puntuaren artean egiten dira.

Puntu hauek agertzen direnoko tenperaturak beiraren konposizioaren menpean daude. Beira baten moldeaketa-operazioak bere konposiziotik abiatuta diseinatzen dira.

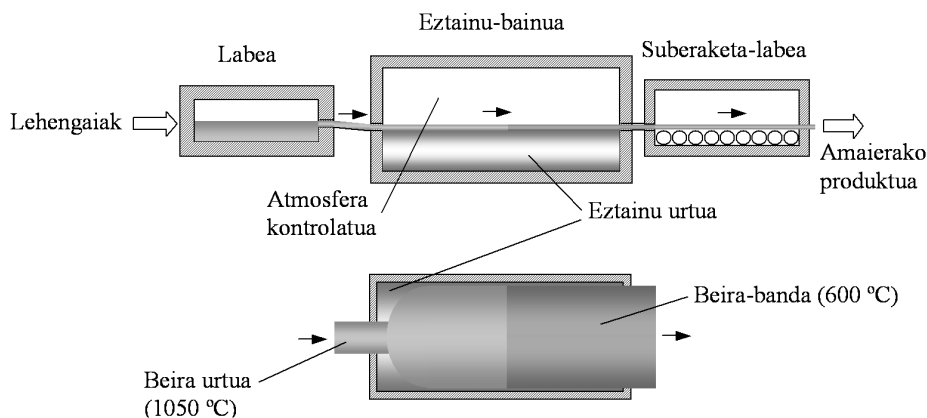
#### 6.4. BEIRAREN KONFORMAZIOA

Beira, lehengaiak fusio-tenperaturan baino tenperatura altuagoetan berotuz ekoizten da. Beira komertzial gehienak silize-sosa-karea motakoak dira. Silizea normalean kuartzo-harea moduan gehitzen da,  $\text{Na}_2\text{O}$  eta  $\text{CaO}$  sosa-errauts ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) eta kare-harri ( $\text{CaCO}_3$ ) moduan. Aplikazio askotarako, batez ere gardentasuna garrantzitsua

den kasuetarako, beira produktua homogeneoa eta poro gabekoa izatea oinarritzkoa da. Homogeneotasuna fusio totalarekin lor daiteke eta lehengaien nahasketa onaren bidez. Porositatea burbuila txikien ondorioz sortzen da fabrikazio etapan; kalitate oneko beira lortzeko burbuila hauek material urtuan xurgatu edo eliminatuak izan behar dira eta horretarako material urtuaren biskositatearen doiketa egokia egin beharko da.

#### 6.4.1. Beira-xaflen eta -plaken fabrikazioa

Prozesurik erabilienean beira flotatua da, zeinean beira-banda bat labetik irten eta eztainu-bainu baten gainean flotatzen baitu. Beira-banda hoztu egiten da eztainu urtuaren gainean igarotzen den bitartean, kimikoki kontrolaturiko atmosferan. Haren gainazalak nahiko gogortu direnean, labetik ateratzen da arrabol batzuen bidez, suberaketa-labe luze batean sartuz, hondar-tentsioak kentzeko. Ikus 67. irudia.

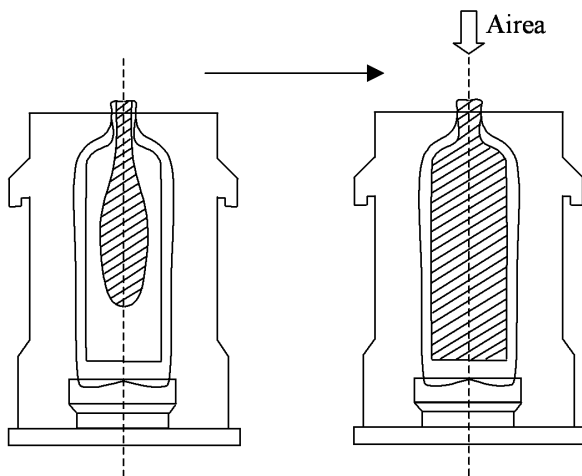


67. irudia. Beira-xaflen eta -plaken fabrikazioa.

#### 6.4.2. Beiraren puztea, prentsaketa eta moldeaketa

Normalean sakontasun handiko piezak, botilak, pitxerrak eta bonbillak adibidez, puztu egiten dira forma emateko, hau da, airea presiopean sartzen da beira moldearen forma hartzera behartuz. Ikus 68. irudia.

Produktu lauak, hala nola lente optikoak eta argiztapen-faro hermetikoak, beira urtua molde baten aurka bultzatzen duen enbolo batekin ekoizten dira.

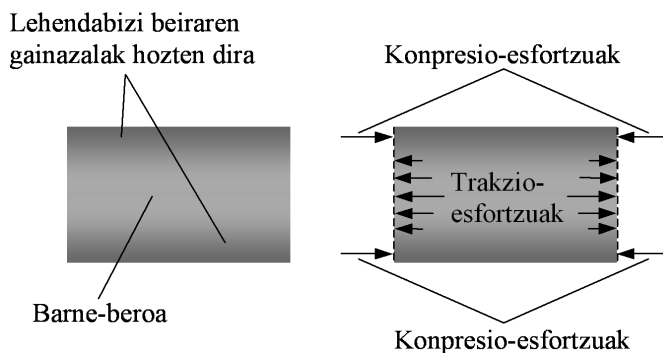


**68. irudia. Beiraren puztea, prentsaketa eta moldeaketa.**

### **6.4.3. Termikoki trataturiko beirak**

#### **6.4.3.1. Suberaketa**

Beira bat, edo material zeramiko bat, tenperatura altu batetik hoztua izaten denean, barne-tentsioak sor daitezke hozketa-abiadura ezberdinen ondorioz, eta gainazalaren eta barnealdearen arteko uzkurdurak direla-eta, ikus *69. irudia*. Tentsio horiei tentsio termiko deritze. Zeramika hauskorretan tentsio horiek garrantzitsuak dira, zeren materiala ahuldu eta mugako kasuetan apurketa sor baitezakete, talka termikoa deiturikoa sortuz.



**69. irudia. Barne-tentsioen agerpena beiraren hozketa-prozesuan.**

Normalean, tentsio termikoak ekidin egingo dira, pieza astiro hoztuz. Hala ere, tentsio horiek sortu direnean, haien eliminazioa edo, gutxienez, haien txikitzea suberaketa izeneko tratamendu termikoarekin lor daiteke. Tratamendu horretan beirazko pieza suberaketa-puntura arte berotzen da, eta gero astiro hozten da giro-tenperaturara arte.



### 6.4.3.2. Tenplaketa

Beirazko pieza baten erresistentzia konpresiozko gainazaleko hondar-tentsioak sartuz handitu daiteke, tenplaketa deituriko tratamendu termikoaren bidez.

Produktu mota hau lortzeko, beira-trantsiziozko tenperaturaren eta biguntasun-puntuaren bitartean berotzen da materiala, gero hozketa azkarraren bidez gogortzen da gainazalean airea edo olio-bainu bat aplikatuz. Hondar-tentsioak gainazal eta barne-eskualdeen artean gertatzen diren hozketa-abiaduren ezberdintasunagatik agertzen dira.

Material zeramikoen apurketa ia beti gainazalean agerturiko arrakala baten bidez gertatzen da, trakzioan karga bat aplikatzen denean. Beira tenplatuzko pieza batean apurketa sortzeko aplikatu behar den tentsioaren balioak, lehendabizi, konpresioarekiko hondar-indarrak gaintzeko bezain handia izan behar du eta, gero, arrakala bat sortzeko gai izan behar du. Beira ez-tenplatueta arrakala tentsio txikiagoekin sortuko da, eta horregatik bere erresistentzia txikiagoa dela esango da.

Beira tenplatua erresistentzia-balio altuak behar direnean erabiltzen da, ate handietan, lenteetan eta haizetakoak egiteko, esate baterako.

### 6.4.4. Beirazko zeramikak

Beira inorganiko gehienak egoera ez-kristalino batetik egoera kristalino batera igaro daitezke goi-tenperaturan eginiko tratamenduaren bidez. Tratamendu hori, desbeiraketa izenez ezagutzen dena, normalean ekidin egiten da, mota honetako beirak, polikristalinoak izanik, ez baitira gardenak. Gainera, tentsioak ere sor daitezke transformazioetan gertatzen diren bolumen-aldaketak direla-eta, ahultasun handiko materiala sortuz.

Hala ere, zenbait beiratan desbeiraketa-transformazio hau kontrolatua izan daiteke hondar-tentsiorik gabeko eta ale txikiko material bat lortuz, bitrozeramika izenez ezagutzen dena. Kristalizazio-prozesuari edo desbeiraketa-prozesuari hasiera emateko agente nukleatzaile bat gehitu behar da, titanio dioxidoa esate baterako. Dilatazio-koefiziente termiko txikiko piezak lor daitezke, eta erresistentzia mekaniko eta eroankortasun termiko altukoak.

Aplikazio arruntenak hauek dira: sukaldaritzako tresneria labeetan erabiltzeko, isolatzaile moduan erabiltzeko eta zirkuitu integratuetako plaken substratuak egiteko.

## 6.5. BEIRAK ERAIKUNTZAN

### 6.5.1. Beira-plakak

Eraikuntzan erabilitako beiretatik erabilienak beira ijeztuak dira, beira-plaka gisa ezagutzen direnak. Bi arrabolen artean ijeztuak izatean fabrikatzen dira. Hauek dira garrantzitsuenak:

### **1. Beira monolitikoak**

Beste beira ijeztuen oinarria dira. 2 eta 15 mm arteko lodierak dituen beira-plaka suberatua da. Haren zabalera maximoa 321 cm dira eta luzera maximoa 600 cm. Gardenak izan daitezke (PLANILUX marka komertziala) edo oxido metalikoekin koloreztatuak (PARSOL marka komertziala).

### **2. Beira monolitiko islatzailea**

Bere aurpegietako bat islatzailea duen beira-plaka da. Hutsean eginiko ihintadura kationikoaren bidez geruza metaliko bat sortzen da. Komertzialki COOL-LITE izenez ezagutzen da.

### **3. Beira isolatzailea**

Bi beira-plakak edo gehiagok sorturiko multzoari deritzo. Haien artean aire deshidratatuzko kamerak daude, eta isolatzaile termiko eta akustiko onak sortzen dituzte. Komertzialki CLIMALIT izenez ezagutzen da.

### **4. Segurtasunezko beira**

Bi beira-plakarekin edo gehiagorekin sortuta daude, haien artean polibinil butiralezko plastiko-xafla bat jarritz. Apurketa gertatzean beira zatiak plastikozko laminari itsatsita gelditzen dira. Lodiera berdineko edozein beiraren moduko gardentasuna dauka. Komertzialki STADI P izenez ezagutzen da.

Tenplaketa-tratamendua egiten zaien beste beira-plaka batzuk ere badaude, zeinek izaera mekaniko edo termikoko indarren aurrean beren erresistentzia handitu egiten baitute. Komertzialki SECURIT edo CLARIT (beira inprimatua erabiltzen denean) izenez ezagutzen dira.

#### **6.5.2. Beira moldekatuak**

Beira zeharrargitsuz eginiko piezak dira, hutsak zein trinkoak. Beira-masa urtu baten prentsaketaren bidez ekoizten dira, forma ematen dieten molde batzuetan. Zoruak eta estalki bertikalak egiteko erabiltzen dira.

#### **6.5.3. Beira urtua**

Beirazko perfil baten moduan erabiltzen da armatua edo armatu gabea, U itxurazko sekzioarekin. Zurruntasun handikoak dira eta paramentu handiak eraikitzeko aukera ematen dute. Komertzialki U-glas izenez ezagutzen dira. Armatua dena, gehienetan, altzairu herdoilezinezko 8 hari daramatza beira-masan sartuta, 28 mm-ko tarteak utziz bata bestearengandik.



## 7. Konglomeratzaileak eta morteroak

### 7.1. SARRERA

Historian zehar eraikuntzan erabili izan diren buztina, igeltsua edo zementua produktu konglomeratzaileak dira.

Produktu hauek, uraren bidez, banakako materialak (agregakinak) elkarrekin atxikitzeko ahalmena dute; horrela, material solido, egonkor eta koherente berri bat sortzen da. Gainera konglomeratzaileek, eurek bakarrik, urarekin nahastu eta erreakzionatu ostean, material solido, kohesibo eta mekanikoki erresistenteak sor ditzakete.

Eraikuntzan konglomeratzaile erabilienak karea, igeltsua eta zementuak (ikus 70. irudia) dira, zeinek agregakinekin (harea eta legarrekin) nahastu ostean konglomeratu erabilienak sortzen dituzten: morteroak eta hormigoiak, alegia. Urarekin soilik nahasten direnean, agregakinik gabe, pasta deituriko konglomeratua sortzen dute.



70. irudia. Zementu zuria.

Material konglomeratzaile askoren artean naturalak bereiz daitezke, harri naturalen ehoketa eta kaltzinazioaren ondorioz, inolako gehigarririk gabe, lortzen direnak. Talde horretan buztina, igeltsua, karea eta zementu naturalak daude. Beste talde batean, konglomeratzaile artifizialak daude, zeinak zehaztasun handiz dosifikaturiko harrien nahasketen kaltzinazioaren ondorioz lortzen baitira, zementu artifizialak eta asfaltoa esate baterako.

Aurreko sailkapenaz gain, badira airearekin kontaktuan daudenean fraguatzen eta gogortzen diren aire-konglomeratzaileak (buztinak, igeltsuak eta eskaiolak edo aire-kareak), eta konglomeratzaile hidraulikoak edo uretan murgilduta ere gogor daitezkeenak (kare hidraulikoa eta zementuak, esaterako).

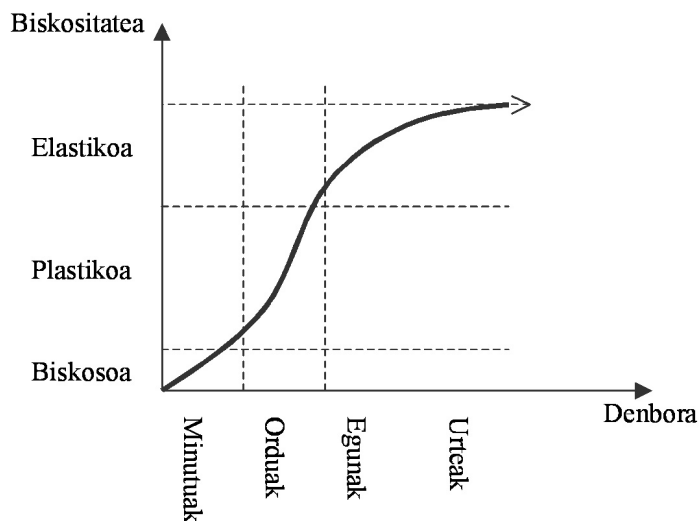
### 7.2. PROZESU KONGLOMERATZAILEA

Lehen aipatu den bezala, konglomeratzaileak urarekin nahastean fraguatzeko eta gogortzeko ahalmena duten materialak dira. Prozesu konglomeratzailea uraren eta hauts egoeran dauden konposatuen arteko erreakzioaren ondorioa da, eta partikula

solteak batuz, masa koherenteak, egonkorak, solidoak eta erresistenteak sor ditzake.

Prozesu konglomeratzaileetan sortzen diren erreakzioak lege fisiko-kimikoen bidez zuzenduta daude. Prozesu horretan hiru etapa bereiz daitezke:

- a. Hasierako fasea edo oraketa-fasea: konglomeratzailea urarekin nahastuta, biskositate aldakorreko partikulen suspentsio bihurtzen da.
- b. Bitarteko fasea: nahastearen osagai aktiboen eta uraren arteko erreakzioen hasiera da. Fase hau erreakzioak bete direnean amaitzen da. Fraguatzearekin bat egiten du. Erreakzioak gertatzen diren heinean, masak loditasun-gradu ezberdinak lortzen ditu, eta, horrela, konglomeratzailearen osagaien eta uraren arteko erreakzioak era ez-zuzen batean neur daitezke. Erreologikoki egoera plastiko batera gertatzen den eraldaketa bat da, nahiz eta erreallitatean egoera biskoplastiko bat izan.
- c. Amaierako fasea: urak konglomeratzailearekin erreakzionatu ostean material konglomeratuak sortzen dira, ondo landuak eta erresistenteak. Gogorketa izenez ere ezagutzen da, denbora luzean gertatzen da. Material honen aplikaziorako eta kontrolerako erresistentzia minimoak definitzen dira adin ezberdinetan zehar. Egoera elastoplastiko bati dagokio.



**71. irudia. Biskositate-denbora erlazioa prozesu konglomeratzailean.**

Hau da, nahasketa egoera biskoso, egoera plastiko eta, amaieran, egoera solido batetik igarotzen da. Egoera solidoa erresistentea eta elastikoa da, eta adinarekin hazten doa asintotikoki balio maximo baterantz, ikus 71. irudia. Prozesu honen iraupenean eta emaitzan urak eragin nabarmena dauka. Konglomeratzaile mota bakoitzarentzat hidratazio-erreakzio guztiak betetzeko ur-konglomeratzaile erlazio

optimo bat dago. Fraguatze- eta gogortze-prozesua beti exotermikoa da eta tenperaturaren hazkuntzarekin azkar daiteke. Produktu gehigarriekin prozesu konglomeratzailea molda daiteke, eta askotan fraguatze-denbora aldatzeko edo pastaren hasierako plastikotasuna aldatzeko erabilgarriak dira.

### **7.3. KONGLOMERATZAILEEN EZAUGARRIAK**

#### **7.3.1. Disolbagarritasuna**

Konglomeratzaileek uretan disolbagarritasun aldakorreko produktuak sortzen dituzte. Oro har, aire-konglomeratzaileek beren disolbagarritasuna dela-eta, kanpoaldean erabiltzean arazoak zor ditzakete. Aldiz, beste produktu batzuek oso ondo jasaten dituzte hezetasun-baldintzak.

Konglomeratzaile askok, eta batez ere kare hidraulikoak eta zementu naturalak, ez daude aurreko taldeetan sailkatuta; kasu horietan, hidraulikotasun-indizea erabiltzen da haien portaera definitzeko, hau da, konglomeratzaile batean egon daitezkeen osagai buztintsuen eta kaltzio-osagaien baturen arteko erlazioa kalkulatzeko da.

#### **7.3.2. Ehotze-fintasuna**

Ehotze-fintasunak fraguatze-prozesuan eta amaierako produktuan eragin zuzena dauka. Fintasun hori zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da konglomeratzailearen lotura-ahalmena, horrela, fraguatze- eta gogortze-erreakzioak azkarragoak eta osoagoak izango dira; era horretan, amaierako produktuak errendimendu hobeak izango ditu, eta horregatik kalitate-indizetzat hartzen da.

Ehotze-fintasuna neurtzeko, materiala maila txikiko bahe batetik ( $\approx 0,08$  cm) pasarazten da. Propietate hau konglomeratzailearen dentsitate errealearekin oso erlazionatuta dago.

#### **7.3.3. Konposizioa**

Konposizio kimikoa, edo purutasun-indizea, kalitate-indize bat da ere. Konglomeratzaileak dituen ezpurutasunen kantitatea definitzen du.

Konglomeratzaile motaren arabera, zenbait metodo erabil daitezke kalkulatzeko: karezko materiala definitzekougarrezko galera-entsegu erabiltzen da; material silizeoa neurtzeko (hareak eta buztinak) hondakin disolbaezina (azidoak eta baseak) neurtzen da; horretaz gain sulfatoen, kloruroen, alkalien eta abarren edukiak neur daitezke ere.



### **7.3.6. Erresistentzia**

Konglomeratzaileen erresistentzia mekanikoak oso aldakorak dira, baina kasu guztietan konpresioarekiko erresistentziak trakzioarekikoak eta ebakidurakoak baino askoz ere handiagoak dira.

Zementuak beste konglomeratzaileak baino hobeak dira lor ditzaketen erresistentziak direla-eta.

Erresistentziak hurrengo faktoreen menpe daude:

- Konglomeratzailearen konposizioa.
- Nahasketaren dosifikazioa.
- Ehotze-fintasuna.
- Temperatura.
- Ur-kantitatea.
- Adina.

Hori dela-eta, erresistentziak oso aldakorak izan daitezke konglomeratzaile berdin batentzat ere; horrela, obra batean produktu batek izango dituen erresistentziak auresatea zaila da.

### **7.3.7. Beste propietate batzuk**

Konglomeratzaileek eroankortasun termiko eta elektriko txikia izan ohi dute, harrizko materialen antzera. Hala ere, propietate horiek hezetasunarekin aldakortasun handia dute.

Dilatazio-koefizienteak ere txikiak dira eta suaren aurrean nahiko erresistentzia onak dituzte.

Kimikoki aktiboak direnez, beste produktu batzuekin erreakziona dezakete, horrela beste materialekin duten bateragarritasuna aztertu beharko da, haien egonkortasun kimikoa eta itsaskortasuna ziurtatzeko. Hori horrela, igeltsuaren eta zementuaren arteko kontaktua saihestu beharko da, igeltsuaren eta altzairuaren artekoa bezala edo kareen eta produktu organikoen artekoa, etab.

## **7.4. MORTEROAK**

### **7.4.1. Definizioa**

Morteroa hareaz, konglomeratzaile batez eta urez sorturiko produktua da; zenbait kasutan gehigarriren bat izan dezake propietateak hobetzeko; horrela, hainbat definitzen dira: igeltsuzkoak, karezkoak, zementuzkoak, etab.



Morteroa ur-kantitate batekin nahasten denean, pasta homogeenoa eta lantzeko erraz bat lortzen da.

Osagai nagusien proportzioen arabera (harea eta zementua, esate baterako), bere erabilera izango duen erresistentzia definitzen da. Konglomeratzailearen, harearen eta ur-kantitatearen arteko erlazioari dosifikazio deritzo.

Morteroak igeltserotza-lanetan erabilgarriak dira, lotura-material gisa, estalkiak eta produktu aurrefabrikatuak egiteko.

#### **7.4.2. Morteroen osagaiak**

Lehenago aipatu den bezala, mortero bat, oro har, lau elementuz sortuta dago: konglomeratzailea, harea, ura eta, zenbait kasutan, gehigarriak. Osagai bakoitzak funtzio jakin bat dauka.

##### *7.4.2.1. Konglomeratzaileak*

Morteroak egiteko erabiltzen diren konglomeratzaileak zenbait mota eta klasetako kareak eta zementuak dira.

Haien egitekoa masaren aglutinatzaileak izatea da. Morteroari gogortze-prozesuaren ostean agertzen diren ezaugarriek ematen diote; horretarako, zementua hidratatzeko eta masari plastikotasuna emateko ura gehitu beharko da.

##### *7.4.2.2. Harea*

5 mm eta 0,02 mm bitarteko neurriak dituzten hareak erabiltzen dira.

Jatorriaren arabera sailka daitezke (naturalak edo artifizialak), konposizio mineralogikoaren arabera, ateratako meatokiaren arabera eta aleen neurri eta formaren arabera.

Hareen batez besteko dentsitatea 1,5 eta 2,6 kg/dm<sup>3</sup> bitartean dago.

Bi egiteko nagusi dituzte morteroetan erabilitako hareek: lehendabizi, eraldaketa dimentsionalak edo uzkurdurak ahalik eta gehien txikitzea, eta bigarrenaz, morteroaren produkzioaren kostuak txikitzea.

Morteroa egiteko harea hezea erabiltzeak ur-gehiketa handia suposatzen du, zeren ur/konglomeratzaile erlazioa handitzen baitu. Gainera, ur-soberakinak harean hanpadura deituriko bolumen-handitzea sortzen du.

Aleen neurriak eragin handia dauka morteroen trinkotasunean, iragaztezintasunean eta erresistentzia mekanikoan. Harea zenbat eta finagoa izan, orduan eta handiagoa izango dira morteroaren trinkotasuna eta erresistentzia mekanikoa.

### 7.4.2.3. Ura

Morteroak egiteko erabiltzen den ur-kantitatea konglomeratzailearen hidratazioa egiteko eta, gainera, masaren plastikotasuna lortzeko behar dena izango da. Ur-kantitatean zehaztasuna eskatzen da, aldaketa txikiek morteroen ezaugarrietan aldaketa handiak sortzen baitituzte.

Ahalik eta masaren trinkotasun handiena lortu behar da; horretarako, harearen hutsuneak konglomeratzailearekin bete beharko dira eta, aldi berean, konglomeratzailearen hutsuneak urarekin.

Ur-kantitateaz gain, oraketaren temperaturek eta ezpurutasunen edukiek morteroen amaierako portaera aldatuko dute. Horrela, uraren temperaturak 7 eta 30 °C bitartean egon beharko du: 7 °C azpitik gogortze-denbora handitzen delako, eta izozte-tenperatura lortzen badu, masa apur daiteke; aldiz, 30 °C baino tenperatura altuagoetan, gogortze-prozesua bizkortu egiten da dilatazioak sortuz, eta gero masa hoztean, bere arrakalatzea suerta daiteke. Bestalde, urak ezin du buztin eta kloruroen moduko ezpurutasunik izan, morteroaren iraunkortasuna eta itxura alda baititzakete; bestalde, urak izan ditzakeen azidoek kare librearekin erreakziona dezakete eta alkaliek konglomeratzaileekin, beraz, ekidin beharko dira ere.

### 7.4.3. Sailkapena

Morteroak, gehituriko konglomeratzailearen arabera, era honetan sailkatzen dira:

#### A. ZEMENTUZKO MORTEROAK

Porlan zementuzkoek kalitate eta erresistentzia onena daukate, uretan gogortze-prozesua egiteko gai dira.

Zementu eskasia duten morteroek produktu zakarrak ematen dituzte harealeek elkarrekin marruskadura dutelako, eta lantzeko zailak dira. Aldiz, zementu-kantitatea handiegia bada, uzkurdurak sortuko dira, eta azkenean arrakalak.

#### B. KAREZKO MORTEROAK

Karez eta hareaz sortuta daude. Karea, aire-karea edo hidraulikoa izan daiteke.

Mortero hauen erresistentzia mekanikoak txikiak dira, batez ere, aire-kareekin eginak daudenean. Hala ere, mortero batean, plastikotasunari, lanketa-erraztasunari edo koloreari erresistentzia mekanikoari baino garrantzia handiagoa ematen zaie.

#### C. MORTERO MISTOAK

Bi konglomeratzailearekin eginiko morteroak dira, amaierako produktuak bien propietateak eduki ditzan. Konposizio klasikoa harea, zementua eta karea da. Kareak emandako lanketa-erraztasun handia daukate, gogortze azkarra, kontrakzio-

pitzadurak saihesten dituzte eta plastikotasun eta itsaskortasun ona izan ohi dute. Kolore argiak dituzte, horregatik horma ikusietan erabiltzen ohi dira.

Morteroen dosifikazioa bolumenean egiten da, eta mortero mota konkretu hauetan hiru zenbakiz adierazten dira bi konglomeratzaileen eta harearen proportzioak; horrela, adibidez, 2:3:8 erlazioak haxe adierazten du: 2 zementu-bolumen, karezko 3 bolumen eta hareazko 8, berauek mortero horren osagaiak izango balira bezala.

#### D. ALUMINA-ZEMENTUZKO MORTEROAK

Alumina-zementuz, hareaz eta urez egiten dira. Gogortze-prozesuan sortzen den erreakzio termiko handia kontuan izan beharko da, lanketarako gehitzen den ura lurrundu baitezake; tenperatura hori kontrolatu beharko da 30 °C-ak gainditu ez daitezen.

Ur-buxaduretan eta ur-ihesetan erabiltzen dira.

#### E. MORTERO BEREZIAK

- Zementu-kolazko morteroak: zementuaren, jatorri organikoko erretxinaren eta uraren arteko nahasketekin fabrikatzen dira. Estaldura eta zoladuretan aurki daitezke.
- Morteroak gehigarriekin: produktu aireztatzaileak, fluidifikatzaileak, gogortze-prozesuaren aktibatzaileak edo atzeratzaileak, izotz-kontrako produktuak gehituz egiten dira.
- Suaren aurkako morteroak: harearen ordeztarokoa edo bermikulitak erabiliz fabrikatzen dira. Suarekiko erresistentzia izan behar duten egitura metalikoak estaltzeko erabiltzen dira.
- Mortero erregogorrek: alumina-zementuz eta harea erregogorrez egiten dira labean erabiltzeko.
- Mortero arinak: pumitetik, riolitetatik edo liparitetatik datozen hareak agregakin hedatuekin (bersikulitak, buztin hedatuak, etab.) nahastuz egiten dira. Lortzen diren morteroak erresistentzia mekaniko txikikoak dira, baina isolamendu termiko onekoak. Estalki planoetan erabiltzen dira isurkiei malda emateko.
- Ale txiki gabeko morteroak: ale handiko hareekin egiten dira, horrela gogortzen direnean masan poroak azaltzen dira. Morterozko pieza arinetan eta zoladura iragazleetan aurki daitezke.

#### 7.4.4. Morteroen ezaugarriak

##### 7.4.4.1. Erresistentzia

Fabrikako piezak elkarri atxikitzeko mortero bat erabiltzen denean, haren erresistentzia beste eraikuntza-elementuek (adreiluak, hormigoi-blokeak, etab.)

duten erresistentziarekin konbinatzen da. Horregatik, morteroaren gainean, zuze-nean, eginiko erresistentzia-neurketek ez dute balio obra osoaren erresistentzia neurtzeko, baina nazioarteko arauak erabilitako irizpidea da hau. Horrela, UNE saiakuntzak egiten dira bai flexioan bai konpresioan mortero-probeten gainean, itsatsiko dituzten elementuak kontuan izan gabe.

#### 7.4.4.2. *Itsaspena*

Morteroa aplikatua den gainazalarekiko normalak edo tangenzialak diren tentsioak xurgatzeko duen ahalmenari itsaspen deritzo. Oro har, mortero bati eska-tzen zaion ezaugarririk garrantzitsuena da, haren menpean karga eszentrikoekiko, zeharkako kargekiko eta gilbordura-kargekiko hormen erresistentzia baitago; bestalde, estalkien egonkortasuna kanpo- eta barne-trakzioen aurrean eta lauzen lotura-ahalmena ere propietate honen menpean daude.

Mortero bustian zein gogortuan aztertzen den propietatea da:

##### A. MORTERO BUSTIA

Itsaspena, zementu-pastak edo kareak dauzkaten propietate erreologikoen menpean dago. Itsaspena neurtzeko, morteroa lotu nahi diren bi gainazalen gainean aplikatzen da, eta minutu batzuk igaro ostean banatu. Morteroa helduta gelditu bada, bi gainazalean itsaspen ona duela esango da; aldiz, erraztasunez banatzen bada, inolako markarik utzi gabe, itsaspena txarra dela esango da.

##### B. MORTERO GOGORTUA

Itsaspena aplikatu den gainazalaren ezaugarrien menpean dago, haren porosi-tatea eta zimurtasunaren menpean, eta harearen granulometriaren menpean ere. Morteroa gainazal batean kokatzen denean, oratze-uraren kantitate bat —konglo-meratzailearen osagaiak disoluzioan edo era koloidalean dauzkana— materialaren poroetatik sartzen da konposatu horien prezipitazioa eraginduz; eta denbora igaro ostean, gogorketa. Horrela, prezipitatuak morteroa gainazalean finkatzen dute itsaspena lortuz. Beraz, interesgarria da morteroak gainazalari ura erraztasunez eta era jarraitu batean ematea, aire-burbuilek eragin ditzaketen etenak saihestearren.

#### 7.4.4.3. *Uzkurdura*

Ur-konglomeratzaile erlazio altuak dituzten pasta puruak uzkurdu egiten dira ur hori galtzen dutenean. Uzkurduraren zati bat pastaren hidratazio-erreakzio kimikoen eraginez gertatzen da, baina efektua, gehienbat, lehorte-prozesuaren ondorioz lortzen da.

Mortero batean hareak eskeleto solido baten moduan jokatzen du. Proporzio batean lehorte-prozesuan gertatzen diren aldaketa bolumetrikak eta arrakalatzearriskua ekidin egiten ditu. Lehorketa geldoa bada, morteroak trakzio-erresistentzia nahikoa lortzeko ahalmena dauka sorturiko barne-erresistentziak jasateko; baina

klima beroan edo haize handiko lekuetan, lurrunketa errazten denez, ur-galerak uzkurdura-arrakalak sortuko ditu.

Juntura bateko morteroa uzkurtzen denean, itsaspen txikiena duen gainazale-tik aska daiteke, eta hormaren erresistentzia totala txikitu eta, urari bidea eginez, bere apurketa erraztuko da.

#### 7.4.4.3. Iraunkortasuna

Faktore batzuek morteroak degradatzeko ahalmena daukate:

##### A. IZOZKORTASUNA

Mortero busti bat 5 °C eta 10 °C bitarteko tenperaturetan dagoenean, zementuaren hidratazio-erreakzioak geldotu egiten dira morteroaren gogortzea galaraziz.

Mortero erdi-gogortu bat 0 °C-ko tenperaturean jartzen denean, ura izoztu egiten da, bolumena handitu eta masaren disgregazioa sortu.

##### B. HEZETASUNAREN SARRERA

Horma batek eurite konstanteak jasaten baditu edo hezetasun handiko lekuan badago, urak kapilaritatez sartzeko joera dauka. Ur-sarrera eraikuntza-elementuek daukaten xurgapen-ahalmenaren eta morteroaren iragazkortasunaren funtzioan dago.

Arrakalaturiko hormen kasuan, ura pitzaduretatik sartzen da, baina horma lehortzean eguzkiaren eraginez, lurrundutako urak pitzatu gabeko lekuetatik irteteko zailtasunak ditu. Horrela, hezetasuna denbora luzean barnean geldituko da, erresistentzia txikituz eta efloreszentziak, lizunak eta orbanak sortuz.

Iragaztezintasuna hobetzeko, estalkiaren dentsitatea handitzen da kare-zementuzko morteroak erabiliz; berauetan, karea karbonatatu egiten da eta denborarekin morteroaren poroak eta kanalak estali egiten ditu.

##### C. EFLORESZENTZIAK

Efloreszentziak hormetan edo estalduretan agertzen diren kanpo-orbanak edo barnean ager daitezkeen sabelak dira, ikus 54. *irudia*. Oratze-urak eraman ditzakeen gatz disolbatuak prezipititzen direnean sortzen dira.

Efloreszentziak hezetasunaren sarrerarekin erlazionatuta daudenez, kasu horretarako esandako guztia kontuan izan beharko da hemen ere.

Efloreszentziak, normalean, ez dira morteroen iraunkortasunerako txarrak, gehienetan haien itxura kaltetzen baitute soilik. Hala ere, efloreszentziak sortzen dituzten gatz horiek oratze-uretan edo euri-uretan disolbatzen direnean, masan aldaketa handiak sor ditzakete, eta egoerarik txarrean materialaren apurketa.

## D. AGENTE KANPOTARREN ERASOA

Morteroari produktu solidoek, likidoek eta gaseosoek eraso diezaiokete. Solidoek eraso mekanikoa eragin dezakete, esate baterako marruskaduraren bidez. Hala ere, erasorik arriskutsuena likidoek (izaera azidoko urak, ur-puruak, koipe eta olio mineralak dituzten urak, materia organikoa dutenak, etab.) eta gas korrosiboek ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , etab.) eragindako eraso kimikoa da.

## E. PORTAERA TERMIKOA

Oro har,  $250\text{ }^\circ\text{C}$  baino tenperatura altuagoetara morteroaren propietate erresistiboak txikitu egiten dira era itzulezinean; kolorea ere aldatu egiten da.

### 7.4.4.5. *Lanketa*

Horma edo estalki baten eraikuntza ona ziurtatzeko morteroaren lanketak egokia izan behar du. Elementuen junturak era egokian bete behar ditu; horretarako, bere loditasunak egokia izan behar du hutsune guztiak betetzeko. Ura xurgatzeko ahalmenak trinkotasun handiegia saihestu behar du eta, gainera, bere pisua ez da oso altua izango, langilearen gehiegizko nekea gerta ez dadin.

### 7.4.4.6. *Loditasuna*

Mortero batek izan behar duen loditasuna kokaturiko oinarriaren xurgapen-propietatearen eta giroaren menpean dago. Loditasun egokia langileak lortuko du ur-kantitate aldakorrek gehituta.

Normalean, hiru motatako loditasunak definitzen dira:

- Lehorra: konglomeratzaileak agregakinen arteko hutsuneak betetzen ditu, eta agregakin horiek kontaktuan gelditzen dira masa landuezinak bihurtuz.
- Plastikoa: konglomeratzaile-geruza fin batek agregakinen gainazala bustitzen du, lubrifikatzaile moduan jokatzuz eta morteroari lanketa-propietate ezin hobe eman.
- Fluidoa: agregakinaren partikulak konglomeratzaile-pastaren barruan daude, barne-kohesiorik gabe eta grabitatearen eraginez sedimentatzeko joerarekin (segregazioa esaten zaio). Morteroa oso likidua izanik, aplikaturiko gainazalean sakabanatu egiten da.

### 7.4.5. *Morteroen fabrikazioa*

Morteroaren fabrikazioa konglomeratzailea, harea eta ura era egokian nahastean datza.

Oraketa eskuz zein makinaz egin daiteke; oro har, makinaz merkeagoa izaten da. Lehendabizi uraren kantitate bat jartzen da, gero zementua eta harea batera,

azkenean, eta apurka, gainerako ura. Kare-zementuzko morteroak egiteko, lehen-dabizi, karea eta zementua nahastu behar dira ur-kantitate batekin, lodiera oretsua eta itxura uniformea izan arte. Gero, harea gehitu ostean, oraketak aurrera dirau gainerako ura gehituz.

Oraketaren iraupena gutxienez minutu batzuk iraungo ditu, masa uniformea izan arte. Oraketa laburra ez da egokia, agregakinak pastaren barruan era egokian banatuko ez direlako. Oraketa luzeegia, agregakinak bigunak izatean, txarra izan daiteke, haien apurketa ekarriko lukeelako.

## **8. Zementuak**

### **8.1. SARRERA**

Harlangaitzezko piezak elkarrekin atxikitzeko, antzinatik erabili izan dira buztinarekin, igeltsuarekin edo karearekin eginiko pastak eta morteroak. Lehenengo zementu naturalak, toba bolkanikoekin eginak, Antzinako Grezian erabiltzen hasi ziren, baina 1845. urtera arte I. Jonson-ek ez zuen zementu modernoaren lehenengo prototipoa sortu; gero, XX. mendean zehar, eraikuntzako material honen inguruan, industria garrantzitsua garatu izan zen.

### **8.2. ZER DA ZEMENTU BAT?**

Zementua urarekin nahastua denean, hidrolisi- eta hidratazio-erreakzio batzuen eraginez, gogortu egiten den granulometria fineko material inorganikoa da. Behin gogortzen denean, erresistentzia eta egonkortasuna mantentzen ditu airean zein uretan.

Produktu hau konglomeratzaile hidraulikoen barruan sailkatuta dago, eta hurrengo motak daude: porlan zementua, labe garaiko zementua, puzolanikoa, mistoa eta alumina-zementua.

Zementuak, gehienbat, morteroak eta hormigoiak fabrikatzeko erabiltzen dira urarekin eta agregakinekin (naturalak zein artifizialak) nahasten direnean, obran bertan eginiko elementuak edo elementu aurrefabrikatuak sortuz.

### **8.3. ZEMENTU MOTAK**

#### **8.3.1. Zementu naturalak**

Zementu naturala era honetan lortzen da: % 22 eta 25 bitarteko buztinkantitateak dituzten marga karedunen errekuntza 1.300 °C-an egiten da, klinker deituriko produktua lortuz; berau eho ostean, airean zein uretan gogortu daitekeen konglomeratzailea lortzen da.

Marga naturalen erabilerak zementu hauen portaera irregularra izatea dakar. 1975. urtera arte araudian agertzen zen hurrengo aplikazioetan erabiltzeko: igeltse-rotza-morteroa egiteko, estaldura-material gisa erabiltzeko, eta hormigoia kasuan,



haren erresistentzia baxua zela-eta, zoruen egonkortze-lanak eta masa-hormigoietarako soilik.

### 8.3.2. *Porlan zementua*

Porlan zementua kareharri ( $\text{CaCO}_3$ ) eta buztin (% 60  $\text{SiO}_2$ , % 20  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , % 8  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , % 3  $\text{MgO}$  duena) nahasketa zehatzen erreketa fusio arte eginez lortzen da, klinker deituriko produktua lortuz; beroni igeltsua gehitzen zaio proportzio egokian, gero eho, eta horrela airean zein uretan gogor daitekeen konglomeratzailea lortzen da.

Klinkerrak, igeltsuaz gain, beste substantzia inorganiko batzuk ere eraman ditzake: gehigarriak edo adizioak. Substantzia horiek porlan zementuari hainbat propietate ematen dizkiote, eta beste batzuk kendu.

Porlan zementu baten amaierako konposizioa, izaera basikoa ematen diona, hauxe da:

- Bikaltzio silikatoa ( $\text{SC}_2$ ): % 20.
- Trikaltzio silikatoa ( $\text{SC}_3$ ): % 60.
- Trikaltzio aluminatoa ( $\text{AC}_3$ ): % 10.
- Tetrakaltzio ferroaluminatoa ( $\text{AFC}_4$ ): % 12.

Zementua urarekin nahasten denean pasta bat sortzen da, denbora-tarte bat igaro ostean plastikotasuna galtzen doana (gogortzen hasten da), eta geroago trinkotasuna lortzen duena (gogortasun-prozesuaren amaiera). Prozesu hau zementuaren produktu anhidroen hidratazioaren eta erreakzioen ondorioz sortzen diren konposatuen agerpenaren ondorioa da. Oro har, gogortze-prozesu batek hurrengo etapak ditu:

1. Bikaltzio eta trikaltzio silikatoak urarekin erreakzionatzen dute kaltzio hidroxidoa —porlanita izenez ezagutzen dena— eta silikato hidratatu likatsu bat sortuz. Porlanitaren edukia zementuaren % 25 izan daiteke pisan, eta altzairuzko armaturak korrosiotik babesten ditu hormigoi armatuaren kasuan adibidez. Porlanitaren edukia dela-eta, zementu hauei basiko deritze.

2. Trikaltzio aluminatoak urarekin azkartasunez eta bortizki erreakzionatzen du. Silikatoen hidratazioan sortzen den kaltzio hidroxidoaren presentziak hidratazioa moteltzen duten kristalak sortzen ditu. Igeltsuaren agerpenak pastaren berehalako plastikotasunaren galera ekiditen du, fraguatze-atzeragarri moduan jokatzeko, eta, gainera, gogortasun-prozesua bizkortzen du etringita sortzen duelako, zeinak lehenengo 24 orduetan erresistentzia ematen dion.

3. Tetrakaltzio ferroaluminatoak urarekin erreakzionatzen du trikaltzio aluminatozko kristalak sortuz.

Zementuak lortzen duen erresistentzia konposatuen hidratazio-graduaren arabera da, hau horrela, uraren presentzia ezinbestekoa da prozesu osoan zehar. Izan ere, hidratazio-gradua handitzen doan heinean, porositatea txikituz doa eta erresistentzia mekanikoa handituz.

Zementuaren eta uraren arteko erreakzioa exotermikoa da, hau da, beroa askatzen da. Fenomeno honek garrantzi handia dauka hormigoi-masa handiak fabrikatzen direnean, presa eta dikeetan esate baterako, giro-tenperatura baino tenperatura altuagoak lor baitaitezke materialaren barruan. Harrizko materialek duten eroankortasun termikoaren koefiziente txikia dela-eta, eta inertzia termiko handia dela-eta, tenperatura hori ez da desagertzen. Horrela, gogortze-prozesua bizkortuz doa eta, horrek, denbora txikiagoan oraindik, bero gehiago askatzea eragiten du. Tenperaturaren igoera horrek dilatazio termikoak sortzen ditu eta, bestalde, hozketa-abiadura ezberdinek kontrakzioak sortzen dituzte, horrela, hormigoizko masa handien arrakalatzea gertatzen da. Trikalzio silikato ( $SC_3$ ) eta trikalzio aluminato ( $AC_3$ ) kantitateak zenbat eta handiagoak izan, Porlan zementua are eta beroagoa izango da, eta alderantziz. Batzuetan, zementu mota hau masa handietan erabili beharko da hormigoia armaturak babesteko, horrelakoetan hidratazio-bero txikia duen zementua erabiliko da, alumina-kantitateak txikituz eta burdina oxido kantitateak handituz (zementu hotza delakoa sortuz).

Porlan zementuak bere gogortze-prozesuan bolumena txikitu egiten du, ur-galera eta lehorketaren ondorioz. Uzkurketa handitzen duten faktoreak hauek dira:

- a. Zementuaren granulometria txikia: zenbat eta txikiagoa izan, uzkurdura handiagoa izango da.
- b. Oraketa-ura: oraketan zenbat eta ur gehiago galdu, uzkurdura handiagoa izango da.
- c. Tenperatura: zenbat eta altuagoa izan, uzkurdura handiagoa da.
- d. Giroan dagoen hezetasuna: giroaren hezetasunak uraren lurruntze-abiadura definituko du.

Uzkurdura txikitu egiten da morteroetan eta hormigoietan agregakinak gehituz. Uzkdura-fenomenoek arrakalak sor ditzaketen deformazioak sortzen dituzte obretan, zeinek iraunkortasunean eragin zuzena izango duten.

Substantzia batzuek porlan zementuaren gainean eragiten dute egoera plastikoan dagoenean (gogortasuna geldotuz) eta egoera gogortuan (masa bananduz). Konposaturik ahulena trikalzio aluminatoa da ( $AC_3$ ). Zementu mota honi gehien erasotzen dioten substantziak hauek dira:

#### A. UR SULFATATUAK

Oro har, sulfatoek porlan zementu bustiei zein gogortuei erasotzen diete, bereziki kaltzio sulfatoek.

Baldintza hauek jasateko trikaltzio aluminato ( $AC_3$ ) kantitate txikiko zementuak fabrikatzen dira, elementurik ahulena delako.

### B. ITSASOKO URAK

Zementu-masari erasotzen diote (batez ere trikaltzio aluminatoari) berau disgregatuz.

Baldintza hauek jasateko trikaltzio aluminato ( $AC_3$ ) kantitate txikiko zementuak fabrikatzen dira, elementurik ahulena delako.

### C. UR PURUAK

Hormigoiaren disolbatzaile moduan jokatzeko dute, kareharria disolbatzen baitute disoluzioan daramaten eta izaera azidoa ematen dien  $CO_2$ -aren bidez.

### D. BEROAREN ERAGINA

Pasta bustietan beroak gogortasunaren prozesua azkartzen du hidratazioa aktibatzen duelako eta, gainera, uraren lurrunketa errazten du, batez ere porlan zementuetan, zementu beroak baitira.

Zementu mota hau gogortu ostean,  $100\text{ }^{\circ}C$  baino tenperatura altuagoak jasan ditzake. Tenperatura handitzen doan heinean, haren erresistentzia txikituz doa, ura lurruntzean dilatazioa eta kontrakzioa gertatzen delako.  $300\text{ }^{\circ}C$  gainditzen direnean, kontrakzioa dilatazioa baino handiagoa da, eta zementu-pastan arrakala handiak agertzen dira.

### E. IZOTZAREN ERAGINA

Pasta bustietan izotzak gogortasunaren atzeratzaile moduan jokatzeko dute, nahiz eta porlan zementuak hidratazio-bero handia eduki.

Tenperatura zenbait gradu zero azpitik jaisten denean, zementuaren hidratazio-erreakzio exotermikoa gelditu egiten da; pastak daukan ura babes gabe gelditzen da, horrela, berau izozten denean bere bolumena handituz morteroak eta hormigoiak disgregatu egiten ditu.

Erabat gogortzen denean, zementuaren erresistentzia —harri naturaletan bezala— porositate, kohesio, izotzarekiko erresistentzia, klinkerraren konposizio eta abarren menpean egongo da.

Horretaz gain, beste faktore batzuek ere mugatuko dituzte zementuak lortuko dituen erresistentzia maximoak:

#### a. Urari dagokionez

Oraketa egiteko behar den ura konglomeratzailearekin konbinatzeko behar den beste izango da, bestela urak ezingo du konglomeratzailea erabat hidratatu.

Lanketa errazteko ur-kantitate egokia izan beharko da, baina konglomeratzailearekiko minimoa, ur-kantitate handiak porositatea handitzen baitu, partikulen arteko trinkotasuna txikituz eta, horrela, erresistentzia txikiagoak lortuz.

Bestalde, ur-kantitateak nahikoa izan behar du lurrunketak edo beste arrazoi batzuek sor ditzaketen galerek ur-edukia gehiegi txikiagotu ez dezaten; kontuan izan beharra dago zementuak bere erresistentzia maximoa lortzeko, gogortze posiblea egiten duten erreakzio guztiak gertatu beharko direla.

Azkenik, uraren kalitatea zaindu beharko da gogortasuna ekidin ahal duen substantziarik eraman ez dezan.

#### b. Konglomeratzaileari dagokionez

Konglomeratzaileak urarekin daukan konbinazio-ahalmenari eutsi beharko dio. Urarekin daukan konbinatzeko erraztasuna txikitu edo desagertu daiteke aurretik urarekin kontaktuan egon bada; horregatik, fabrikatu berria den konglomeratzaile baten erabilera egitea aholkatzen da.

Aleen tamainak ahalik eta txikiena izan behar du, ahalik eta gainazal espezifikiko handiena lortzeko, horrela, urarekiko konbinazioa erraztu egiten da.

#### c. Inguruneari dagokionez

Hezetasun-mailak, tenperaturak edo haizeak uraren lurrunketa handia sor dezakete aurretik azaldu diren arrazoiengatik.

### 8.3.3. Alumina-zementua

Porlan zementuaren ostean garatu zen, sulfatoak jasan zezakeen zementu baten beharra ikusi zenean.

Zementu mota honen lehengaiak hauek dira: kareharria ( $\text{CaCO}_3$ ) eta bauxita honako konposizioarekin: % 5,1 silizea, % 57,8 alumina, % 21,6  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  eta % 3  $\text{TiO}_2$ .

Fabrikatzeko pausoak hauek dira: kareharria eta bauxita elkarrekin nahastu eta lehorrean ehotzen dira, gordin deituriko produktua lortuz. Horri, 1.500 °C-ko tenperatura ematen zaio urtu arte, horrela klinkerra lortzen da. Produktu honek, hoztu eta eho ostean, alumina-zementua sortzen du.

Salgai aurki daitekeen zementu mota honen konposizioa oinarrian hauxe da: % 39-44 CaO, % 6,5-8,5  $\text{SiO}_2$ , % 42-46,5  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , % 15-17  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  eta % 1,3-2,1 MgO. Azkenean elementu hauek elkarrekin konbinatzen dira amaieran honako konposizio hau emanez:

- Monokaltzio aluminatoa (AC)
- Bikaltzio silikatoa ( $\text{SC}_2$ )
- Bikaltzio ferritoa ( $\text{FC}_2$ )

Monokaltzio aluminatoa osagai nagusia da, zenbait kasutan % 80ko portzioraino helduz; gainera propietate hidraulikoak ematen dizkio eta erresistentzia handiak denbora laburrean.

Zementu mota hauek denbora asko behar dute gogortzeko monokaltzio aluminatoaren hidratazioa astiro gertatzen baita. Oro har, gogortze-prozesua era honetan gertatzen da:

1. Monokaltzio aluminatoak urarekin erreakzionatzen du; era horretan, denbora laburrean erresistentzia altuak lortzen dira bero handia sortuz.
2. Bikaltzio silikatoak urarekin erreakzionatzen du; prozesu hau geldoa da, porlan zementuetan bezala; erresistentzien bilakaera astiro gertatzen da denbora luzean bero-kantitate txikiak askatuz.

Porlan zementuak ez-bezala, alumina-zementuak ez du ia porlanitarik ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) sortzen: bikaltzio silikatoaren hidratazioaren ondorioz sortzen dena monokaltzio aluminatoaren erreakzioan sorturiko aluminarekin konbinatzen baita.

Porlan zementuetan bezala, alumina-zementuaren hidratazioa erreakzio exotermikoa da, bero asko sortzen duena. Lehenengo orduetan porlan zementua gainditzen du; horrela, hormigoi-masa handietan giro-tenperatura baino  $100\text{ }^\circ\text{C}$  gehiago neurtu izan dira.

Zementu mota hauek aluminosia deituriko fenomenoak jasaten dute, zementu gogortuaren konbertsioa eta karbonatazioa sortzen delako, hurrengo eran:

#### a. Konbertsioa

Kaltzio aluminatoen egitura hexagonala kubikora eraldatzen da, porositatea asko handituz eta hormigoiaren erresistentzia mekanikoa txikituz. Egituraren eraldaketa honek tenperatura eta hezetasunarekin zerikusia dauka:  $25\text{ }^\circ\text{C}$  azpitik fenomenoak astiro gertatzen da,  $40\text{ }^\circ\text{C}$ -ko tenperaturan nabarmenki hazten da (hilabeteak behar dira) eta  $70\text{ }^\circ\text{C}$ -ko tenperaturan ordu gutxitan gerta daiteke.

#### b. Karbonatazioa

$\text{CO}_2$ -aren xurgapenagatik gertatzen da, zementuaren konposatu hidratatuetan eta konbertsioan lorturiko konposatuetan eraldaketak sortuz. Bere eraginez pH-a txikitu egiten da eta armaduren babesa gutxitu.

Konbertsioan gertaturiko porositatearen gehikuntzak, eta horrek dakarren erresistentziaren txikitzeak, eta bestalde, karbonatazioak eragindako armaduren babesaren txikitzeak armaduren korrosioa eragin dezakete, beren bolumena handituz eta hormigoiarekin daukaten itsaskortasuna galduz. Horrela, azkenean, egituraren apurketa eragiten da. Horregatik, alumina-zementua ez da hormigoi armatu estrukturala egiteko erabiliko.

Porlan zementuak eta alumina-zementuak elkarrekin konparatuta hurrengo ezaugarriak dituzte:

#### A. PORLAN ZEMENTUA

- Armadurei alumina-zementuak baino babes handiagoa ematen die.
- Denboran iraunkorragoa da alumina-zementua baino.

#### B. ALUMINA-ZEMENTUA

- Azido diluituen aurrean eta ur hutsen aurrean porlana baino iraunkorragoa da.
- Porlan zementuak baino erresistentzia handiagoa dauka hasierako momentuetan.
- Porlan zementuak baino erresistentzia handiagoa dauka suaren aurrean.
- Porlan zementuak baino hidratazio-bero handiagoa dauka.

### 8.3.4. *Zementu puzolanikoak*

Zementu hau porlan zementuko klinkerra, % 55eko kantitatea baino gutxiagoko puzolarriak eta igeltsu dihidratatua (anhidrita) elkarrekin ehoz lortzen den produktua da.

Zementu puzolanikoek porlan zementuek baino denbora gehiago behar dute erresistentzia lortzeko, nahiz eta azkenean horiek baino erresistentzia handiagoak lortu. Beroa oso era geldoan askatzen dute, zementu hotzak deiturikoak lortuz, zeinak bereziki erabilgarriak diren klima beroetan hormigoi-masa handiak egiteko, presa moduko obretan, esate baterako.

Zementu puzolanikoak agente kimikoen aurrean erresistenteak dira: itsasoko uretan, sulfatoetan eta azidotasun txikiko uretan portaera ona daukate kareharria ez lixibatzeagatik, silizeari atxikita gelditzen baita.

Bestalde, puzolarriak gehituz, mortero eta hormigoiaren iragaztezintasuna hobetu egiten da.

Zementu mota hauek erabilgarriak dira itsas lanetan, hodietan, zimenduetan, biltegietan, kanaletan eta ur puruekin, selenio-edukiak dituzten urekin eta azidotasun txikiko urekin kontaktuan egongo diren hormigoizko elementuak egiteko, eta leku beroetan eta hidratazio-bero txikiko zementuak erabili behar diren kasuetan.

### 8.3.5. *Labe garaiko zementuak*

Labe garaiko zepa basikoak eta kaltzio sulfatoa (anhidrita) ehotzean lorturiko zementua da; elementu horietaz gain, klinkerra edo porlan zementua eraman dezake. Zementu siderurgiko izenez ezagutzen dira ere.

Zementu hauen hidratazioan sortzen diren osagaiak hauek dira: bikaltzio aluminatoak, monokaltzio silikato hidratatuak eta kaltzio silikato hidratatuak.

Zementu hauek sortzen duten hidratazio-beroa porlan zementuek sortzen dutena baino txikiagoa da.

Zementu hauek zementu hotz gisa hartzen dira eta hormigoi-masa handiak egiteko eta giro-tenperatura altua den kasuetarako egokiak dira.

Erresistentzien bilakaera porlan zementuek daukatena baino geldoagoa da, baina 90 egun gainditzen direnean, horiek baino erresistentzia handiagoak lortzen dituzte.

Zementu hauek hormigoi armatuan eta masa-hormigoian erabilgarriak izan daitezke, baina bereziki egokiak dira itsasoan eraikuntzak egiteko, zimenduetan, masa handiko hormigoietan eta, batez ere, sulfatoak aurki daitezkeen giroetan.

Labe garaiko zementuak porlan zementuekin nahastea arriskutsua izan daiteke, hortaz, saiakuntzarik egin gabe, inoiz ez dira nahastuko.

## **8.4. ZEMENTUEN FABRIKAZIOA**

Hurrengo eskeman, ikus 73. *irudia*, porlan zementuaren fabrikazioa egiteko pausorik garrantzitsuenak ageri dira. Buztinak egoera lehorrean zein hezean gehitu daitezke.

## **8.5. ZEMENTUEN ERABILERA**

### **8.5.1. Kontuan izan beharreko faktoreak**

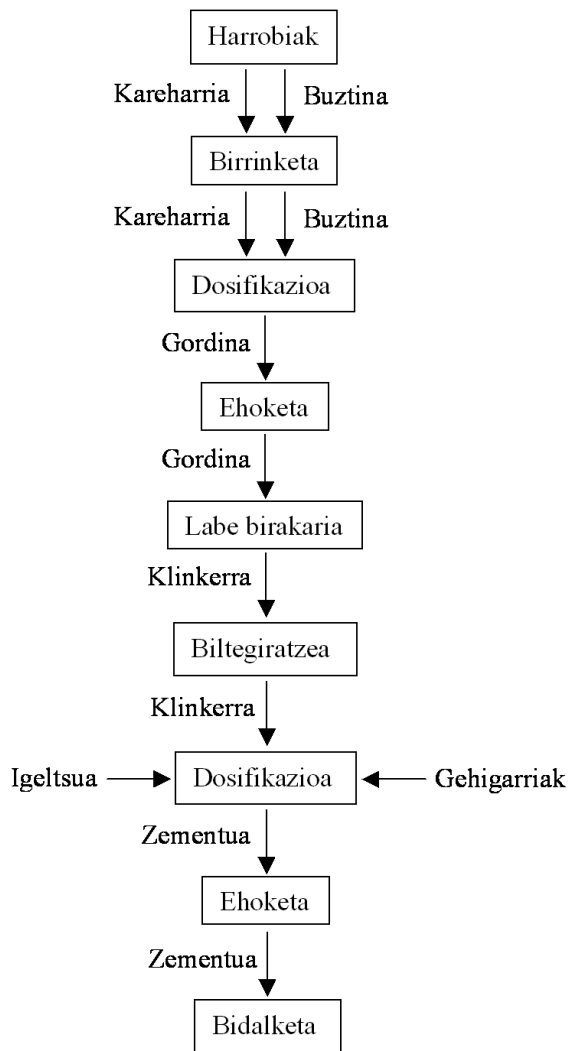
Zementu mota bat aukeratzeko orduan, faktore hauek izango dira kontuan:

A. GOGORTZEA. Zenbat denbora ematen duen gogortze-prozesuak.

- Epe luzean
- Epe ertainean
- Epe laburrean

B. ERRESISTENTZIAK. Zenbateko erresistentziak lortzen diren.

- Txikiak
- Ertainak
- Altuak
- Oso altuak



**73. irudia. Zementuen fabrikazio-prozesua.**

C. ERASOAK. Zein agentek erasotzen duten produktua.

- Sulfatoak
- Kloruroak
- Ur puruak, azidoak eta CO<sub>2</sub>-arekin
- Beste batzuk



D. HORMIGOIZTATZE-TENPERATURA. Materiala kokatuko den lekuan zein tenperatura dagoen.

- Giro hotza
- Giro beroa

E. HORMIGOI-MASA. Armadura gabeko hormigoia egiteko erabili behar bada, zein izango den piezaren neurria.

- Handia
- Txikia

F. HORMIGOI MOTA. Hormigoia egiteko erabili behar bada, zein motatakoa izango den produktu hori.

- Armatua (egiturazkoa edo ez)
- Masakoa

G. ARMADUREN BABESA. Hormigoi armatua egiteko erabiliko bada, armadurak erasoak ez izateko.

H. KOLOREA. Estaldura ikusietan erabili behar bada, kolorea aukera daiteke.

- Grisa
- Zuria
- Koloreduna

I. LANKETA. Obraren eskakizunen arabera lanketa-erraztasuna ziurtatzeko.

- Puzolanikoak
- Porlan
- Labe garaikoak

### **8.5.2. Aplikazio-esparruak**

#### **8.5.2.1. Porlan zementuak**

Porlan zementuak elementu aurrefabrikatuetan, erresistentzia altuko hormigoietan, hormigoi armatuetan, masa-hormigoietan eta morteroetan erabilgarriak dira.

#### **8.5.2.2. Alumina-zementuak**

Hormigoi eta mortero erregogorretan, masa-hormigoietan eta sulfatoetan, itsasoko uretan eta azidotasun txikiko uretan erabiliko diren morteroak egiteko egokiak dira.

#### 8.5.2.3. *Zementu puzolanikoak*

Hormigoi armatua egiteko, masa-hormigoia eta giro erasotzaile ez oso gogorretan erabiliko diren morteroak egiteko erabiltzen dira; baita lan hidraulikoetan eta agregakin erregogorrak dituzten hormigoietan ere.

#### 8.5.2.4. *Labe garaiko zementuak*

Giro erasotzaileetan jarriko diren hormigoi armatuak eta masa-hormigoiak egiteko erabiltzen dira.



## 9. Kareak

### 9.1. SARRERA

Eraikuntzako materialen artean karea zaharrenetarikoa da. Zibilizazio gehienek erabili zuten; adibidez, aztarna arkeologikoen arabera, K.a. 4000. urtean Egipton hormak estaltzeko erabili zen. Erabileraren frogak erromatar, greziar eta txinatar zibilizazioetan ere aurkitu dira, besteak beste.

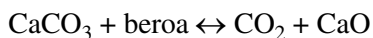
Europar, XIX. mendean, material honen konposizio klasikoan aldaketak egin ziren, gaur egun ere erabiltzen diren kareak sortuz.

Berez, karea eraikuntzan erabiltzen den konglomeratzaile bat da, haren osagai nagusia kaltzio hidroxidoa ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) izanik. Airearekin kontaktuan sartzen denean, karbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) bihurtu eta gogortu egiten da.

### 9.2. DEFINIZIOA ETA IZAERA

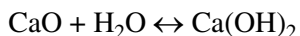
Edozein konposizio eta itxura fisiko duten kareharrien ( $\text{CaCO}_3$ ) —ikus 74. irudia— kaltzinazioen ondorioz sortzen den produktuari kare deritzo.

Gutxi gorabehera 900 eta 1.000 °C bitartean gauzatzen den kaltzinazio-prozesuan hauxe betetzen da:



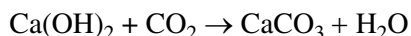
Hau da, kaltzio karbonatoa deskonposatu egiten da kaltzio oxidoa eta anhidrido karbonikoa emanez.

Kaltzinazio-prozesuaren ostean produktu anhidroaren hilketa egiten da. Horren ondorioz, gehituriko ur-kantitatearen funtzioan, hauts edo pasta itxurako material hidratatu bat lortuko da, hurrengo erreakzioaren arabera:



74. irudia. Kareharria.

Hau da, kaltzio hidroxidoa sortzen da; berau obran kokatzen denean birkarbonatatu egiten da atmosferatik  $\text{CO}_2$  xurgatzen duen heinean, hurrengo erreakzioa betez:



Kareak dolomiak eta margak erabiliz ere fabrika daitezke. Horrela, bi mota-tako produktuak ezberdintzen dira:

- a. Aire-kareak: gehiengoa kaltzio hidroxidoa izanik, haien konposizioan magnesio oxidoa dute ere, baina askoz ere proportzio txikiagoetan.
- b. Ur-kareak (kare hidraulikoak): kareharri margotsuetatik eta margetatik sorturikoak batik bat,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  eta  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  edukiak dituzte.

Hau da, lehengai gisa erabilitako harriaren konposizioaren funtzioan kare ezberdinak ekoitzi daitezke: kaltzio hidroxidoan oso aberatsak diren kareetatik, % 50 baino kaltzio hidroxidoaren kantitate txikiagoak dituzten ur-kareetara igaroz.

### **9.2.1. Aire-kareak**

Kare mota hauek gutxi gorabehera puruak diren kareharrietatik ekoizten dira. Kaltzinazio-operazioaren ostean kare bizia lortzen da, bere konposizioaren gehiengoa kaltzio oxidoa izanik.

Kare biziari ura gehitzen zaionean kare hila lortzen da, konposizioaren gehiengoa kaltzio hidroxidoa izanik. Gehitu den ur-kantitatea hidroxidoa sortzeko baino ez denean, hauts-itxurako produktua lortuko da, hauts-karea deituko dena. Produktu honi ura gehitzen jarraituz gero, karea, pasta forman lortuko da.

Aire-kareak gehienez % 5eko magnesio oxido kantitateak dituenen, kare koipetsua lortuko da. Aldiz, % 5 baino kantitate handiagoak dituenen, kare dolomitiko, kare gris edo kare gihartsu izena emango zaio.

### **9.2.2. Ur-kareak**

Ur-karea edo kare hidraulikoa silize- eta alumina-edukiak dituzten kareharrien kaltzinazioaren ondorioz lorturiko produktu hidratatua eta hauts-itxurakoa da.

Produktu hau lortzeko kaltzinazio-prozesua ia fusio-tenperaturan egiten da; horrela, kaltzio oxido aske nahiko lortuko da, gero, bere hidratazioa gertatzeko eta, aldi berean, hidratatu gabeko kaltzio silikato kantitate bat izango du, materialari propietate hidraulikoak ematen dizkiona.

Kare hauek ere magnesio oxidoaren funtzioan sailkatzen dira: eduki altukoak, % 5 baino gehiago dutenak izango dira, eta eduki txikikoak, berriz, % 5 baino kantitate txikiagoak.

### 9.3. KAREEN PROPIETATEAK

#### 9.3.1. Dentsitatea

Kareen dentsitatea neurtzen denean, trinkotu gabeko bolumen baten masa neurtuz, aire-kareen kasuan  $0,4 \text{ kg/dm}^3$  dago, eta kare hidraulikoen kasuan,  $0,5$  eta  $0,9 \text{ kg/dm}^3$  bitartean.

Aire-kareen dentsitate erreala  $2,25 \text{ kg/dm}^3$  inguruan dago, eta kare hidraulikoena  $2,5$  eta  $3,0 \text{ kg/dm}^3$  bitartean.

#### 9.3.2. Hidraulikotasuna

Hidraulikotasun-indizea, ehunekoetan adierazita, hurrengo adierazpenarekin definitzen da:  $i = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$

non  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , erreketak baino lehen, konposatu horien masak diren.

Kare mota bakoitzari dagozkion hidraulikotasun-indizeak 17. taulan ikus daitezke:

| Kare mota                            | <i>i</i>  |
|--------------------------------------|-----------|
| Aire-karea                           | 0,0-0,10  |
| Hidraulikotasun txikiko ur-karea     | 0,10-0,16 |
| Ur-kare ertaina (III)                | 0,16-0,31 |
| Ur-kare arrunta (II)                 | 0,31-0,42 |
| Hidraulikotasun handiko ur-karea (I) | 0,42-0,50 |

**17. taula. Kareen hidraulikotasun-indizeak.**

Indizea txikia denean, kareak uretan disolbatzeko joera handia du, edo beste era batera esanda, indizea zenbat eta handiagoa izan, produktuaren erresistentzia gero eta handiagoa izango da uraren aurrean.

#### 9.3.3. Fraguatzea

Karearen fraguatzea prozesu kimiko bat da. Masaren oraketarako erabili den ur-soberakina lurruntzean datza, eta gero  $\text{CO}_2$  atmosferikoaren xurgapenean, hidroxidotik kaltzio karbonatora igaroz.

$\text{CO}_2$  lehorrak kaltzio hidroxido lehorrarekin erreakzionatzen ez duenez, hezetasuna egon behar du prozesua burutzeko.

Aire-kareen fraguatze-denbora luzea da; baina, kare dolomitikoek oraindik denbora luzeagoa behar dute.

Kare hidraulikoetan, kaltzio hidroxidoaren karbonatazioaz gain, silikato eta aluminatoen hidratazioa ere gertatzen da. Konposatu horiek, hidratatu eta gero, kristalizatu egiten dira gero eta zurrunagoa den sare gurutzatu bat sortuz.

Fraguatze-erreakzioa geldoa da, haren efektuak ez dira nabaritzen 2 ordu baino lehen (fraguatzearen hasiera), eta pastak ez du bere plastikotasuna galtzen 48 ordu igaro baino lehen.

#### **9.3.4. Plastikotasuna**

Kare masa bat, plaunkaia erabiliz zein erraztasunez zabaltzen den adierazteko erabiltzen da kontzeptu hau. Kareek, oro har, leuntasun handia dute zabaltzen direnean; baina normalean harearekin nahastuak erabiltzen direnez, elementu honek leuntasunaren zati bat galtzea eragiten die.

Aldiz, zementu-morteroei karea gehitzen zaienean, koipetsuago bihurtzen dira eta erraztu egiten dute kokapena obran.

Oro har, magnesias duten kareak koipetsuagoak dira kaltzio oxidoa dutenak baino.

#### **9.3.5. Bolumen-egonkortasuna**

Batzuetan, kareek fraguatzearen ondorioz zabalkuntzak jasaten dituzte. Bolumen-hazkuntza horiek obra egin eta hilabeteak igaro ostean nabarmentzen dira. Fenomeno hau, luzituan, adreiluen junturekin bat egiten duten pitzadura horizontalen bidez ikus daiteke.

Zabalkuntza sortzen duten arrazoiak hauek dira:

1. Kare askea egotea, hau da, obra burutzen den unean hidratatu gabeko karea dago. Horrek, obran bertan hilketa-prozesua jasaten duenean, bolumena handitzen du, zabalkuntza sortuz.
2. Askotan, bolumenaren ezegonkortasuna hidrataturiko magnesiari zor zaio. Oxido horren hidratazioa oso geldoa da, eta neurririk hartzen ez bada hidratatu daiteke obran jarri eta hilabeteak igaro ostean, zabalkuntza sortuz.

Kare dolomitiko guztiek ez dute zabalkuntzarik jasaten. Magnesiaren baldintzen menpean dago: kaltzinazio-tenperatura, hozte-abiadura, kristalizazio mota, etab.

Bestalde, karearen fraguatze- eta gogortze-prozesuetan beti uzkuradura-fenomenoak gertatzen dira ur-galerek eraginda, baina CO<sub>2</sub>-aren xurgapenarekin partzialki orekatzen dira.

Kareari harea gehituz, eta pasta puruak erabili beharrean morteroak erabiliz, uzkuradura txikitzen da

Uzkurduraren magnitudea ez dago karearen konposizio kimikoarekin erlazionatua baina, hala ere, kare dolomitikoen uzkurdura kare koipetsuenek dutena baino txikiagoa da.

### 9.3.6. Erresistentzia mekanikoak

Aire-kareek, lehorketa eta karbonatazioaren bidez gogortzen direnek, ez dute erresistentzia handirik; gainera epe luzean lortzen dituzte erresistentzia hauek.

Hurrengo taulan (ikus 18. *taula*), araudiaren arabera, 28 egun igaro ostean ur-kareen konpresioarekiko erresistentziak agertzen dira:

| Kare mota    | Konposizio minimoa<br>$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ | Konpresioa ( $\text{kg/cm}^2$ ) |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Ur-karea I   | % 20                                                                                 | 50                              |
| Ur-karea II  | % 15                                                                                 | 30                              |
| Ur-karea III | % 10                                                                                 | 15                              |

18. taula. Ur-kareen konpresioarekiko erresistentzia 28 egun igaro ostean.

## 9.4. KAREEN FABRIKAZIOA

### 9.4.1. Lehengaiak

Lehen aipatu den bezala, karea ekoizteko erabiltzen den lehengaia kareharria da. Berau guztiz purua denean, kaltzio karbonatoz osatuta dago soilik; horrela, 56 parte CaO eta 44 parte  $\text{CO}_2$  izango ditu. Beraz, harri honen kaltzinazioaren ondorioz lortuko den produktuak, pisuan, % 56ko kare-edukia izango du gehienez jota.

Baina normalean, portzentaje hori ez da inoiz lortuko, naturan kareharri kimikoki puruak topatzea oso zaila baita. Oro har, ezpurutasunak izango dituzte, lortutako portzentajea txikituko dutenak. Ezpurutasun horiek buztin motakoak direnean, kareharriak ur-kareak ekoizteko egokiak izaten dira.

Harriak % 15 baino buztin-kantitate txikiagoak dituenean, kareharri margo-tsu izenez izendatzen da. Buztinaren edukia % 15 eta % 30 bitartean dagoenean, marga izena ematen zaio, eta tarte hori gainditzen bada, % 75 arte, marga buztin-tsu esango zaio.

Aurrerago esan den bezala, normala da ere kareharrian magnesio oxidoa aurkitzea.

Kareharriek jatorri kimikoa edo mekanikoa izan dezakete, eta horren arabera sailkatzen dira:



- a. Kimikoa: uraren lurrunketaren ondorioz edo kaltzio bikarbonatoaren deskonposaketaren ondorioz sortuak dira.
- b. Mekanikoa: kaltzio karbonatoaren sedimentazioaren ondorioz sortuak dira.

Kareharriaren ezaugarri fisikoek kaltzinazio-tenperaturan eragina dute, konposizio kimikoak bezala. Ale handidun eta poro askoko kareharri batean kaltzinazioa kareharri dentso eta ale txikiko batean baino azkarrago gertatzen da. Gainera, lehengaia labean zati txikietan gehitzean, arinago erreakzionatuko du handietan baino.

#### **9.4.2. Harrobien ustiaketa**

Kare-fabrika bat martxan jartzeko arau orokorrak ematea zaila da. Haren kokalekuak garraiobideekiko, harrobiarekiko, kontsumo-guneekiko, eta beste ezaugarri batzuek definituko dute, neurri handi batean, errentagarria den ala ez; kasu bakoitzean azterketa sakona egin beharko da, orokortasunak alde batera utzita.

Harrobi baten ustiakuntza hasi baino lehen, bertan topatu den kareharriaren kalitatea eta kantitatea egokiak direla ziurtatu beharko da instalazioaren bizi-raupena ahalik eta luzeena izan dadin.

Arrazoi hori dela-eta, zundaketak egingo dira kokalekuan lorturiko laginak zehazki aztertzeko. Era horretan, harrobitik lortuko diren produktuak negozioaren iraupen osoan zehar kalitate onekoak izango direla ziurtatuko da.

Harrobien ustiakuntza aire zabalean edo lurpean egin daiteke, baina azken horretan kostuak handiagoak direnez, aire zabaleko harrobiak nahiago izaten dira.

Kareharrien harroketa lehegailuekin egiten da. Leherketen ondorioz bloke handiak lortuko dira, eta, maneiagarriak izan daitezen, neurriz txikitu beharko dira.

Lorturiko produktua fabrikara eramaten da. Garraiobidea, harrobitik fabrikara dagoen distantziaren funtzioan hautatuko da, edozelan ere, merkeena beti.

#### **9.4.3. Instalazio-operazioak**

##### **9.4.3.1. Aurretiko birrinketa**

Oro har, harrobien lorturiko materialak neurri-aldakortasun handia dauka: 1 mm-eko zatietatik 30 edo 40 cm-ko zatietara.

Materiala labean sartu baino lehen birrindu egingo da; horren ostean, erabiliko den labe motaren arabera, ehotze-etapa bat jasan dezake ere.

Prestatze-etapa hau fabrikari egin daiteke edo harrobien bertan.

### 9.4.3.2. Kaltzinazioa

Lehengaiari aplikatzen zaion beroak honako helburu hauek betetzen ditu:

- Harrobian kareharriek xurgaturiko ura lurruntzea.
- Materialaren tenperatura igotzea karbonatoaren deskonposizio-puntura arte.
- Karbonatoaren deskonposizio kimikoa eragitea.

Kaltzio karbonato puruaren disoziazio-tenperatura, presio atmosferikoan, 898 °C-koa da. Nahiz eta tenperatura horretan karea sor daitekeen, komertzialki ez da errentagarria operazioa burutzeko behar den denbora handiegia delako.

Bestalde, kaltzinazio-denbora laburra izatea komeni da, eta hori tenperatura igoz lortzen da. Horrek alde txar bat dauka: zenbat eta tenperatura handiagoa izan, ezpurutasunen erreakzionatzeko joera handituz doa, eta lortutako produktuaren kalitatea txikitu egin daiteke.

Gainera, labean gertatzen den erreakzioa itzulgarria da, hau da, kaltzio oxidoa eta anhidrido karbonikoa elkarrekin konbina daitezke berriro karbonatoa agertuz. Prozesu hori gertatuko da labean gasa metatzen uzten bada.

Aire-karea lortzeko kaltzinazio-tenperatura erabilienean 1.050-1.100 °C bitartean dago. Aldiz, ur-kareak ekoizteko tenperatura handiagoak behar dira, 1.200 °C inguru, hala ere lehengaiaren konposizioaren menpean aldakorra da.

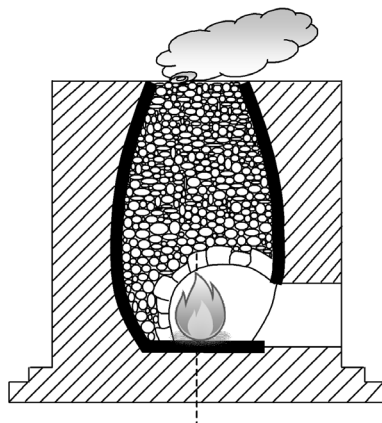
Kaltzinazio-labeek erregai begetalak zein mineralak erabil ditzakete, gasolioa edo fuel-olioa moduan.

Erabilitako labe ohikoenak hauek dira:

#### A. UPELEZKO LABEAK

Fabrikaz eginak daude, normalean harlan-gaitzez. Erdian kamara zilindriko bat daramate, zenbait kasutan zentroan zabalagoak izanik. Barnean adreilu erregogorrezko estaldura bat daramate, ikus 75. irudia.

Labearen barnean, harri handiekin, konbustio-kamara bat sortzen da zolaren erdian, non egurra edo sugar luzeko ikatzak kokatzen diren. Kaltzinazioak bost egun inguru irauten du labe hauetan.

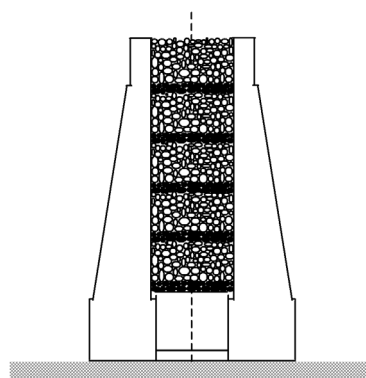


**75. irudia. Upelezko labeak kareen fabrikaziorako.**

## B. LABE BERTIKALAK

Labe hauek zilindro itxura dute eta altzairuz edo igeltserotzaz eginak daude. Barnealdea erregogorrez estalita dago. Hormen lodieran material isolatzaile bat eraman ohi dute bero-galerak saihesteko, ikus 76. irudia.

Berotasun-sistema aldakorra da labe bate-tik bestera. Zenbait kasutan erregailu batzuk daramatzate, zeinek erregai likido edo gaseosoan erreketatik sorturiko gas beroak labean sartzen dituzten. Beste kasu batzuetan, aldiz, erregai solidoak erabiltzen dira, kareharri geruzekin tartekatuta. Kontsumo ohikoena 150 kg ikatz kare tona bakoitzeko da.

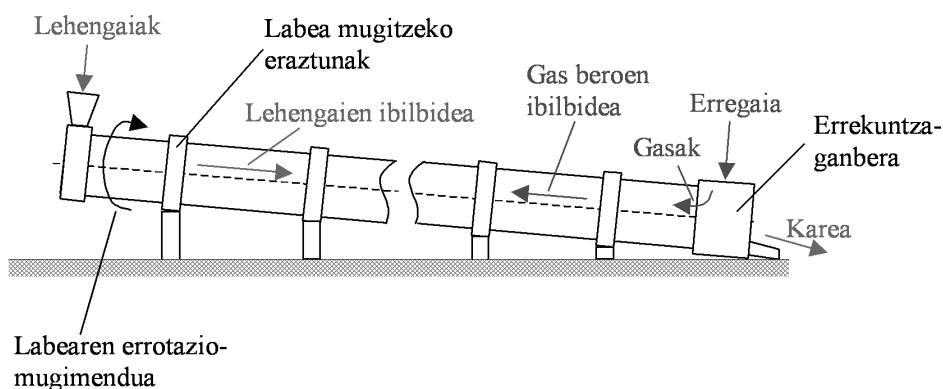


**76. irudia. Labe bertikalak kareen fabrikaziorako.**

Jarraitutasunean funtzionatzen duten labeak dira, eta kargak zein deskargak automatizatuta daude. Hala ere, produkzioa ez da oso handia.

## C. LABE BIRAKARIAK

Produkzio handiak lortu nahi direnean labe birakariak erabiltzen dira. Makina zilindrikoak dira, altzairuzkoak. Eratzun batzuen gainean kokatuta daude, altzairuzko beste eratzun batzuen gainean biratzen dutenak, ikus 77. irudia.



**77. irudia. Labe birakariak kareen fabrikaziorako.**

Labearen biraketa-abiadura geldoa da, eta bere ardatzak % 4 eta 8 bitarteko inklinazioa dauka. Luzera 30 eta 40 m bitartean dago eta diametroak 1,8 eta 2,4 m bitartean daude.

Labearen barnealde guztia material erregogorrez estalita dago, eta erregai moduan ikatza, olio astuna edo gasa erabil daitezke.

Karea beheko muturretik deskargatzen da hozkailu batera; normalean, labea baino laburragoa den zilindro bat da, azpian kokatua.

Labe mota hauekin ekoizpen handiak lortzen dira eta kalitate handiko material uniformeak.

#### 9.4.3.3. Karearen hilketa

Lehen aipatu den bezala, kaltzio oxidoa urarekin konbinatzen da kaltzio hidroxidoa sortuz, beroa askatuz eta bolumen-hazkuntza bat eraginez, hurrengo erreakzioaren arabera:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$

Hidratazio-erreakzio horren abiadura, faktore hauen menpe dago:

- Kare biziaren ezaugarri fisikoak

Hidratazio-erreakzioak fluido (ur likidoa edo lurruna) eta solido baten artean direnez, solidoaren gainazalean baino ez da gertatuko. Beraz, karea neurri finean edo zati oso porotsuetan dagoenean, uraren akzioaren aurrean gainazal handia aurkeztuko du eta abiadura handiz hidratatuko da.

- Kare biziaren konposizio kimikoa

Kare bizia zenbat eta puruagoa izan, orduan eta handiagoa izango da hidratazio-abiadura. Kareharri dolomitikoen deskarbonataziotik datorren MgO-aren hidratazio-abiadura geldoa da. Beraz, magnesita-edukiak dituen kare bizi baten hidratazioa geldoagoa izango da.

- Kareharriaren erreketa-tenperatura

Gutxi erretako zatiek zein asko erre direnek hidratatzeko ahalmena txikia dute. Labe zaharretan ekoiztiriko karea oso irregularra da, zokor batean gutxi erretako aldeak, ondo erretakoak eta gainerretakoak egon daitezkeelako. Alde bakoitzak hidratazio-abiadura ezberdina izango du.

Erreakzio-abiaduraren arabera, kaltzio hidroxidoaren forma ezberdinak lortuko dira. Erreakzioa geldoa denean, kaltzio hidroxido kristalinoa sortzen da, eta azkarra denean, kaltzio hidroxido koloidala; oro har, forma horien proportzio ezberdinak egongo dira erreakzio-abiaduraren funtzioan. Forma koloidalak plastikotasun handiagoa ematen die morteroei, baita hareara gehiago onartzeko ahalmena ere.

Ur-kareen hilketa askoz ere konplikatuagoa da konposizioan dituzten silikato eta aluminatoak direla-eta. Normalean prozesuan, ur-karea ur-kantitate nahikoarekin nahasten da, metetan pilatu eta, tenperatura mantentzeko, harearekin estaltzen dira (tenperaturak zeresan handia dauka hidratazioan).

Silikato eta aluminato gatzek kareari izaera hidraulikoa ematen diote. Baina silikatoak urarekin (likido edo lurrun egoeran) erraztasun handiz aldatzen dira 120 °C azpitik; eta aluminatoak 140 °C azpitik. Beraz, tenperaturaren balioa ezingo

da 140 °C azpitik jaitsi, zeren amaierako produktuak ez bailuke propietate hidraulikorik izango.

Hilketa-prozesua egiteko erabiltzen diren sistemak hauek dira:

#### **a. Aire**

Kare biziak, airearekin kontaktuan jartzean, beronen hezetasuna xurgatu eta hilketa-prozesua gauzatzen du. Prozesua geldoa da, baina hilketaren ostean birkarbonatazio-prozesua gertatzen da inguruko CO<sub>2</sub>-ak eraginda. Horrela, bere propietate konglomeratzaileak galtzen ditu.

Hala ere, sistema hau karea erabili baino lehen, denbora-tarte batez, kontserbatu nahi denean da erabilgarria. Meta handiak prestatzen dira, anhidrido karbonikoarekin bakarrik goiko geruzak erreakzionatzen du, horrela karbonato-geruza fin bat sortzen da, zeinak barnean gelditzen den material guztia babesten duen.

#### **b. Ihintadura**

Sistema honetan kare bizia, geruzetan kokatu ostean, ureztatzen da. Segituan erabili behar bada, bahetu ostean edo bahetu gabe ontzira daiteke. Gorde behar bada, harearekin estaltzen da.

#### **c. Fusioa**

Putzu batean kare bizia sartu eta ura gehitzean datza, pasta-itxurako kare hila lortuz.

Obra batean karea hiltzen denean ere erabilgarria da sistema hau. Egoera horretan, haremeta batean egiten den zulo bat erabiltzen da kare bizia eta ura nahastuta morteroa lortzeko.

Gehitutako ur-kantitatea asko zaindu behar da, zeren kantitate handiak zein txikiak gehitzean arazoak sortzen baitira:

- Erreketa-fenomenoa ur-kantitate txikiegiak gehitzean edo irabiatze txar baten ondorioz gertatzen da. Horrela, karearen proportzio bat ur gutxirekin kontaktuan dago, tenperatura asko handituz.
- Uholde-fenomenoa ur-kantitate handiak gehitzen direnean gertatzen da, eta hidratazioa moteltzen du tenperatura txikiegi delako.

Fenomeno bietan, hidratazio partziala dela kausa, asaldak gertatuko dira materialean.

#### **d. Hidratatzaile mekanikoak**

Kalitate handiko kareak lortu nahi direnean, kare biziaren eta uraren dosifikazio zehatzak egin beharko dira, eta horretarako hidratadoreen erabilera oso egokia da.

Hala ere, kare purua hidratatzen denean, ur-kantitate bat lurruntzeko bero nahikoa sortzen da; gutxi gorabehera karearekin konbinatzen den ur-kantitatearen berdina lurruntzen da. Bero hori kanporatzen ez bada, hidratadorearen tenperatura handituko da, eta hidratoaren kalitatea txikitu eta, zenbait kasutan, erreakzioa bukatuko da hidratazio-prozesu osoa amaitu baino lehen. Horrela, kare bizia gehiegizko ur-kantitatearekin nahastu beharko da, lurrunketaren bidez bero-soberakina kanporatzeko.

Hilketa-prozesua gauzatzeko erabiltzen den sistema edozein izanda ere, karea ezin da fabrikatu eta berehala erabili; 4 edo 5 aste igaro beharko ditu biltegitratuta, airearekin kontakturik gabe, hidratazio perfektu eta totala gertatzeko, horrela saihestuko dira akatsak sor ditzaketen zabalkuntza atzeratuak.

#### *9.4.3.4. Biltegitratzea eta bidaltzea*

Kare bizia ezin da hilabete askotan biltegitratuta egon, erraztasun handiz hiltzen delako airearekin kontaktuan dagoenean. Zokorretan saltzen da, baina zenbait kasutan ehorta ere sal daiteke. Beti zaku iragaztezinetan eta ahalik eta hermetikoenetan ontziratzen dira.

Kare hidratatua hauts edo pasta egoeran sal daiteke ere, zaku hermetikoetan ontziratua karbonatazioa saihesteko.

Kare hidraulikoek arretazko neurriak behar dituzte kontserbatzeko. Biltegi lehorretan eta airearekin kontaktua eragotziz gorde behar dira. Askotan paperezko zakuetan ontziratzen dira.

### **9.5. KAREEN APLIKAZIOAK**

Kareak aplikazio-esparru zabalak ditu, esate baterako, paper, larru, kaltzio ziamina, alkali, azukre eta kautxu sintetikoaren fabrikazioan. Nekazaritzan ere kare-kantitate handiak erabiltzen dira ongarri moduan.

Bestalde, industria metalurgikoetan eta beiraren fabrikazioan ere askotan erabiltzen den produktua da.

Uren tratamenduetan ere aspalditik erabiltzen da. Zenbait uri kaltzio oxidoa gehituta kaltzio karbonatoa sortzen da, disolbaezina dena; berau prezipitatuz, uraren gogortasuna sortzen duten bikarbonatoak desagertu egiten dira.

Zenbait erabilera espezifiko:

#### **9.5.1. Kare-morteroak**

Kare-pasta batean uraren lurrunketa gertatzen ari denean, uzkurdurak gertatzen dira, eta, ondorioz, pitzadurak. Uzkurdura hori harea gehituz txikitu daiteke, hau da, kare-pastak erabili beharrean kare-morteroak erabiliz. Harea-kantitate txikiak gehitzen direnean, uzkurdura handia izango da; aldiz, harea asko gehitzean plastikotasuna eta erresistentzia txikituko dira.

Morteroetan erabiltzen den karea, hidraulikoa zein aire-karea izan daiteke; hidraulikoen kasuan, morteroak erresistentzia handiagoa izango du, eta gainera, ur azpian ere erabilgarria izango da.

Lehen aipatu den bezala morteroa adreiluak elkarrekin atxikitzeko erabiltzen da.

### **9.5.2. Luzituak**

Obra berriak ahalik eta azkarren sartu behar dira funtzionamenduan, kapital ibilgetua sortzen dutelako. Ez da interesgarria luzituaren fraguatzea geldoa izatea, amaierako obra-unitatea denez, obraren erabilera atzeratuko lukeelako.

Horregatik, fraguatze azkarragoa duten beste konglomeratzaile batzuekin nahasten da karea, igeltsu edo zementuarekin, esate baterako. Era horretan, nahasketak hauek karea dutenez, erabilera errazekoak dira eta, beste konglomeratzaileari esker, hasierako erresistentzia nabarmenak lortuko dituzte.

Karea, normalean, bera bakarrik ez da erabilgarria, lehorketa-prozesuan uzkuertzeko duen joeragatik luzituaren gainazalean sor ditzakeen pitzadurak direla-eta.

### **9.5.3. Adreilu siliko-kalkareoak**

Adreilu hauek, karez eta hareaz sortuak, mende bat baino gutxiagoko erabilera dute, ikus 78. irudia.



**78. irudia. Adreilu siliko-kalkareoa.**

Haien osagaiei, ur-kantitate zehatz batekin ondo nahastu ondoren, prentsaketaren bidez forma ematen zaie, eta autoklabe batean sartzen dira.

Harea adreiluaren % 90-93 (pisan) da eta silizean aberatsa. Erabilitako karea koipetsua zein hidraulikoa izan daiteke; haren aukeraketa harea motaren eta konposizio granulometrikorearen funtzioan dago, baita lortu nahi diren erresistentzien funtzioan ere.

## 10. Igeltsuak

### 10.1. SARRERA

Igeltsua antzinatik ezagutu eta erabili izan da, batez ere klima lehorreko herrialdeetan.

Baliteke sorrera Ekialde Ertainean izatea, sumertarrek eta asiriarrek askotan erabiltzen baitzuten, bertan dauden igeltsu-azaleratze garrantzitsuak direla-eta.

Antzinako Egipton, gero Grezian eta Erroman, eta geroago arabiar kulturaren erabili zuten material hau.

Nahiz eta historia luzea eduki, konglomeratzaile honek mendeetan zehar ia ez zuen aldaketarik jasan fabrikazioari dagokionez: era tradizionala erabili izan zen, harik eta denbora igaro ahala ekonomikoki garesti bihurtu arte. Dударik gabe, arrazoi horregatik bere erabileraren hedapena mugatua izan da. 1930. urtetik aurrera igeltsu-industriak bilakaera bat jasan zuen, fabrikazio-metodoak hobetuz eta kalitate-hobekuntzaren ondorioz, produktu mota gehiago sortuz.

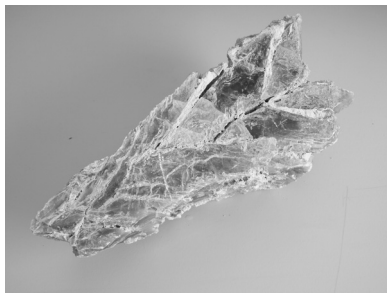
Estaldura-funtzioa betetzeaz gain, eraikuntzan gainera esparru termikoan eta akustikoan erabilgarria da; batzuetan bere forma tradizionalan erabiltzen da, eta beste batzuetan, pieza aurrefabrikatu moduan.

### 10.2. DEFINIZIOA ETA IZAERA

Igeltsua kolore zuriko materiala da, testura finekoa eta gogortasun txikikoa, kaltzio sulfato hidratatuaren kaltzinazioaren bidez lortzen dena. Azkartasun handiz gogortzen den konglomeratzailea izanik, barne-estaldurak egiteko erabiltzen da, batez ere.

Kaltzio sulfatoa hiru forma ezberdinetan aurki daiteke:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  eta  $\text{CaSO}_4$  moduan. Igeltsua deituriko harria askotan naturan aurkitzen da eta kaltzio sulfato dihidratatuz sortuta dago, ikus 79. irudia. Harri hori igeltsu komertziala fabrikatzeko erabiltzen den lehengai bakarra da.





**79. irudia. Igeltsua.**

Igeltsu komertziala lortzeko 170 °C-ra igotzen da lehengaiaren temperatura, haren deshidratazio partziala lortzeko, hau da,  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ .

Horrela, igeltsu errea edo deshidratatua lortuko da, urarekin oratzean birhidratatzen dena, dihidrato berria sortuz.

Igeltsua urarekin nahasten denean, proportzio egokietan, azkartasun handiz gogortzen den loditasun aldakorreko pasta bat lortzen da.

Igeltsu-harriaren tratamendu-tenperatura 170 °C bada, dihidratoak ur guztia galtzen du anhidrita disolbagarria,  $\text{CaSO}_4$ , lortuz. Produktu hori oso ezegonkorra izanik, atmosferako ura xurgatzean berehala egoera hidratatura igarotzen da.

Tratamendu-tenperaturak 300 °C-ak gainditzen baditu beste anhidrita mota bat sortuko da, berau egonkorra izanik azeleratzaile edo katalizatzaile jakin batzuk gehitzen ez badira, ez du fraguatuko. Oraindik tenperatura altuagoak erabiltzen badira tratamendua egiteko, 800 °C baino gehiago, igeltsu hidraulikoak lortuko dira.

### ***10.3. IGELTSUAREN PROPIETATEAK***

#### ***10.3.1. Ehotze-fintasuna***

Igeltsua deshidratatu ondoren fintasun handiarekin ehotzen da erabilia izan baino lehen.

Ehotze-fintasunak garrantzi handia dauka, igeltsuaren propietateetan eragin nabarmena duelako.

Igeltsuak, urarekin nahasten denean, pasta bat sortzen du, gogortzean, multzo monolitiko bat sortzen duena; hau da, igeltsuaren eta uraren artean erreakzio bat gertatzen da. Horrela, igeltsuaren fintasuna zenbat eta handiagoa izan, erreakzioa osoagoa izango da eta, beraz, lortuko den produktuaren kalitatea handiagoa izango da.

### **10.3.2. Fraguatzea**

Igeltsua urarekin nahasten denean, denbora-tarte laburrean gogortzen da. Fenomeno horri fraguatze deritzo, eta materialak jasaten duen berhidratazioaren ondorioa da.

Igeltsuak zementuak baino azkarrago galtzen du plastikotasuna; normalean, 8 minutu igaro baino lehen fraguatze-prozesuari hasiera ematen zaio eta beste 10 minutuz egoera plastikoan mantentzen da guztiz gogortu baino lehen.

Fraguatze-denboran hurrengo faktoreek dute eragina:

- Partikulen neurria: neurria handitzen denean, fraguatze-denbora ere handitzen da.
- Biltegitratze-denbora: biltegitratze-denbora handitzean fraguatze-denbora handitzen da, denbora igaro ahala anhidrita kopurua txikitzen doalako produktuan.
- Oraketa-ura: oraketa-ur kantitatea handitzean fraguatze-denbora handitzen da, hasierako dihidrato kontzentrazioa txikitzen delako.
- Oraketa-denbora: oraketa-denbora handitzean fraguatze-denbora txikitzen da, hidratazio-erreakzioak biziagoak direlako.

Igeltsuaren fraguatze-abiadurak aldatzeko hainbat substantzia erabil daitezke, hala ere, guztiak ez dira egokiak igeltsuaren gainerako propietateetan eragina izan dezaketelako, erresistentzian, gogortasunean eta zabalkuntzan, esate baterako.

Hidratazio-erreakzioa exotermikoa da, eta 20 eta 25 cal/g-ko beroa askatzen du; horrela, tenperaturak igoera handia eta azkarra jasaten du.

### **10.3.3. Zabalkuntza**

Berhidratazio-erreakzioan beroa askatzen den momentu berean, materialaren zabalkuntza gertatzen da kristalen hazkuntzak eraginda. Denbora igaro denean, igeltsua lehortzean, uzkurdua bat gertatzen da, aurretik gertatu den zabalkuntza konpentsatzen ez duena. Horrela, amaierako bolumen hazkuntza % 0,3 eta 1,5 bitartean dago.

### **10.3.4. Erresistentzia mekanikoak**

Igeltsuen trakzioarekiko eta konpresioarekiko erresistentziak honako ezaugarri hauen menpe daude: izaera, fintasun, oraketa-ur kantitate eta apurketa-momentuko hezetasun-edukiaren menpean.

Lehen aipatu den bezala, gehiegizko oraketa-ura gehitzea egokia da operazioa errazten duelako eta fraguatzea atzeratzen duelako. Baina ur-soberakin hori, —hidratazio-prozesu kimikoan parte hartzen ez duena— pastan mantentzen da

lurrunketarako baldintza egokiak izan arte. Pasta lehortzean, uraren lurrunketaren bidez, urak betetzen zuen espazioa hutsik gelditzen da, eta porotasun aldakorreko masa bat gelditzen da hasierako ur-edukiaren arabera.

Jakina, masa porotsu batek masa konpaktu batek baino erresistentzia mekaniko txikiagoak ditu.

### **10.3.5. Ur-xurgapena**

Igeltsua ezin da uraren eragin zuzena izango duen lekuetan kokatu, produktu hau uretan oso disolbagarria delako eta ura xurgatzean berehala galtzen duelako erresistentzia. Igeltsu gogortuaren erresistentzia orratz-itxurako dihidrato kristalen gurutzaketari zor zaiola uste da; horrela, materialak ura xurgatzean, kristalen arteko marruskadura txikitzen da, eta aldi berean, materialaren erresistentzia.

% 1eko ur-edukiak % 52ko erresistentzia-galerak sortzen ditu, igeltsua  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ -arekin soilik sortuta dagoenean.

Arazo hori konpontzeko produktuen iragazgaizte totala egin beharko da, horretarako erretxinak eta zenbait plastiko mota erabiliko dira: erretxina naturalak eta sintetikoak —erretxina furanikoak esaterako—, fenol formaldehido kondentsazio-produktuak, melamina formaldehidoa, erretxina akrilikoak, binilokoak eta poliestirenokoak, silikonak, etab.

### **9.3.6. Itsaskortasuna**

Oro har, igeltsu-pasten itsaskortasuna harri, adreilu eta abarrekin ona da, baina oraindik hobe da burdina eta altzairuarekin. Aldiz, egurrarekin duten itsaskortasuna txarra da.

Oro har, igeltsuaren itsaskortasuna denborarekin eta hezetasunarekin txikitzen dela esan daiteke.

### **10.3.7. Korrosioa**

Igeltsuak burdinan eta altzairuan korrosioa sortzen du, batez ere inguru hezeetan. Horrela, material horiek igeltsuarekin kontaktuan egoteko galbanizatu, margotu, etab. egingo dira, korrosioaren erasoetatik babesteko.

### **10.3.8. Suarekiko erresistentzia**

Igeltsuak, suteen aurrean, nahiko babes handia ematen du eraikuntzan, bere konposizio kimikoa dela-eta.

Igeltsu-piezaren tenperatura handitzen bada eta denbora-tarte batez mantentzen bada, kristalizazio-ura kanporatu egingo da beroa xurgatuz. Igeltsuaren deshidratazio hau suarekin kontaktuan dagoen gainazalean hasten da, eta apurka-apurka materialean barneratzen da.

Denbora igaro ahala, babes hau txikituz doa, eta, azkenean, ez da eraginkorra, baina tenperatura igotzen den lehenengo momentuetan igeltsuak ondo eusten dio.

## **10.4. IGELTSUEN FABRIKAZIOA**

### **10.4.1. Lehengaiak**

Kaltzio sulfato dihidratatua maiz aurkitzen da naturan. Arroka zuria da ezpuratasunekin kutsatuta ez dagoenean eta, oro har, kolore argiak ditu.

Haren gogortasuna Mohs-en eskalan 2 da eta haren itxurazko dentsitatea 2,3 eta 2,4 kg/dm<sup>3</sup> bitartean dago. Hurrengo berezitasunak aurki daitezke:

- Laminarra: ia gardena, gogorra eta oso purua.
- Haritsua: purutasun handikoa, zuntz kristalinoz sortua.
- Nodularra: oso konpaktua eta zeharrargitsua.
- Kristalizatua.

Igeltsu-harriak disolbagarritasun txikia du uretan, eta kareharrietatik ezberdindu daiteke azidoekin eferbeszentzia sortzen ez duelako.

Kaltzio sulfato dihidratatuak egitura monoklinikoa du. Haren sare kristalinoa kaltzio atomo eta sulfato taldeek osaturiko geruzek eta hauek banantzen dituzten ur molekulez eginiko geruzek osatzen dute. Urak leku garrantzitsua betetzen du egituran eta sarea apurtu beharko da kanporatzeko.

### **10.4.2. Harrobien ustiakuntza**

Igeltsua oso material merkea denez, fabrikazioan egiten diren operazio guztiek ere merkeak izan behar dute amaierako produktuaren prezioa lehiakorra izan dadin.

Horrela, igeltsu-arroka gainazalean agertzen denean soilik ustiatuko da, esplotazioa zero zabalean egin dadin; bestela, produkzio-kostuak asko handituko lirateke.

Erauzketarako erabiliko diren makinak produkzioaren magnitudearen menpean daude eta harrobitik atera daitezkeen beste mineralen funtzioan ere.

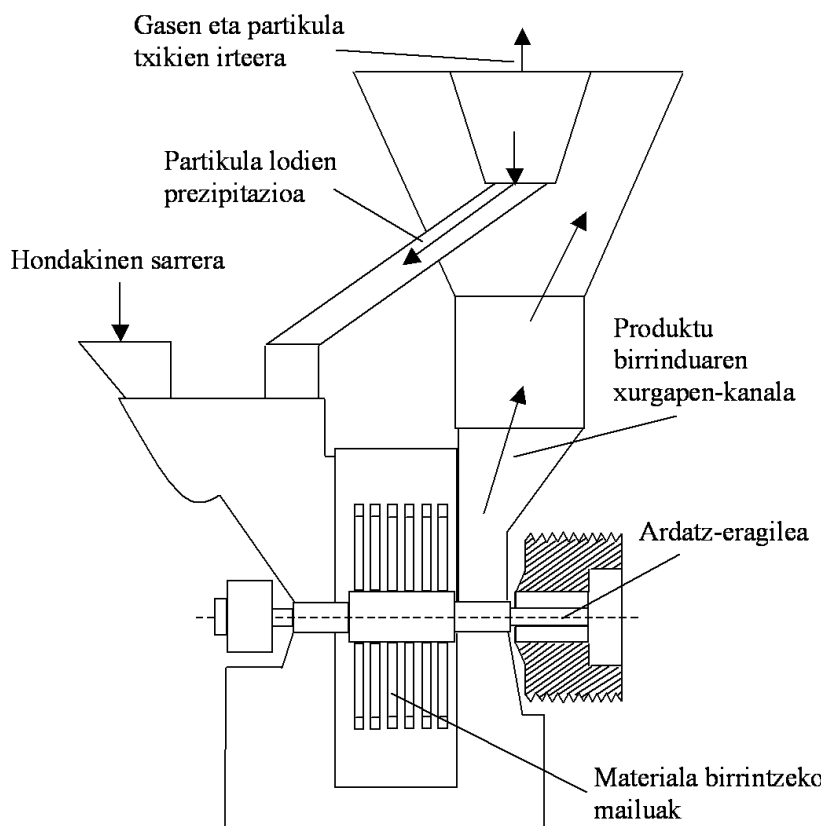
Esplotazioen neurria, gutxienez, 100 tona/egun den kasuetan aire konprimatuzko zulatze-makinak erabiliko dira; baina produkzio txikiagoetan, falkak, palankak, pikotxak, etab. erabiliz, zulatzea eskuz egiten zen orain gutxi arte.

### 10.4.3. Aurretiko birrinketa

Erabiliko den deshidratazio-sistemaren funtzioan lehengaien birrinketa-gra-  
dua aldakorra izan daiteke.

Batzuetan, harrobiaren ustiakuntza labeak behar duen granulometriaren fun-  
tzioan antolatzen da. Orduan, materiala zuzenean harrobitik labera garraiatzen da.

Beste zenbait kasutan, makina egokiak erabiliz aleen neurria txikitu beharko  
da. Makina erabilienak xehamakinak (ikus 80. irudia) eta errotak dira, lortu nahi  
den granulometriaren funtzioan aukeratuko direnak: lehenengo motakoek 2 edo  
3 cm-ra birrindu dezakete materiala, eta bigarren motakoak material finago bat  
emateko gai dira.



80. irudia. Xehamakinaren funtzionamendu-eskema.

#### 10.4.4. *Deshidratazioa, kaltzinazioa edo erreketak*

Erreketaren helburua igeltsu naturaletik,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -tik alegia,  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  edo  $\text{CaSO}_4$  forma anhidroa lortzea da. Amaierako produktuak urarekin nahastean fraguatzen dira eta dihidratoa birsortzen dute; horri zor dio igeltsuak bere izaera konglomeratzailea.

Igeltsu-harriaren temperatura igoz, material horrek ura bi fasetan ematen du: lehenengo erreketan, 125 °C inguruan, dihidratoa  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ -an eraldatzen da, eta bigarren erreketan, 180 °C inguruan,  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ -tik anhidritara igarotzen da.

Praktikan, erreketak gauzatzeko temperatura hurrengo faktoreen menpe dago: beroketa-abiadura, presio, igeltsuaren granulometria, dentsitate eta masaren irabiatzearen menpe.

Prozesua egiteko erabiltzen diren labe motak, hauek dira:

##### A. LABE BIRAKARIAK

Ardatz inklinatuzko labe zilindrikoak dira, materiala erraztasunez irteten dadin. Konbustio-gasak kanpoan kokaturiko sutondo batean sor daitezke tenperatura altuan labean sartuz.

Labea bere ardatzaren inguruan biratzen da masaren irabiatzea ziurtatuz, gainera, barruan para batzuk daramatzate labearen luzera guztian zehar materiala zabaltzeko, beronen metaketa saihestuz.

Igeltsu-harria lehendabizi 3 cm-ko neurrira txikituko da.

Labe hauek ez dira oso garestiak, funtzionamendu erraza dute, esku-lan gutxi eskatzen dute, energia-konsumoa txikia da eta edozein motatako erregaia erabil dezakete.

##### B. GALDARA

Igeltsu-industrian bereziki erabiltzen diren gailuak dira. Altzairuzko gorputz zilindriko bat dute, 2,5-4,5 m-ko diametrokoa eta 1,8-4,2 m-ko altuerakoa.

Galdararen goiko aldean ate bat dago igeltsu-harria sartzeko eta aireztapen-hodi bat, zeinak sortzen diren keak hauts-kolektore batera garraiatzen dituen. Beroketa, galdara zeharkatzen duten hodi horizontal batzuen bidez egiten da. Normalean, lau hodi daude, binaka, bata bestearen gainean jarrita (ikus 81. irudia) edo plano berdinean kokatuta. Ardatz bertikaleko irabiagailu batek igeltsu-masan gainberoketak gertatzea ekiditen du. Deskarga-atea beheko partean kokatzen da.

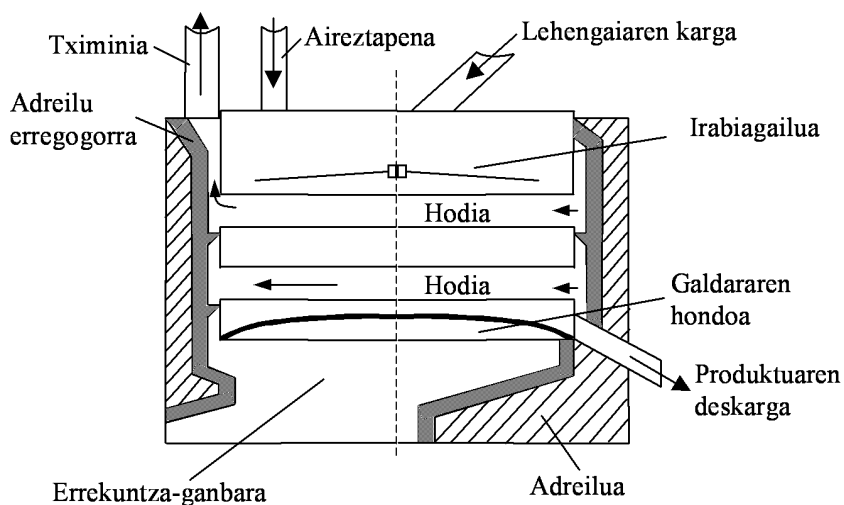
Galdara sutondo baten gainean kokatuta dago adreilu erregogorrez eginiko euskarri batean ezarririk.

Karga-atetik igeltsu-harria sartzen da, neurri finera ehorik, galdara bete arte. Karga-operazioa aurreko karga hustu ondoren, segituan, egiten da; prozesu hau egiten ari den unean tenperatura, gutxi gorabehera, 110 °C-ra jaisten da.

Egoera horretan, tenperatura apurka igotzen da 120 °C lortu arte, puntu horretan igeltsua irakiten dagoela dirudi, eta ur-lurruna askatu. Tenperatura konstante mantentzen da erreketak baretu arte, eta orduan mailaka igotzen doa.

Irakite-prozesua 150 °C eta 165 °C bitartean gelditzen da, ez da ia lurrunik askatzen, edo bat ere ez, eta masaren bolumena % 10-14 txikitzen da. Baretze-prozesu honek igeltsu partikulak  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ -ra deshidratatu direla esan nahi du. Beroketak aurrera dirau 170 °C lortzen diren arte, orduan, deskarga egiten da.

Zenbait galdara motak, beroketa ur beroa garraiatzen duen hodibihur bat erabiliz egiten dute, tenperaturaren erregulazio zehatza bahimenduz eta kalitate altuko materialak sortuz.



81. irudia. Galdarak igeltsuaren fabrikaziorako.

#### 10.4.5. Ehoketa, biltegiatzea eta ontziraketa

Erreketaren ostean egiten den ehoketa, mailu-errotak edo bola-errotak erabiliz egiten da, produktuari fintasun handia eskatzen bazaio.

Nahiz eta deshidratazio-sistemak materialaren aurretiko ehotze bat eskatu, normalean, kaltzinazioaren ostean ehoketa bat egin beharko da ere.

Igeltsu ehoa hezetasunetik babesturiko silo itxietan metatzen da, hidratazioa saihesteko.

Batzuetan jatorri ezberdineko edo fabrikazio-data ezberdineko igeltsuen homogeneizazioa egin beharko da sistema mekanikoak edo pneumatikoak erabiliz.

Igeltsua siloetan sartzean egonkortzen da eta bere kalitatea hobetzen.

Fabrika moderno guztietan ontziratze-makina automatikoak erabiltzen dira paperezko zakuak betetzeko eta ixteko.

### ***10.5. IGELTSU MOTAK ETA APLIKAZIOAK***

Igeltsu komertziala fabrikatzeko erabiltzen den lehengaiak beste harri batzuen nahasteak izan ditzake meatokian zeuden materialen arabera; horiek igeltsuaren ezpurutasunak izango dira. Sulfato-kantitate handiak dituzten igeltsuak egiteak lehengaien selekzio ona egitea eskatzen du.

Igeltsuaren purutasunaren arabera honako sailkapen hau egiten da:

- YG: eraikuntzarako igeltsu lodia. % 75eko purutasuna dauka.
- YF: eraikuntzarako igeltsu fina. % 80ko purutasuna dauka.
- YP: aurrefabrikatuertarako igeltsua. % 85eko purutasuna dauka.
- E-30: eskaiola. % 90eko purutasuna dauka.
- E-35: eskaiola berezia. % 92ko purutasuna dauka.

Igeltsu mota guztiek gogortze-prozesua erregulatzen duen gehigarriren bat eraman dezakete. Gehigarri horiekin mota guztietako klase geldoko igeltsuak fabrikatzen dira, aurrefabrikatuak izan ezik.

Igeltsuei eskatzen zaien flexotrakzioarekiko erresistentzia hauxe da: 20 kg/cm<sup>2</sup> baino handiagoa YG motarentzat, 25 kg/cm<sup>2</sup> YF motarentzat eta 30 kg/cm<sup>2</sup> YP motarentzat. Eskaiolen kasuan, E-30-entzat 30 kg/cm<sup>2</sup> baino erresistentzia handiagoak eta E-35-entzat 35 kg/cm<sup>2</sup> baino handiagoak eskatzen zaizkie.

Igeltsu mota bakoitzak honako aplikazio hauek ditu:

#### **A. YG mota**

Trenkadak, trenkaden estaldurak eta konglomeratzaile lagungarriak egiteko erabiltzen den lotura-pasta moduan erabiltzen da.

Itsaspen ona daukate eraikuntzako material gehienekin: adreiluekin, harlangaitzekin eta egurrarekin ere.



**B. YF mota**

Trenkaden luzituak eta barne-estalduren zuriketak egiteko erabiltzen da, batez ere.

**C. YP mota**

Trenkadetarako aurrefabrikatuak egiteko erabiltzen den produktua da.

**D. E-30 mota**

Eskaiolazko trenkadetako eta sabaietako elementu aurrefabrikatuak egiteko erabili ohi da.

**E. E-35 mota**

Eskaiola berezia apaingarri-lanetan eta sabaietako elementu aurrefabrikatuetan erabili ohi da.

# 11. Hormigoiak

## 11.1. SARRERA

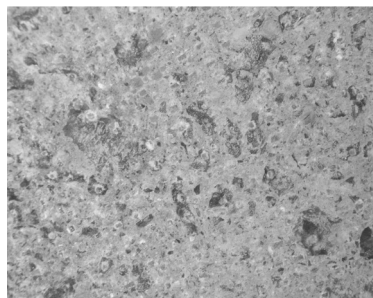
Hormigoia oso material garrantzitsua da ingeniartzan, eraikuntzetan asko erabiltzen baita. Haren kostu txikia dela-eta, iraunkortasun handia eta suteen aurrean erresistentzia handiak dituelako, oso material interesgarria da; gainera, obran bertan fabrikatzeaz gain, forma ezberdinetan molde daiteke erraztasun handiz. Hala ere, zenbait desabantaila ere baditu: trakzioen aurrean erresistentzia txikia, harikortasun txikia eta uzkurdura, besteak beste.

## 11.2. DEFINIZIOA

Hormigoia material konposatu edo konposite bat da. Material horiek bi material elkartzen direnean sortzen dira; material berriaren propietateak bi materialek dituztenen nahasketa dira. Normalean, zurruntasun, erresistentzia, pisu, temperatura altuen aurreko errendimendu, korrosioarekiko erresistentzia, gogortasun edo eroankortasun ezaugarrien konbinazio ezohikoak lortzeko erabiltzen dira.

Konpositeak hiru taldetan sailka daitezke erabilitako materialen arabera: partikulak, zuntzak edo laminak. Hormigoia, normalean porlan zementuz eginiko matrize gogor (material aglutinatzaile) batean txertaturiko agregakinez (material pikortsu lodia), urez eta gehigarriez egina dago. Produktu hau partikula-lazko konpositeen artean sailkatzen da.

Irudian, ikus 82. *irudia*, hormigoi gogortu bat agertzen da. Zementu-pastak itsasgarri moduan jokatzeko du partikula lodia elkarri lotuta mantenduz.



82. irudia. Hormigoi-lagina.

Hormigoiaren propietateak hurrengo faktoreen menpe daude:

- Bere osagaien propietateen menpean.
- Nahasketaren proportzioaren menpean.
- Fabrikazio-prozesuaren menpean, garraio eta kokalekuaren funtzioan.
- Inguruko baldintzen menpean (ontze-prozesua).

Faktore horiek guztiak «Instrukzioak» deiturikoetan araututa daude. Gaur egun, estatu mailan, 2008ko «Instrucción de Hormigón Estructural» deituriko araua erabiltzen da (EHE-08). Gainera, beste dokumentu ofizial batzuk daude zenbait materialek bete behar dituztenak, Baldintza Plegu izenez ezagutzen direnak. Horietaz gain, UNE arauak daude bi taldetan banatuta: batzuek materialek bete behar dituzten ezaugarriak azaltzen dituzte (Baldintza Pleguek bezala baina ez dute izaera loteslerik), eta besteek aipaturiko ezaugarriak neurtzeko egin beharreko saiakuntzak definitzen dituzte.

### **11.3. OSAGAIAK**

Lehen aipatu den bezala, hormigoia osagaiak agregakinak, zementua, ura eta gehigarriak dira.

#### **11.3.1. Agregakinak**

Hormigoia osagai nagusia dira, bolumen totalaren % 65-80 bitarteko portzioetan aurki baitaitezke.

Agregakinak material pikortsu kimikoki inerteak dira, izaera inorganikoa dutenak eta 0-100 mm bitarteko neurriak dituztenak.

Agregakin gisa hareak eta legarrak erabil daitezke, edo harri birrinduak eta beste material natural zein artifizial batzuk; haien erabilerak arazorik sortuko ez duela ziurtatu beharra dago, eta batzuetan haien baliagarritasuna saiakuntzen bidez frogatu beharko da.

##### **11.3.1.1. Sailkapena**

Agregakinak hurrengo irizpideak erabiliz sailka daitezke:

#### **A. Lorbidearen arabera**

- Naturalak: naturatik zuzenean lortutako harriak dira, prozesu naturalen bidez birrindu direnak edo artifizialki txikituak izan direnak.
- Artifizialak: industrietatik lorturiko produktuetatik edo azpiproduktuetatik lortuak (zepak adibidez).

#### **B. Iturri geologikoaren arabera**

- Igneoak: talde honetan granitoa eta basaltoa daude; arroka intrusiboen barruan ezaugarri mekaniko onak dituzte; bestalde, apar-harriak ere, arroka efusiboen barruan, zenbait kasutan erabilgarriak dira.
- Sedimentarioak: hormigoian izaera karbonatua duten kareharrizko agregakinak askotan erabiltzen dira edo izaera silizeoa duten agregakin kuartzi-tikoak.

- Metamorfikoak: talde honek, oro har, ezaugarri mekaniko onak ditu, hala ere forma-koefiziente txikiko partikulak sor ditzake. Talde honen adibide bat arroka kuartzitiko metamorfizatuak dira.

### C. Itxurazko dentsitatearen arabera

- Normalak: 2 eta 3 t/m<sup>3</sup> artean.
- Pisutsuak: 3 t/m<sup>3</sup> baino handiagoak.
- Arinak: 2 t/m<sup>3</sup> baino txikiagoak.

### D. Neurrien arabera

- Xeheak edo harea: neurri maximoa 4 mm baino txikiagoa.
- Lodiak edo legarrak: neurri minimoa 4 mm baino handiagoa.

#### 11.3.1.2. Ezaugarriak

### A. DENTSITATEA

Material baten dentsitatea masa bolumen unitateko moduan definitzen da; masak balio bakarra dauka, balantza batek neurtutakoa izango dena; bolumenak, aldiz, materiala porotsua bada, balio ezberdinak izan ditzake.

Material porotsuek airez beteriko hutsuneak dituzte barnean. Material baten poroak bi motatakoak izan daitezke, ikus 83. irudia:

- Airea sartzeko erraztasuna daukatenak zuzenean ingurunera konektatuta daude.
- Materialaren barruan gelditzen diren huts isolatuak, ingurunearekin konexiorik ez dutenak.



### 83. irudia. Aleen poroak hormigoietako agregakinetan.

Beraz, ezin daiteke agregakinen dentsitate bakar batez hitz egin; poro motek definituriko bolumenaren arabera, hainbat dentsitate definitzen baitira:

- **Dentsitate absolutua:** materialaren pisua bere bolumen absolutuaz zatitzean lortzen da; bolumen absolutua materia solidoaren bolumenaren eta ingurunearekiko konexioa duten eta ez duten poroen bolumenaren arteko kendura izanik.
- **Dentsitate erreala edo erlatiboa:** materialaren pisua zati bere bolumen erreala da, hau da, bolumena kalkulatzeko ingurunearekin konexioa duten hutsuneak bakarrik kentzen dira; bestea, bolumenaren zati kontsideratzen dira.
- **Itxurazko dentsitatea:** materialaren pisua zati bere itxurazko bolumena da, hau da, ingurunearekin konexioa duten eta ez duten poroen bolumena materialaren zati kontsideratzen dira.

Dentsitate absolutua erlatiboa baino handiagoa da; eta, aldi berean, berau itxurazko dentsitatea baino handiagoa.

Agregakinen dentsitatearen kalkulua saiakuntza normala da, hormigoia erresistentzia egiteko orduan behar den datua baita.

Itxurazko dentsitate handi batek adierazten du agregakinak kalitate ona daukala, oso erresistentzia handikoa eta gogorra izango da; aldez, dentsitate txikiak agregakin ahulen, porotsuen eta xurgatzaileen ezaugarriak dira.

Agregakinen izaeraren arabera eraikuntzan erabiltzen direnen dentsitate errealak 2,4 eta 3,0 kg/dm<sup>3</sup> bitartean daude.

Gainera, garrantzitsua da agregakinek ura xurgatzeko duten ahalmena eza gutzea, hormigoia lanketa-uraren zati bat xurga dezaketelako eta haren loditasunean eta gogortasunean eragin zuzena eduki. Xurgapen-koefizientea agregakinelagin batek pisu lehorrarekiko xurgaturiko ur-pisua da, ehunekoetan adierazita. Instrukzioaren arabera, gehiegizko balioa % 5 da harearentzako eta baita legararentzako ere.

## B. POROSITATEA ETA XURGAPENA

Agregakinen porositateak eta ur-xurgapenak eragin handia du zementu-pastarekin daukan itsaskortasunean eta, beraz, hormigoia erresistentzia mekanikoetan. Izozte-zikloetan agregakinek duten iraunkortasunean ere eragina dute.

Hormigoietan erabilitako agregakinen porositate totala % 0tik 37ra doa karre-harritzko jatorria dutenentzat, % 2tik 15era siliziozkoak direnentzat eta % 0,4tik 3,8ra jatorri granitikoak dutenentzat.

Agregakin-ale batek bere pisu lehorrarekiko xurgatzen duen ur-portzentajeari xurgapen-koefiziente deritzo. Matematikoki era honetan adieraz daiteke:

$$K = \frac{P_1 - P}{P} \times 100$$

non:

$K$  = xurgapen-koefizientea (%-tan) den

$P_I$  = gainazal lehorra duen agregakin saturatuaren pisua den

$P$  = agregakin lehorren pisua den

Hormigoiaren Instrukzioak —UNE 83.133 eta 83.134 arauetan— eskatzen du uraren xurgapena % 5 edo txikiagoa izatea.

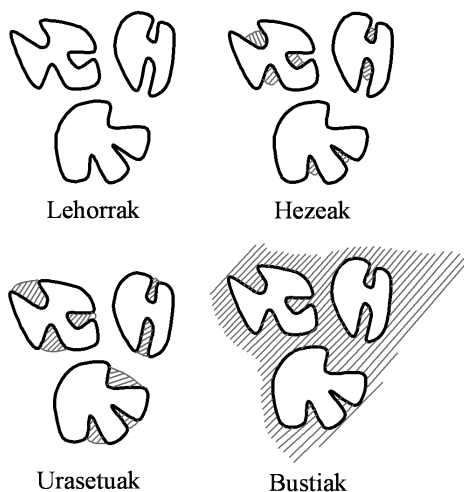
### C. HEZETASUNA

Agregakinek daukaten hezetasuna ezagutzea, hareak duena batez ere, oso garrantzitsua da ur/zementu erlazioan eragin zuzena duelako.

Ur-edukiaren arabera, agregakinak era honetan sailka daitezke, ikus 84. irudia:

- Berogailu batean 100 °C baino tenperatura altuagoetan lehortutakoak.
- Hezeak edo airean lehortuak, hau da, gainazal-hezetasunik gabe baina bai barne-hezetasunarekin.
- Saturatuak gainazal lehorrekin, hau da, ur-askea ez dutenak.
- Bustiak, ur librearekin.

Lehenengo bi egoeretan agregakinek ur gehiago xurga dezakete; azkeneko egoeran oso bustita daude eta hormigoiaren beste osagaiei ura emateko gai dira.



**84. irudia. Hormigoiaren agregakinen hezetasuna.**

Hezetasun-koefizientea,  $k$ , era honetan definitzen da:  $P = k \cdot P_h$ , non  $P$  pisu lehorra den, eta  $P_h$  pisu hezea.

Agregakin baten hezetasuna,  $h$ , ehunekoetan hurrengo adierazpenaren bidez kalkula daiteke:  $h = \frac{P_h - P}{P} \times 100$ .

Harea baten hezetasuna oso garrantzitsua da hormigoiaren erresistentzian izan dezakeen efektu txarra dela-eta.

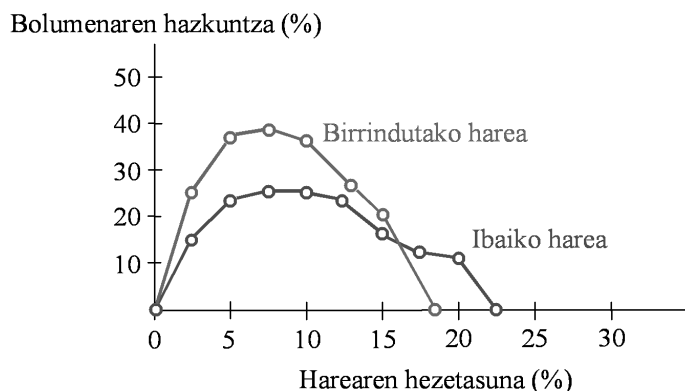
### D. HANPADURA

Hareen hanpadura hezetasuna hartzen dutenean jasaten duten bolumen-hazkuntza da. Harea batean ur-kantitatea handitzen denean, muga jakin bat arte, harea

horren bolumena handitu egiten da ale bakoitza inguratzen duen ur-pelikulari esker.

Hareen hanpadura ezagutzea oso garrantzitsua da, batez ere dosifikazioak bolumenean egin behar direnean.

Harea baten hanpadura bere hezetasunaren menpean dago, baina baita aleen tamainaren menpe ere, 85. irudian ikus daitekeen moduan.



### 85. irudia. Hormigoian erabilitako hareen hanpadura.

Agregakin lodiek hanpadura oso mugatua jasaten dute, ur-pelikula oso txikia delako agregakinaren neurriarekin konparatuta.

Gainera, harea lehor bati, ura gehitzen zaionean, bere bolumena maximo bateraino heldu arte handitu egiten dela ikus daiteke; puntu hori hezetasun kritikoa- rekin bat dator. Hortik aurrera, bolumena berriro gutxitzen da harea lehor zegoen balio berdineraino heldu arte. Fenomeno hau uholdetan azaltzen da, hezetasun-eduki kritikotik aurrera ura aleen zirrikituetatik igarotzen denean, aleak berriro elkartuz.

Hanpadura ( $E$ ) hurrengo adierazpenaren bidez kalkulatzen da:

$$E = \frac{V_i - V_f}{V_f} \times 100$$

non:

$V_i$  = harea hezearen hasierako bolumena den

$V_f$  = harearen amaierako bolumena den guztiz bustita dagoenean (uholdea), harea guztiz lehorren balioarekin bat egingo du

## E. ERRESISTENTZIA MEKANIKOAK

Hormigoi baten konpresioarekiko erresistentzia ezin da izan bere agregakinek duten erresistentzia baino handiagoa.

Hormigoiaren erresistentzian agregakinen erresistentziak zeresan handia dauka, baita haien formak, testurak, gainazal-garbitasunak eta xurgapen-ahalmenak ere.

Hormigoiak egiteko orduan  $100 \text{ N/mm}^2$ -ko konpresioarekiko erresistentzia baino handiagoak dituzten agregakinak erabiltzen dira normalean, baina hormigoian lortzen diren konpresioarekiko erresistentzien balioak  $20\text{-}60 \text{ N/mm}^2$  bitartean daude soilik.

## **F. FORMA**

Agregakinaren kanpoko formak eragin nabarmena dauka hormigoi oratu berrian eta gogortuan, mantsotasunean eta erresistentzia mekanikoetan esate baterako.

Agregakinek izan ditzaketen formak hauek dira: biribilduak, ertz askokoak eta lauak. Agregakinak biribilduak direnean, hormigoi mantsoak lortzen dira, forma esferatik zenbat eta gertuago egon, erresistentzia handiagoa izango da. Birrintatetik datozen ertz askoko agregakinek, aldiz, lantzeko zailagoak diren hormigoiak sortzen dituzte; hala ere, efektua gutxitu egiten da poliedro askoko aurpegiak dituzten aleak erabiltzen direnean. Agregakin lauek hormigoien kalitatea gutxitzen dute euren formek eragina baitute erresistentzian; horretaz gain, plano batean orientatzeko joera dutenez, haien azpian ura eta airea metatu daitezke eta hormigoia iraunkortasuna txikitu.

## **G. PASTAREN ETA AGREGAKINAREN ARTEKO ITSASKORTASUNA**

Zementu-pastaren eta agregakinaren arteko itsaskortasuna agregakinaren formaren, porositatearen, izaeraren eta batez ere, bere gainazal-egoeraren menpe dago.

Agregakinaren gainazalean buztina badago, trakzioarekiko erresistentzia txikitu egiten da, itsaskortasuna txikitu egiten delako. Garbiketa-prozesu baten bidez buztin hori kendu egiten da.

Eskala makroskopikoan lotura posible egiten duen itsaskortasun mekanikoa agregakinen gainazalaren egoeraren menpe dago. Gainazalak zenbat eta zimur gehiago izan, handiagoa izango da itsaskortasun hori; izan ere, agregakin birrintuek itsaskortasun eta trakzioarekiko erresistentzia handiena ematen diote hormigoari.

### *11.3.1.3. Granulometriaren azterketa*

Agregakin baten azterketa granulometrikoa bere partikulen neurriak zehaztean datza, hau da, neurri berdineko frakzio ezberdinetan banatzea, gero masa osoarekiko sortzen duten portzentajea kalkulatzeko.



Agregakin baten neurrien araberako banaketa bahe normalizatuarekin bahetuz egiten da. UNE arauen arabera, baheek honako maila-zuloa izan beharko dute mm-tan: 0,16; 0,32; 0,63; 1,25; 2,50; 5,00; 10,00; 20,00; 40,00; 80,00.

Bahaketa neurri handieneko bahetik hasten da; frakzio batek zeharkatuko du eta bestea bertan metatuko da. Bahea zeharkatu duen frakzioarekin bahaketa berria egiten da neurri txikiagoko bahe bat erabiliz, eta horrela harik eta bahe txikienera heldu arte.

Bahe bakoitzean geldituriko pisuaren eta laginaren pisu totalaren arteko erlazioak bahe horretan gelditu den portzentaje partziala ematen du. Hala ere, azterketa egiteko orduan bahe bakoitzean gelditu den portzentaje metatua erabiltzen da, hau da, bahe konkretu bat baino lehen, maila-zulo handiagoko baherik egongo ez balitz, metatuko lukeen portzentajea litzateke.

Laginaren bahaketa egin ondoren lortutako datuak grafikoki adierazten dira. Ordenatu-ardatzetan bahe bakoitzetik igarotzen diren portzentaje metatuak jartzen dira, eta abzisatan, haien maila-zuloaren neurriak. Granulometria-kurbak erabilgarriak dira ikusteko ea agregakinek gehiegizko frakzio lodiak edo xeheak dituzten edo neurrietan ez-jarraitutasunak dauden .

Agregakin batean neurri guztietako frakzioak daudenean, granulometria jarraitua duela esaten da. Aldiz, neurrien jarraitutasuna desagertzen bada, frakzio batzuk falta direlako, agregakinak granulometria ez-jarraitua duela esaten da.

Agregakinaren neurri maximoa % 90eko pisua igarotzen den bahearen zulo minimo gisa definitzen da, gainera zulo horren neurriaren bikoitza duen bahetik pisu totala igarotzen denean. Agregakinaren neurri maximoa zenbat eta handiagoa izan, orduan eta ur-kantitate gutxiago erabili beharko da hormigoia egiteko, busti beharreko gainazal espezifiko txikiagoa izango delako; horrela, zementu-kantitatea mantenduz, ur/zementu erlazioa txikiagoa izango da, eta, beraz, erresistentziak handiagoak. Hori 40 mm-ko neurrira arte betetzen da; neurri handiagoekin erresistentziek murriztaperen txiki bat jasaten dute, itsaspen-azaleran gertatzen den txikiagotzearen ondorioz, eta partikula handiegiek sortzen dituzten ez-jarraitutasunen ondorioz, batez ere nahasketak zementutan aberatsak direnean.

UNE seriearen bahetan metaturiko portzentajeen baturari modulu granulometriko deritzo zulo handienekoa barne zati 100. Modulu horrek hormigoia batean erabilitako agregakinaren batez besteko neurriaren ideia ematen du, eta bere ezagupena garrantzitsua da modulu berdina duten agregakinek ur-kantitate berdina behar dutelako, mantsotasun eta erresistentzia berdineko hormigoiak emateko zementu-kantitate berdina erabiltzen badute.

Agregakinen azterketaren bidez lorturiko granulometriak neurrien araberako partikulen distribuzioa adierazten du eta zein proportziotan nahastu behar diren

trinkotasun maximoko granulometria-kurba idealari jarraitzeko. Zenbat eta trinkotasun handiagoa izan, hainbat eta handiagoa izango da hormigoiaren erresistentzia.

Agregakinek, beren artean ahalik eta hutsune kopuru txikiena izateko, neurri-banaketa eta portzentaje egokia izan behar dute; horrela, partikulak elkarri atxikirik mantentzeko zementu-beharra txikitu egingo da, eta, aldi berean, trinkotzea gertatzen denean, hutsuneetatik filtrazioa ekidin egingo da. Ondorioz, zementueskaera txikitu eta hormigoi merkeagoa lortuko da.

### **11.3.2. Zementua**

Hormigoiaren fabrikazioan agregakinen arteko lotura zementuen bidez lortzen da; oro har, porlan motakoak erabilienak izanik; horiek konglomeratzaile hidraulikoen familiakoak dira, hau da, jatorri inorganikoa duten hauts-itxurako material artifizialak, urarekin erreakzionatzean solido erresistenteak eta egonkorak ematen dituztenak, uretan zein airean.

Zementuaren gogortze hidraulikoa kaltzio silikatoen hidratazioari sor zaio; prozesu horretan beste konposatu kimikoek ere parte har dezakete, aluminatoek esate baterako.

Hasieran zementua eta ura nahastean sortzen den pasta egoera moldagarrian dago. Denbora igaro ahala (bat edo bi ordutan) sorturiko lehenengo hidratoen biskositatea handituz doa harik eta materiala solido zurruna bihurtu arte. Fraguatze-prozesua zementu-pastak lehenengo orduetan lortzen duen zurruntasuna da. Fraguatze-prozesuaren hasiera zurruntasun horren hasiera da, zementu-pastaren biskositatea handitzen doanean. Fraguatzearen amaiera zementuaren plastikotasunaren galera totala da (moldeatzeko kapazitatearen galera moduan ulertua), zeinaren ondorioz solido zurrun baten portaera hartuko baitu.

SC<sub>3</sub> (trikaltzio silikato) kantitate altuko zementuak arinago gogortuko dira, baita tamaina txikian birrindutako zementuak ere. Giro-tenperatura handitzen denean, gogortze-prozesua azkartuko da.

Hidratazio-erreakzioak exotermikoak direnez, fraguatzeak tenperatura igoera bat sortzen du zementu-pastan.

Zementuek RC-08 Instrukzioa bete behar dute.

### **11.3.3. Ura**

Uraren erabilera hormigoiaren fabrikazioan EHE Instrukzioan araututa dago.

Erabili behar den uraren baliagarritasuna neurtzeko hurrengo parametroak aztertu beharko dira: pH-a, disolbaturiko substantziak, sulfatoen edukia, eterrean disolbagarriak diren substantzia organikoen kantitateak, kloro ioiaren edukia eta karbono hidratoak.

### **11.3.4. Gehigarriak**

Gehigarri kimikoak % 5 baino proportzio txikiagoetan hormigoiari gehitzen zaizkion substantziak dira, dela lantze-prozesua egiten ari den bitartean dela amaieran gehiegizko lanketa bat eginez. Haien helburua hormigoiaren propietateren bat hobetzea da.

Gehigarriak UNE EN-934-2:2002 arauan sailkatu eta definitzen dira. Arau horrek gehigarriek bete behar dituzten baldintzak ere adierazten ditu.

Gehien erabiltzen diren gehigarriak hauek dira:

#### **a. Plastifikatzaileak**

Efektu fisiko-kimiko baten bidez hormigoi freskoaren fluidotasuna hobetzen duten produktuak dira, papergintzatik lorturiko azpiproduktuak izanik.

Hormigoiaren loditasuna alda dezakete produktu fluidoagoak emanez (loditasun lehorretatik plastikoetara pasatzea ahalbidetzen dute); edo hormigoiaren loditasuna mantenduz, ur-edukia % 15ean txikitu dezakete. Horrek erresistentzien igoera dakar, ur/zementu erlazioa txikitzen delako. Gainera, masaren banaketa-arriskua saihesten dute kohesio handiagoko hormigoiak emanez.

Gogortze-prozesuan atzerapen txikiak sortuko dituzte baina ez diote hormigoiari kalte handirik sortuko.

Hormigoi armatuko piezak, erresistentzia altuko hormigoiak edo ponpaturiko hormigoiak egiteko gehitzen dira.

#### **b. Superplastifikatzaileak**

Hormigoi freskoaren fluidotasuna nabarmenki handitzen duten gehigarriak dira, petrolioaren tratamendu industrialaren azpiproduktuak izanik.

Funtzio bikoitza dute: alde batetik, hormigoiaren loditasuna aldatzeko gai dira produktu fluidoagoak lortuz, eta bestalde, hormigoiaren loditasuna mantenduz % 30 arte txikitu dezakete ur-edukia eta erresistentziak handitu, ur/zementu erlazioa txikitu egiten delako. Gainera masak duen banatzeko arriskua txikitzen dute, kohesio handiagoko hormigoiak lortzen direlako. Horrez gain, erresistentzia hobetzen dute zementuaren hidratazio osoago bat lortzen delako, zementuaren eta uraren arteko kontaktu hobe ematen baita.

Loditasun txikiko hormigoiak lortzeko erabiltzen dira; armadura asko erabiltzen diren obretan, materiala altzairuzko barren artean arazo gabe sartzeko erabilgarriak izan daitezke ere.

#### **c. Atzeratzaileak**

Produktu hauek zementuaren gogortze-prozesuaren hasieran atzerapen bat eragiten dute. Hormigoiaren igeltsuaren disolbagarritasunaren hazkuntza sortzen

dute, izatez zementuaren gogortze-prozesuaren atzeratzaile bat dena. Zementuaren osagai anhidroen disolbagarritasuna ere txikitu egiten dute, urarekin erreakzio kimikoak atzeratuz.

Izaera inorganikoa izan dezakete, hala nola zenbait metal astunen gatzak edo aluminio kloruro modukoak, baina izaera organikoko atzeratzaileak ere erabilgarriak dira, azukreak esate baterako.

Esan bezala, funtzio nagusia zementuaren gogortze-prozesuaren hasiera atzeratzea da, ordu batetik 1 edo 2 egun arte. Era horretan, garraioa eta kokapena egiteko dagoen denbora handitu egiten da. Funtzio sekundario bat ere badute, alegia, hormigoiaren luzaroko erresistentziak handitzea; izan ere, zementuaren hidratazio-beroa nabarmenki txikitzea lortzen dute. Hala ere, hormigoiak denbora gutxi duenean erresistentziak txikitu egiten dituzte.

Giro-tenperatura altuak dauden kasuetan erabiltzen dira.

#### **d. Azeleratzaileak**

Produktu hauek zementu baten gogortze-prozesuaren hasiera-denbora txikitu egiten dute. Normalean erabiltzen den azeleratzailea kaltzio kloruroa da; hala ere, sortzen dituen korrosio-arazoak direla-eta, hormigoi armatua fabrikatzeko sodio aluminatoa erabiltzen da.

Haren efektua igeltsuaren eta trikaltzio aluminatoaren arteko erreakzioan katalizatzaile moduan jokatzeko da, aluminatoaren efektu atzeratzailea ekiditeko. Bestalde, zementuaren konposatu anhidroen disolbagarritasuna uretan ere handitzen dute, haien erreakzio kimikoa eta prezipitazioa sortuz.

Azeleratzaileak hormigoi proiektatuan erabiltzen dira, giro hotzetan hormigonatu behar denean eta aurrefabrikatuen fabrikazioan.

#### **e. Aireztatzaileak**

Gehigarri hauek aire-bolumen jakin bat gehitzen dute hormigoiaren masan, izozteen aurka erresistentzia handitzeko edo dentsitatea gutxitzeko.

Zuhaitzetako erretxina naturaletatik lortzen dira.

Plastifikatzaile moduan ere jokatzen dute, hormigoi freskoan sortzen dituzten burbuilek partikula xehe moduan jokatu eta, hormigoi mantsoago bat ematen dute. Ur-galerak gutxitu egiten dira burbuilek poro kapilarrak oztokatzen dituztelako, uraren migrazioa gainazalera galaraziz. Hormigoiaren iragazkortasuna txikitzen dute, zeren oztokatzen baitute urak poro kapilarretatik zehar aurrera egitea.

Aire okludituak hormigoiaren erresistentzia txikitu egiten du, horixe da produktu hauen efektu sekundario txarra.

Izozte-arriskua dagoen obretan aplikagarriak dira eta errepedeetako zoladuretan, biltegietan, kanaletan eta abarretan.

## **11.4. DOSIFIKAZIOA**

### **11.4.1. Sarrera**

Dosifikazio-metodoak erabilgarriak dira kalkulatzeko osagaiak zein proportziotan nahastu behar diren, hormigoiak loditasun-, trinkotasun-, erresistentzia- eta iraunkortasun-balio jakin batzuk lortzeko.

Dosifikazio-kalkulua teorikoa da, hala ere, lortutako balioak esperimetalki frogatu beharko dira doikuntzak egiteko, dosifikazio-metodoek ezin dituztelako hormigoia ren propietateetan eragina duten baldintza guztiak kontuan izan.

Dosifikazio-metodoak bi taldetan sailka daitezke: alde batetik, oinarritzko datutzat zementuaren dosifikazioa dutenak, hau da, loditasuna, agregakinen mota eta horien neurri maximoa, masan egon behar den aire maximoa eta bestelako datuekin batera; eta bestalde, hormigoia ren erresistentzia mekanikoetan (konpresioarekiko erresistentzian batez ere) oinarritzen direnak, aurretik aipaturiko faktoreak hemen ere kontuan izango dira.

### **11.4.2. Bete beharreko baldintzak**

Hormigoiak bete behar dituen baldintzak hauek dira:

- a. Moldean edo enkofratuan sartzea eta, hormigoi armatuko pieza bat bada, armaduren artean dauden huts guztiak betetzea.
- b. Agregakinen nahasketak trinkotasun maximoa ematea, horrela pasta-kantitate minimoa erabili beharko da partikulek uzten dituzten hutsuneak betetzeko.
- c. Hormigoia ren loditasuna egokia izatea obran dauden baliabideekin trinkotzeko eta ixteko (barrarekin pikatzea, zapalketa, dardaraketa, etab.).
- d. Hormigoiak, heldutasun jakin batera heltzean, auresandako erresistentzia lortzeko pastaren kontzentrazioak (zementu/ura erlazioak) egokia izan beharko du.

### **11.4.3. Dosifikazio-metodoak**

#### **11.4.3.1. Sarrera**

Egonkortasun bolumetrikoko eta iraunkortasun maximoa lortzeko zenbait muga aztertu behar dira dosifikazio-metodo jakin bat erabili baino lehen.

Masa-hormigoizko pieza edo hormigoi armatuko pieza batek giro erasotzailan lan egin dezake. Kasu horietan pieza hori errentagarria izateko, bere bizi-iraupenaren amaierara arte mantentze minimo batekin eta konponketa txikiekin heldu beharko da. Helburu hau lortzeko egituraren diseinuan, materialen aukeraketan eta obraren exekuzioan arreta berezia jarri beharko da, giro-baldintzak duen efektua kontuan hartuz.

Hormigoiaren dosifikazioan giro-erasotzailearen funtzioan dauden muga batzuk izango dira kontuan. Gaur egun indarrean den Instrukzioaren arabera, hormigoia hurrengo eran sailkatzen da, ikus *19. taula*:

| Esposizio mota  |                                 |                                    | Izen. | Ingurumen-baldintzak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ez-erasotzailea | Ingurumen lehorra               |                                    | I     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eraikuntzen barnealdeak</li> <li>- Hezetasun txikiko kanpoaldeak (% 60ko hezetasuna ez gainditzea 90 egun baino gehiagotan urtean zehar)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Erasotzailea    | Ingurumen hezea                 | Izotzerik gabe                     | II    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hezetasun handia duten eraikuntzen barnealdeak</li> <li>- Kanpoalde arruntak</li> <li>- Ur arruntekin kontaktuan dauden elementuak</li> <li>- Lurzoru arruntekin kontaktuan dauden elementuak</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                 |                                 | Izotzeekin                         | IIh   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kanpoalde arruntak, izozteak jasaten dituztenak</li> <li>- Ur arruntekin kontaktuan dauden elementuak eta izozteak jasan ahal dituztenak</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                 |                                 | Izotzeekin eta urgarrien erabilera | II f  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kanpoalde arruntak, izozteak jasaten dituztenak eta izozteen aurkako gehigarriak eramaten dituztenak (urgarriak)</li> <li>- Ur arruntekin kontaktuan dauden elementuak, izozteak jasaten dituztenak eta izozteen aurkako gehigarriak eramaten dituztenak</li> <li>- Lurzoru arruntekin kontaktuan dauden elementuak, izozteak jasaten dituztenak eta izozteen aurkako gehigarriak eramaten dituztenak</li> </ul>                                                            |
|                 | Ingurumen erasotzaileagoak      | Izotzerik gabe                     | III   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingurumen industrial erasotzailean dauden elementuak</li> <li>- Itsaso-ingurumenean dauden elementuak</li> <li>- Ur gazituekin edo azidotasun txikia duten urekin kontaktuan dauden elementuak</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                 |                                 | Izotzeekin                         | IIIh  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingurumen industrial erasotzailean dauden elementuak eta izozteak jasaten dituztenak</li> <li>- Itsaso-ingurumenean dauden elementuak eta izozteak jasaten dituztenak</li> <li>- Ur gazituekin edo azidotasun txikia duten urekin kontaktuan dauden elementuak eta izozteak jasaten dituztenak</li> </ul>                                                                                                                                                                   |
|                 |                                 | Izotzeekin eta urgarrien erabilera | III f | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingurumen industrial erasotzailean dauden elementuak, izozteak jasaten dituztenak eta izozteen aurkako gehigarriak eramaten dituztenak (urgarriak)</li> <li>- Itsaso-ingurumenean dauden elementuak, izozteak jasaten dituztenak eta izozteen aurkako gehigarriak eramaten dituztenak</li> <li>- Ur gazituekin edo azidotasun txikia duten urekin kontaktuan dauden elementuak, izozteak jasaten dituztenak eta izozteen aurkako gehigarriak eramaten dituztenak</li> </ul> |
|                 | Ingurumen kimikoki erasotzailea |                                    | IV    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigoiaren aldaketa kimikoa sor dezaketen sustantzia kimikodun ingurumenak</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**19. taula. Hormigoien sailkapena.**

Giro motaren arabera eta iraunkortasun baldintzak direla-eta, ur/zementu erlazio maximoa eta zementu-kantitate minimoa mugatu egiten dira, masa-hormigoian eta hormigoi armatuan, 20. taulan adierazten den eran. Taula horretan ere masak izan dezakeen aire minimoa eta hormigoi iragaztezin baten beharra definitzen dira.

|                                            |              | Ingurumena |      |      |       |      |      |       |      |
|--------------------------------------------|--------------|------------|------|------|-------|------|------|-------|------|
|                                            |              | I          | II   | IIIh | III f | III  | IIIh | III f | IV   |
| Ur/zementu erlazio maximoa                 |              | 0,65       | 0,60 | 0,55 | 0,50  | 0,55 | 0,50 | 0,50  | 0,50 |
| Zementu eduki minimoa (kg/m <sup>3</sup> ) | Masa-Horm    | 200        | 200  | 200  | 200   | 200  | 200  | 200   | 250  |
|                                            | Horm armatua | 200        | 275  | 300  | 300   | 300  | 300  | 325   | 325  |
| Aire okluditaren eduki minimoa (%)         |              | -          | -    | -    | 4,5   | -    | -    | 4,5   | -    |
| Hormigoi iragaztezin baten beharra         |              | Ez         | Ez   | Bai  | Bai   | Bai  | Bai  | Bai   | Bai  |

**20. taula. Fuller-en metodoan ur-zementu erlazio maximoa eta zementu-kantitate minimoa.**

Zementuaren eta gehigarrien dosifikazioa pisuarekiko egiten da, aldiz, agregakinak pisuarekiko zein bolumenarekiko dosifika daitezke.

#### 11.4.3.2. Fuller-en metodoa

Metodo hau zementuaren dosifikazio finkoan oinarritzen da. Haren erabilera agregakinaren neurria  $50 \pm 20$  mm tartean dagoenean, forma biribilekoak direnean, zementu-kantitatea  $300 \text{ kg/cm}^3$  baino handiagoa denean eta sekzio armatu asko ez dituzten obretarako aproposa da.

Agregakinaren neurri maximoak ez du beti partikula handienen neurria adierazten. «Neurri maximoak» eta partikula handienen neurriek bat egiten dute kantitate ugarian daudenean; harri horiek kantitate txikian egotean, haien eragina mespretxugarria izango da, eta ez dira kontuan izango. Horregatik, agregakin baten frakzio baten neurri maximoa % 16 baino kantitate txikiagoak metatzen dituzten baheen artean neurri txikiena daukana bezala definitzen da. Baina agregakinaren konposizioa ezezaguna denez, frakzio guztien konposizioa egin arte eta gutxi gorabeherako kalkuluak ekiditeko, neurri maximotzat, legarra (neurri handieneko partikula mota, dimentsio handiagoak dituzten partikulak ez dira kontsideratzen) bahetzean % 25 baino gutxiago metatzen duen bahe txikienaren zuloaren dimentsioa hartzen da.

Nahasketaren diseinuan kontuan izan beharko den zementu-kantitatea hormigoia fabrikazioan erabiliko den kantitate erreala izango da.

Ur-kantitatea aukeratuko da erabiliko den agregakin motaren, beronen neurri maximoaren eta hormigoia izan beharko duen loditasunaren arabera. Hormigoia ponpaketaren bidez edo sekzio meheetan jarri behar badira, loditasun biguna

erabiliko da. Dardaraketaren bidez sendotu behar badira, loditasun egokiena plastikoa da, eta dardaraketa indartsua edo konpresioarekin sendotuko badira, orduan, loditasun lehorrak erabilgarriak izango dira, ikus 21. *taula*.

| Loditasuna | Abrams-en konoa (cm) | Astindu-mahaia (I.C) |
|------------|----------------------|----------------------|
| Lehorra    | 0-2                  | 0-30                 |
| Plastikoa  | 3-5                  | 30-50                |
| Biguna     | 6-9                  | 50-70                |
| Fluidoia   | 10-15                | 70-100               |
| Likidoia   | > 16                 | > 100                |

**21. taula. Hormigoien loditasunen sailkapena.**

Granulometria ertaineko agregakinek behar duten ur-kantitatea, agregakin motaren funtzioan eta haren neurri maximoaren arabera ezarriko da, 0,57ko ur/zementu erlazioa eta 76 mm-ko asentua Abrams-en konoan dutenen kasuan, hurrengo taulan agertzen da (ikus 22. *taula*).

| Agregakinaren neurri maximoa (mm) | Agregakin biribildua (L/m <sup>3</sup> ) | Agregakin birrindua (L/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 12,7                              | 199                                      | 214                                     |
| 19,1                              | 184                                      | 199                                     |
| 25,4                              | 178                                      | 193                                     |
| 38,1                              | 166                                      | 181                                     |
| 50,8                              | 157                                      | 172                                     |
| 76,2                              | 148                                      | 163                                     |
| 152,4                             | 131                                      | 145                                     |

**22. taula. Fuller-en metodoan ur-kantitateak agregakinen ezaugarrien funtzioan.**

Baldintzak aldatzen badira hurrengo taulan agertzen diren zuzenketak egingo dira (ikus 23. *taula*).

| 22. taularen baldintzak aldatzen direnean          | Ur-kantitatearen aldaketa |
|----------------------------------------------------|---------------------------|
| Asentua 25 mm-ko hazkuntza edo txikitze bakoitzeko | ± % 3                     |
| Ertz bizidun harea artifizialak                    | + 6,8 L                   |
| Lanketa zaileko hormigoiak (zoruak adibidez)       | - 3,6 L                   |

**23. taula. Fuller-en metodoan ur-kantitateen zuzenketak.**

Fuller-en metodoan erreferentzi gisa hartzen den kurbaren ekuazioa hurrengo da:  $y = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$



non:

$y = d$  neurriko bahe bakoitzetik igarotzen den % den

$d$  = bahe bakoitzaren neurriak mm-tan diren

$D$  = agregakinaren neurri maximoa mm-tan den

Agregakin-nahastearen doiketa granulometrika egiteko Fuller-en kurbarekin modulu granulometrikoetan oinarrituriko sistema erabili ohi da.

Agregakina  $n$  neurrietan banatuta dagoela suposatuz eta:

$m_1, m_2, \dots, m_n$  = frakzio bakoitzaren modulu granulometrikoak izanik.

$m_{t2}, m_{t3}, \dots, m_{tn}$  = Fuller-en kurbaren modulu granulometrikoak, haien neurri maximoak 2, 3, ...,  $n$  frakzioekin bat egiten dute.

$t_1, t_2, \dots, t_n$  = nahasketaren granulometriak erreferentzia-kurbara doitzeko hartu beharreko %.

$n$  ezezaguneko  $n$  ekuazio definituko dira era honetan:

$$t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100$$

$$m_{t2} = \frac{t_1 \cdot m_1 + t_2 \cdot m_2}{t_1 + t_2}$$

$$m_{t3} = \frac{t_1 \cdot m_1 + t_2 \cdot m_2 + t_3 \cdot m_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

...

$$m_{tn} = \frac{t_1 \cdot m_1 + t_2 \cdot m_2 + t_3 \cdot m_3 + \dots + t_n \cdot m_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}$$

Agregakinen frakzioak bi direnean, aurreko sistema era honetan geldituko da:

$$t_1 = 100 \cdot \frac{m_2 - m_{t2}}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = 100 - t_1$$

Hiru frakzio erabiltzen direnean:

$$t_1 = (t_1 + t_2) \cdot \frac{m_2 - m_{t2}}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = (t_1 + t_2) - t_1$$

$$t_3 = 100 - (t_1 + t_2)$$

$$t_1 + t_2 = 100 \cdot \frac{m_3 - m_{t3}}{m_3 - m_{t2}} \text{ izanik.}$$

Metro kubikoko dosifikazioa lortzeko, eta agregakin-frakzio ezberdinen nahasketaren proportzioak kalkulatu ostean, zementu-pastaren bolumena, ura gehi zementua nahasketaren bolumena baino txikiagoa dela kontuan izan beharko da; horrela, hormigoi gogortuko metro kubiko bat lortzeko  $1.025 \text{ dm}^3$  osagai eraili beharko dira. Bolumen horretatik, zementuaren bolumen erlatiboa gehi urarena kendu beharko da, erabili beharreko agregakinekin, loditasun aproposa lortzeko. Lortutako bolumena agregakinen nahasketaren portzentajeen arabera proportzionalki banatuko da.

#### 11.4.3.3. Bolomey-ren metodoa

Metodo hau Fuller-en metodoaren hobekuntza bat izanik, masa-hormigoiak fabrikatzeko erabilgarria da, baldin eta zementu-kantitatea, mota, granulometria eta agregakinaren neurri maximoa eta trinkotze-sistema ezagutzen badira.

Metodo honetan agregakinaren neurri maximoa kalkulatzeko Fuller-en metodoan erabilitako irizpide bera erabiltzen da.

Erreferentzia moduan erabiltzen diren kurba granulometrikoek hurrengo ekuazioa betetzen dute:  $y = a + (100 - a) \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$

non:

$y = d$  zuloko bahe bakoitzetik igarotzen den bolumen-portzentajea den

$d =$  erabilitako bahe-seriearen maila-zuloa mm-tan den

$D =$  agregakinaren neurri maximoa mm-tan den

$a = 24$ . *taulan* adierazitako parametroa den

| Agregakin mota | Hormigoiaren loditasuna | $a$ -ren balioak |
|----------------|-------------------------|------------------|
| Biribilak      | Lehor-plastikoa         | 10               |
|                | Biguna                  | 11               |
|                | Fluidoa                 | 12               |
| Birrindua      | Lehor-plastikoa         | 12               |
|                | Biguna                  | 13               |
|                | Fluidoa                 | 14               |

**24. taula. Bolomey-ren metodoan  $a$  parametroaren balioak.**

Agregakin-nahastearen dohiketa granulometrikoa egiteko, erreferentzia gisa harturiko kurbarekiko, metodorik zehatzena modulu granulometrikoena da.

Hormigoiaren konposizioan gehitu beharreko zementu-portzentajea era honetan kalkulatu da:

$$t_0 = \frac{\frac{\text{Zementuaren pisua } \text{m}^3\text{-ko}}{\text{Zementuaren dentsitate erlatiboa}} \cdot 100}{\text{Osagaien bolumen totala} - \text{Ur-bolumena}}$$

Agregakina  $n+1$  neurrietan frakzionatuta badago eta:

$m_0, m_1, m_2 \dots m_n$  = frakzio bakoitzaren modulu granulometrikoak izanik.

$m_{t1}, m_{t2}, m_{t3} \dots m_{tn}$  = Bolomey-ren kurbaren modulu granulometrikoak dira, haien neurri maximoek 1, 2, 3, ...  $n$  frakzioekin bat egiten dute. Modulu horiek aldatuta daude, hau da,  $C_n$  deitzen badiogu Bolomey-ren kurbari  $n$  neurri maximorako,  $C_{n-1}$  kurba,  $n-1$  agregakin-neurrirako,  $C_n$  kurbatik eta neurri berdinetatik  $100/m$  hartuz kalkulatu da; non  $m$ ,  $n-1$  neurriari dagokion ordenatua den. Era horretan,  $C_{n-2}$  kurben ( $n-2$  neurri maximoari dagokiona) ordenatuekin era berean jokatuko da.

Frakzio bakoitzeko portzentajeak kalkulatzeko, hurrengo  $n+1$  ekuazioeko sistema eratuko da  $n+1$  ezezagunekin:

$$t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100$$

$$m_{t1} = \frac{t_0 \cdot m_0 + t_1 \cdot m_1}{t_0 + t_1}$$

$$m_{t2} = \frac{t_0 \cdot m_0 + t_1 \cdot m_1 + t_2 \cdot m_2}{t_0 + t_1 + t_2}$$

...

$$m_m = \frac{t_0 \cdot m_0 + t_1 \cdot m_1 + \dots + t_n \cdot m_n}{t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

Zementuaren modulu granulometrikoa zero dela suposatuko da.

Agregakinak bi frakzio baditu, ekuazioak era honetan geldituko dira:

$$t_1 = \frac{100 \cdot (m_2 - m_{t2}) - t_0 \cdot m_2}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = 100 - (t_0 - t_1)$$

Agregakinak hiru frakzio baditu, ekuazioak era honetan geldituko dira:

$$t_1 = \frac{(t_0 + t_1 + t_2) \cdot (m_2 - m_{t2}) - t_0 \cdot m_2}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = (t_0 + t_1 + t_2) - (t_0 + t_1)$$

$$t_3 = 100 - (t_0 + t_1 + t_2)$$

$$\text{non: } t_0 + t_1 + t_2 = 100 \cdot \frac{m_3 - m_{t3}}{m_3 - m_{t2}} \text{ den.}$$

Hormigoiaren dosifikazioa metro kubikoko egiteko, beste metodoetan gertatzen den bezala, zementu-pastaren bolumena zementua gehi ura bolumena baino txikiagoa denez,  $1.025 \text{ dm}^3$  osagai nahastu beharko dira.

Ur-kantitatea kalkulatzeko,  $1.025 \text{ dm}^3$ -ri zementu eta agregakinen frakzio ezberdinen bolumen erlatiboak kenduz egingo da. Ur-kantitatea 22. eta 23. *taulan* bidez kalkulatu da.

#### 11.4.3.4. Peña-ren metodoa

Erresistentzien bidez egiten den dosifikazio-metodo hau egitura-hormigoiak, zoladurak, kanalak, ur-biltegiak, zubiak eta horrelakoetarako hormigoiak egiteko erabiltzen da, exekuzio-baldintzak onak diren kasuetan bereziki erabilgarria izanik.

Batez besteko erresistentzia ezagutuz zementua/ura erlazioa, pisuan, adierazpen honekin kalkulatu da:  $Z = Kf_{cm} + 0,5$

non:

$Z$  = zementua/ura erlazioa den (pisuz)

$f_{cm}$  = hormigoiaren batez besteko erresistentzia  $\text{N/mm}^2$ -tan, 28 egunetan eta  $\varnothing 15 \times 30$ eko probeta zilindrikoan neurtuta

$K = 25$ . *taulan* dauden balioak hartzen dituen parametroa, erresistentzia  $\text{N/mm}^2$  neurtzen denean.

Metodo honetan neurri maximotzat, agregakin lodienaren % 25 baino kantitate txikiagoa metatzen duen bahe txikienaren zuloaren dimentsioa hartzen da.

Hormigoiaren loditasuna moldearen ezaugarrien eta lanketa-baliabideen menpean dago.

| Konglomeratzailea<br>(klasea) | Agregakin biribilduak | Agregakin birrinduak |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 25                            | 0,072                 | 0,045                |
| 35                            | 0,054                 | 0,035                |
| 45                            | 0,045                 | 0,030                |
| 55                            | 0,038                 | 0,026                |

**25. taula. Peña-ren metodoan  $K$  parametroaren balioak.**

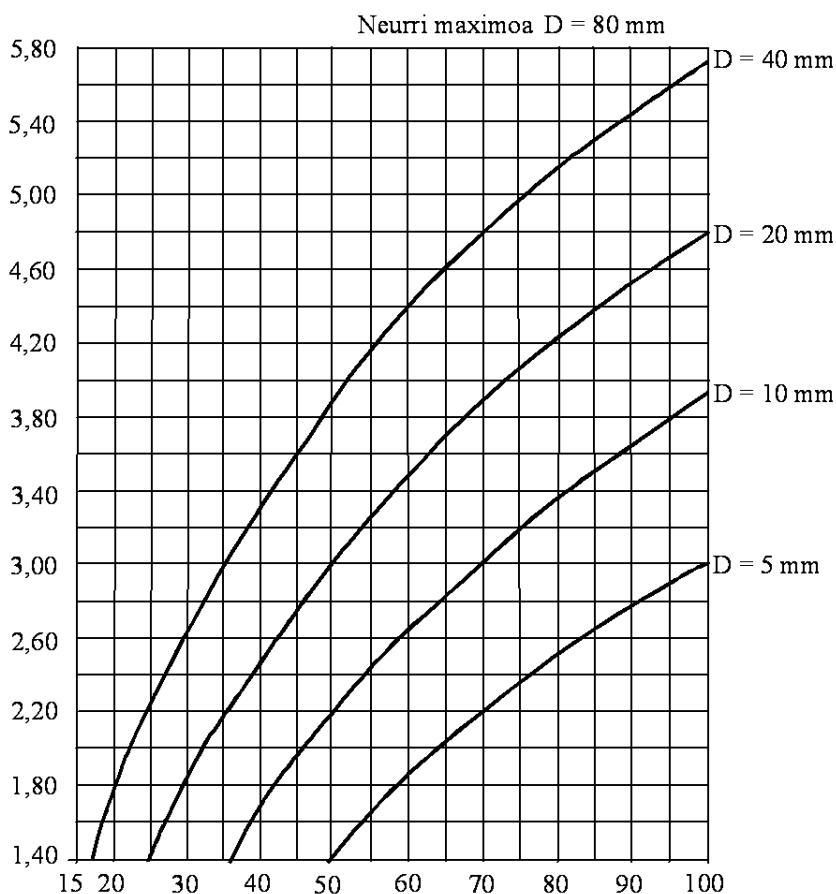
26. *taulan* loditasun bakoitzari dagozkion asentuak eta hormigoi metro kubiko bat egiteko behar diren ur-kantitateak adierazten dira, hormigoi mota eta agregakinen neurriaren funtzioan. Agregakina gainazal lehorrekoea eta saturatua dagoela jotzen da; era berean, agregakin birrinduak forma egokia duela joko da.

| Loditasuna | Abrams-en konoaren asentua (cm) | Harea eta legar naturala |       |       | Harea eta legar birrindua |       |       |
|------------|---------------------------------|--------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|
|            |                                 | 80 mm                    | 40 mm | 20 mm | 80 mm                     | 40 mm | 20 mm |
| Lehorra    | 0-2                             | 135                      | 155   | 175   | 155                       | 175   | 195   |
| Plastikoa  | 3-5                             | 150                      | 170   | 190   | 170                       | 190   | 210   |
| Biguna     | 6-9                             | 165                      | 185   | 205   | 185                       | 205   | 225   |
| Fluidoa    | 10-15                           | 180                      | 200   | 220   | 200                       | 220   | 240   |

**26. taula. Peña-ren metodoan ur-kantitateak loditasunaren funtzioan.**

Z kontzentrazioa eta 26. *taulatik* ur-bolumena kalkulatu ostean, zementuaren pisua kalkulatu da,  $P_C = V_{ura} \cdot Z$  adierazpenaren bidez.

86. *irudian* agertzen den grafikoaren bidez agregakinak zein proportziotan nahastu behar diren kalkulatu da:



**86. irudia. Agregakinen nahasketa-proportzioa Peña-ren metodoan.**

Harea eta agregakin lodia nahastu behar badira, harearen portzentajea, bolumen errealean eta agregakin guztiaren bolumenarekiko, grafikoan kalkulatzen da. Grafiko horretan, harearen modulu granulometrikoa ordenatuetan sartu eta bertatik eginiko horizontalak neurri maximoaren kurba moztean lortzen den pun-tuaren bertikalak harearen portzentajea bolumenean emango du. Agregakin lodiaren portzentajea 100 ken grafikotik lortutako balio gisa kalkulatuko da.

Harearen modulu granulometrikoa baheetan gelditzen diren portzentaje akumulatuen batuketaren ehunena da, 80; 40; 20; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,32 eta 0,16 mm-ko baheetatik igarotzean.

Hormigoiaren konposizioan bi agregakin baino gehiago sartu behar badira, neurri txikieneko harea moduan kontsideratuko da, eta gainerakoak legarra moduan. Grafikoaren bidez harearen portzentajea legar bakoitzarekin kalkulatzen da.

Demagun  $t_{a1}, t_{a2}, t_{a3}, \dots, t_{ai}, \dots, t_{an}$ , nahasketa bikoitiak kontsideratzean, harea-portzentajeak direla, agregakin-frakzio bakoitzerako neurri txikienetik handienara harturik.

Harea-portzentajea bolumen absolutuan, agregakin guztien bolumen absolutuen baturarekiko  $t_0 = t_{an}$  da.

Neurri txikieneko frakzioari dagokion nahaste totalaren % hauxe da:

$$t_1 = t_{an} \cdot \frac{100 - t_{a1}}{t_{a1}}$$

Bere neurriagatik, bigarren lekua dagokion frakzioaren % hauxe da:

$$t_2 = t_{an} \cdot \frac{100 - t_{a2}}{t_{a2}} - t_1$$

$i$  lekua betetzen duen frakzioaren %, handienetik txikienera zenbatuz:

$$t_i = t_{an} \cdot \frac{100 - t_{ai}}{t_{ai}} - (t_0 + t_1 + \dots + t_{i-1})$$

Agregakin guztien portzentajeen baturak hauxe bete behar du:

$$t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100$$

Aurreko grafikoko balioak hurrengo ezaugarriak dituzten hormigoietarako kalkulatuta dira:

- Hormigoi armatua.
- Barrarekin pikatuz trinkotu egin dena.
- Forma biribileko agregakin naturalak dituen.

Metodo hau beste motatako hormigoiekin erabiltzeko, lehen esandako eran kalkulatu dira nahastearen portzentajeak, gero hurrengo zerrendan agertzen diren zuzenketak egin beharko dira:

1. Hormigoia dardaraketaren bidez trinkotzen bada, agregakin lodiena % 4ko proportzioan handitu beharko da, eta haien portzentajearekiko proportzionalki gainerako agregakinei kendu.
2. Masa-hormigoia bada, agregakin lodiena % 3an handituko da; eta aurreko kasuan bezala, gainerako agregakinei kendu beharko zaie haien proportzioaren arabera.
3. Agregakin birrinduak erabiltzen badira, agregakin finena % 4an handituko da; aurretik esan den moduan, gainerako agregakinei portzentaje hori kendu beharko zaie haien proportzioaren arabera.
4. Metodo hau  $300 \text{ kg/m}^3$ -ko dosifikazioa duten hormigoietarako egina dagoenez, gehienezko edo gutxienezko kantitateak konpentsatuko dira harea-bolumen berdina gehituz edo kenduz.
5. Hormigoiak barnean airea badarama, haren bolumena harearen bolumenetik kendu beharko da.
6. Agregakinek hezetasuna dutenean, gainerako dosifikazio-metodoetan bezala, haien konposizioan eta ur-kantitatean zuzenketak egin beharko dira.

Hormigoia-aren dosifikazioa ur, zementu, agregakin, aire eta abarren bolumen errealean arteko batura  $1.025 \text{ L}$  direla jakinik egiten da; era horretan, gutxi gorabehera hormigoiak % 2,5eko uzkurdura jasaten duenez, metro kubiko bat hormigoi gogortu lortuko da.

### **11.5. FABRIKAZIOA**

Hormigoia-aren fabrikazioak eta kokapenak garrantzi handia dauka produktua- ren ezaugarrietan.

Fabrikazioaren etapak hauek dira:

#### **A. LANKETA**

Hormigoia-aren lanketak, zementu-pastarekin, agregakinen azalera estaltzea eta masa uniforme lortu arte osagai guztien nahasketa egokia egitea du helburu. Deskarga-operazioetan nahasketak ez du bere uniformetasuna galdu behar, eta hori nahasketaren kohesioaren eta hormigoi-makinaren formaren funtzioan dago.

Hormigoi-makinak, oro har, era honetan sailkatzen dira:

– Baskulagarriak edo ardatz inklinatukoak

Obra txikietan gehien erabiltzen direnak. Danbor eta kono-enbor batez sortuta daude non ahoa kokatzen den; bertatik, hormigoiaren lehengaiak sartzen dira. Barnean paleta deflektore batzuk daramatzate materiala, indar zentrifugoaren eraginez, hormetara itsatsita gera ez dadin.

Lanketa-denbora minimoa, segundotan,  $D$  (m-tan) diametroko hormigoi-makina batentzat, era honetan kalkulatzen da:  $t = 120 \cdot \sqrt{D}$

– Ardatz horizontalekoak

Mota honetako makinetan danbor bat bi kono-enborri konektatuta dago, bertan ahoak kokatzen dira; barnean paleta helikoidal batzuk daramatzate nahasketa egokia egiteko. Hormigoiaren irteera, normalean, biraketaren inbertsio arin batekin egiten da.

– Danbor bikoitzekoa

Hormigoi-produkzio handiak behar direnean erabilgarriak dira, errepideetan eta presetan esate baterako. Makina hauek bi danbor dituzte, seriean sinkronizaturak; lehenengoan, osagaien lehendabiziko nahasketa egiten da; gero bigarren danborrera igarota, bertan nahasketa bukatzen da; bien bitartean, lehenengo danborra berriro ere betetzen hasiko da. Era horretan, hormigoiaren produkzio ia jarraitua lortzen da.

Lanketa-denbora erabilitako hormigoi-makinaren araberakoa da, agregakinen granulometriaren araberakoa eta hormigoiak daraman ur-kantitatearen araberakoa.

Agregakin lodiko hormigoiak agregakin finak dituztenak baino arinago nahasten dira, eta, bestalde, hormigoi oso lehorrek fluidoek baino lanketa denbora handiagoa behar dute.

## **B. HORMIGOIZTATZE-ZENTRALAK**

Eraikuntzan erabiltzen den hormigoi gehiena hormigoiztatze-zentraletan ekoizten da.

Zentral hauek hormigoiaren kalitate ona eta produkzio handiak lortzen dituzte.

Mugikortasunaren funtzioan zentralak era honetan sailka daitezke:

- Mugikorrak: iraupen laburreko obretan erabiltzen dira, oso erraz garraia daitezke, eta  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ -ko produkzioak lor ditzakete.
- Eramangarriak eta erdi-eramangarriak: eramangarriek  $30\text{-}60 \text{ m}^3/\text{h}$ -ko eta erdi-eramangarriek  $80\text{-}100 \text{ m}^3/\text{h}$ -ko produkzioak dituzte. Erdi-eramangarriek finkoen antza daukate baina lekuz aldatzeko erraztasun handiagoa dute.



- Finkoak: gehien erabiltzen diren instalazioak izanik, 100 m<sup>3</sup>/h baino produktzio handiagoak eman ditzakete.

Instalazio hauek agregakinen dosifikatzaileak daramatzate frakzio ezberdinen pisuaren neurketa egiteko, eta zementuarentzako beste dosifikatzaile bat. Ura eta gehigarriak bolumenean neurtzen dira kontagailu baten bidez.

### **C. GARRAIOA**

Hormigoia landu ostean obraraino garraiatzen da. Garraioa era askotan egin daiteke, lanketa-puntutik dagoen distantziaren, kokapenaren eta obraren ezaugarrien arabera.

Neurri berezirik hartzen ez bada, hormigoi freskoak —lanketa egiten denetik kokapena egin arte igarotzen den denboran— ezin ditu 30 °C-ak gainditu, ezta 5 °C baino tenperatura baxuagoak jasan.

Hormigoiaren garraioa zenbait modutan egin daiteke:

#### **a. Aldizkakoa**

Eskorgekin, garabiekin higitutako upelekin, dumperrekin, kamioiekin, etab. egiten da.

Edozein metodo erabilita hormigoia euritik babestu beharko da, ur gehiegi eman diezaiokeelako; bestalde, tenperatura altuetatik eta haizetik ere babestu beharko da, lehorketa eragin dezaketelako.

#### **b. Jarraitua**

Hormigoiaren garraio jarraituak hornidura etengabea ahalbidetzen du; horrela, hormigoiztatzearen errendimendua hobetu egiten da.

Garraio mota hau uhal garraiatzaile edo ponpaketaren bidez egin daiteke.

Uhal garraiatzaileak produktuaren garraio horizontala edo igoera txikiak egiteko erabiltzen dira, bereziki agregakinen neurriak handiak direnean. Nahiz eta agregakin handiak dituzten hormigoiak garraiatzeko egokiak izan, produktua haizearekin, euriarekin edo eguzkiarekin kontaktuan egongo da. Bestalde, hormigoia uhal garraiatzaileen bidez eramateko, loditasun plastikoa izan beharko du.

Ponpaketa-sistema gero eta erabilgarriagoa da, hormigoia obran era jarraitu batean jartzeko posibilitatea ematen duelako, gainera, sarbide zailak dituzten lekuetan eta aplikazio berezietan (tuneletan, ur-azpiko hormigoiztatzeak egiteko, etab.) aproposa da ere.

### **D. KOKAPENA**

Obran kokatzeko erarik errazena, hormigoia garraioa egiteko erabili den gailutik zuzenean enkoifratura, moldera edo jarriko den lekura isurtzea da. Batzuetan

garraio-gailuek ez dute sarbide erraza kokalekura, kasu horietan ponpaketa-sistema erabiliz arazoa konpondu egiten da lan-erritmoa handituz.

Hormigoia isurtzean kontuan izan behar da bi metro baino altura handiagoe-tatik ezin dela jausi, haren nahasketaren homogeneousutasuna apurtuko litzatekeelako, agregakin lodiak beste osagaiak baino arinago jausiko liratekeelako.

Isurketa egin baino lehen hormigoiketa-junturak non jarriko diren erabakiko da. Bestalde, enkofratuek hormigoia-aren presioa jasango dutela ziurtatu beharko da, horretarako hormigoia-aren loditasuna, zementu mota, hormigoiztatze-altuera, giro-tenperatura, etab. kontuan izan beharko dira.

Eraiki behar den piezaren lodierak txikiak direnean (pieza aurrefabrikatueta, habee-tan, errepedeetako zoladuretan, etab.), hormigoia-masa guztia aldi batean isurtzen da; aldiz, loditasuna handia denean (zimentazioetan edo presetan), geruza batean baino gehiagotan isuriko da. Geruza ezberdinen lodierak trinkotze-baliabi-deen menpean definitzen dira; gainera, lehenengo geruza lehortzen ez den bitartean, ezingo da hurrengoa bota.

Ur-azpian hormigoiketa egiteko, mugimenduan dagoen urak zementu-pastan sor dezakeen konposatu- galera izango da kontuan; arazo hori existitzen ez bada, hormigoia onak lortuko dira, giroa ezin hobea delako hidratazio-arako eta ontze-pro- zesurako; horretaz gain, likidoaren presioak trinkotzean laguntzen du. Hormigoia- ren konposatu- galera ekiditeko, zenbait sistema erabiltzen dira, esate baterako, hodien bidez, horrela produktua enkofratu-aren beheko aldera eramaten da mugi- menduan dagoen urarekin (ur-korrontearekin) kontaktuan egon ez dadin. Bestalde, merkatuan zenbait gehigarri daude hormigoia-aren kohesioa era nabarmen batean handitzen dutenak, urak sor dezakeen konposatu- galera txikituz.

## **E. SENDOTZEA**

Geruza batean edo gehiagotan hormigoia isuri ostean, haren sendotze-etapari hasiera ematen zaio; horretarako, zapalketa, barra batekin pikatua, dardaraketa, konpresioa bibrazioarekin eta beste teknika batzuk erabil daitezke. Trinkotu gabe- ko hormigoia batek hutsuneak eta poro-eduki handiak izan ditzake, haren bolume- naren % 20ra helduz.

Zapalketa eta barrarekin pikatuak loditasun plastiko edo biguneko hormi- goiak erabiltzen diren obra txikietan baliagarriak dira.

Dardaraketa, finkapena egiteko sistemarik erabili-ena da loditasun plastikoa eta plastiko-lehorra dituzten hormigoiekin, oso efizientea eta aplikatzeko eroso- a delako.

Dardaraketa-aren bidez, hormigoia-aren indar kohesiboak apurtu eta fluido bihurtzen da produktua, molde- en formetara era ezin hobean egokituz. Hormigoiak zenbat eta lehorragoak izan, handiagoak dira indar kohesibo horiek, baina

erresistentzia mekaniko egokiak lortzeko ur/zementu erlazio txikiekin lan egin behar denez, partikulen arteko marruskadura-koefizienteak txikitzeko eta grabitatearen eraginez partikulen arteko akoplamendua egiteko dardaraketa erabiltzera behartuta gaude, hormigoi-masa konpaktuak lortuko badira. Dardaraketak, partikulak elkarrekin estutzeaz gain, ura era uniforme banatzen du zementu-aleak zeharo bustiz eta haien hidratazioa erraztuz.

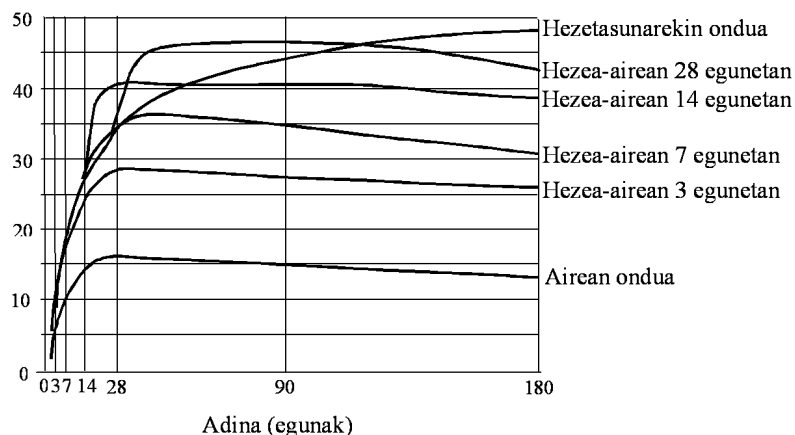
Dardaraketa egiteko erabiltzen diren gailuak mota ezberdinetakoak izan daitezke: barnekoak, adibidez orratz bibratzaileak, edo kanpokoak, moldeetan edo mahaietan akoplatzen direnak hormigoiaren gainazalean arituz.

## 11.6. ONTZEA

Hormigoia obran kokatu ostean, eta lehenengo egunetan, ontze-prozesuari hasiera ematen zaio materialak ezaugarri egokiak har ditzan.

Ontze-prozesuaren helburua ur-galera saihestea eta, zementuaren osagai aktiboaren hidratazioa hasten denean, tenperaturaren kontrola egitea da; horretarako, ihes egin duen ur-kantitatea konpentsatu beharko da, ur gehiago gehituz.

Konpresioarekiko erresistentzia ( $\text{N/mm}^2$ )



### 87. irudia. Konpresio-erresistentzien bilakaera hormigoiaren ontze-prozesuan.

87. irudian, zenbait ontze-prozesu jasandakoan, 0,5eko ur/zementu erlazioa duen hormigoi batek duen konpresioarekiko erresistentzien bilakaera ikus daiteke denboraren funtzioan.

Hidratazio ona lortzeko hormigoia urez saturatua egotea beharrezkoa da. Bestalde, hormigoiaren hezetasunak eta tenperaturak eragin zuzena daukate erresistentzien bilakaeran, arrazoi hori dela-eta, ontze-prozesuak garrantzi handia dauka. Erreakzio kimiko guztiak bezala, hidratazioa tenperaturaren menpean dago: tenpe-

ratura handitzen doan heinean, abiadura handituz doa (oro har, temperatura 10 °C handitzean, abiadura bikoiztu egingo da).

Ontze-prozesuarekin temperaturak txikiegiak izatea galarazten da, 0 °C azpitik hidratazio-erreakzioak oso geldoak baitira eta -10 °C azpitik guztiz gelditzen baitira.

Lehenengo egunetan hormigoia babestearen arrazoiak haren bilakaera normalean oztopo mekanikoak zein fisikoak ekiditea da.

Ontze-prozesuak, hormigoiaresistentzia bilakaera egokia ziurtatzeaz gain, uraren lurrunketa saihestea eta gainazalaren lehorketak dakarren arrakalen agerpena eragozteko du helburu. Uraren lurrunketa, airearen temperaturaren eta hezetasun erlatiboaren funtzioan dago, baita haren abiaduraren menpean ere. Urgalera giroko eta hormigoiaresistentzia arteko diferentzia funtzioan dago ere.

Ontze-prozesua honela egin daiteke:

#### **a. Ontze arrunta**

Prozesu honekin, lurrundutako ura konpentsatzeko kanpotik ur gehiago gehitzen zaio hormigoiaresistentzia edo hesi iragaztezinak jartzen dira.

Ontze-metodoak asko aldatzen dira giro-baldintzekin eta piezaren neurri, forma eta kokapenarekin.

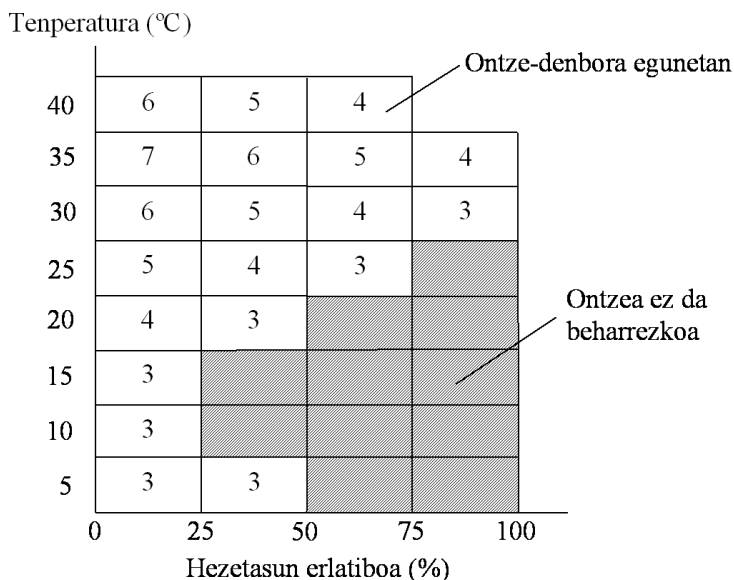
Piezen zabalerak handiak direnean, gainazalak heze mantenduko dira etengabeko ureztapenak eginez.

Ontze-uraren temperaturak ezin du 10 °C-koa baino baxuagoa izan, temperatura hotzek hormigoiaresistentzia gainazalean pitzadurak sor ditzaketelako. Giroa beroa denean, etengabeko ureztapenak, zaku bustien kokapenak, etab. behar baino efikazia txikiagoa izan dezakete, uraren galera eragozteaz gain, hormigoia hoztu behar delako ere. Kasu hauetan, hormigoia olan batekin estaltzen da eguzkiaren efektutik babesteko eta, aldi berean, euriteek edo itsaso-urek sor ditzaketen erosioa eta kalteak murrizteko.

Ontze-prozesua urarekin egiten bada, etengabe orritu behar da, bestela ontzea ez da egokia izango.

Hormigoiaresistentzia egokiak lor ditzan ontze-prozesua denbora-tarte batean egin beharko da.

Ontze-prozesuaren iraupena aldakorra da, erabilitako zementu motaren eta giro-baldintzen funtzioan baitago. 88. *irudian*, adibide gisa, porlan zementua darman hormigoiaresistentzia denbora minimoak adierazi dira, airearen hezetasun erlatiboaren eta haren temperaturaren arabera.



**88. irudia. Agregakinen nahasketa-proportzioa Peña-ren metodoan.**

### **b. Ontze azeleratua**

Lehen aipatu den bezala, zementuaren hidratazio-erreakzioak beroarekin azkartu egiten dira; azelerazio horrek erresistentziak arinago lortzea eragingo du; baina beroak, eta horren ondorioz gertatuko den temperatura-igoerak, uraren lurrunketa azkarra sor dezake, ontze-prozesua lurrunarekin egiten ez bada edo lehorketa ekiditeko neurririk hartzen ez bada.

Ontze-prozesu azeleratuak era honetan sailka daitezke:

- Presio atmosferikoan eginiko ontzea: lehenengo momentutik hasita erresistentzia altuak lortzea da helburua; horrela, moldeak arinago hutsik egongo dira beste pieza batzuk egiteko eta kapital ibilgetua txikiagoa izango da; beraz, ontze hau fabriketan ekoizten diren pieza aurrefabrikatuak egiteko erabiltzen da.
- Presio altuan eginiko ontzea: tratamendua autoklabeetan egiten da. Beroarekin eta presio altuko lurrunarekin, porlan zementuaren hidratazioaren ondorioz askaturiko karearen eta zementuari gehitzen zaion material silizeo (silize irina, errauts hegalariak, etab.) baten artean erreakzioa gertatzen da. Ontze-teknika hau adreilu silizeo-karetsuak eta hormigoi zelularrak (naturalak % 100) egiteko erabiltzen da; zenbait kasutan pieza aurrefabrikatuetara ere hedatu da baina presio atmosferikoarekin eginiko ontzeek erabilera handiagoa dute.

## **11.7. PROPIETATEAK**

### **11.7.1. Sarrera**

Hormigoi gogortuaren ezaugarri fisikoak bere izaeraren, adinaren eta hezetasun- eta tenperatura-baldintzen menpean daude.

Normalean neurtzen den ezaugarri mekanikoa konpresioarekiko erresistentzia da, zeren, eraikuntzetan, era horretan egingo baitu lan gehienetan. Zenbait kasutan, zoruetan esate baterako, hormigoiak flexioan egin behar du lan, eta kasu horietan flexio-trakzioarekiko erresistentzia neurtuko da.

Hormigoi gogortuari bere ezaugarri mekanikoak neurtzeko egiten zaizkion saiakuntzek ez dute araudi unibertsalik betetzen; izan ere, herrialde bakoitzak bere araudi propioa duenez, hormigoi jakin batentzat lor daitezkeen balioak oso aldakorak izango dira herri batetik bestera. Arrazoi hori dela-eta, saiakuntzetan lortzen diren balioak hurbilketa huts bezala erabiliko dira soilik.

### **11.7.2. Dentsitatea**

Hormigoi baten dentsitate erreala agregakinen dentsitatearen, granulometriaren eta bolumenaren menpean dago.

Osagaiak berdinak direnean (izaera berdinekoak) dentsitate handiena trinkotasun handienarekin lortuko da, hau da, huts kopurua zenbat eta txikiagoa izan edo hormigoia zenbat eta kontsolidatuago egon. Trinkotasun maximoa hormigoiaren dosifikazio egokiarekin lortuko da obran era egokian jarritz eta ontze-prozesu ona eginez.

Dentsitatean efektu txikiagoa dauka ur/zementu erlazioak; hala ere, erlazioa zenbat eta handiagoa izan, hormigoia porotsuagoa izango da.

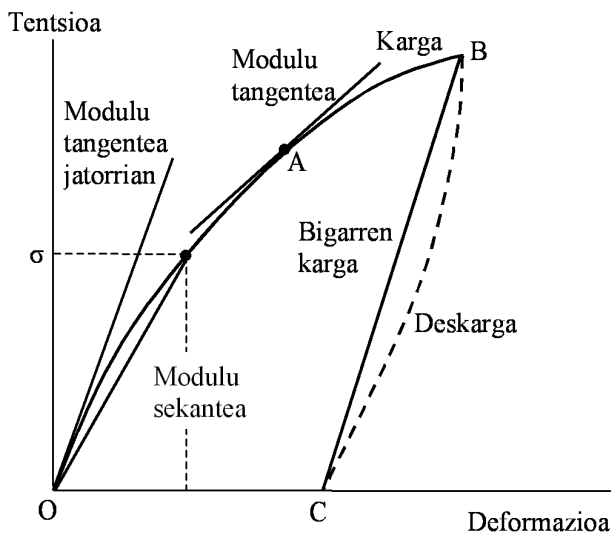
Gehigarri aireztatzaileek ere dentsitatea txikitzen dute hormigoi-masan aire-burbuilak sartzen dituztelako.

Hormigoien dentsitatea oso aldakorra da: zenbait hormigoi zelularretan  $0,5 \text{ kg/dm}^3$ -koa da; aldiz, altzairuzko agregakin astunak dituzten hormigoietan  $6 \text{ kg/dm}^3$ -koa. Masa-hormigoi normaletan  $2,2 \text{ kg/dm}^3$  inguruan dago eta armatuetan (armaduren kantitatearen arabera)  $2,5 \text{ kg/dm}^3$ -ra hel daiteke.

### **11.7.3. Elastikotasuna**

Garrantzitsua da hormigoiaren elastikotasun-modulua ezagutzea eraikuntzetan haren lan egiteko era ezagutzeko.

Hormigoiz eginiko probeta bati konpresiozko indar bat aplikatzen bazaio apurketa-puntura heldu gabe, eta aplikaturiko tentsioen funtzioan piezaren laburketak neurtzen badira, 89. irudiko tentsio-deformazio kurba lortuko da.



**89. irudia. Hormigoia-aren elastikotasun-moduluak.**

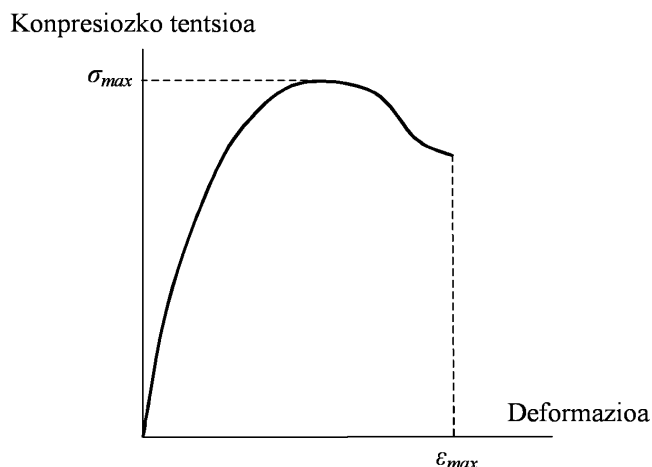
Irudi honetan handitzen doan kurba bat ikus daiteke karga tentsiora heldu arte, zati horretan kurbak ez du zati linealik, hau da, karga hasi eta berehala Hooke-ren legea betetzen ez dela esan daiteke.

Era horretan kalkulaturiko Young-en moduluak ( $E$ ), edo elastikotasun-moduluak, ez dauka, beraz, balio bakar bat, kalkulua egiteko kontuan hartzen diren baldintzen menpean baitago; horrela, jatorri-puntuaren modulu tangentea, edozein puntutan modulu tangentea eta modulu sekantea (erabiliena) defini daitezke.

Saiakuntzan aplikaturiko tentsioa B puntura heltzen bada eta gero probeta deskargatu egiten bada astiro, BC kurba lortuko da; bertan piezak bere hasierako luzera berreskuratzen ez duela ikus daiteke, hau da, OC deformazioarekin geldituko da betiko. Deskarga hori egin ostean probeta berriro kargatzen bada, kurba berriak zuzentasun nahiko handia lortuko du, hormigoiak portaera elastikoa duen tartetzat hartzen da hau.

Laborategian kargak astiro aplikatuz saiakuntzak egiten direnean, deformazio konstantea aplikatuz, tentsio-deformazio kurbak lor daitezke apurketa gertatzen den arte (ikus 90. irudia).

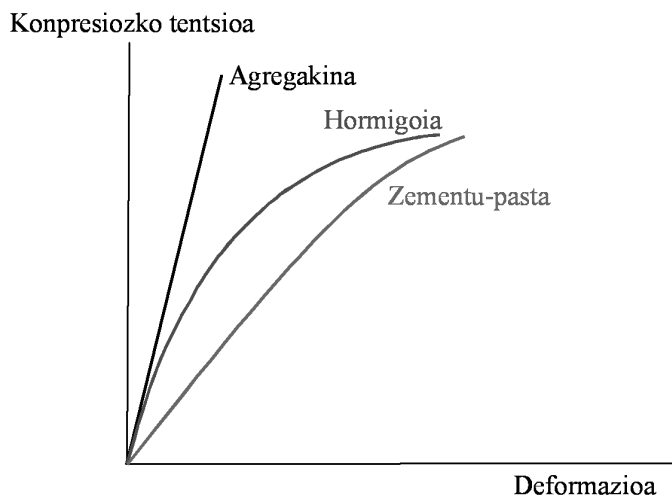
Kurba hiru zatitan banatuta dago: lehenengoa, ia zuzena dena eta luzera laburrakoa; bigarrena, goranzko kurba bat  $\sigma_{max}$  tentsio maximoa lortzen den arte, eta hirugarrena, beheranzko kurba bat  $\epsilon_{max}$  deformazio maximora heltzen dena, non probetaren apurketa gertatzen den.



**90. irudia. Hormigoiaren tentsio-deformazio kurba.**

Tentsio-deformazio kurba lortzeko kargaren aplikazio-abiadurak zeresan handia dauka kurba horren itxuran eta kalkulaturiko moduluaren balioan. Kargaren aplikazioa oso azkarra bada, deformazioak oso txikiak izango dira eta, ondorioz, elastikotasun-moduluaren balioa oso handia izango da; aldiz, kargak astiro aplikatzen direnean (2 minutu baino gehiago), deformazioak handiagoak dira eta kalkulaturiko moduluak txikiagoak. Ezberdintasun horiek karga azkarrarekin deformazio elastikoarekin batera agertzen den isurpen-fenomenoari sor zaizkie.

Hormigoiaren osagaiek, bakarka hartuta, oso elastikotasun-modulu ezberdinak dituzte: agregakinen modulua hormigoiak izango duena baino handiagoa da; zementu-pastarena, aldiz, txikiagoa da, 91. irudian ikus daitekeen moduan.



**91. irudia. Hormigoiaren osagaien tentsio-deformazio kurbak.**



Amaierako materialaren portaera pastaren eta agregakinaren artean gertatuko diren mikropitzaduren menpean dago, zeinak kurba lineala ez izatearen errudunak baitira.

Agregakinen elastikotasun-modulua zenbat eta handiagoa izan eta haien proportzioa hormigoian zenbat eta handiagoa izan, beronen elastikotasun-modulua handiagoa izango da.

Hormigoia adina zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da elastikotasun-modulua. Agregakinen formek eta haien gainazalen egiturek *E*-ren balioan garrantzia dute mikropitzaduren sorreran duten eragina dela-eta.

#### ***11.7.4. Konpresioarekiko erresistentzia***

Hormigoia konpresioarekiko, trakzioarekiko eta flexioarekiko esfortzuak jasateko gai den materiala da. Konpresioarekiko erresistentzia hiruretatik handiena da, gutxi gorabehera trakzioarekiko duena baino hamar bider handiagoa. Beraz, hauxe da interesgarriena eta, normalean, ezaugarri hau aprobetxatzeko diseinatuko dira hormigoizko pieza guztiak.

Hormigoia konpresioarekiko erresistentzia faktore askoren menpean dago: kalitatearekin lotuta edo probeten forma eta dimentsioekin zerikusia dutenak, edo saiakuntza egiten den baldintzen funtzioan ere egon daiteke.

Hormigoia beretik lortutako zenbait probetatan konpresioarekiko saiakuntza egiten denean, beti apurketa-tentsioen balioen artean ezberdintasunak agertuko dira. Horrela, hormigoia batez besteko erresistentzia probeta ezberdinen erresistentzien arteko batura zati probeten kopurua eginez kalkulatu da. Lorturiko balioak ez du kontuan izango emaitza indibidualen dispersioa. Akats hori konpontzeko erresistentzia karakteristikoa definitu da, banaketa normal batean oinarrituriko azterketa estatistiko baten bidez azaltzen dena eta banakako emaitzen dispersioa kontuan izango duena.

Masa-hormigoiak eta hormigoia armatuak, EHE Instrukzioan arautuak daude, 28 egunen buruan daukaten konpresioarekiko erresistentzia karakteristikokoaren funtzioan sailkatzen dira, era honetan: H-20, H-25, H-30, H-35, H-40, H-45 eta H-50, N/mm<sup>2</sup>-tan neurtuak.

Oro har, erabilitako materialen eta tekniken arabera, 28 eguneko adinean hormigoiek duten konpresioarekiko erresistentzia oso aldakorra da; horrela, hormigoia arinek 10 N/mm<sup>2</sup>-ko erresistentzia baino erresistentzia txikiagoak dituzte, polimeroak dituzten hormigoia berezietan 200 N/mm<sup>2</sup>-koak lor daitezke, eta eraikuntzarako hormigoietan 25 eta 35 N/mm<sup>2</sup> bitartekoak.

Erresistentzian zeresana duten faktoreak hauek dira:

#### **a. Materialen eragina**

Hormigoi mota ezberdinak aukeratuko dira ezaugarri erresistenteen funtzioan, piezak jasango dituen kargen arabera eta ingurumenaren arabera.

Erresistentzia mekanikoei dagokienez, argi eduki behar da amaierako materialak ez duela izango zementuak eta agregakinek dutena baino erresistentzia handiagorik.

Agregakinek zementuarekin lotura ona izan behar dute eta haren hidratazioan ez dute efekturik izan behar; bestalde, oraketarako erabiliko den ura egokia dela ziurtatu beharko da, hormigoiarentzat substantzia kaltegarririk ez duela ziurtatuz.

#### **b. Ur/zementu erlazioaren eragina**

Hormigoiaren erresistentzian eragin handiena duen faktorea ur/zementu erlazioa da.

Hala ere, trinkotzeak zeresan handia dauka erresistentzian ere: behar den moduan egiten ez bada, masaren barruan geldituko den aire-bolumena handia izango delako eta erresistentziaren balioa txikitu egingo delako horren eraginez.

Hormigoian dagoen zementua hidratatzeko kalkulaturiko ur-kantitatea baino ur gehiago erabiltzen denean, eta sobera dagoena lurruntzean, masan hutsuneak eratuko dira erresistentziak txikituz. Aldiz, behar baino ur-kantitate txikiagoak erabiltzen direnean, hormigoia lehorregi egongo da eta bere masan hutsune asko eratuko dira ere erresistentziak txikituz.

#### **c. Agregakinaren neurri maximoaren eragina**

Erresistentzia altuko edo zementu-aberastasun handiko hormigoietan komeni da neurri txikiko agregakinak erabiltzea; aldiz, zementu-kantitate txikiak daramatzaten hormigoietan agregakin handiagoak erabiltzen dira. Horren arrazoia hau da: erresistentzia maximoak lortzeko aleek zementu-pastaz guztiz inguratuta egon behar dute; izan ere, zementu-kantitatea txikitzen doan heinean, agregakin handiagoak behar dira; aldiz, elementu horiek zenbat eta txikiagoak izan, ur eta zementu gehiago beharko da haien gainazal osoa zementuz inguratuta gelditu dadin.

Erresistentzian, agregakinaren neurriaz gain, formek eta egiturek ere zeresan handia daukate, batez ere, birrindua bada.

#### **d. Probeten formaren, dimentsioen eta saiakuntza egiteko eraren eragina**

Probeta baten apurketaren bidez kalkulaturiko konpresioarekiko erresistentzien balioak aldaketak izan ditzake hurrengo arrazoiak direla-eta: prentsa-platerren gogortasuna, probetaren neurria eta lerdentasuna, kargen aplikazioaren abiadura, eta prentsaren diseinua direla-eta.

Faktore horietaz gain, saiakuntza guztietan azaltzen direnak ere kontuan izan beharko dira: probetaren aurpegiaren arteko paralelotasun falta, probeta okertua egotea, karga eragiten den gainazalen akabera txarra, probetak lehorregi edo hezeegi egotea, etab.

#### **e. Hormigoiaaren adinaren eragina**

Hormigoia, denbora igaro ahala, erresistentzia irabazten doa; hala ere, prozesu hau erabilitako zementu motaren, ur/zementu erlazioaren eta tenperaturaren funtzioan dago.

Hormigoiaaren erresistentzien bilakaera zein den ezagutzea oso lagungarria da, esate baterako, 7. egunean daukana jakinik, 28 egunen buruan erresistentziaren balioa auresan daitekeelako.

Erresistentzien aldaketan, adinaren funtzioan, hainbat faktorek eragina dute-nez, hormigoi bakoitzeko, erresistentzia eta denbora erlazionatzen dituen ekuazioa kalkulatzeko da ingurumen-baldintza jakin batzuetarako.

Hormigoian ur/zementu erlazioa txikia denean, erresistentzien hazkuntza, 28 eguneko adinarekiko, azkarrago gertatzen da erlazio hori handia denean baino. Fenomeno hori gertatzen da ur/zementu erlazioa zenbat eta txikiagoa izan, zementu aleak elkarrengandik hurbilago daudelako, eta hidratazioa gertatzean sortutako gelak sistema egonkor bat azkarrago sor dezakeelako.

Porlan zementua erabiltzen denean, inolako gehigarririk gabe, haren erresistentzia 7 egun igarotzean, 28 egun igarotzean daukanarekiko, % 60 eta 77 bitartean dagoela pentsa daiteke, normalean % 66ko balioa erabiltzen da. Aldakortasun horiek zementu ezberdinen ehotze-prozesuan gertatzen diren diferentzien ondorioz gertatzen dira.

Temperaturak ere eragin handia dauka erresistentzien bilakaeran: temperatura zenbat eta handiagoa izan, hormigoiak erresistentziak arinago lortzen ditu.

Normalean, erresistentzia interesgarrienak 28 egunen buruan lortutakoak dira, eraikuntza-kalkuluetan horiek erabiltzen direlako; hala ere, segurtasun-arrazoiak direla-eta, beharrezkoa izan daiteke adin handiago batean hormigoiak izango duen erresistentzia kalkulatzeko. Horrela, 28 egunekiko hurrengo taula erabilgarria da (ikus 27. taula):

| <b>Hormigoiaaren adina (egunak)</b>                | <b>3</b> | <b>7</b> | <b>28</b> | <b>90</b> | <b>360</b> |
|----------------------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|
| Porlan zementu arrunta                             | 0.40     | 0.65     | 1.00      | 1.20      | 1.35       |
| Hasieran erresistentzia altua duen Porlan zementua | 0.55     | 0.75     | 1.00      | 1.15      | 1.20       |

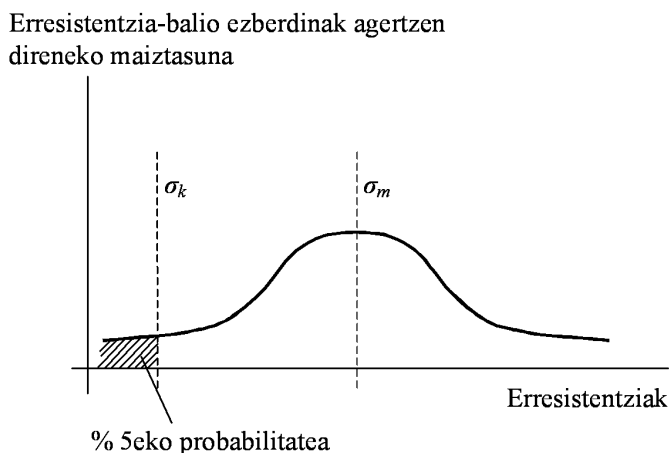
**27. taula. Hormigoiaaren adin ezberdinetan erresistentzia kalkulatzeko erabilitako biderketa-faktoreak.**

### 11.7.5. Erresistentzia karakteristikoa

$n$  probeten ganean konpresioarekiko saiakuntzak egiten direnean,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  lortutako tentsioen balioak normalean ezberdinak dira, eta horrek erresistentziaren benetako balioa ezagutzea zailtzen du.  $\sigma_m$  batez besteko erresistentzia erabiltzeak ez du benetako baliorik ematen, emaitzen dispersioa kontuan ez duelako.

Horrela, faktore estatistiko hori kontuan izanik, dispersio-gradua zenbat eta txikiagoa izan, lortutako balioak zehatzagoak direla ikusten da. Bestalde, batez besteko erresistentzia berdina duten hormigoietan, saiakuntzetan agertzen den dispersio-graduaren arabera, segurtasun-faktore ezberdinak aplikatu beharko lirateke.

Segurtasun-koefiziente bakarra erabiltzeko erresistentzia karakteristikoren kontzeptua erabiliko da; honek,  $\sigma_m$  batez besteko erresistentzia eta saiakuntzek agertzen duten aldakortasuna kontuan izango ditu. Horrela, hormigoia  $\sigma_k$  erresistentzia karakteristikoa % 95eko fidagarritasuna duen balioa da, hau da, % 5eko probabilitatearekin  $\sigma_k$  baino erresistentzia balio txikiagoak ager daitezke obra batean kokaturiko hormigoian. Grafikoki 92. irudian ikus daiteke kontzeptua.



92. irudia. Hormigoia erresistentzia karakteristikoa.

### 11.7.6. Trakzioarekiko erresistentzia

Hormigoiak trakzioarekiko erresistentzia baxuak dituen materiala da, konpresioarekiko duenaren hamarrena. Arrazoi horregatik arrakalatu egiten da karga mota horiek jasaten dituenetan.

Trakzioarekiko erresistentziaren kalkulua interesgarria izan daiteke, batez ere, hormigoia pitzaduren aurrean izango duen portaera aztertu nahi denean. Bestalde, biltegien kalkuluan, kanalen diseinuan eta erradiazioen aurkako babesak egiteko orduan ere trakzioarekiko erresistentzia ezagutzea komenigarria izan daiteke.

Trakzioarekiko saiakuntzetan piezaren luzapen bat gertatzen da; apurtu gabe hormigoiak duen luzatzeko ahalmenari elongazio-ahalmen deritzo. Elongazio-kapazitate hau zementu-pastaren harikortasunaren menpean eta pasta horrek agregakinekin duen itsasteko ahalmenaren menpean dago; apurketan bere balioa, normalean, % 0,01 eta 0,015 bitartean dago. Kargaren aplikazioa astiro egiten denean, deformazio unitarioaren balioa apurketan % 0,03 eta 0,04 bitartekoa izan daiteke, deformazio elastikoari isurpenaren zati bat gehitzen zaiolako.

Oro har, hormigoiek zenbat eta erresistenteagoak izan, luzatzeko ahalmen txikiagoa dute; horrela, ur/zementu erlazio altuak dituztenean, adin txikia edo ontze txarra izan dutenean, trakzioa jasatean, luzapen handiagoa dute kalitate onekoek baino (hauek tentsio-balio handiagoetara apurtuko dira baina apurketa hauskorragoarekin eta deformazio txikiagoarekin).

#### ***11.7.7. Iragazkortasuna***

Iragazkortasuna, fluido batek (gasa edo likidoa) hormigoi-masa zeharkatzeko duen erraztasun moduan defini daiteke. Propietate hau pasta hidratatuek eta agregakinek duten porositateari, trinkotasun txarrari eta exudazioari sor zaie. Azken bi faktore horien eraginez, hormigoia % 10eko poro-bolumena izatera hel daiteke, nahasketaren kalkulua okerra izan delako, obran kokapena txarto egin delako edo ontze-prozesu okerra burutu delako.

Hormigoi baten iragazkortasuna poroen bolumenaren menpean dago baina baita haien neurrien, banaketaren eta elkarrekin dituzten interkonexioen menpean ere.

Fenomeno honek garrantzi handia dauka presa eta kanalen eraikuntzan urak poroetan eragin dezakeen presioagatik eta porlanditan eragin dezakeen disoluzioagatik. Bestalde, biltegietan eta erreaktore nuklearren ontzietan hormigoiak izan dezakeen iragazkortasuna, aire eta gasen aurrean, garrantzi handikoa da segurtasunerako.

#### ***11.7.8. Uzkurdura***

Uzkurdura, gogortze-prozesuaren lehenengo etapetan gertatzen den kontrakzioa da, bereziki ur falta dagoenean.

Hurrengo uzkuradura motak bereizten dira:

##### **a. Plastikoa**

Hormigoia egoera plastikoan dagoenean gertatzen da, hau da, gogortze-prozesua amaitu baino lehen. Pastak % 1eko inguruko bolumen-uzkuradura jasaten du zementu lehorren bolumen absolutuarekiko.

Uzkurdura plastikoa gainazaleko uraren lurrunketa azkarra gertatzen denean handitzen da. Bereziki nabarmena da gainazal handiak dituzten piezetan: zoladuretan, solairuetan, estalkietan eta abarretan; gainazal handienetan pitzadura perpendikularrak sortuz, azkenean piezaren apurketa sor dezakete haren lodiera mehea bada.

### **b. Lehorketakoa**

Hormigoia gogortu denean eta ingurumen ez-saturatu batean dagoenean, ura galdu eta kontrakzio bat gertatu ohi da, lehorketako uzkurdura. Uzkurdura hau itzulezina da eta zementu-pastak ura galtzen duelako gertatzen da.

Lehorketako uzkurdurak deformatu ezin daitezkeen piezetan tentsio garrantzitsuak sor ditzake, eta hormigoiaren trakzioarekiko erresistentzia gainditzen badute, haren apurketa sor dezakete.

Uzkurdura mota hau hormigoiak duen zementu/agregakin erlazioaren, ur/zementu erlazioaren, ontze-baldintzen, piezaren formaren eta abarren menpean dago.

### **c. Karbonataziokoa**

Hormigoi gogortuan, edo ia-gogortuan, konposatu hidratatuen karbonatazioa gertatzen da giroko  $\text{CO}_2$ -ak eraginda, karbonatazioko uzkurdura sortuz. Uzkurdura mota hau ez da lehorketakoa bezain garrantzitsua, baina haren efektua lehenengoari gehitzen zaio efektu totala handituz.

Hormigoiaren karbonatazioak pisu-hazkuntza txiki bat, konpresioarekiko erresistentziaren hazkuntza, alkalinitasunaren galera (hormigoi armatuetan altzairuzko barren babes txikitu egiten da) eta iragazkortasunaren txikitzea sortzen ditu ere.

Karbonatazioko uzkurdura, piezaren gune konprimituetan kaltzio hidroxidoaren edo porlanita kristalen disoluzioaren ondorioz agertzen da eta, tentsiorik ez dagoen tokietan, karbonato kristalen prezipitazioaren ondorioz lehorketako uzkurdu-rak eraginda.

Fenomeno hau nabariagoa da hezetasun- eta lehortze-aldaketak jasaten dituzten piezetan; horrela, mareen gorabeherak edo ur-zipriztinak jasaten dituzten elementuetan pitzadurak sor daitezke.

### **11.7.9. Hanpadura**

Hanpadura hormigoiaren bolumenaren hedapena edo hazkuntza da, uraren xurgapena gertatu delako.

Hormigoiak etengabe uretan murgildua dagoenean pisua eta bolumena irabazten ditu, zementu hidratatuaren gelek xurgaturiko ura dela-eta.

Hanpadura-balioak pastetan, morteroetan eta hormigoietan oso ezberdinak dira agregakinek duten efektu mugatzailearen ondorioz. Hormigoietan pastetan baino txikiagoa da, zementuaren dosifikazioaren, motaren eta ur/zementu erlazioaren funtzioan.

Bestalde, hanpadura abiadura handiarekin gertatzen da hormigoia uretan sartu bezain laster, baina gero txikituz doa, eta denbora igaro ahala egonkortu egiten da.

Hormigoiz eginiko presetan fenomeno hau ikus daiteke uzkurdura fenomenoarekin batera: urez estalirik dagoen presaren zatian hanpadura gertatzen den bitartean, beste aldean, urak ukitzen ez duen aldean, materiala lehor egongo da uzkurdura gertatuz. Bi fenomeno hauek aldaketa txikiak sortzen dituzte presaren kurbaduran.

### **11.7.10. Isurpena**

Hormigoiz eginiko pieza bati tentsio konstante bat aplikatzen bazaio denboran zehar, alde batetik, aldiuneko deformazio elastiko bat jasango du, eta, bestetik, denboraren funtzioan dagoen deformazio plastiko bat, isurpena deitzen dena.

Isurpenaren eraginez sortzen den deformazioak aldiuneko deformazioak baino balio handiagoak izan ditzake.

Pieza bati karga bat aplikatzean oso zaila da ezberdintzea deformazio elastikoa eta isurpenaren ondorioz gertatutako deformazioa; dena den, garrantzitsuen elementuak jasaten duen deformazio totala ezagutzea da.

Zenbait ikerketaren ostean jakinenez, piezak 20 urtetan lortuko duen isurpenaren % 18-35 lehenengo bi astetan lortuko du; % 40-70 hiru hilabetetan, eta urte baten buruan, % 64-83.

Isurpenaren ondorioz gertatzen den deformazioa hurrengo faktoreen menpe dago:

#### **a. Agregakinak**

Agregakinen kantitatea zenbat eta handiagoa izan, isurpena txikiagoa izango da zementuaren dosifikazio eta ur/zementu erlazio berdinetarako.

#### **b. Zementua**

Pieza bat kargatzean jasango duena zementuaren erresistentziarekin zuzenki lotuta dago, berau edozein izanda.

Ur/zementu erlazioa zenbat eta handiagoa izan eta agregakin/zementu erlazioa zenbat eta txikiagoa, orduan eta handiagoa izango da isurpena.

### c. Hormigoiaren adina

Karga ezartzen denean hormigoiak duen adinak bere erresistentzia baldintzatzen du; horrela, hormigoiaren adina txikia denean, aldaketak oso nabariak dira, baina adin jakin batetik aurrera isurpen-balioan aldaketa txikiak gertatzen dira erresistentziak egonkortuta gelditzen direlako.

### d. Temperatura

Isurpenean tenperaturak ere eragina dauka, ur-galerak direla-eta, tenperaturak zenbat eta altuagoak izan, isurpenaren ondorioz gertatuko diren deformazioak handiagoak izango dira. Isurpenean gertatzen den aldaketa honek garrantzi handia dauka zenbait eraikuntzatan, zubietan batez ere.

### e. Hezetasuna

Hezetasun-aldaketek isurpen-fenomenoan ere eragin garrantzitsua dute; hezetasun erlatiboa txikitzean isurpena handitu egiten da.

### f. Uzkuerdura

Uzkuerdura handiak jasaten dituzten hormigoiek isurpen handia izaten ohi dute. Hala ere, deformazio hauek ez daude faktore berdinak menpean; uzkuerduraren kasuan ur-galera bat gertatzen da, eta isurpenaren kasuan, aldiz, ez dago ur-galerarik.

### g. Piezaren neurriak

Metro bat baino lodiera txikiagoko piezetan, neurriak zenbat eta txikiagoak izan, handiagoa izango da karga berdinaren aurrean sortzen den isurpena. Fenomeno hau uzkuerdura eta isurpena aldi berean gertatzen direlako jazotzen da, eta piezaren gainazal/bolumen erlazioa zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da ur-galera, eta ondorioz, deformazioa ere.

Metro bat baino lodiera handiagoko piezetan, nukleoak hezetasuna mantenduko du, hidratazioa aurrera doan heinean, erresistentzia handitu eta isurpena txikiagoa izango da.

## ***11.7.11. Propietate termikoak***

### *11.7.11.1. Dilatazio termikoaren koefizientea*

Dilatazio termikoaren koefizientea hormigoi batean aldakorra da, konposizio eta hezetasun-graduaren arabera.

Hormigoiaren dilatazio termikoaren koefiziente ezberdinak dituzten bi material har daitezke:

- a. Agregakinak: izaeraren arabera  $0,9 \cdot 10^{-6}$  eta  $16 \cdot 10^{-6}$  mm/m $\cdot$ °C-ko balioak dituzte.



b. Zementua: honen koefizientea  $11 \cdot 10^{-6}$  eta  $19,8 \cdot 10^{-6}$  mm/m $\cdot$ °C tartean dago.

Hormigoiak, agregakinez eta zementu-pastaz osatuta dagoenez, bitarteko dilatazio termikoaren koefizientea izango du, agregakinen proportzioaren arabera eta haien koefizientearen menpean egongo dena.

Bestalde, hormigoiaren koefiziente hau bere hezetasun-egoeraren arabera da ere, materiala zenbat eta lehorrago egon, txikiagoa izango da, eta hezetasunez partzialki saturatuta dagoenean, handiagoa; balio maximoa hezetasun erlatiboa % 50-70 bitartean dagoenean lortzen da, hortik gora berriro ere txikituz doa.

#### *11.7.11.2. Eroankortasun termikoa*

Hormigoi lehorren eroankortasun termikoa, zeina agregakinen izaeraren, konposizioaren eta aire-edukiaren menpean baitago, 0,05 eta 1,15 Kcal  $\cdot$  mm/m<sup>2</sup>  $\cdot$  h  $\cdot$  °C bitarteko balioak ditu. Hormigoi zelularrak eta agregakin arinak dituzten hormigoiek balio baxuagoak dituzte, batez ere agregakin finik ez badute, hareek zubi termiko gisa jokatzen dutelako, beroaren transferentzia erraztuz.

Materialak duen hezetasunak eroankortasunean ere eragina dauka; horren balioa hormigoi saturatuetan lehorretan baino handiagoa da; izan ere, lehorretan poroak airez beterik daudenez urak baino eroankortasun txikiagoa izango dute.

#### *11.7.12. Pitzadurak*

Hormigoiak duen alderik txarrena pitzatzeko duen erraztasuna da bere trakzioarekiko erresistentzia eta zailtasun txikiak direla-eta.

Pitzadurak ordu batzuetan, asteetan, hilabeteetan edo urte batzuen buruan ager daitezke.

0,05 mm baino neurri txikiagoko pitzadurak ez dira ikusgarriak, baina monolitismoaren eta iragaztezintasunaren apurketa dakarte. 0,1 eta 0,2 mm neurrien tartean dauden pitzadurek ez dute armaduretan korrosio-arriskurik sortzen, pieza ingurumen erasokorrean ez badago. Dimentsio handiagoko pitzadurak oso arriskutsuak dira.

Hormigoia pitzatu egiten da jasan ezin dituen trakziozko (normalean) tensioen bidez. Fenomeno hori, zenbait kasutan, akzio bakar baten ondorioz gertatzen da; beste zenbaitetan, aldiz, zenbait akzioaren arteko konbinazioaren ondorioz sortzen da: horrela, jatorri estatikoa duen mikropitzadura batek agente erasokorre bidea ireki diezaieke armaduretan korrosioa sortuz, eta hortik, pitzadura handiagoa bihurtuz.

Pitzadurek sortzen dituzten baldintzak oso ezberdinak dira, ondoren adierazten direnak garrantzitsuenetarikoa izanik:

a. Hormigoian ur-kantitate handiak egotea

Ur-edukia zenbat eta handiagoa izan, uzkurdua hidraulikoa ere handiagoa izango da eta, ondorioz, pitzadurak agertzeko aukerak ere.

b. Zementuaren dosifikazioa handia izatea

Egoera honek ur-eduki handiagoak eskatzen dituenenez, aurreko kasuan agertutako arazo berak agertuko dira hemen ere.

c. Zementuaren hidratazio-beroa handia izatea

Zementu-eduki handiak (batez ere, trikaltzio silikatoan aberatsa bada) bero-kantitate altuak askatzea sortzen du, zeinak trakzioarekiko erresistentzia baino altuagoak izan daitezkeen tentsio termikoak sor ditzakeen.

d. Eguzkiak eta euriak sorturiko efektuak

Fenomeno atmosferiko hauek eragiten dituzten lehortasun- eta hezetasun-zikloek pitzadurak sor ditzaketen uzkurdurak eta zabalkuntzak eragin ditzakete.

e. Tenperatura-aldaketak

Hormigoiak udan 50 °C-ko tenperaturetara hel daiteke, eta neguan, aldiz, -10 °C ingurukoak jasan ditzake. Aldakortasun horrek materialean laburketak sor ditzake, eta hauek galarazi egiten direnean, pitzadurak ager daitezke.

f. Trikaltzio aluminato hidratatua

Osagai honek sulfatoen eraso jasaten duenean etringita sortzen du, zeinak barne-tentsioak eta amaieran pitzadurak sor ditzakeen.

g. Eraikuntzaren asentu txikiek eragindako mugimenduek pitzadurak sor ditzakete

h. Karga estatiko edo dinamiko asko jartzean pitzadurak sor daitezke piezetan

i. Armaduren korrosioen eraginez altzairuak zabalkuntza bat jasaten duenez, materialaren pitzadura eragin dezake

## **11.8. SAIKUNTZAK**

### **11.8.1. Loditasunaren neurketa**

#### **11.8.1.1. Abrams-en konoa**

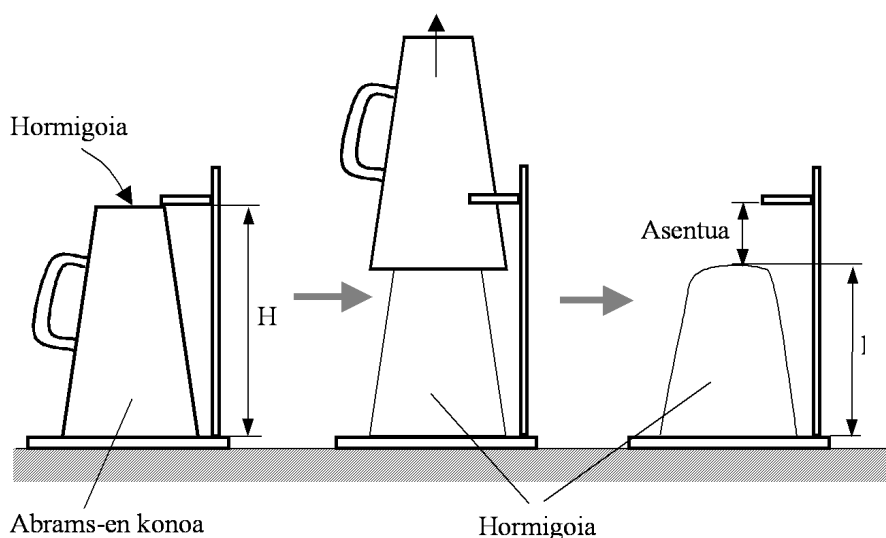
Hormigoi fresko baten loditasuna neurtzeko askotan erabiltzen da sistema hau. Gauzatzeko erraza da, materiala merkea delako eta, gainera, eskulanak espezializatua ez du izan behar.

Saiakuntza honetan hormigoia 30 cm-ko altuera duen kono-enbor itxurako molde batean kokatzen da. Molde horrek 10 cm-ko diametroa du goiko aldean eta 20 cm-koa beheko aldean. Hormigoia moldearen altueraren herena duten hiru

geruzetan trinkotzen da, 25 kolpe emanez 16 mm-ko diametroko esfera duen altzairuzko barra batez. Moldea bete baino lehen bere barnea busti beharko da hormigoia- eta gainazalaren arteko marruskadura saihesteko.

Erabat beteta dagoenean, bere goiko aurpegia lautu ondoren, moldea altxatu eta goiko aurpegiak jasaten duen jaitsiera neurtu egiten da, altuera-diferentzia horri asentu deritzo, ikus 93. irudia.

Loditasuna lortzen da moldearen altueraren eta laginaren punturik garaienaren altueren arteko diferentzia neurtuz.



**93. irudia. Abrams-en konoaren saiakuntza.**

Hormigoia- eta gainazal-arteko jaitsieraren, hau da, asentuaren funtzioan 28. taulan agertzen diren loditasunen arabera, hurrengo sailkapena egin daiteke:

| Loditasuna | Asentua (cm) | Perdoia (cm) |
|------------|--------------|--------------|
| Lehorra    | 0-2          | ±1           |
| Plastikoa  | 3-5          | ±1           |
| Biguna     | 6-9          | ±2           |
| Fluidoia   | 10-15        | ±3           |
| Likidoia   | >16          | ±4           |

**28. taula. Abrams-en konoaren asentuak eta loditasunak.**

#### 11.8.1.2. Astinduetako mahaia

Saiakuntza honen oinarria hormigoiz eginiko kono-enbor batek jasaten duen diametroaren hazkuntza edo lerradura neurtzean datza. Moldeak 13 cm-ko altuera

du, bere goiko diametroak 17 cm ditu, eta behekoak 25 cm. Astinduak ematen dituen mahai baten gainean kokatzen da, zeinak 15 segundotan 12 mm-ko altuerako 15 astindu emango baitizkio.

$$\text{Loditasuna era honetan kalkulatzen da: } IC = \frac{D - 25}{25} \cdot 100$$

non  $D$  hormigoiak duen diametroa (cm-tan) den saiakuntzaren ostean.

Lortutako balioen arabera, loditasunak era honetan sailka daitezke, ikus 29. taula:

| IC       | Loditasuna |
|----------|------------|
| 0 a 30   | Lehorra    |
| 30 a 50  | Plastikoa  |
| 50 a 70  | Biguna     |
| 70 a 100 | Fluidoak   |
| > 100    | Likidoak   |

**29. taula. Loditasunak astinduetako mahaian.**

Hormigoiak kohesio handia ez duenean saiakuntza honek ez ditu balio zehatzak ematen, baina segregazio-arriskurik ez duten hormigoietarako erabilgarria da.

### ***11.8.2. Konpresioarekiko erresistentziaren neurketa***

Hormigoiaren konpresioarekiko erresistentzia saiakuntza suntsitzaile eta ez-suntsitzaileen bidez kalkula daiteke. Lehenengo motakoak erabilienak dira hormigoiketaren kontrolean; horretarako probeta zilindrikoak edo kubikoak egiten dira, herrialde bakoitzak daukan araudiaren arabera, eta trakziozko makina baten itxura bera duen makina batean apurtzen da (bi makina hauen arteko ezberdintasuna indarrak aplikatzeko era da, trakziozkoak batean eta konpresiozkoak bestean), ikus 32. irudia.

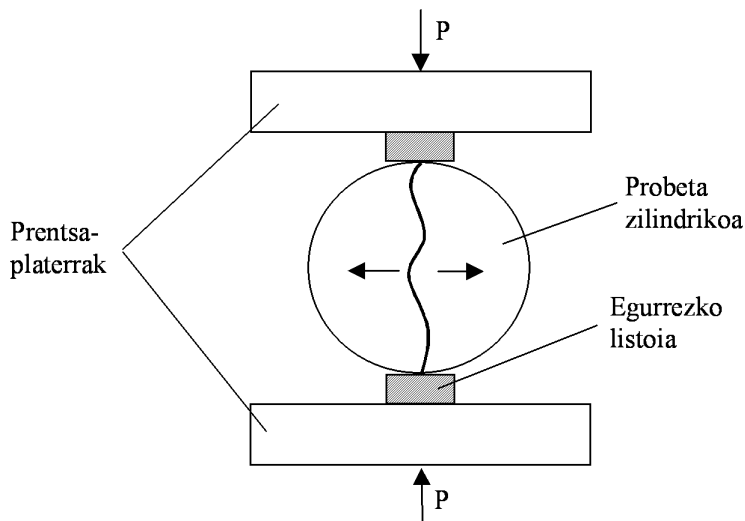
Zenbait kasutan, lekuko probetak (saiakuntza suntsitzaileak) edo saiakuntza ultrasonikoak edo esklerometrikoak (ez-suntsitzaileak) erabiliko dira. Saiakuntza hauen beharraren arrazoiak hauek izan daitezke: eraikuntzaren erabilieran aldagetak eman eta karga berrien aurrean izango duen erresistentzia kalkulatu behar izatea edo sute bat, korrosioa, etab. jasan duen eraikuntza batek duen erresistentzia neurtzeko beharra egon daiteke, esate baterako. Lekuko probetak itxura zilindrikoa, kubikoa edo prismatikoa duten piezak dira, obran kokaturiko hormigoitik zuzenean ebakitzen direnak.

Zenbait kasutan saiakuntzek ez dituzte balio absolutuak ematen baldintza klimatiko ezberdinak daudelako obran eta laborategian, adibidez. Beste kasu batzuetan, obran jarritako hormigoiaren erresistentzia erreala ezagutzea interesgarria da, baina probetek dutenarekin aldea egon daitekeenez (pieza eta probeten neurriak

ezberdinak direlako edo trinkotasun ezberdinak egon daitezkeelako) saiakuntza ez-suntsitzaileak erabiliko dira obran bertan, ultrasoinuak edo errebote (esklerometrikoak) metodoak aplikatuz.

### 11.8.3. Trakzioarekiko erresistentziaren neurketa

Normalean trakzioarekiko saiakuntza ez-zuzena edo brasildarra egiten da. Bertan, konpresio-saiakuntzan erabiltzen diren probeta zilindriko berak erabiliko dira. Probeta horiek prentsa-platerren artean kokatuko dira, haien ardatz nagusia horizontalki jarrita. Gero, aurkako sortzaileen gainean konpresio-indarra aplikatuz, elementua apurtu egingo da plano diametral batetik, ikus 94. irudia.



94. irudia. Trakzioarekiko erresistentziaren neurketa hormigoian.

Trakzioarekiko tentsioa hurrengo adierazpenaren bidez kalkulatu da:

$$f_{cti} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot L}$$

non:

$f_{cti}$  = trakzioarekiko erresistentzia den N/mm<sup>2</sup>-tan

$P$  = probetaren gainean aplikaturiko konpresio-indarra N-etan den

$D$  = probetaren diametroa mm-tan den

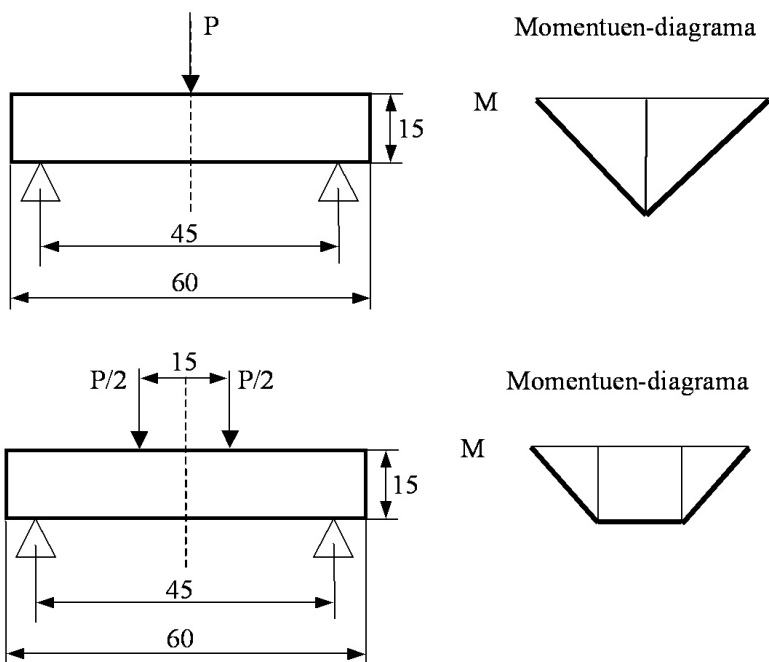
$L$  = probetaren luzera mm-tan den

Karga, minuturo 1,5 N/mm<sup>2</sup>-ko abiaduran aplikatu beharko da 4×15 mm neurriko eta prentsaren eta probetaren artean jarritako egurrezko bi listoen bidez. Egoera horretan, egurrezko listoen inguruan konpresio handiak agertuko dira konpresio bertikalekin konpentsatuko direnak, eta, horrela, probeta konpresioaren bidez apurtuko ez delako ziurtasuna dago.

#### 11.8.4. Flexotrakzioarekiko erresistentziaren neurketa

Saiakuntza hau  $10 \times 10 \times 40$  cm edo  $15 \times 15 \times 60$  cm-ko neurriak dituzten probetekin egingo da (neurri handienekoak zoladuretako hormigoien saiakuntzak egiteko erabiliko dira). Probeta hauek arrabol batzuetan finkatzen dira, haien arteko distantzia hiru bider piezaren aldea izanik.

Karga aplikatzeko bi aukera daude, ikus 95. irudia: erdian kokaturiko beste arrabol baten gainean egitea edo argiaren heren batera kokaturiko bi arrabolen gainean aplikatzea. Lehenengo kasuan, flexio-momentu maximoa kargaren aplikazio-puntutik igarotzen den bertikalean egongo da eta, beraz, zuzen horretan kokaturiko hormigoia iragingo dio bakarrik. Bigarren kasuan, probetaren erdialdean flexio-momentu konstanteko tarte bat egongo da, eta apurketa tarte horretako hormigoia ahulenean gertatuko da. Normalean, bigarren eran lorturiko erresistentzia-balioak txikiagoak dira.



95. irudia. Flexotrakzioarekiko erresistentziaren neurketa hormigoian.

#### 11.9. HORMIGOI MOTAK

Ohiko hormigoien erresistentzia  $35$  eta  $45$   $\text{N/mm}^2$  tartean kokatzen da; balio txikiak izateaz gain, material hauen erabilerak iraunkortasun-mugak ditu ingurumena erasokorra denean, gainera ez dituzte ondo jasaten tenperatura altuak eta izozteen aurrean degradatu egiten dira. Desabantaila hauek gainditu nahi direnean, zenbait aldaketa

sartu beharko dira hormigoia egiteko orduan edo teknologian, hormigoi bereziak deiturikoak sortuz.

### ***11.9.1. Hormigoi arinak***

Hormigoi baten dentsitatean eragin handiena duen osagaia agregakinak dira, proportzio handietan sartzen baitira haren konposizioan. Beraz, dentsitate altuko edo baxuko hormigoia egin nahi denean, agregakin pisutsuak edo arinak erabili beharko dira.

Hormigoi arinek egituren pisua txikitzen dutenez eta termikoak isolamendu egiteko oso egokiak direnez (eroankortasun txikia baitute), eraikuntzan erabilgarriak dira.

Hiru era daude hormigoi arinak lortzeko:

- a. Dentsitate txikiko agregakinak erabiliz ( $1,2 \text{ kg/dm}^3$  baino txikiagoak), agregakin arineko hormigoiak deiturikoak lortuko dira. Apar-harriak, labe garaiko zepak, bersikulitak, egurraren eratorriak (txirbilak eta zerrautsak) eta poliestireno hedatua erabiltzen dira batik bat.
- b. Hormigoi arrunt batetik elementu finak edo harea kenduz, horrela findu gabeko hormigoiak deiturikoak lortuko dira. Produktu hauetan, hasieran hareak betetzen zuen espazioa aireak beteko du gero, horrela gainerako agregakinak, normalean neurri bakarrekoak izango direnak, zementu-pastaz inguratuta gelditu beharko dira lotura era egokian gerta dadin.
- c. Aire-burbuilak gehituz, hormigoi zelularrak deiturikoak lortuko dira. Produktu hauek errealitatean mortero zelularrak dira, zementuz, urez, harea finez eta bide fisikoz edo kimikoz aire-burbuilen bolumen handiak sor ditzakeen produktu batez sortuak daude.

### ***11.9.2. Hormigoi astunak***

Hormigoi mota hauek pertsonen eta materialen babes biologiko moduan erabiltzen dira, X eta gamma izpien aurrean erradiologia industrialean eta medikuntza-instalazioetan, partikula-azeleratzaileetan eta errektore nuklearretan, besteak beste.

Hormigoi hauek ohiko hormigoiekin duten aldea hau da: agregakinen dentsitatea, dosifikazioaren zehaztasuna, eta garraioan eta obran kokapena egiteko orduan izaten den arreta.

Agregakinek  $3,5 \text{ kg/dm}^3$  baino dentsitate handiagoa dute eta, gehienetan, mota honetakoak dira: barita ( $\text{BaSO}_4$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), limonita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) eta ferrofosforoa (fosforoaren fabrikazioan azpiproduktua  $\text{Fe}_3\text{P}$ ,  $\text{Fe}_2\text{P}$ ,  $\text{FeP}$ ).

Hormigoi hauek dituzten erresistentzia mekanikoak ez dira erabakigarriak, babes-funtzioa duten loditasun handiko piezak egiteko erabiltzen direnez, erresistentzia mekanikoa izango dute dagoeneko; hala ere, pitzadurak eragotzi behar dira 300 °C-ko tenperatura altuagoetan ere, askotan babes-piezak tenperatura altuetan aurkitzen baitira. Hormigoi bat, denbora luzean, 300 eta 400 °C bitartean aurkitzen denean, % 20 eta 50 bitarteko erresistentzia-galerak jasaten ditu, eta 400 °C-an deshidratatu egingo da bere babes-ahalmena txikituz.

### ***11.9.3. Hormigoi erregogorak***

Ohiko hormigoia, nahiz eta denbora laburrean portaera ona izan tenperatura altuen aurrean, ez da material egokia piezak denbora luzean tenperatura altuetan egon behar direnean edo tenperatura-aldaketa handiak jasan behar dituztenean (labeetan eta tenperatura altuan dauden produktuekin lan egiten den beste instalazio batzuetan). Kasu horietan hormigoi berezi bat erabili beharko da non zementua eta agregakinak tenperatura altuak jasateko egokiak diren.

Material bat tenperatura altuen aurrean portaera ona duela esaten da urtzen ez denean, kargatu egiten denean bere formen aldaketa minimoa denean, tenperatura-aldaketek bolumen-aldaketarik sortzen ez dutenean, ez denean hanpadurarik ezta uzkurketarik gertatzen transformazio kimikoen ondorioz, eta agente erasotzaileen aurrean ahulagoak egiten ez direnean.

Hormigoi mota hauek fabrikatzeko burdina oxidoan aberatsak diren alumina-zementu grisak erabilgarriak dira 1.300 °C inguruko tenperaturak jasateko, eta alumina-zementu zuriak 1.800 °C-ko tenperaturetaraino lan egiteko. Agregakinak silizean aberatsak izango dira gehiegizko tenperaturak jasan behar ez dituztenean, basaltoak, diabasak, apar-harriak, labe garaiko zepak, adreilu zeramikoak eta abar. Aldiz, tenperatura ertainak/altuak jasateko, aluminan aberatsak izan beharko dira: agregakinak, kromitak, magnesitak, korindon eta abar.

Hormigoi erregogor baten biziraupena ohiko hormigoi batena baino askoz ere txikiagoa da baldintza gogorretan egin beharko baitu lan: tenperatura altuetan, marruskadurak produktu beroekin izango dituelako etab.

### ***11.9.4. Zuntzekin gogorturiko hormigoiak***

Ohiko hormigoiak izan ditzakeen akats batzuk bere masari zuntzak gehituz txikitu daitezke. Zuntz horiek hormigoian era uniformearen dispersatuz, material homogeneoago bat lortzen da, trakzioarekiko erresistentzia handiagoarekin, uzkur-dura kontrolatuago batekin, apurketa harikorrango batekin, etab.

Matrizeak, hau da hormigoiak, materiala elkarturik mantentzen du konpresioarekiko erresistentzia eta zurruntasuna emanaz, kargak banatuz eta zuntzak



babestuz. Zuntzek, bestalde, trakziozko kargak jasateaz gain, pitzadurak kontrolatu eta txikitzen dituzte eta harikortasuna hobetzen dute.

Zuntzen eraginkortasuna faktore askoren menpean dago, baina batez ere haien izaera eta motarekin zerikusia dute. Gaur egun zuntz mineralak (beira, ikatza), organikoak (nylon, polipropileno, poliester, kevlar) eta metalikoak (altzairua) erabiltzen dira. Mota bat ala bestea aukeratzea aplikazioaren menpe dago.

#### ***11.9.5. Hormigoi proiektatua***

Hormigoi hauek bereziak dira, ez haien osagaiak bereziak direlako, baizik eta obran kokatzeko erabiltzen den teknika dela-eta.

Hormigoi proiektatuaren teknikaren bidez, moldeak erabili gabe, gainazal horizontal zein bertikal batean koka daiteke materiala obran.

Hormigoia, hodi baten bidez, nahasketa-makinatik kanoiaren ahora garraiatzen da; bertatik, abiadura handiz proiektatua irteten da gainazalaren aurka. Zorro-tada edo zurrustaren indar handiak materiala trinkotu eta dentsitate handikoa izatea eragiten du.

Erabiltzen den dosifikazioak ez du alderik ohiko hormigoietan erabilitakoa-rekin, hala ere, agregakinen neurri maximoa 10 mm izango da normalean.

#### ***11.9.6. Erresistentzia altuko hormigoiak***

Superfluidifikatzaileen erabilerak 0,3ko ur/zementu erlazioak baino txikia-goak eta erresistentzia handiak dituzten hormigoiak lantzea posiblea egin du. Mikrosilizearen erabilerak, superfluidifikatzaileekin batera, 120 N/mm<sup>2</sup>-ko erresistentziak dituzten hormigoiak lortzea baimendu du.

Hormigoi hauetan maiz mikrosilizea erabiltzen da, baina beronen erabilerak produktua garestitzen du; mikrosilizea, silizio eta ferrosilizioaren fabrikazioan lortzen den azpiproduktu bat izanik, kolore grisa duen hauts bat da (0,01 mm eta mikra batzuetara hel daiteke) 2,2 kg/dm<sup>3</sup>-ko dentsitatea duena.

Zementuaren dosifikazioa, oro har, altua da, 450 kg eta 500 kg/m<sup>3</sup> hormigoi bitartekoa. Agregakinen neurri maximoak ez ditu 20 mm-ak gainditzen eta jatorri birrindua dute.

Hormigoi hauek eraikinetan, zubien eraikuntzan, Ipar Itsasoan eta Ozeano Artikoan kokaturiko petrolio-plataformetan, ur-azpiko tuneletan, erregaien biltegietan, jaurtigaiei aurkako babes militarretan, eta abarretan erabilgarriak dira.

## 12. Material metalikoak

### 12.1. SARRERA

Metalak lotura metalikoan oinarritutako egitura kristalinoa duten material inorganikoak dira. Talde honen barruan metal puruak zein aleazioak sartzen dira.

Eraikuntzan bi metal talde ezberdin erabiltzen dira: burdinaren eratorriak direnak (altzairua eta fundizioak) eta beste metal batzuk (aluminioa eta kobrea, esaterako).

Metal puruek, hau da, oinarrian elementu metalikoa daukatenak eta gainerako osagaiak % 0,2 baino proportzio txikiagoetan dituztenak, ez dute ia erabilerarik ingeniartzan. Oro har, bi metal edo gehiagoren nahasketak diren aleazio metalikoak erabiliko dira; horrela, altzairua esate baterako, burdina eta karbonoaren aleazio bat dena, oso erabilgarria izango da, ikus 96. irudia; edo zenbait aluminio mota, burdinaz gain, zink eta magnesioa dituztenak.



96. irudia. Altzairuzko zenbait pieza.

Aleazio metalikoak soluzio solidoak dira, hau da, substantzia (solutu) baten nahasketa homogeenoa beste substantzia (disolbatzailea) batean, zeinek lotura metalikoaren egitura kristalinoa mantentzen duten.

### 12.2. PROPIETATEAK

#### 12.2.1. Mekanikoak

Propietate mekanikoak eraikuntzan erabiltzen diren metalen ezaugarri garrantzitsuenak dira, produktu hauek gehienetan indar mekanikoak jasateko erabiliko baitira.



Hemendik aurrera, karga handituz deformazioa handituz doa tentsioarekin batera balio jakin bat lortu arte; hortik aurrera, deformazioak handitzen jarraitzen du nahiz eta tentsioa ez handitu, horren balioak txikitu daitezke edo agian oszilatzen joan. Fenomeno horri zedentzia deritzo eta dagokion tentsioaren balioari itxurazko muga elastiko; aldi berean, itxurazko goi-muga elastikoa ( $R_{eH}$ ) deformazio plastikoaren hasierako (diagramaren lehenengo maximoan) kargaren balioa da, eta itxurazko behe muga elastikoa ( $R_{eL}$ ), zedentziaren amaieran probetak jasaten duen kargaren baliorik txikiena.

Zedentzia-tartea igaro ostean (ez da beti agertzen), indarra handitzen doan heinean materialaren deformazioa handituz doa. Prozesu horretan kurba tentsio maximo batera heltzen da, apurketa-tentsio ( $R_m$ ) deritzona. Puntu horretan materialaren egitura kristalinoa apurtu egiten da, baina oraindik apurketa ez dago begi bistan. Egitura kristalino apurtzean eta probetaren sekzioa estrikzioaren eraginez txikitzen denean, zati biak aldentzeko behar den indarra txikituz doa ( $R_u$ ).

#### 12.2.1.2. Konpresioarekiko erresistentzia

Metaletan, normalean, konpresioarekiko erresistentziaren balioak altuak dira. Material hauek, salbuespenak alde batera utzita, isoerresistenteak dira, hau da, haien trakzioarekiko eta konpresioarekiko erresistentziek balio antzekoak dituzte.

#### 12.2.1.3. Ebaketarekiko erresistentzia

Ebaketarekiko erresistentzia nahiko handia izan ohi da metaletan, horregatik txabeta, torloju eta errematxeetan izan ezik, gainerako kasuetan eraikuntzan erabiltzen diren piezek ez dute indar mota hauen bidezko apurketarik jasaten.

Altzairuetan, ebaketarekiko erresistentzia trakzioarekikoaren % 60 izaten da normalean.

#### 12.2.1.4. Nekea

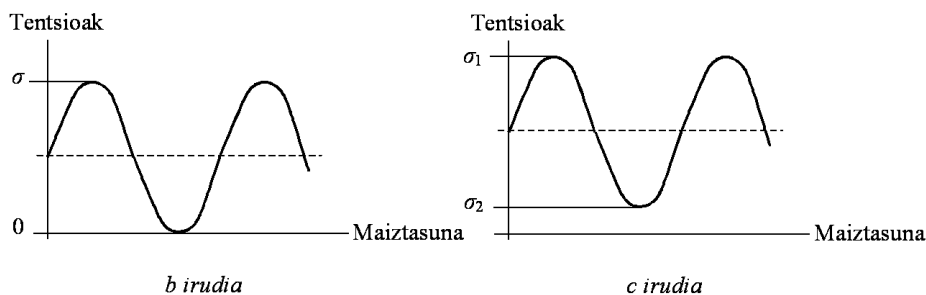
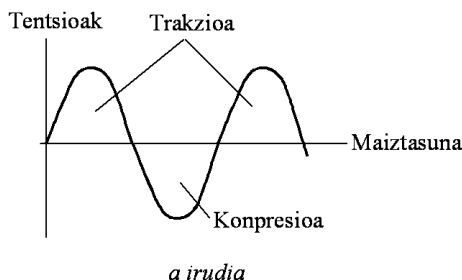
Metalen portaera hainbat bider errepikatzen diren indarren aurrean ez da eten-gabe aplikatzen ari den karga baten aurrean daukatena. Material batek etengabe iraun dezake era jarraituan aplikatzen ari den karga baten aurrean, baina gerta daiteke era periodiko batean aplikatzen den karga berdinen aurrean, ziklo jakin batzuk igaro ostean, apurtzea.

Nekea sor dezaketen karga motak hauek izan daitezke, ikus 98. irudia:

- Aldizkakoa, trakzioarekiko eta konpresioarekiko tentsioak sortzen dituztenean (*a irudia*).
- Aldizkakoa, tentsioak 0 eta  $\sigma$ -ren artean aldatzen direnean baina beti zeinu berekoak izanik (*b irudia*).

c. Pulsaziozkoa, zikloan zehar kargaren balioa aldatuz doanean baina zeinuz aldatzen ez denean (*c irudia*).

Materialak jasan ditzakeen ziklo kopurua, kargaren anplitudearen eta, neurri txikiagoan, haren batez besteko balioaren menpean dago. Anplitude minimo baten azpitik materiala ez da apurtuko.



### 98. irudia. Nekea sor dezaketen karga motak.

Nekearekiko erresistentzia neurtzeko erabiltzen den saiakuntza arrunta hegaltze birakari baten bidez egiten da, ikus 99. irudia. Probeta zilindrikoaren mutur bat motorrari akoplatzen zaio. Beste muturrean pisu bat eskegitzen da. Probetak, hasieran, trakziozko indar bat jasaten du goiko gainazalean, behekoa konprimituta dagoen bitartean. 90°-ko biraketa egin ostean, hasieran trakzioan eta konpresioan zeuden tarteak ez dute tentsiorik jasango. 180° biratu ostean, hasieran trakzioa jasaten zuen gainazal zatiak konpresioa jasango du, eta alderantziz. Beraz, probetaren edozein puntuk zerotik trakzio maximora eta zerotik konpresio maximora igarotzen den zikloa jasaten du.

Ziklo kopuru jakin baten ostean probeta apurketara hel daiteke. Oro har, lagin ezberdinekin saiakuntzak egiten dira esfortzu ezberdinak aplikatuz; apurketara heltzeko behar duten zikloak zenbatuta grafikoak egiten dira.



### **b. Plastikotasuna**

Plastikotasunak definitzen du materialek haien gainean eragiten duten kargak kendutakoan, deformazio permanenteak jasateko duten ahalmena. Plastikotasunak, adibidez, esfortzu mekanikoen bidez metalak konformatzeko duten ahalmena definitzen du. Propietate hau oso aldakorra da metal motaren arabera eta tenperaturaren arabera.

### **c. Garraztasuna**

Tarte plastikora heltzean, karga-hazkuntza berdinetarako, metalen deformazioak azkarrago handitzen dira tarte elastikoan baino. Deformazioak egoera horretan sortzen dituen erresistentzia-hazkuntzei garraztasun deritze.

Fenomeno hau, sare kristalinoaren berrantolaketaren ondorioz sortzen dena, metal guztiek jasaten dute proportzio handiagoan edo txikiagoan. Metal bati bere forma aldatzen duen tratamendu mekaniko bat aplikatzen zaionean (tenkaketa adibidez), haren baldintza mekanikoak aldatu egiten dira. Alanbreen fabrikazioan, esate baterako, bilatzen den propietatea da.

### **d. Hauskortasuna**

Material bat hauskorra da bere deformazioa, apurketa baino lehen, oso txikia denean. Metaletan, deformazio elastikoa txikia den kasuetan, muga elastikoaren eta apurketa-kargaren arteko diferentzia zenbat eta txikiagoa izan, orduan eta handiagoa izango da haien hauskortasuna.

Hauskortasuna metal familia baten barruan oso aldakorra da, tratamendu termiko edo mekanikoen arabera tarte plastikoa handiagoa edo txikiagoa izan daitekeelako.

#### *12.2.1.6. Zailtasuna*

Zailtasunaren kontzeptua erresistentzia eta deformazioaren kontzeptuekin erlazionatuta dago, adierazten baitu metal batek egiten duen lana kanpotik eragindako indarren eraginez deformatu eta apurtzen denean.

Zailtasuna plastikotasunaren eta apurketa-kargaren menpean dago batez ere; hauskortasunaren kontrako propietatetzat har daiteke, metal bat bakarrik deformazio txikiak jasateko gai bada, ez baitu zailtasun-balio handirik izango.

Zailtasuna kalkulatzeko Charpy-ren pendulua erabiliko da, ikus *100. irudia*.



**100. irudia. Charpy-ren pendulua.**

#### *12.2.1.7. Gogortasuna*

Gogortasunak adierazten du metal baten gainazalak deformazioa jasateko duen ahalmena.

Gogortasun mota batzuk daude:

- a. Marradurarekiko gogortasuna: material batek beste material batek marratua izateko jartzen duen oztopoa da.
- b. Sarpenarekiko gogortasuna: metal batek beste gorputz bati bere gainazalean sartzeko jartzen dion oztopoa da.
- c. Gogortasun elastikoa: material baten gainazalak bere aurka talka egiten duen elementu baten aurrean daukan erreakzioa definitzen du.
- d. Ebakidurarekiko gogortasuna: metal batek beste metal baten bidez egindako mozketaren aurrean jarritako oztopo gisa definitzen da (barautsa bat adibidez).

Gogortasun mota hauetatik metaletan gehien erabiltzen dena sarpenarekiko gogortasuna da, ikus 3.2.5.7. puntua. Saiakuntza hauek metalaren gainazalean presio bat aplikatzen duten neurri eta ezaugarri bereziak dituzten elementu batzuen bidez egiten dira, *101. irudian* saiakuntza hau egiteko erabiltzen den makina agertzen da. Hiru gogortasun-eskala ezberdin dira:



1. Brinell: presioa aplikatzeko 10 mm-ko diametroa duen bola bat erabiltzen da. Gogortasunaren zenbakizko balioa aplikaturiko kargaren eta material-lean bolak utzitako hatzaren azaleraren arteko zatiketa eginez lortzen da. Burdina fundiziozko eta altzairuzko piezetan erabiltzen da gehienetan, baita burdinazkoak ez diren zenbait aleaziotan ere.
2. Rockwell: presioa aplikatzeko 1,8 mm-ko diametroa duen altzairu estragorrezko bola bat edo diamantezko kono bat erabiltzen da. Erresistentzia altuko altzairuetan erabilgarria da baina baita material bigunetan ere, letoietan (kobrezko eta zinkeko aleazioa) eta aluminioetan, esate baterako.
3. Vickers: presioa egiteko lau angeluko piramide bat erabiltzen da, loditasun txikia eta gogortasun handia duten materialetan erabilgarria izanik.



**101. irudia. Gogortasuna neurtzeko makina.**

### ***12.2.2. Elektriakoak eta termikoak***

Metalak elektrikoki bereizten dira beren elektroiek masan zehar mugitzeko duten erraztasunaren arabera. Metalen egitura kristalinoa geometrikoki taldekatuta dauden ioi positiboekin sortuta dago, bertan mugikortasun handiko balentzia-elektroien hodei bat egonik.

Eraikuntzan propietate elektrikorik garrantzitsuena erresistibitate elektrikoa da eta, haren alderantzizkoa, eroankortasun elektrikoa. Erresistibitatea metalaren izaeraren eta tenperaturaren funtzioan dago (eraikuntzan tenperaturaren eragina txikia da, tenperaturen aldakortasuna oso mugatuta baitago).

Propietate elektriko hauek oso aldakorrek dira metal batetik bestera, nahiz eta guztiak oso eroale elektriko onak izan; baldintza ekonomikoek asko murrizten dituzte metal erabilgarriak elektrizitatearen garraiorako, adibidez.

Eraikuntzan fenomeno termikoetatik eratorritako propietateen artean garrantzitsuenak eroankortasun termikoa eta dilatazio-koefizientea dira. Eroankortasun termikoa ez da konstantea material jakin batean, oro har, tenperaturarekin aldakorra baita. Hala ere, aldakortasun hau txikia denez eraikuntzako materialak erabiltzen diren tenperatura-esparrurako, batez besteko balioak har daitezke errore garrantzitsurik egin gabe.

Oro har, metalak oso eroale termiko onak dira, beste materialak baino askoz ere hobeak, eta portaera hori haien egitura kristalinoaren ondorio zuzena da.

Dilatazioak metaletan oso balio aldakorak ditu, zenbait kasutan metal batzuek balio altuak baitituzte eta beste zenbait kasutan, metal berdinen aleazioetan, esate baterako, dilatazio-koefiziente ia nuluak izan ditzaketelako.

### ***12.2.3. Kimikoak***

Metalak egoera puruan, oro har, ezegonkorak izan ohi dira, horregatik naturan gehienetan oxigenoarekin eta sufreakin konbinatuta aurki daitezke.

Material hauen jarduera kimikoa honako ezaugarri hauek baldintzatzen dute: tenperaturak, erreakzionatzen duten agentearekin kontaktuan daukaten gainazalaren neurriak, haien masan dituzten ezpurutasunek eta haiekin erreakzionatzen duten gorputzek, batik bat.

#### ***12.2.3.1. Oxidazioa***

Eraikuntzan erabilitako metalak, jasan ohi dituzten tenperaturetan, atmosferako oxigenoarekin oxidatzen dira bakarrik. Prozesu hori ondoren azaltzen diren arrazoiak mugatzen dute:

- a. Benetan aktiboa den oxigeno atomikoaren portzentajea oso txikia da atmosferan, hala ere, nahikoa da zenbait efektu nabari sortzeko.
- b. Metalak oxido-geruza batekin inguratuta gelditzen dira, eta horrek, gehienetan, oxidazioa aurrera jarraitzea saihesten du. Oro har, oxidazioaren efektuak, korrosioak sortzen dituenekin konparatuta, bigarren mailakoak direla esan daiteke.

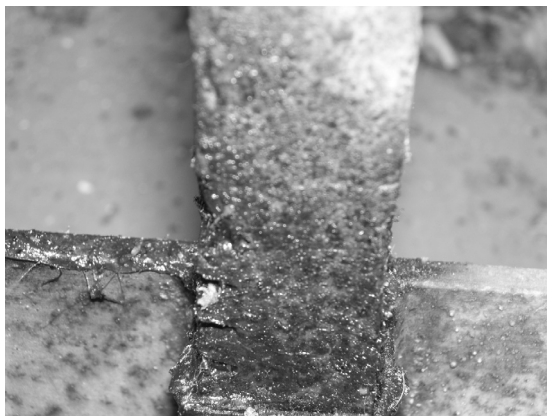
*102. irudian* oxidazio-fenomenoaren adibidea ikus daiteke mineralen sailkapenerako erabiltzen den instalazio batean.



**102. irudia. Oxidazioaren adibidea.**

### *12.2.3.2. Korrosioa*

Korrosioaren bidez metalen gainazalean zenbait agente kimikok eragiten dituzten efektuak azaltzen dira. Erreakzio horietan fenomeno elektrolitikoak gertatuko dira konposatu likidoen artean eta uraren presentzian normalean. Korrosioa, kasu askotan, ez da metalen goiko geruzan bukatzen, masaren barrura sartzen da pieza disolbatuz eta bere ezaugarri mekanikoak txikituz, ikus *103. irudia*.



**103. irudia. Korrosioaren adibidea.**

Beraz, korrosio metalikoa oso fenomeno garrantzitsua da eraikuntza metalikoetan edo elementu metalikoak dituztenen artean (hormigoi armatua), neurri bereziak hartzen ez badira.

## **12.3. METALEN ETA ALEAZIOEN EGITURAK**

Metal eta aleazioen fabrikazioaren etaparen batean, egoera likidoan aurkituko dira tenperatura altuan, gero berau txikitzen doan heinean solidotuz.

Materiala solidotzen den eran erabil daiteke edo tratamendu mekanikoak edo termikoak aplikatuz bere prozesaketa jarraitu.

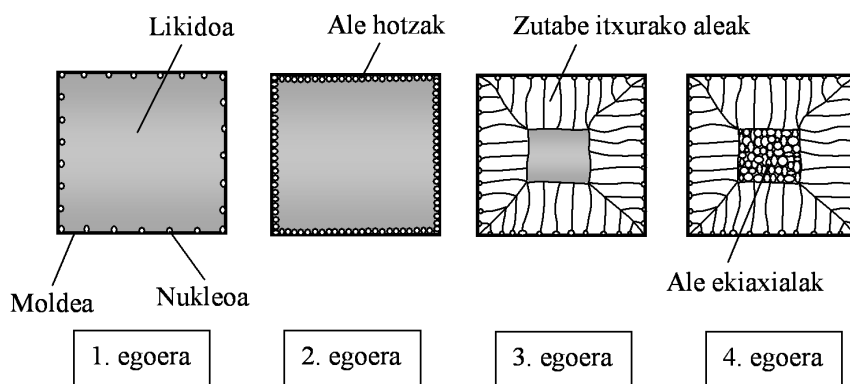
Solidotze-prozesuan sortzen diren egiturek propietate mekanikoen gainean eragin nabarmena dute, eta hurrengo etapetan egiten den prozesaketan zeresan zuzena dute materialaren propietate egokiak lortzeko.

### 12.3.1. Metal puruen solidotzea

Solidotzea bi pausotan egiten da: nukleazioa eta hazkuntza. Nukleazioa partikula solido txiki bat likidoaren barruan sortzen denean egiten da. Solidoaren hazkuntza, likidoaren atomoak partikula solidoari biltzen zaizkionean gertatzen da, likidoa bukatu arte.

Likidoaren tenperatura solidotze-tenperaturaren azpitik jaisten denean, materiala solidotzen da.

Solidotze-prozesuaren eraginez, metalak 104. irudian agertzen den makroegitura lortzen du.



**104. irudia. Metalen solidotze-prozesuan agerturiko makroegitura.**

Tarte hotza, ausazko orientazioan eta metal urtuaren gainazalaren gainean kokatzen diren ale talde luze batek sortzen du. Moldearen hormekin kontaktuan dagoen metala hozten den lehenengoa da, haren tenperatura solidotze-tenperaturaren azpitik jaisten denean. Moldearen hormek nukleazioa errazten duten gainazalak dira, horrela gero eta ale gehiago sortu eta hazten dira.

Zutabe itxurako tarteak ale luzeak ditu orientazio kristalografiko jakin bati jarraituz. Moldea metal urtuaren beroa askatzen doan heinean, tarte hotzean aleak bero-fluxuaren kontrako norabidean hazten dira. Aleak zenbait norabide kristalografikotan arinago hazten dira besteetan baino.

Materialaren zentroan tarte ekialxial bat sortzen da. Tarte horretan ale berriak sortzen dira ausazko orientazioarekin, askotan aleazio-elementuek, agente inokulazioaileek edo ale-fintzaileek sortzen dituzte. Ale horiek nahiko biribilak dira eta ale luzeen hazkuntza eteten dute.

### **12.3.2. Disoluzio solidoak eta gogordura**

Metalen zenbait propietate hobetu nahi direnean, aleazioak edo metalen arteko nahasketak erabiliko dira.

Bi motatako aleazioak daude: fase bakarrekoak eta fase anitzekoak.

**Fase** batek hurrengo ezaugarriak ditu:

- a. Material guztian zehar egitura eta ordenamendu berdina dauka.
- b. Oro har, konposizio eta propietate berdinak ditu.
- c. Fase baten eta beste fase ezberdin baten artean muga zehatza dago.

Aleazioetan, metal ezberdinak nahasten direnean likido egoeran, konposizio, propietate eta egitura bakarra duen likidoa sortzen da. Egoera horretan metalek disolbagarritasun mugagabea dutela esaten da. Masa hori solidotzen denean, egitura, propietateak eta konposizioa uniformeak dira eta metal ezberdinen atomoen artean ez dago inolako mugarik. Fase solido horri disoluzio solido deritzo.

Zenbait kasutan, metal baten gehiegizko kantitatea gehitzen bada, sobera dagoen metal horren kantitatea prezipitatu egingo da bi fase agertuz: metalen arteko nahasketa alde batetik, eta bestetik, metal-soberakina. Egoera horretan, disoluzioa mugatua dela esaten da.

Mugako kasuan, gerta daiteke metalen artean inolako nahasgarritasunik ez egotea, kobreak eta berunaren artean gertatzen den moduan.

Disoluzio solido bat lortzeko hurrengo baldintzak bete beharko dira:

1. Metal ezberdinen atomoen neurriak berdintsuak izan beharko dira, sarearen deformazioak minimoak izateko.
2. Metalek egitura kristalino berdina izan beharko dute.
3. Metalen atomoek balentzia berdina eta antzeko elektronegatibotasuna izan beharko dute.

Disoluzio solidoa duten aleazioek gogortasun handiagoa dute. Gogortze-gradua hurrengo faktoreen menpe dago:

- a. Oinarrizko atomoaren eta atomo gehigarriaren arteko neurri-ezberdintasuna handia bada, gogortze-prozesua handituko da.
- b. Zenbat eta aleazio-osagai gehiago gehitu, gogortze-efektua handiagoa izango da.

Disolbagarritasun-muga gainditzen bada gogortasunarekin zerikusia ez duen beste mekanismo bat sortuko da.

Gainera, disoluzio solidoaren eraginez sorturiko gogortzeak materialaren hurrengo propietateetan eragina dauka:

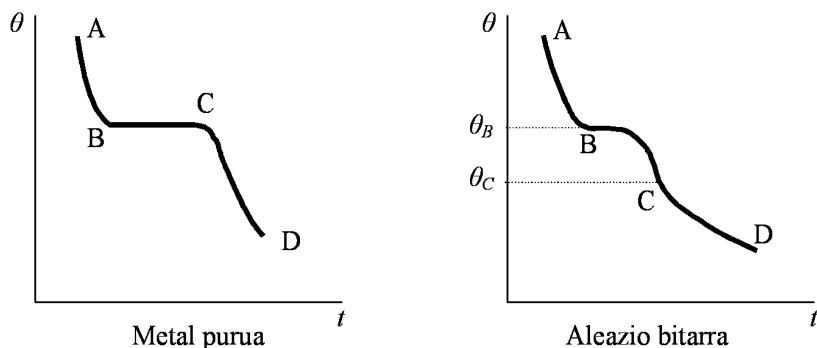
1. Isurpen-tentsioa, trakzioarekiko erresistentzia eta gogortasuna handiagoak dira aleazioetan metal puruetan baino.
2. Kasu gehienetan, aleazioaren harikortasuna metal puruarena baino txikiagoa da.
3. Aleazioaren eroankortasun elektrikoa metal puruena baino askoz ere txikiagoa da.

Disoluzio solidoek eragindako gogortzeak temperaturaren eraginez metalek jasaten duten erresistentzia-galera txikitzen du.

### 12.3.3. Oreka-diagramak

Demagun aleazio bat likido egoeran; temperatura txikitzen doan heinean, fase likido eta solidoen konposizioa eta kantitatea aldatuz doaz. Fase ezberdinak solidotzen direnenean, propietate mekaniko ezberdinak dituzten mikroegitura diferenteak lortuko dira.

**Hozte-kurbak** likido-sistemek jasaten duten hozte-prozesua denboraren funtzioan adierazteko erabilgarriak dira. Ordenatu-ardatzean  $\theta$  temperaturak adierazten dira eta abzisa-ardatzean denborak. Metal puruek eta aleazioek hozte-kurba ezberdinak dituzte, ikus 105. irudia.



105. irudia. Metal puruen eta aleazioen hozte-kurbak.

Metal puruaren kasuan, AB adarrak metal guztia egoera likidoan dagoenean jasaten duen hoztea adierazte du; egoera horretan fase bakarra dago: likidoa. B puntura heltzean, solidotzeari hasiera ematen zaio eta egoera-aldaketa bat gertatzen da; fase likidoa eta solidoa aldi berean egongo dira. C puntuan metal guztia

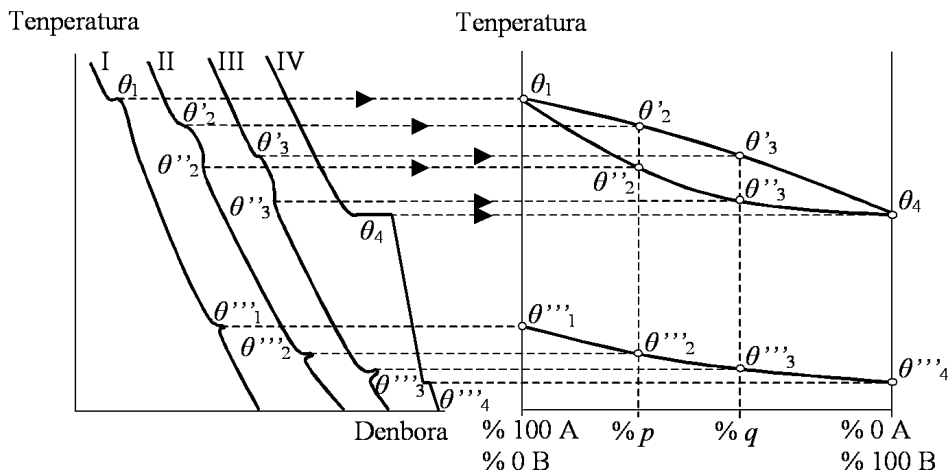
solidotu da, beraz, CD tartean fase bakarra egongo da: solidoa. BC tartean dagoen maila, metalean gertatzen den eraldaketa alotropikoari sor zaio, hau da, kristalizazio-sistemaren aldaketari.

Bi metalez sorturiko aleazio baten solidotze-prozesuan, AB adarrean osagai biak egoera likidoan daude, hau da, fase bakar batean. B puntura heltzean solidotzea hasten da; prozesu hau  $\theta_B - \theta_C$  temperatura-tartean gertatzen da. BC tartean bi osagai daude eta bi fase, likidoa bata eta solidoa bestea. C puntutik aurrera, aleazioa guztiz solidotu denean, sistemak bi osagai ditu baina fase bakarra: solidoa.

**Fase-diagrama** bat, aleazio baten edozein temperatura eta konposiziorako, faseak eta horien konposizio ezberdinak adierazteko erabilgarria da. Grafiko hauek bereziki erabilgarriak dira mikroegituren eta propietate mekanikoen artean erlazio zuzena dagoelako, eta gainera aleazioaren bilakaera fase-diagramaren ezaugarrie-kin erlazionatuta dagoelako. Bestalde, diagramek fusio, kristalizazio eta beste fenomeno garrantzitsu batzuen berri ere ematen dute.

Bi osagaiek sortutako aleazio sinpleen kasuan, hozte-kurbetatik abiatuta, fase-diagrama egiten da hurrengo eran, ikus 106. irudia.

Demagun aleazioaren osagai biak A eta B izendatzen direla. Hozte-kurbak egiten dira proportzio ezberdinetarako, I kurbatik hasita % 100eko kantitatea daukana A osagaian eta % 0 B osagaian, IV kurbara igaroz, % 0 A osagaian duena eta % 100 B osagaian. Solidotzea, kasu bietan, temperatura konstantean gertatzen da. II kurban B osagaian %  $p$  dago eta %  $(100-p)$  A osagaian, eta horren eraginez solidotzea ez da temperatura konstantean gertatzen,  $\theta'_2 - \theta''_2$  tartean baizik. III kurbaren kasuan, B osagaian %  $q$  dago eta %  $(100-q)$  A osagaian, hemen ere II kurban gertatzen den solidotze-prozesu berdina gertatzen da.



106. irudia. Fase-diagramen adibidea.

Horren ostean,  $\theta_1$ ,  $\theta'_2$ ,  $\theta''_2$ ,  $\theta'_3$ ,  $\theta''_3$  eta  $\theta_4$  temperaturak ordenatu-ardatz batean kokatzen dira eta osagai ezberdinen proportzioak abzisa-ardatz batean. Konposizio ezberdinetarako lortu diren ( $\theta'$ ) temperaturak elkarrekin lotzen dira solidotze-prozesuen hasiera adierazteko, eta beste alde batetik, prozesu horien amaiera adierazten duten ( $\theta''$ ) temperaturak elkarrekin lotzen dira ere.

Era horretan lortzen den diagramari solidotze-diagrama deritzo. Solidotze-prozesuaren hasierako temperaturak lotzen duen lerroari likido-lerroa deitzen zaio. Solidotzearen amaierako temperaturak lotzen duen lerroari solido-lerroa deritzo. Nahasketa-proportzio bakoitzean gertatzen diren eraketa-aldaketak adierazten dituzten  $\theta''_1$ ,  $\theta''_2$ ,  $\theta''_3$  eta  $\theta''_4$  temperaturak gehituz eta elkarrekin lotuz, eraldaketa izeneko lerroa lortuko da. Era horretan oreka-diagrama osatzen da.

#### **12.3.4. Mikroegiturak**

Aleazio batean osagaiak eta temperaturak aldatzen doazen neurrian, izaera ezberdinetako egiturak sortzen dira.

Altzairu eta burdinurtuaren kasuan, burdina karbonozko aleazioak izanik, ha-maika egitura aurki daitezke: ferrita, zementita, perlita, austenita, martensita, troostita, sorbita, bainita, ledeburita, steadita eta grafitoa.

Egitura bakoitzak Fe eta C eduki ezberdinak ditu eta ordenamendu kristalino ezberdina ere; horrela, altzairuek eta burdinurtuek gogortasun eta erresistentzia ezberdinak azalduko dituzte agertzen dituzten egitura ezberdinen arabera.

### **12.4. FABRIKAZIO-PROZESUAK**

#### **12.4.1. Hasierako etapak**

Metalurgia, ezaugarri egokietako metalak lortzeko ardura duen zientzia da, gero industrian zein beste esparru batzuetan erabiliko diren piezak egiteko erabiliko direnak. Zientzia horren barruan siderurgia dago, burdinaren metalurgian soilik oinarritzen dena.

Lehen aipatu den bezala, metalak naturan ez dira bakarka agertzen, beste zenbait elementurekin batera, konposatu kimikoak sortuz aurkituko dira gehienetan. Konposatu ohikoenak metalen oxidoak eta sulfuroak dira.

Mineralek, beraz, metalen eduki aprobeixagarri bat izango dute beren baitan, mea deitzen dena, eta konposatu ez-baliagarriekin osatuta dagoen beste zati bat, ganga deritzona. Erauzteko metalurgiak meatzeetan lortutako mineraletatik metal interesgarriak nola banandu daitezkeen aztertzen du. Horretarako, minerala atera bezain laster mearen prestaketarako prozesuak gauzatuko dira.



Prestaketa-prozesuetan mea kontzentratu eta gangatik banandu egingo da, hurrengo metodoak erabiliz:

### 1. Birrinketa

Operazio honetan mineralaren aleen neurria txikitu egiten da xehamakinak eta bola- edo mailu-errotak erabiliz, *107. irudian* makina mota hauen adibide bat ikus daiteke.



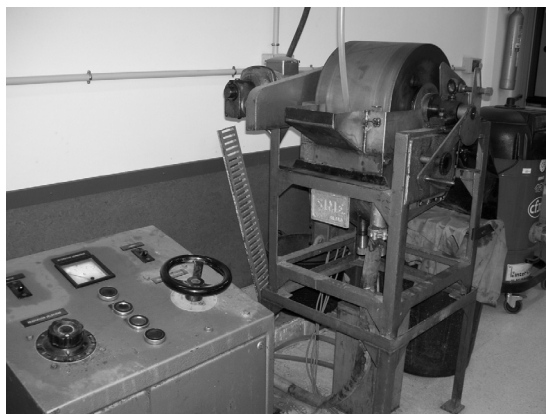
107. irudia. Baraila-xehamakinaren adibidea.

### 2. Sailkapena

Mearen eta gangaren arteko lehenengo banaketa egiten da hemen. Operazio hau normalean ur-suspentsio batean egiten da dentsitate-ezberdintasunak erabiliz.

### 3. Banaketa

Mearen eta gangaren arteko bereizketa zehatzagoa egiten da hemen, propietate magnetikoak, elektrikoak edo gainazalekoak erabiliz. *108. irudian* mearen propietate magnetikoak aprobetxatuz banaketa egiteko makina bat ikus daiteke.



108. irudia. Sailkagailu magnetikoa.

#### 4. Aglomerazioa

Mineralaren partikula finak kontzentratu egingo dira masa handiagoak lortuz eta hurrengo etapetan beharrezkoak diren ezaugarriak emanez. Aglomerazioa egiteko metodo erabilienak sinterizazioa —tenperatura altuetan egiten dena— eta peletizazioa —giro-tenperaturan egiten dena— dira.

Prestaketa-etapak bukatzen direnean, metala lortzeko etapak gauzatuko dira. Hori egiteko hiru era daude:

- Pirometalurgia: kontzentratu metalikoa urtu, konbertsioa eta finketa egiten dira tenperatura altuetan. Metodoric klasikoena da eta erabilgarria burdina eta kobrezko produkzio handietan esate baterako.
- Hidrometalurgia: ur-soluzio batetik metala prezipitatzean datza. Aurrekoak baino denbora gehiago behar du eta mineral pobreetan eta lantzeko zailak direnetan erabilgarria da, uranioa lortzeko esate baterako.
- Elektrometalurgia: elektrolisia erabiltzen da metala lortzeko bere gatz urtutik abiatuta. Prozesu garestia da eta purutasun altuko metalak lortzeko besterik ez da erabiltzen, aluminioa eta magnesioa fabrikatzeko adibidez.

##### 12.4.2. Altzairuaren fabrikazioa

Altzairua burdina eta karbonozko aleazio bat da, azken elementu hori beti % 2 baino proportzio txikiagoetan agertzen da. Burdina eta karbonoaz gain, beste zenbait elementu kimiko daramatza ere: kromoa, molibdenoa, wolframioa, etab. Horrela, proportzio jakin batzuetan nahastuta, industrian erabilitako altzairu mota ezberdinak lortuko dira.

Bi era nagusi daude altzairua lortzeko:

###### 12.4.2.1. Labe garaia

Burdina-mineralak, gehienetan bere baitan, metala oxido eran dauka, beraz, altzairua fabrikatzeko oxigeno hori burdinatik bereizi beharko da, ikus 109. irudian burdina-mineral lagin bat. Prozesua fusio erreduktore baten bidez egingo da oxigenoarekin konbinatzeko burdinak baino erraztasun handiagoa duen elementu bat erabiliz.

Industrialki komenigarria da elementu erreduktore hori kantitate handietan aurkitzea eta merkea izatea. Karbonoak betetzen ditu baldintza horiek. Era hone-tan, ikatza da erabiliko den erreduktorea, haren osagai nagusia karbonoa delako. 110. irudian koke ikatza ikus daiteke.



**109. irudia. Burdina-minerala.**



**110. irudia. Koke metalurgikoa.**

Fusio erreduktorea egiteko erabiltzen den instalazioa labe garaia da eta, oro har, *111. irudian* ikus daitekeen itxura daukate.

Labea goiko aldetik kargatzen da, irenspide izena duena, burdina-mearekin, kokearekin eta urgarriekin.

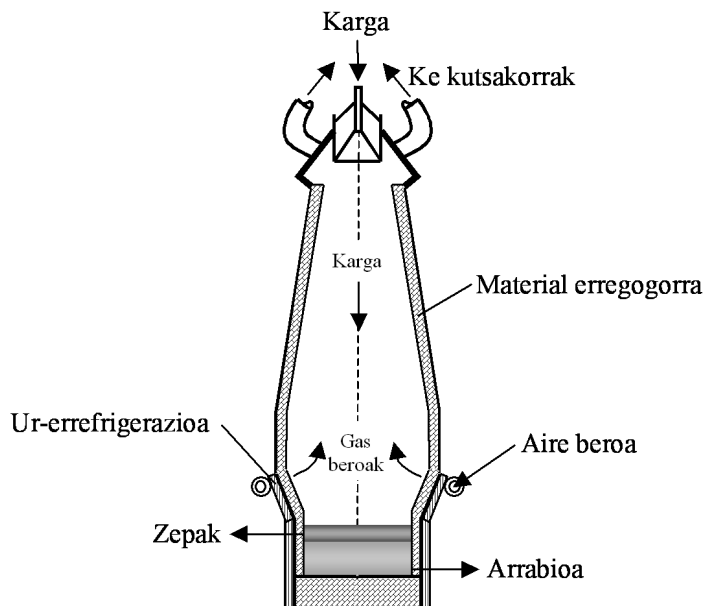
Kokea eta urgarriak burdina elementu ez-baliagarrietatik bereizteko erabiltzen dira.

Goiko aldean, karga sartzeko zuloak egoteaz gain, gas kutsakorrak irteteko zuloak ere badaude, erredukzio-erreakzioetan CO eta CO<sub>2</sub> gas-kantitate handiak ekoizten baitira.

Karga labetik zehar jaisten den heinean, erredukzio-erreakzioak gertatzen dira gero eta intentsitate handiagoekin, azkenean, labearen beheko aldean, burdina urtua (arrabioa) eta zepak bi geruza ezberdinetan lortuko dira.

Labe osoa barrutik material erregogorrekin estalita dago, eta beheko aldean kanpotik, 2.000 °C baino tenperatura handiagoak egongo direnez, urarekin errefrigeratuta egongo da.

Labearen beheko aldean, eta bere perimetro osotik zehar, aire beroa presiopean sartuko duten tobera batzuk daude kokearen konbustioa egiteko.



**111. irudia. Labe garaiaren funtzionamendu-eskema.**

Lortutako produktu nagusiak, arrabioak, % 94-95eko burdina-edukia du eta % 4-4,5 bitartean, karbono-edukia; gainera, proportzio txikiagoetan beste elementu kimiko batzuk izango ditu, zepak xurgatu ezin izan dituenak. Produktu hau labetik atera eta zalietan altzairu-fabrikara eramaten da finketa-etapak egiteko (burdina ez den gainerako elementuak kentzeko) edo isurtze-makina batera eraman daiteke fundizioen fabrikaziorako erabiliko diren lingoteak egiteko.

Hurrengo bi argazkietan zepa hoztuen lagin batzuk (ikus 112. irudia) eta zilindro-eran hoztutako arrabioen lagin batzuk ageri dira (ikus 113. irudia).



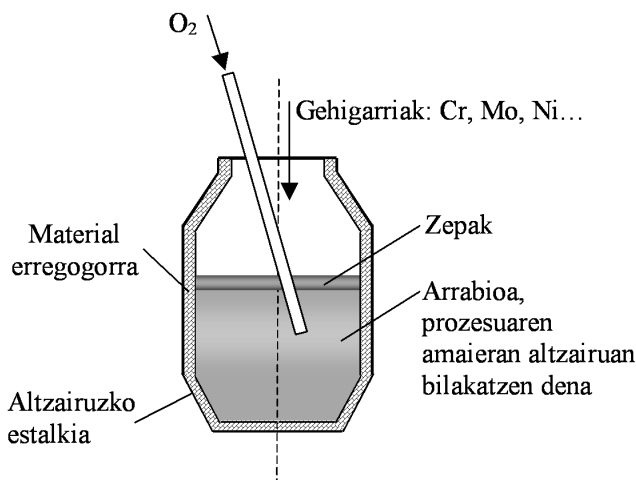
**112. irudia. Zepa hoztuak.**



**113. irudia. Arrabio hoztua.**

Arrabioa, altzairu-fabrikara heltzen denean, bihurgailu deituriko instalazioetan isurtzen da, ikus *114. irudia*; horien funtzioa oxigenoa gehitzea da arrabioan dauden, eta burdina ez diren, elementuekin oxidoak sortzeko eta gero horiek zepen bidez banatzeko. Operazio horretan temperaturek  $2.500^{\circ}\text{C}$ -ak gainditzen dituzte.

Industrialki erabiltzen diren altzairu motak lortzeko, etapa honetan beste elementu kimiko batzuk gehitzen zaizkio altzairuari (kromoa, molibdenoa, nikela, etab.). Gehigarriak bainuan disolbatu eta konposizioa homogeneizatzen denean, bihurgailua deskargatu egiten da.



**114. irudia. Bihurgailuaren funtzionamendu-eskema.**

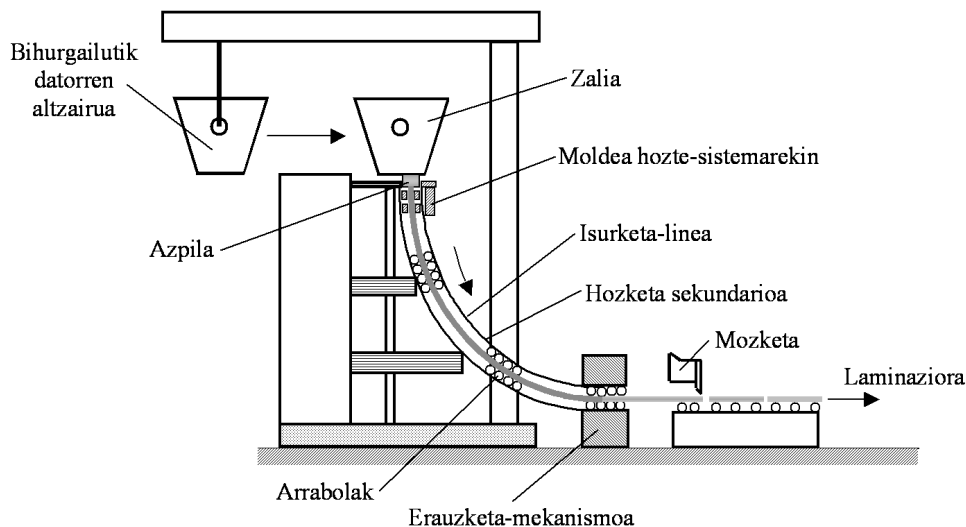
Finketa-labeetan lorturiko altzairua erabili baino lehen, solidotu beharko da; prozesu horri isurketa deritzo eta zenbait eratan gauza daiteke, amaieran lortu nahi den produktuaren arabera. Honela:

- Isurketa moldeetan edo lingote-ontzietan: altzairuaren hozketa moldeetan egiten bada, lorturiko produktuak amaierako piezaren forma ia-berdina izango du; aldiz, lingote-ontzietan isurtzen bada, lorturiko produktuak (lingoteak) eraldaketa dimentsionalak jasan beharko ditu, lanketa-prozesu ezberdinen bidez, amaierako pieza lortzeko.
- Isurketa jarraitua: altzairuaren fabrikazioaren eta laminazio-etaparen bitartean egiten den prozesua da, ikus *115. irudia*. Finketa-prozesutik datorren zalia, altzairuz beterik, azpilean isurtzen da; ontzi horren egitekoa altzairu likidoa metatzea da denbora batez, gero isurketa-linea paralelo ezberdinetatik banatzeko.

Linearen hasieran dagoen moldea azpilean dagoen altzairuarekin betetzen hasten da. Molde horren hormak hutsak dira eta urarekin hoztuta daude, gainera amaierako produktuaren forma daukate. Materiala desplazatzeko hondoa mugikorra daukate, moldea betetzen den heinean mugituz doa barra linearen amaiera arte eramanez; posizio horretan, berriro ere isurketaren hasieran kokatzen da prozesua errepikatzeko.

Altzairua moldean mantentzen da harik eta piezaren hormak gogortu eta bolumen definitua lortzen duen arte. Moldetik atera bezain laster, altzairua arrabolen bidez gidatua izaten da eta lehendabiziko hozketa jasaten du urdutzak erabiliz, gero airean hozketak aurrera jarraituko du. Fase hori igaro ostean, produktua moztu egingo da luzera egokietan hurrengo etapara pasatuz, laminaziora.

Isurketan xafla handiak lortu badira, laminazioan txapazko harilak lortuko dira eta, aldiz, totxoak lortu badira, perfilak ekoitzi dira.



**115. irudia. Isurketa jarraituaren instalazioaren funtzionamendu-eskema.**

#### 12.4.2.2. Labe elektrikoa

Altzairuaren ekoizpena labe elektrikoan, korrante elektrikoa erabiliz, txatarra-  
ren fusioan eta finketan oinarritzen da, prozesu guztia labe berdinean gauzatuz.

Beroa sortzeko korrante elektrikoa erabiliko da eta bi motatako labe elektri-  
koak daude korrantea erabiltzeko eraren arabera: indukzio-labeetan, karga arragoa  
batean kokatzen da haril batez inguratuta eta bertatik korrante elektriko bat  
pasarazten da. Harilaren barruan eragindako korrante indusituek karga urtzen dute.  
Aldiz, arkuzko labeetan —industrialki gehien erabiltzen direnak— arku elektriko  
bat sorrarazten da kargaren eta elektrodoen artean, prozesuan sorturiko beroa fusio-  
rako aprobetxatuz; ikus 116. irudian mota honetako labe baten krokisa.

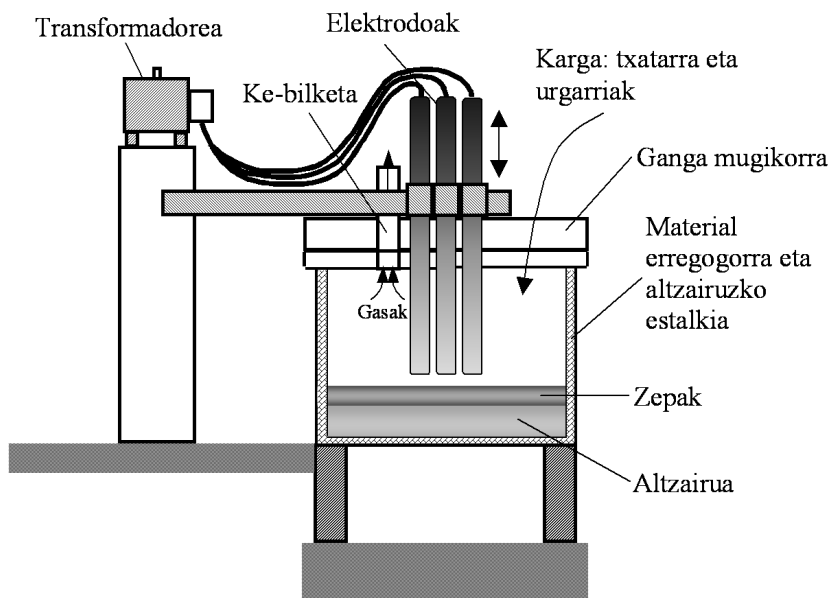
Mota honetako labe bat lodiera handiko (15 eta 30 mm bitartekoak) txapazko  
ontzi zilindriko batez egina dago, barnean erregogorrez jantzita dago eta altzairu  
urtua eta zepak metatuko ditu bere baitan. Gehien erabiltzen diren labeek goiko  
aldea mugikorra dute, eta, horrela, goiko aldetik sar daitezke lehengaiak. Aipatu-  
riko karga hori txatarra eta urgarriekin sortuta dago.

Estalkiak dituen zuloetatik elektrodoak sartzen dira, normalean hiru. Pieza  
hauek grafitozko barra lodiak dira, eta haien diametroa 700 mm-ra hel daiteke;  
bestalde, haien altuera aldakorra da kontsumitzen diren heinean kargara hurbil  
daitezen.

Korrante elektrikoa elektrodoen bidez hornitzen da, transformadore batetik abiatuz, tentsio eta intentsitate egokiekin. Labearen operazio-fasearen arabera, arkuaren intentsitatea aldakorra izango da.

Osagai horietaz gain, instalazioak ke-bilketa bat dauka, estalkiaren goiko aldean ere, gasen garbiketa-atalarekin konektatua.

Lehen aipatu den bezala, instalazio hauetan fusioa eta finketa labe berdinean egiten dira.



**116. irudia. Labe elektrikoaren funtzionamendu-eskema.**

### ***12.4.3. Burdinurtuaren fabrikazioa***

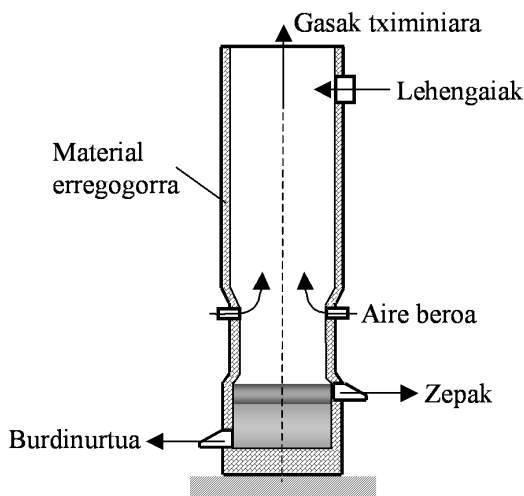
Burdinurtua burdina eta karbonozko aleazio bat da, non karbonoa % 2 eta 5 artean aurkitzen den. Normalean, burdinurtuak altzairuak baino erresistentzia txikiagoko piezak egiteko erabiltzen dira, produktu merkeagoak izanik haien fabrikazioa ez da altzairuetan erabiltzen dena bezain zehatza.

Burdinurtuak arrabiozko lingoteak berriro urtuz lortzen dira, txatarraren kantitate txikiak eta finketarako zepa egokiak lortzeko urgarriak gehituz.

Material hauek ekoizteko instalaziorik erabiliena kubilote deituriko upel-labe bat da, bertan tenperatura altuak lortzen dira koke-erreketa bidez; *117. irudian* mota honetako labe baten krokisa ikus daiteke; hala ere, labe elektrikoak gero eta gehiago erabiltzen ari dira.



Produktuak konposizio egokia lortu duenean, labetik atera eta moldeetan isurtzen da amaierako piezen formak lortzeko.



117. irudia. Kubilote labearen funtzionamendu-eskema.

#### 12.4.4. Beste metalen fabrikazioa

Eraikuntzan, burdinatik eratorritako materialez gain, kobrea, zinka eta aluminioa ere erabiltzen dira.

Burdinaren kasuan gertatzen den bezala, metal horiek naturan oxido, sulfuro eta karbonato eran aurkitzen dira.

Mineralek, lehendabizi, era fisikoak erabiliz (banaketa magnetikoa edo flotazioa, adibidez) kontzentrazio-etapa bat jasaten dute, gero metalaren erauzketa egingo da, eta, azkenik, finketa.

Bi era daude metalak lortzeko:

##### a. Bide pirometalurgikoak

Lehendabiziko kontzentrazioa egin ostean, hurrengo etapak egingo dira:

1. Txigorketa: prozesu honen helburua sulfuro meak oxidoetan eraldatzea da, horretarako beroketa bat egiten da tenperatura altuetan eta oxigenoaren presentzian. Prozesu hau meak urtu gabe egiten da beti.
2. Fusioa: operazio honetan meak likido egoeran jartzen da, metala eta zepak sortuko dituzten ezpurutasunak dentsitate-ezberdintasunen arabera banatzeko. Prozesu hau gehienetan labe elektrikoetan egiten da.
3. Finketa: konposizioaren amaierako doiketa egiten da etapa honetan.

### **b. Bide hidrometalurgikoak**

Bide hezeak erabiltzen dituzten prozesuak dira, hau da, mineraletan dauden metalak ateratzeko, giro-tenperaturan, konposatu kimikoen bidez erreakzionarazten dira. Konposatu horiek metalak dituzten konposatuak disolbatzeko gai dira, ganga disolbatu gabe.

Tratamendu hauek hurrengo etapak dituzte:

1. Lixibiazioa: helburua metalezko konposatuak likido azido batean disolbatzea da. Tratamendu hau mineralaren erauzketa egiten den leku berdinean egin daiteke ingurua iragaztezina bada, edo aire zabalean, gainazal iragaztezin baten gainean metatuz; hirugarren aukera biltegi bat erabiltzea da.
2. Prezipitazioa: bi era daude etapa hau egiteko, bide kimikoa edo elektroli-sia. Bietan helburua metala solido egoeran lortzea da.
3. Finketa: kontzentrazio txikietan dauden ez-purutasunak kenduz metal purua edo ia-purua lortzeko egiten den azkeneko etapa da.

## **12.5. ERAIKUNTZAN ERABILITAKO METALAK ETA HAIEN APLIKAZIOAK**

### **12.5.1. Altzairuak**

#### **12.5.1.1. Egitura metalikoa**

Eraikuntzan erabilitako perfil trinko normalizatuek I, H, U eta L forma dute.

Araudiaren arabera, aplikazio hauetan erabilitako altzairua S 355 JR deitzen da eta hurrengo ezaugarriak ditu:

- Konposizioa:  $\leq \% 0,24 \text{ C}$ ,  $\leq \% 1,6 \text{ Mn}$ ,  $\leq \% 0,55 \text{ Si}$ ,  $\leq \% 0,045 \text{ P}$ ,  $\leq \% 0,045 \text{ S}$ ,  $\leq \% 0,009 \text{ N}$ .
- Elastikotasun-modulua:  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$ .



**118. irudia. Altzairuzko perfilak.**

### 12.5.1.2. Errailak

Errailak trenen ibilbideen oinarritzko elementuak dira, UNE araudiak haien forma eta dimentsioak ezartzen ditu.

Aipaturiko arau horien arabera erabili beharko den altzairuak honako ezaugarri hauek izan beharko ditu:

- Konposizioa: % 0,37-0,63 C, % 0,86-1,24 Mn,  $\leq$  % 0,30 Si,  $\leq$  % 0,06 P,  $\leq$  % 0,05 S.
- Trakzioarekiko erresistentzia 70-85 kg/cm<sup>2</sup> eta luzapena % 14.

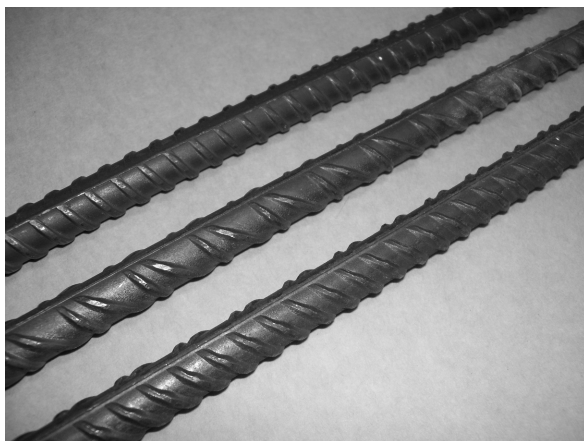
### 12.5.1.3. Barra korrugatuak

Hormigoian erabiltzen diren armadurak barra korrugatuekin eginak daude; armadura pasiboak dira hormigoari inolako esfortzurik ematen ez diotelako.

Barra hauek karbono-altzairuarekin fabrikatzen dira, burdina eta karbonoz gain Si eta Mn kantitate txikiak dituzte (< 1 %) eta P eta S ezpurutasunak % 0,03 baino proportzio txikiagoetan. Batzuetan altzairu herdoilgaitzarekin ere fabrika daitezke.

UNE araudiaren arabera, barra hauek B 400 S eta B 500 S bidez izendatzen dira, haien muga elastikoa 400 N/mm<sup>2</sup> (B 400 S) eta 500 N/mm<sup>2</sup> (B 500 S) izanik. B 400 S motaren luzapen minimoa apurketan, 5 mm-ko diametrodun barra batean, % 16 izango da, eta B 500 S motarentzat, % 12. Barren diametro nominalak 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32 eta 40 mm dira.

119. irudian barra korrugatuen adibide batzuk ikus daitezke.



119. irudia. Altzairuzko barra korrugatuak.

#### 12.5.1.4. Sare elektrosoldatuak

Sare elektrosoldatuak, perpendikularki gurutzatzen diren barra edo alanbre korrugatuarekin eginiko sareak dira. Barra edo alanbreak gurutzatzean sorturiko puntuak elkarrekin soldatuta daude.

Sareak barra korrugatuarekin fabrikatzen badira, B 500 S izenez izendatuko dira; alanbre korrugatuarekin fabrikatuz gero, B 500 T izena emango zaie.

Alanbreekin eginiko sareen ezaugarri mekanikoak hauek dira:

- Muga elastikoa: 500 N/mm<sup>2</sup>.
- Luzapen minimoa apurketan, 5 mm-ko diametrodun barra batean: % 8.

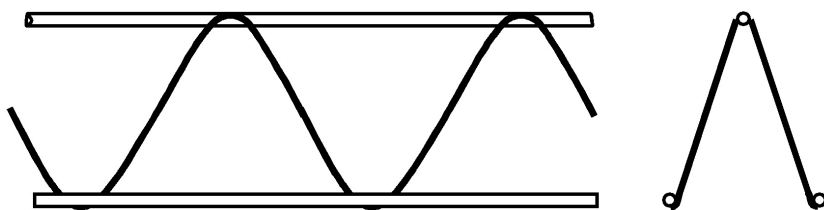
#### 12.5.1.5. Oinarrizko armadura elektrosoldatuak saretan

Oinarrizko armadura elektrosoldatua saretan eginiko egitura espaziala da, goiko aldean barra luze bat darama, eta beheko aldean beste bi. Goiko aldea eta behekoa elkarrekin lotzeko zeharkako elementuak jarriko dira konexioa egiteko, kontaktu-puntuak soldadura elektrikoarekin loturik daude, ikus 120. irudian elementu hauen krokis bat.

Goiko eta beheko aldeko elementu guztiak barra edo alanbre korrugatuarekin osaturik daude, eta lotura-elementuak korrugatuak zein leunak izan daitezke.

Sareta-armadurak forjatuetan trakzioarekiko erresistentziak jasateko erabilgarriak dira.

Altzairu mota, barra korrugatuak egiteko erabiltzen den mota berekoa da, ezaugarri mekaniko berekin.



120. irudia. Altzairuzko armadura elektrosoldatua.

#### 12.5.1.6. Armadura aktiboak

Armadura aktiboak erresistentzia altuko altzairuarekin fabrikatzen dira eta indar aurreatezatua ematen zaie.

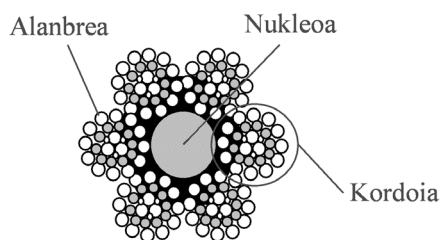
Elementu hauen osagaiak barrak, alanbreak edo kordioak (espiraletan tolesturiko alanbrekin sortuak) izan daitezke.

Tendoi izena ematen zaio hodi berdinean jartzen diren armadura aurreatezatu ezberdinek osatzen duten multzoari, kalkuluak egiteko orduan armadura bakar bat balira bezala hartzen baitira.

Barra mota hauek fabrikatzeko erabiltzen den altzairuaren ezaugarriak nabarmentzen ditu: karbono-eduki handia da (% 0,6 eta 0,9 bitartean); horrela, muga elastikoa eta apurketa-karga handitu daitezke, baina era nabarmenean txikitzen ditu deformazio plastikoak, bai zedentzia-tartea bai ondoren gertatzen diren deformazioak apurtzeraino. Karbono-eduki handiak dituztelako ezin dira soldatu.

### 12.5.1.7. Kableak

Kable bat alanbre multzo bat da, era helikoidalean nukleo zentral baten inguruan biribilkatzen dena, ikus 121. irudian kable baten ebakidura. Aipaturiko nukleoak euskarri gisa egiten du lan; bere inguruan alanbre kopuru ezberdinak jarritz, lodiera ezberdineko produktuak lortuko dira, esfortzuak jasateko egokiak izango direnak, bereziki trakziozkoak. Kable bat kordoi multzo batekin osatua egon daiteke eta, aldi berean, kordoi bakoitza alanbre multzo batekin.



**121. irudia. Kable baten ebakidura.**

Kableen fabrikazioan erabilitako alanbrea altzairuzko hari bat da, diametroaren bidez eta materialaren ezaugarrien arabera definitua.

UNE araudien arabera, klabeek, gutxienez,  $1.600 \text{ N/mm}^2$  edo  $1.800 \text{ N/mm}^2$ -ko trakziozko erresistentzia izan behar dute.

### 12.5.2. Burdinurtuak

Pieza erresistenteak izango diren elementuak egiteko burdinurtua erabiltzen denean, haien sekzio erresistentea murriz dezakeen akatsik (airea adibidez) ez dutela ziurtatu beharko da.

Zutabe, euskarri, mentsula eta antzeko piezak egiteko trakzioarekiko apurketa-erresistentziak gutxienez  $150 \text{ N/mm}^2$ -koa izan behar du eta konpresiokoak  $400 \text{ N/mm}^2$ -koa, % 6ko luzapen minimoarekin. Komenigarria da konpresioan lan egitea.

Material hau zenbait kasutan kanalizazioak (saneamendu-hodiak) eta arketak egiteko erabiliko da edo apaingarri gisa kaleetan, edo etxeetako burdina-sareetan. Ikus 122. irudia.



**122. irudia. Burdinurtuko arketa eta kaleko apaingarria.**

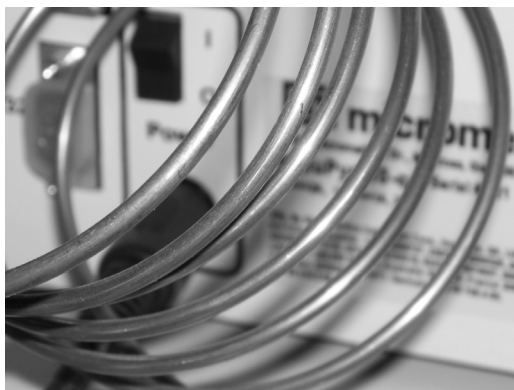
### **12.5.3. Kobrea**

Kobrea kolore gorrixkako,  $8,96 \text{ g/cm}^3$ -ko dentsitateko eta  $1.083^\circ\text{C}$ -ra urtzen den metala da. Oso material harikorra eta xaflagarria da, % 50eko luzapenak izan baititzake apurketara heldu baino lehen. Hotzean deformatzen denean garraztasun handiak lortzen ditu bere erresistentzia mekanikoa eta gogortasuna bikoiztuz, eta bere luzapena murriztuz.

Ur puruek ez dute metala erasotzen inolako tenperaturatan, horregatik bero-gailu, ur bero sanitarioa garraiatzeko hodiak eta abarreko elementuak fabrikatzeko erabilgarria da. Bestalde, agente atmosferikoei haren gainazalean geruza berde-gris bat sortzen dute, kobre sulfatoz sortua edo kobre kloruroz itsasaldean, eta zenbait kasutan karbonatoz, oxidazioa mugatzen dutenak.

Kobrea berotzen denean,  $120^\circ\text{C}$ -ra,  $\text{Cu}_2\text{O}$ -ko pelikula gorrixka bat sortzen da gero,  $\text{CuO}$  sortzen denean, beltz bihurtzen dena.  $500^\circ\text{C}$ -tik gora kobrea era azkarrean oxidatzen da bere masa osoan zehar.

Metal honen aplikaziorik garrantzitsuenetariko bat instalazio industrial zein etxebizitzetarako hodiak dira, korrosioaren aurrean duen erresistentziagatik, eta maneiatzeko eta lantzeko duen erraztasun eta soldagarritasun onagatik. Bere eroankortasun termiko ona dela-eta, beroa trukatzeko elementuak egiteko erabiliko da beroketa, ur bero sanitarioaren eta aire girotuaren aplikazioetan. 123. irudian errefrigereziorako kobrezko hodi bat ikus daiteke.



**123. irudia. Kobrezko hodia.**

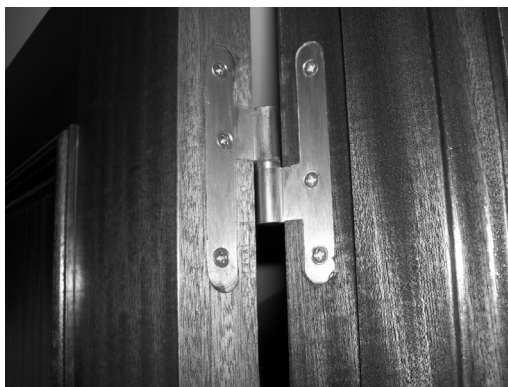
Kobre puruak eroale elektrikoetan dauka bere aplikazio nagusia, eta berarekin hari elektriko, bobinaketak, etab. fabrikatuko dira.

Eraikuntzan kobrezko aleaziorik erabilienak brontzeak (Cu+Sn) eta letoiak (Cu+Zn) dira.

Erresistentzia mekanikoa, gainazal-gogortasuna eta korrosioarekiko erresistentzia behar direnean brontzeak erabiliko dira. Balbuletan eta antzeko elementuetan askotan ikusten dira, egoera normalean erasotutako izateko duten joera txikia delako. Kanpo aldean zein barnean kokatzen diren apaingarriak egiteko ere askotan erabiltzen dira.

Letoien kasuan, brontzeak baino mekanizatzeko errazagoak direnez, mekanizazioa behar duten piezetan erabiliko dira, piezaren itxura ona lortu behar denean, eta mekanikoki oso zorrotzak ez diren aplikazioetan aurkituko dira.

Letoiak eta brontzeak zurgintzako elementuetarako (bisagra, sarraila, etab) egokiak dira, haien erresistentzia eta kanpo-itxura direla-eta, 124. irudian letoizko bisagra baten adibidea ikus daiteke.



**124. irudia. Letoizko bisagra.**

#### 12.5.4. Zinka

Zinka metal zuri-urdina da, distira metalikoduna. Haren dentsitatea  $7,13 \text{ g/cm}^3$  da eta haren gogortasuna kobrearen eta zilarraren bitartean dago. Bere fusio-puntua  $420^\circ\text{C}$  da.

Xaflagarria izanik, bere erresistentzia —garraztasuna dela-eta—  $5 \text{ kg/mm}^2$ -tik  $20 \text{ kg/mm}^2$ -ra handitzen da laminatua denean.

Zinkak aire lehorrean ez du erasorik jasaten. Aire hezean, zink karbonato hidratatuzko geruza batez estaltzen da gainerako masa korrosiotik babestuz.

Eraikuntzan zink-portzentaje handiena beste elementu metalikoen babes-geruza bezala erabiltzen da, batez ere altzairuaren galbanizazio-prozesuan, ikus 125. irudia. Horretaz gainera, estalkietan, teilatu-hodietan, ur-biltegietan eta egur-estalduretan ere aurki daiteke, eta, oro har, atmosfera hezean dauden materialekin batera haien egonkortasuna edo iraunkortasuna ziurtatu nahi denean.



125. irudia. Pieza galbanizatua.

#### 12.5.5. Aluminioa

Lur-gainazalean dauden osagaien artean aluminioa % 8,13 da (bigarren postuan dago silizioaren atzetik % 26,5 batekin). Metal zuri-distiratsua da, leunduta dagoenean zilarraren antzekotasun handia du. Haren dentsitatea  $2,699 \text{ g/cm}^3$  izanik (burdinaren herena, harena  $7,87 \text{ g/cm}^3$  baita), fusio-puntua  $660^\circ\text{C}$  da eta kobrearen % 60ko eroankortasun elektrikoa du baina burdinak baino 3,5 bider gehiago.

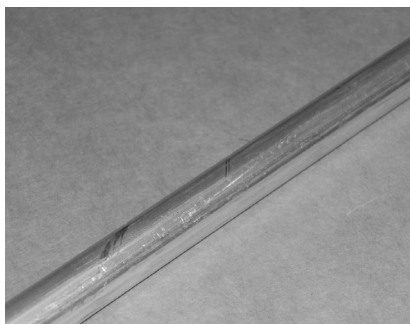
Metal honek erresistentzia mekaniko txikia dauka, harikortasun eta xaflagarritasun handia, horrela hari meheetan landu daiteke edo  $0,0004 \text{ mm}$ -ko loditasuneko xafletan lortu.



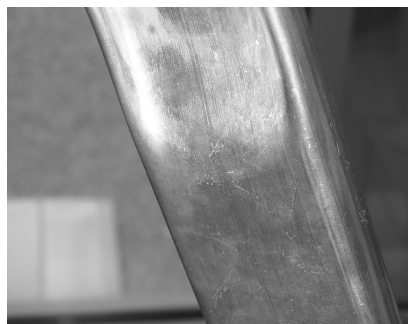
Metal hau txapetan laminatua, prentsatua eta itxura ezberdinetako perfil moduan erabilgarria da. *126. irudian*, adibide gisa, aluminiozko barra bat ikus daiteke, eta *127. irudian* aluminiozko xafla tolestu bat.

Perfil erresistenteek aluminiozko egitura arinak eraikitzea baimentzen dute. Gainera, metal honi eman ahal zaion amaiera onak, agente atmosferikoak jasateko daukan gaitasunarekin batera, kanpoaldean kokaturiko egituretan erabiltzea ahalbidetzen du.

Txapetan laminatua denean eta gainazal-tratamenduak jasan ostean, estalkietan, kanpo-estalduretan eta fatxadetan erabilgarria da.



**126. irudia. Aluminiozko barra.**



**127. irudia. Aluminiozko xafla tolestua.**

## 13. Material polimerikoak

### 13.1. SARRERA

Polimeroak neurri molekular oso handia duten konposatu organikoak dira. Haien bilakaera industrialak XX. mendean hasi zen petrolioaren ustiapen masiboarekin batera. Gaur egun, material hauen kontsumorik handienak bi industria-alorretan gertatzen dira: bilgarrien sektorean (ikus 128. irudia) eta eraikuntzan.



**128. irudia. Plastikozko ontziak.**

Material hauetan unitaterik sinpleenak monomero deituriko molekulak dira; zeinak lotura kobalenteen bidez atxikitzen baitira elkarrekin makromolekula handiak sortuz. Ehunka monomeroz sortuta egon daitezkeen makromolekuak Van der Waals-en lotura ahulen bidez atxikitzen dira polimeroa sortuz.

Polimero baten makromolekulak monomero mota bakar batez sortuta egon daitezke edo mota ezberdinetako monomeroak izan ditzakete beren baitan.

Polimerizazio-erreakzioen bidez makromolekulak sortzen dira, prozesu hone-tan monomeroen arteko lotura bata bestearen ondoren gertatzen da. Era horretan egitura molekularra kate itxurakoa da, non lotura kobalenteak sortzen diren. Erre-pikatzen diren unitateek edo monomeroek makromolekularen kate-maila ezberdi-nak sortzen dituzte.

Makromolekula sortzen duten monomeroen kopuruari polimerizazio-gradu deritzo, kopuru hori bereziki garrantzitsua da neurri molekularra definitzen

duelako. Substantzia bat polimerotzat hartzeko haren makromolekulek 100 baino polimerizazio-gradu handiagoa izan behar dute.

Polimerizazio-gradua txikiagoa denean, polimeroari oligomero edo aurrepolimero deritzen. Horrela, polimeroak solidoak edo goma-antzekoak dira, eta oligomeroak, aldiz, likidoak izan daitezke.

### 13.2. POLIMEROEN EGITURA

Polimeroak ez dira konposatu kimiko puruak; horregatik haien konstante fisikoek, pisu molekularrek edo fusio-puntuek, adibidez, ez dute balio bakarra, tarte batean mugitzen dira. Portaera hori polimerizazio-gradu ezberdinak dituzten makromolekulekin osatuta daudelako gertatzen da (sintesi-metodoa eta materialak jasandako tratamenduen arabera), hau da, polimero baten makromolekulek ez dutelako neurri berdina.

Makromolekulen neurriek sortzen dituzten heterogeneotasunez gain, polimeroek beren egituran beste heterogeneotasunak izan ditzakete ere. Horrela, esate baterako, homopolimeroak monomero bakar batekin osatuta daude, baina makromolekulak bi edo hiru monomero ezberdinekin osatuta daudenean, materialei kopolimero izena ematen zaie. Makromolekula horietan monomeroak nola banatzen diren kontuan harturik, kopolimeroak era honetan sailka daitezke: blokekoak, ausazkoak, txandakatuak edo txertaketakoak, ikus 129. irudia.

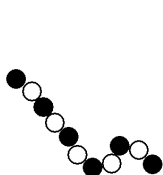
Mota ezberdineko monomeroak



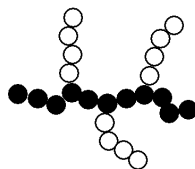
Blokekoak



Ausazkoak



Txandakatuak



Txertaketakoak

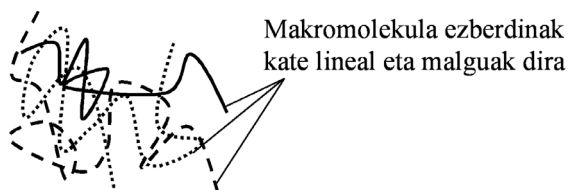
129. irudia. Kopolimero motak.

Polimeroek duten barne-egituraren arabera, oso propietate ezberdinetako materialak sortzen dituzte. Horrela, material horiek hiru talde handitan bana daitezke: termoplastikoak, elastomeroak eta termoeonkorrak. Industrialki gehien erabiltzen direnak termoplastikoak dira, hala ere, beste taldeetakoak ere maiz aurki daitezke.

### 13.2.1. Polimero termoplastikoak

Material hauek makromolekula luzeekin sortuta daude, eta portaera plastiko eta harikorra dute. Tenperatura altuetan berotzen direnean, bigundu eta likido biskoso bihurtzen dira; egoera horretan forma ematen zaie, eta mota ezberdinetako piezak sor daitezke.

Hurrengo irudian, ikus 130. irudia, polimero termoplastiko baten egitura orokorra ikus daiteke.



130. irudia. Polimero termoplastikoen egitura.

Material hauek deformazio elastikoak zein plastikoak jasan ditzakete eta portaera horiek aprobetxatuz forma komertziala ematen zaie.

Horrela, deformazio elastikoa bi mekanismoek sortzen dute: alde batetik, katea edo makromolekularen barruko loturen luzapenak eta deformazioak, eta, bestalde, kateen segmentu osoen mugimenduak.

Polimeroen deformazio plastikoa kateak bata bestearekiko irristatzen direnean gertatzen da, Van der Waals-en lotura ahulak apurtuz. Indarra desagertzen denean, kateak posizio berrietan mantendu eta polimeroaren betiko deformazioa gertatuko da.

Deformazio iraunkorra izateko polimeroak duen erraztasuna bere biskositatearekin erlazionatuta dago: biskositate handiko polimeroek, deformazio plastikoa jasateko, indar handiagoak beharko dituzte biskositate txikikoek baino. Bestalde, tenperatura handitzen doan heinean polimeroaren biskositatea txikituz doa, eta errazago deformatzen dira. Beraz, industrialki material hauekin piezak eta osagaiak egiteko, polimero mota bakoitzaren biskositatearen eta tenperaturaren arteko erlazioa kontuan izan beharko da era egokian eta kostu minimoarekin landuak izateko.

Polimero termoplastikoen taldea zabala da eta portaera eta egitura askotako materialak aurki daitezke. Hala ere, oro har, mota honetako materialek hurrengo aldaketak jasaten dituzte beren egituran eta portaeran tenperatura txikitzen doan heinean:

- Fusio-tenperatura

Polimero termoplastiko linealen tenperatura handia denean, beren biskositatea oso txikia da. Kateak kanpo-indarrik jasan gabe ere mugi daitezke eta polimeroa isurtzen da deformazio elastikorik gabe. Erresistentzia eta modulu elastikoa zerotik gertu daude.

Tenperatura txikitzen doan heinean biskositatea handituz doa, eta kateek ez dute mugitzeko erraztasunik. Tenperatura  $T_f$  fusio-tenperaturara heltzen denean, polimeroak zurruntasuna lortzen du.

- Egoera plastikoa

Fusio-tenperaturaren azpitik polimeroa zurruna da eta forma mantentzeko gai da, nahiz eta kateak okertuta eta biribilkatuta egon. Hala ere, indar bat aplikatzen denean, kateak mugitzen dira materiala deformatuz. Erresistentzia eta modulu elastikoa txikiak dira baina luzapena oso handia.

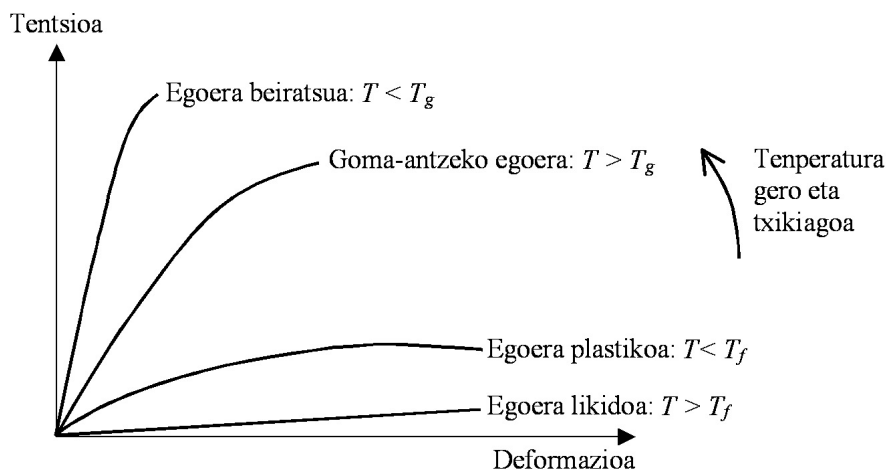
Tenperatura txikitzen den heinean deformazioaren osagai elastikoa handituz doa, eta biskosoa txikituz. Materialaren erresistentzia eta modulu elastikoa handiagoak dira, eta bere luzapena txikiagoa.

- Egoera zurruna

Polimeroaren tenperatura txikitzen doan heinean biskositate handiak bakarrik baimentzen du kateen talde molekular txikien mugimendua. Ez dago kateen labaintza beste kate batzuekiko.

Beira-trantsiziozko tenperaturaren ( $T_g$ ) azpitik, polimero lineala gogorra eta hauskorra bihurtzen da eta beira zeramiko baten antzeko portaera dauka.

Hurrengo grafikoan, ikus *131. irudia*, polimero termoplastiko orokor baten erresistentzien bilakaera aztertzen da bere tenperatura txikitzen doan heinean.



**131. irudia. Polimero termoplastikoen bilakaera orokorra tenperaturaren funtzioan.**

Oro har, polimero termoplastiko gehienak amorfoak dira hozten direnean, hau da, haien makromolekulen ordenamendua espazioan ausazkoa da. Baina zenbait polimero kristaldu egiten dira fusio-tenperaturaren azpitik hozten direnean, beren

makromolekulak ordenatuz. 132. irudian polimero amorfoek eta kristalinoek duten kateen ordenamenduaren ezberdintasuna ikus daiteke.

Polimero amorfoen eta kristalinoen artean itxura- eta propietate-ezberdintasun nabarmenak egoten dira:

- Polimero kristalinoek amorfoek (edo beiratsuek) baino dentsitate handiagoak izaten dituzte, haien kateak trinkotuago daudelako espazioan.
- Polimero kristalinoek kateen kokalekua adierazten duen gelaxka unitarioa dute; amorfoek, aldiz, ez.
- Normalean, polimeroa monomero mota ezberdinekin sortuta dagoenean edo molekulak simetrikoak ez direnean, kristaltze-prozesua zaildu egingo da eta, ondorioz, polimeroak egitura amorfoa izango du.
- Bestalde, likido egoeratik hozte-prozesua abiadura handian egiten denean, kristaltzea saihesten da egitura amorfoa sortuz.
- Polimeroari deformazio bat aplikatzen zaionean, bere tenperatura fusio eta beira-trantsiziozko tenperaturen artean dagoenean, kristaldura errazten da kateak zuzen jarri eta polimeroa egitura paralelo batera bultzatuz.
- Polimero kristalinoetan deformazio elastikoa txikia da amorfoekin konparatuta, kateak ia zuzenak eta elkarrekiko paraleloak direlako. Tenperatura handitzean loturen luzapen handiagoa baimentzen da baina, hala ere, modulu elastikoak handia izaten jarraituko du (egitura amorfoetan baino handiagoa). Gainera, egitura kristalinoa deformazio plastikoa jasateko gai izango da, harik eta tenperatura fusio-puntura heltzen den arte.
- Polimero amorfoek beira-trantsiziozko tenperaturan eraldaketa bat jasaten dute beren portaeran, polimero kristalinoek ez dute inolako eraldaketarik pairatzen.



Polimero amorfoa



Polimero kristalinoa

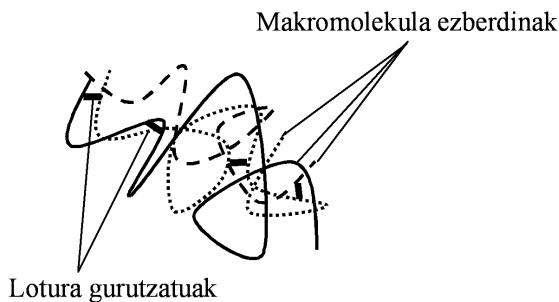
### 132. irudia. Polimero amorfoen eta kristalinoen egiturak.

#### 13.2.2. Elastomeroak

Zenbait polimero natural eta sintetikok deformazio elastiko oso handia dute indar bat aplikatzen zaenean, kautxuak adibidez. Indarra desagertzen denean, deformazioa ere guztiz desagertzen da.

Polimero mota hauetan kate linealak biribilkatuta daude, eta indarra aplikatzean luzatu egiten dira. Polimeroa askatzen denean, kateak biribilkatu egiten dira berriro ere, eta materiala hasierako itxura eta neurrira itzultzen da. Kateen artean lotura erretikular edo gurutzatuak dituzte. *133. irudian* material hauen egitura ikus daiteke.

Normalean polimero hauek kateen labainketa ere jasaten dute, hau da, deformazio elastikoa eta plastikoa jasaten dute.



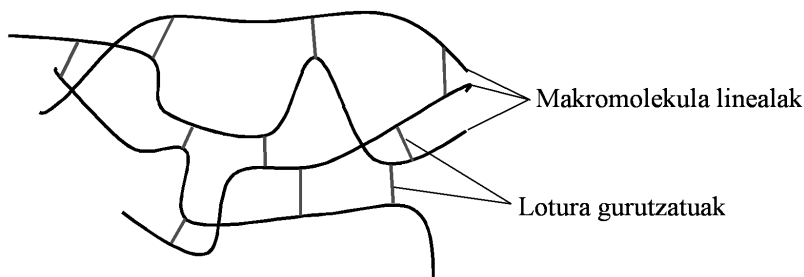
**133. irudia. Elastomeroen egitura.**

### **13.2.3. Polimero termoeگونkorrak**

Polimero termoeگونkorrak lotura gurutzatu gogorrez bateratzen diren kate lineal luzez eratuta daude, egitura tridimentsionalean. Ikus *134. irudia*.

Polimero termoeگونkor gehienek, beste polimeroekin konparatuta, erresistentzia- eta elastikotasun-modulu handiak dituzte, eta harikortasun eta talken aurrean erresistentzia txikikoak dira. Tenperatura handitzen denean, propietateak txikitzen dira polimeroaren degradazioa gertatzen den arte.

Gurutzaketa-erreakzioa gertatu ostean zaila da material hauei forma ematea, horrek zaildu egiten baitu haien prozesaketa. Horrela, eraikuntzako produktuak egiteko erabiltzen direnean, askotan polimero hauek bi erretxina likido moduan lortzen dira kola bezala erabiltzeko, adibidez. Osagai biak nahasten direnean lotura gurutzatuen sorrera-erreakzioa hasten da, eta produktuak bere amaierako propietateak lortzen ditu.



**134. irudia. Polimero termoeگونkorren egitura.**

### **13.3. POLIMEROEN PROPIETATEAK**

Polimeroen propietateak zuzenean daude erlazionatuta beren egiturarekin. Zentzu horretan, kristalinitatea oinarritzkoa izango da material hauen propietateak aztertze-ko orduan. Polimeroei dagokienez, kontzeptu hori antolaketa atomiko ordenatua sortzen duen kateen paketamendu gisa uler daiteke, lehenago esan den bezala. Horrela, polimeroetan alde kristalinoak eta alde amorfoak daude; eta kristalinitate-graduaren arabera, polimero guztiz amorfoak aurki daitezke; guztiz kristalinoak (% 95 asko jota), eta bitarteko portaerak dituztenak.

Monomero-unitatea zenbat eta konplikatuagoa izan, kristalinitate-gradua txikiagoa izango da. Polimero sinpleetan, polietilenoan (PE) esate baterako, kristalinitatea handia da nahiz eta hozketa-abiadura altuak erabili. Polimero linealetan kristalizazioa oso erraza da kateak oztoporik gabe lerrokatu daitezkeelako. Polimero adarkatuak ia ez dira inoiz kristalinoak. Saretazkoak ia guztiz amorfoak dira, eta lotura gurutzatu gutxi dituztenak kristalinitate-gradu ezberdinak azaltzen dituzte. Kopolimeroei dagokienez, txandakatuek eta blokeko kopolimeroek kristalizazioa izan ohi dute; aldiz, ausazko polimeroak eta txertatuak amorfoak dira.

Egoera urtutik kristalizatzen diren polimero gehienek esferulitak sortzen dituzte. Esferulitak xafletan antolatzen diren agregatuak dira, erdiko aldea kristalinoa da eta kate amorfoak kanpoaldean tolestuta dituzte xaflez eginiko esfera bat sortuz.

#### **13.3.1. Propietate fisikoak**

##### **13.3.1.1. Dentsitatea**

Polimeroak dentsitate txikiko materialak dira, hurrengo taulan (30. *taula*) ikus daitekeen bezala.

Material polimeriko baten dentsitatea bere kristalinitate-graduarekin erlazionatuta dago; izan ere, polimero kristalino baten dentsitatea amorfo batena baino handiagoa da, haren kateak paketatuago daudelako, hau da, espazioan bolumen txikiagoa betetzen dute. Dentsitate txikiak izateagatik material arinak dira eta erai-kuntzan erabilgarriak.



| Polimero mota   | Polimeroaren izena      | $\rho$ (g / cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-------------------------|-------------------------------|
| Elastomer.      | Butadieno-Estireno      | 0,94                          |
|                 | Butadieno-akrilonitrilo | 0,98                          |
|                 | Kloropreno (neopreno)   | 1,23                          |
|                 | Polibutadieno           | 0,91                          |
|                 | Poliuretano             | 1,02-1,25                     |
| Termoplastikoak | HDPE                    | 0,96                          |
|                 | LDPE                    | 0,92                          |
|                 | Tefloia                 | 2,18                          |
|                 | PVC                     | 1,4                           |
|                 | Polipropileno (PP)      | 0,9                           |
|                 | Poliestireno (PS)       | 1,04                          |
|                 | PMMA                    | 1,18                          |
|                 | Nylon 6,6               | 1,14                          |
|                 | Polikarbonatoa (PC)     | 1,20                          |
| Termoegonkorak  | Epoxi                   | 1,3                           |
|                 | Fenoliko                | 1,28                          |
|                 | Poliester               | 1,2                           |
|                 |                         |                               |

**30. taula. Zenbait polimeroren dentsitateak.**

### 13.3.1.2. Fusio-tenperatura eta beira-trantsiziozko tenperatura

Material baten propietate termikorik garrantzitsuenetariko bat da fase solidotik likidorako trantsizioa gertatzen den tenperatura. Materialak egitura kristalinoa badu, solido-likido fase-aldaketa tenperatura bakar batean gertatuko da, fusio-tenperatura deituko dena. Materialak tarte amorfoak dituenean, gainera, beira-trantsiziozko tenperatura definitzen da ( $T_g$ ), horren azpitik solidoa amorfoa da, gainetik solido elastikoa, eta tenperatura oraindik altuagoetan likido biskoso bihurtzen da.

Polimero batek esfortzu mekaniko baten aurrean daukan portaera tenperaturaren menpean dago. Oro har, giro-tenperatura materialaren  $T_g$  baino txikiagoa bada, polimeroa zurruna izango da; aldiz,  $T_g$  baino altuagoa bada, orduan materiala malgua izango da.

### 13.3.1.3. Eroankortasun termikoa

Eroankortasun termikoa beroa —material batean zehar— garraiatzeko duen ahalmena da tenperatura altuko aldetik tenperatura txikiko aldera. Polimeroen eroankortasun termikoak txikiak dira beste materialekin konparatuta, baina

kristalinitatea handitzen denean, handitzen dira ere. Plastiko trinkoek egurrak —zuntzaren norabidean— daukan eroankortasun antzekoa dute.

Horrela, polimeroak isolatzaile termiko bezala erabilgarriak dira, eroankortasun txikia dela-eta. Propietate hau espumazioarekin hobetu daiteke poroak gehitzen direlako; era horretan, eroankortasuna are gehiago txikituko da.

#### *13.3.1.4. Eroankortasun elektrikoa*

Polimero gehienek isolatzaile elektriko gisa jokatzeko dute, lotura kobalenteak dituztelako. Material mota hauek intentsitate altuko eta baxuko kableen isolamenduak egiteko erabilgarriak dira.

Polimeroek duten arazorik handienetariko bat hau da: karga estatikoen kantitate handiak metatzeko duten ahalmena, bai erabileran (marruskadurak eraginda) bai fabrikazioan; horregatik estatikaren aurkako gehigarriekin ekoizten dira.

#### *13.3.1.5. Iragazkortasuna*

Polimero batean iragazkortasuna, materialean zehar, gas edo likidoek daukaten difusio-ahalmen gisa uler daiteke. Propietate hau barreiatzen den gas edo likidoaren menpean dago: molekulen dimentsioen, formaren eta polaritatearen menpean.

Polimeroak ez dira urarekiko iragazkorrak, hau da, iragazkortasun txikia dute; horregatik iragazgaizgarri moduan erabilgarriak dira estalkietan, terrazetan, balkoietan, etab.

Propietate honetan tenperaturak dauka eragin handiena: tenperatura zenbat eta altuagoa izan, iragazkortasuna altuagoa izango da, eta horrela, gas edota likidoen mugimendua materialean zehar erraztuko da.

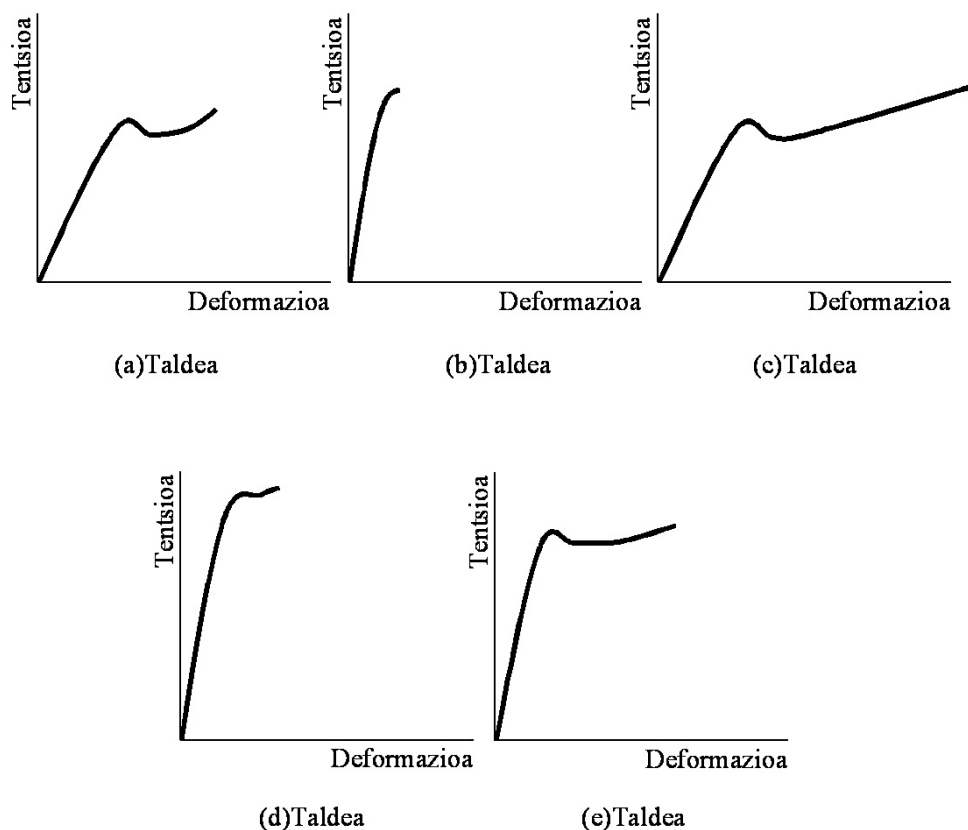
Bestalde, kristalinitateak ere iragazkortasunean eragina dauka; hau da, materiala zenbat eta amorfoagoa izan, difusiorako dauden hutsuneak txikiagoak izango dira eta, ondorioz, iragazkortasuna txikiagoa izango da.

### ***13.3.2. Propietate mekanikoak***

#### *13.3.2.1. Esfartzua, deformazioa eta Young-en moduluak*

Oro har, polimeroen propietate mekanikoak ikertu behar direnean eta saiakuntzak diseinatu behar direnean esfortzuak, deformazioak eta Young-en moduluak aztertuko dira.

Polimeroen familiek izan ditzaketen propietateak hurrengo irudian laburbildu daitezke (ikus 135. irudia).



### 135. irudia. Polimero-familien portaera mekanikoa.

(a) Taldea polimero bigunen eta ahulen taldea da. Bertan poliisobutilenoa moduko polimeroak daude, zeinak elastikotasun-modulu txikia, isurpen-puntu baxua eta denboraren arabera luzapen ertaina baitauzkate.

(b) Taldeko polimeroak gogorrak eta hauskorrak dira, poliestirenoa besteak beste, produktu horrek elastikotasun-modulu handia dauka, isurpen-puntu gutxi definitua eta apurketa baino lehen deformazio txikia ere.

(c) Taldean polimero bigunak eta zailak daude, PVC plastifikatua adibidez. Elastikotasun-modulu txikia dute, luzapen handia eta isurpen-puntu ondo definitua. Talde honetako polimeroak isurpen-puntuaren ostean luzatuko direnez, tentsio-deformazio kurbaren azpian geldituko den azalera (zailtasuna adierazten duena) (b) Taldean baino handiagoa izango da hemen.

(d) Taldean polimero gogorrak eta erresistenteak daude, PVC zurruna esaterako. Material hauek elastikotasun-modulu handia eta isurpenarekiko erresistentzia altua dauzkate.

(e) Taldean polimero gogorrak eta zailak daude, ABS kopolimeroak adibidez. Erdibideko luzapena jasaten dute isurpen-puntua baino lehen, eta gero deformazio itzulezin bat.

Oro har, talde guztiek Hooke-ren portaerari jarraitzen diote isurpen-puntua baino lehen. Tarte horretan deformazioak berreskuragarriak dira polimero-katearen lotura nagusiak kobalenteak direlako, eta horien flexioa eta luzapena gertatzen direlako. Tarte horretan ere zenbait polimero-kateren desbiribilkaketa berreskuragarria gerta daiteke. Isurpen-puntuaren ostean, aldiz, polimero-kateen labainketa berreskurazina gertatzen da.

Propietate hauek denboraren funtzioan daudenez, (a) Taldeko polimeroek (d) Taldekoen portaera izan dezakete tentsioak azkar aplikatzen badira eta alderantziz. Bestalde, tenperaturaren menpean daudenez ere, (c) Taldeko polimeroek (b) Taldekoekin antzekotasun handia izango dute tenperatura txikitzen denean.

### 13.3.2.2. Apurketa

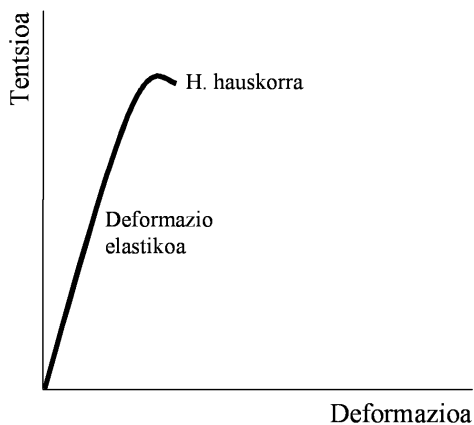
Bi motatako hausturak definitzen dira:

- Hauskorra: materiala deformazio minimo batekin apurtzen denean.
- Harikorra: apurketa baino lehen deformazio nabarmena gertatzen denean.

Apurketa-era biak erraz desberdin daitezkeen kasuak dira; baina zenbait polimeroetan bitarteko portaerak daude.

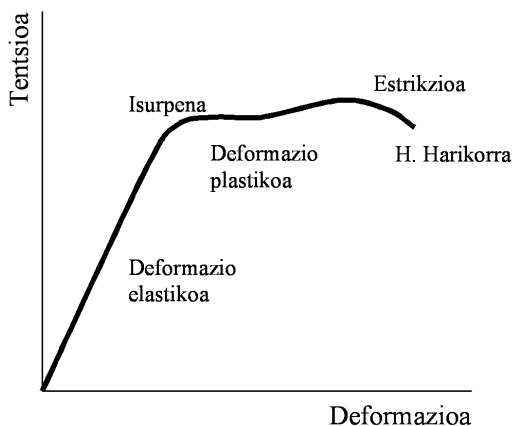
Apurketa hauskor eta harikarren fenomenoak tentsio-deformazio kurben bidez aztertzen dira.

Haustrura hauskorrak 136. irudian agertzen den itxura dauka. Tentsioa handitzean luzapen uniforme bat nabaritzen da, portaera elastiko minimo bat gertatu eta, gero, marraztutako kurbaren maximoaren ondoan apurketa gertatzen da.



**136. irudia. Polimeroen apurketa hauskorra.**

Aldiz, apurketa harikorrak 137. irudian agertzen den grafikoari jarraitzen dio. Tentsio-deformazio kurban maximoa lortu ondoren deformazioa gertatzen da lagina apurtu baino lehen.



**137. irudia. Polimeroen apurketa harikorra.**

Portaera plastikoaren tartearen luzera, tentsio bat aplikatzean, polimeroaren molekulak jasaten duten berrantolaketaren funtzioan dago. Prozesu hau eta metaletan gertatzen dena ezberdinak dira, azken horietan plano atomikoak bata bestearen gainean labaintzen baitira. Polimeroetako mugimendu molekularra fase likidoan gertatzen denaren antzekoa da, eta horrela osagai biskoso bat dago berrantolaketa horretan. Portaera horrek biskoelastikotasunaren fenomenoak sortzen du.

Lehen aipatu den moduan, apurketa harikorrak eta hauskorrek polimeroen mugako portaerak adierazten dituzte; gehienetan, bi apurketa horien arteko trantsizioa gertatuko da. Trantsizio horretan tenperaturak eragin handia duen faktorea da. Izan ere, tenperatura baxuek apurketa hauskorra lortzeko behar den tentsioa txikitu egiten dute; horrela, material elastiko bat, goma esaterako, hozten denean era hauskorrean apurtuko da.

Bestalde, polimero baten apurketa-tentsioak eta apurketa-erak haren molekulen ezaugarriekin zuzenean erlazionatuta daude, hau da, egitura, pisu molekular, polisakabanatze, kristalinitate eta lotura gurutzatuen kopuruarekin. Beste faktore batzuek ere apurketa-tentsioan eta apurketa-eran eragina daukate: tenperaturak, luzapen-ahalmenak eta laginaren geometriak batez ere. Parametro horiek saiakuntza egin baino lehen erabakitzen dira.

Oro har, plastiko termoeogonkor ez-indartuak era hauskorrean apurtzen dira. Bestalde, termoplastikoak era hauskorrean zein harikorrean apur daitezke. Termoplastiko baten apurketa bere beira-trantsiziozko tenperaturaren azpitik gertatzen bada, normalean, apurketa hauskorra izango da, baina tenperatura hori baino tenperatura altuagoetan gertatzen bada, orduan harikorra izango da. Beraz, tenperaturak eragin handia du termoplastikoek apurtzeko duten eran.

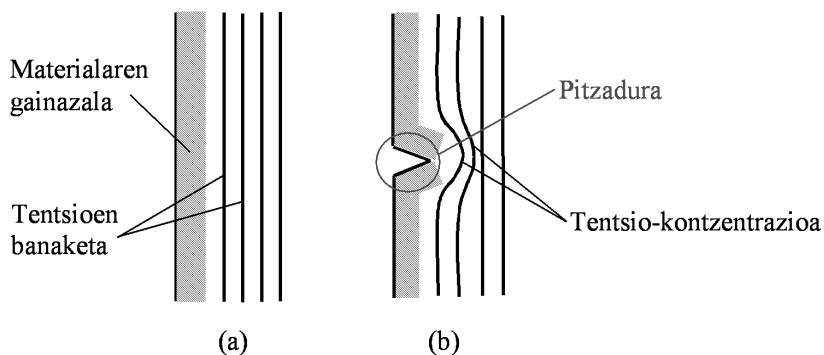
Bestalde, deformazio-abiadurak ere material hauen apurketa-portaeran eragina dauka; horrela, deformazio-abiadurak zenbat eta txikiagoak izan, apurketa gero eta harikorragoa izango da, kate molekularren berrantolaketa errazten delako.

Plastiko termoeгонkorrak giro-tenperatura baino tenperatura altuagoetan berotzen direnean, ahulago bihurtu eta tentsio-maila txikiagoetan apurtuko dira, baina era hauskorrean jarraituko dute apurtzen, lotura kobalenteen sarea tenperatura altuetan mantentzen delako.

### 13.3.2.3. Gainazalen eragina

Solido hauskor baten gainazalaren egoerak eragin nabarmena du portaera mekanikoan, eta barne-egitura molekularra bezain garrantzitsua da. Apurketa mikroskopikoak, hutsuneak edo beste mota bateko akatsak egoteak polimeroaren trakzioarekiko erresistentzia nabarmen txikitzen du, PMMA (Polimetil metakrilatoan) gertatzen den moduan.

Pitzadura mikroskopiko horiek tentsioak kontzentratzen dituzte zenbait puntutan, 138. irudian agertzen den moduan.



**138. irudia. Polimeroen gainazalaren eragina apurketan.**

(a) irudian tentsioa uniformeki banatuta dago materialetik zehar. Baina (b) irudian tentsio-lineek akatsaren inguruan kontzentratzeko duten joera ikus daiteke. Fenomeno hau gertatzen denean apurketa erreala teorikoa baino tentsio txikiagoetan gertatuko da.

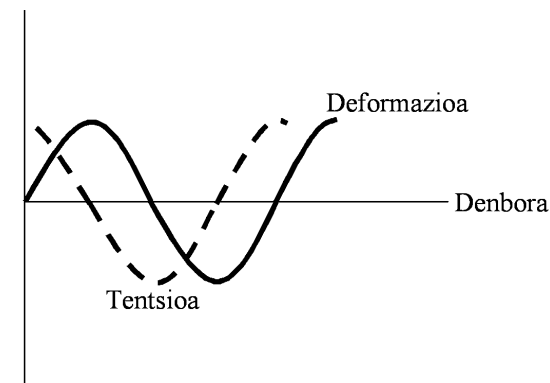
### 13.3.2.4. Nekearekiko erresistentzia

Polimeroetan nekea neurtzea bereziki garrantzitsua da, zeren karga aplikatzen den abiadurarekiko sentikortasun handia baitute; material biskoelastikoen ezaugarri berezia da hau.

Saiakuntza honek karga dinamikoak egongo diren aplikazioei buruzko informazio garrantzitsua emango du, tenperatura-efektuak aztertzeko eta polimeroen egitura fisikoa eta kimikoa aztertzeko ere oso erabilgarria izanik.

Neke-saiakuntza bat egiteko orduan zenbait faktore definitu behar dira. Karga modu ezberdinak erabil daitezke: tentsio-konpresioa, flexioa, torsioa, etab.; flexioa polimeroen saiakuntzetan gehien erabiltzen den karga mota da.

Saiakuntza honetan karga aplikatzeko era eta deformazioa gertatzen deneko era sinusoidala da (ikus 139. irudia).



**139. irudia. Polimeroen neke-saiakuntzan tentsioa eta deformazioa denboran zehar.**

Neke-saiakuntzaren maiztasunak ez dauka garrantzi handirik elastikotasun handiko materialetan, ziklo-zenbakia da parametrorik erabakigarria kasu honetan. Beste polimeroetan, aldiz, ez da maiztasunaren efektua mespretxatu behar.

Material bereziki elastikoetan, apurketa nekeagatik gertatzen denean, tentsio lokalen ondorioz agerturiko arrakalen hedapen progresibo baten eraginari sor zaio.

Material polimerikoen kasuan eta saiakuntzaren maiztasuna handia denean, biskoelastikotasunarekin erlazionaturiko efektu termikoek —material hauen eroan-kortasun termiko txikia dela-eta— apurketa termiko deritzon haustura sor dezakete. Apurketa termikoak tenperatura aldaketa garrantzitsuak sor ditzake edo aldaketa lokal txikiak; hala ere, nahikoa izan daiteke egitura eta materialen portaera mekanikoa aldatzeko.

### **13.3.3. Kimikoak**

Material hauen ezaugarri berezia disolbatzaile arrunten aurrean daukaten portaera da: haien egitura konplikatua dela-eta, polimero komertzial gehienak oso erresistenteak dira disolbatzaileen aurrean.

Material baten disoluzioa gertatzen denean, disolbatzailearen molekulak solutuaren molekulen artean (materialaren molekulen artean) sartu eta solutu-disolbatzaile lotura-indarrak sortuko dira eta solutu-solutu indarrak ahulduko.

Polimeroa lineala edo gutxi adarkatua bada, disolbatzailearen molekulak solutuaren molekulen artean sartu eta astiro sakabanatu egingo dira, solutuaren makromolekulen neurri handia dela-eta. Polimeroa adarkatuagoa edo sare itxurakoa bada, disolbatzailearen molekulak zailtasun handiagoa izango dute solutuaren

molekulen artean sartzeko, polimeroa puztuz. Polimeroak sare handiak baditu, ezinezkoa izango da haren disoluzioa.

Oro har, polimeroak agente kimiko eta korrosiboen aurrean oso erresistenteak dira. Itsaso-uren, hondakin-uren eta atmosfera industrialen erasoak jasateko gai dira; onddoak eta mikrobioak ondo jasaten dituzte ere.

Polimeroak, oro har, eguzkiarekin degradatu egiten dira, erradiazio ultramoreak fotooxidazioak eragiten dituelako. Erreakzio horrek polimero-kateen apurketa dakar, eta ondorioz, materiala ilundu, malgutasuna galdu eta pitzadurak sortzen dira.

### 13.4. POLIMEROEN FABRIKAZIOA

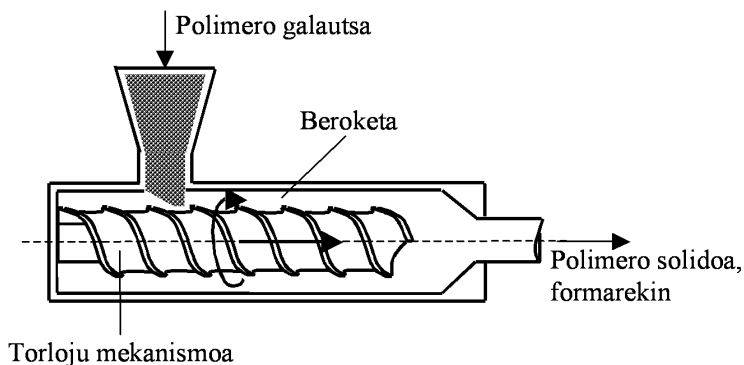
Polimeroak ekoizteko erabiltzen diren lehengai nagusiak petrolioa eta nekazaritza-produktuak dira (esnea, zerealak, etab).

Polimeroaren formulazioa burutu ostean, produktu erdilandu edo pieza bukatu bihurtzen da konformazio-prozesuen bidez.

Material hauei forma erabilgarriak emateko termoplastikoak edo termoeogonkorak diren kontuan izan behar da.

Polimero termoplastikoei forma emateko hainbat era daude. Materiala fusio-tenperaturatik gertu berotzen da, egoera plastikoan edo likidoan egon dadin, orduan molde batean injektatzen da edo pita batetik pasarazten da forma emateko. Hurrengo irudietan polimero mota hauen konformazio-era erabilienak ikus daitezke.

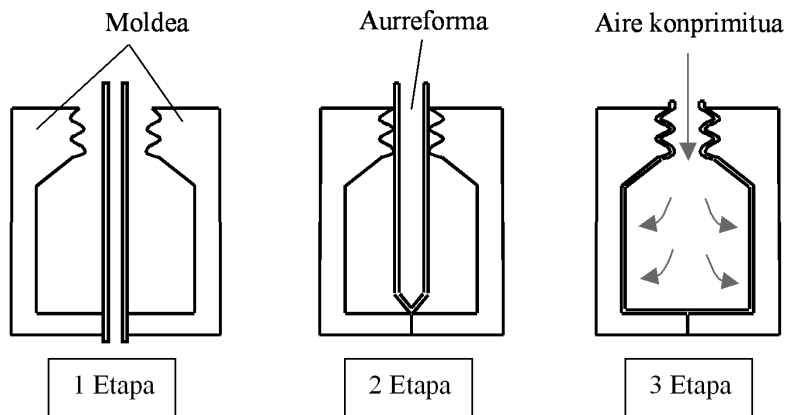
Estrusioz moldekatzean (140. irudia) torloju mekanismo batek polimero termoplastiko beroa pita batetik zehar bultzatzen du forma solidoak, pelikulak, orriak, hodiak eta poltsak sortuz. Lan egiteko era hau hari elektrikoaren estalkiak egiteko ere erabilgarria da.



**140. irudia. Polimero termoplastikoak estrusioz moldekatzeko makinaren funtzionamendu-eskema.**

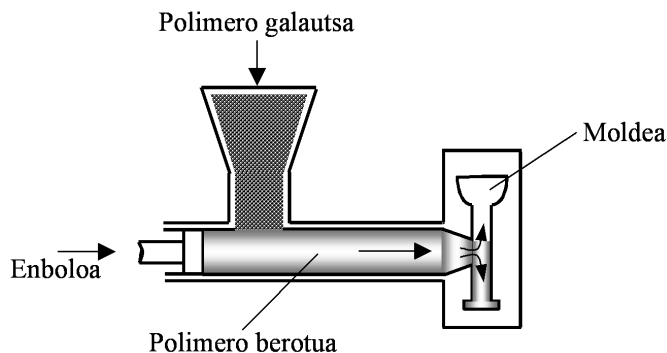


Puzte bidezko moldekatzean polimero puxika bero bat, aurreforma deitzen dena, moldean sartu, eta presioan dagoen gas bat sartuz zabaldu egiten da moldearen hormen kontra, ikus 141. irudia. Prozesu hau plastikozko botilak, ontziak eta beste forma hutsak lortzeko erabiltzen da.



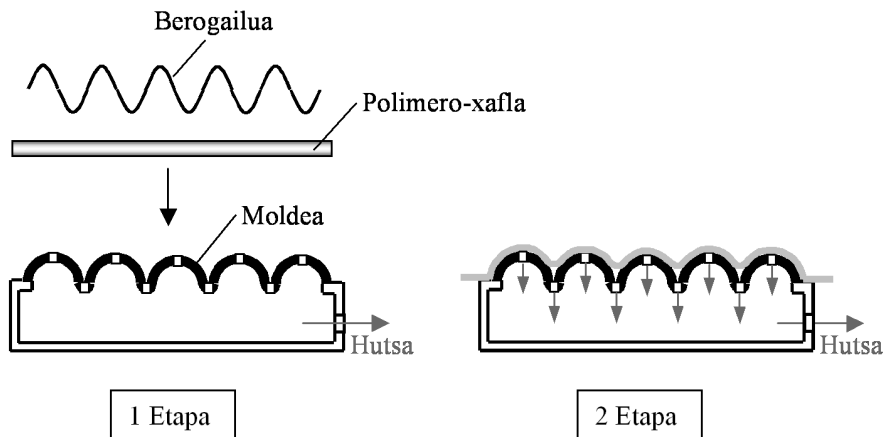
**141. irudia. Polimero termoplastikoen puzte bidezko moldekatze-makinaren funtzionamendu-eskema.**

Injekziozko moldekatzean polimero termoplastikoa fusio-tenperaturaren gainetik berotua dagoenean, molde itxi batera pasatzera behartzen da pieza lortzeko. Metaletan erabiltzen den antzeko prozesua da. Enbolo batek presioa eragiten dio polimeroa moldearen barruan sartzeko, ikus 142. irudia.



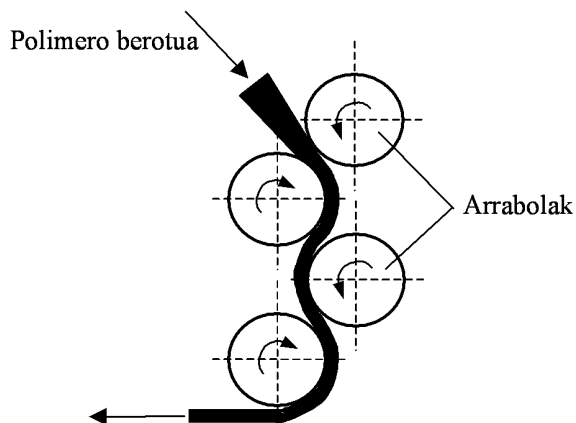
**142. irudia. Polimero termoplastikoak injekzioz moldekatzeko makinaren funtzionamendu-eskema.**

Hutsean egindako konformazioan, polimero laminak berotu ostean huts-sistema bati konektaturiko molde baten gainean kokatzen dira. Moldeak zulo batzuk ditu, horrela hutsa egiten denean laminak moldearen itxura hartzen du, ikus 143. irudia.



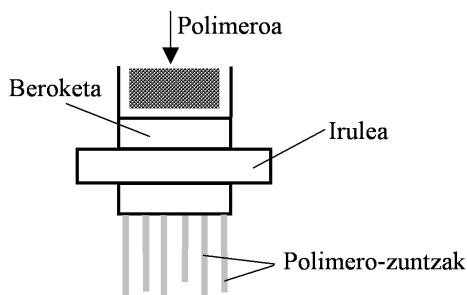
**143. irudia. Polimero termoplastikoak hutsean konformatzeko makinaren funtzionamendu-eskema.**

Kalandratze-sisteman, polimero-termoplastiko urtua arrabola batzuen artean isurtzen da. Arrabolek polimero-xafla estu bat sortzen dute, ikus *144. irudia*. Binil polikloruro asko era honetan ekoizten dira.



**144. irudia. Polimero termoplastikoen moldeaketarako kalandratze-sistemaren funtzionamendu-eskema.**

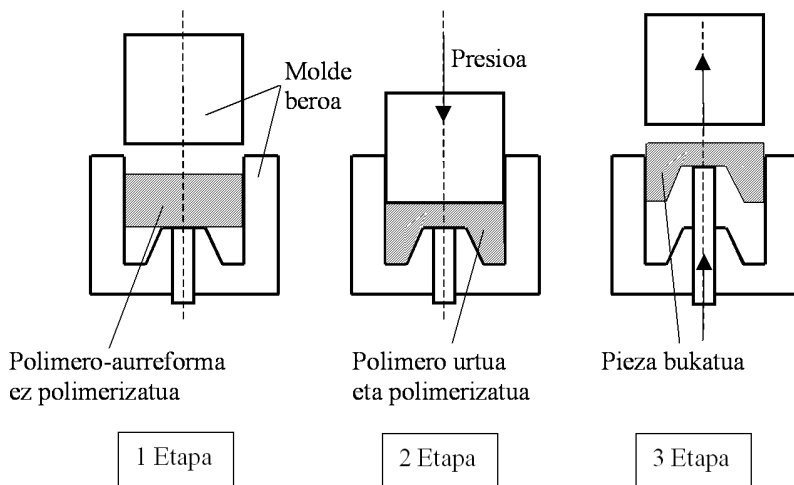
Filamentuak eta zuntzak irute-prozesuarekin egiten dira, zeina oinarrian estrusio-prozesu bat baita. Polimero termoplastikoa zulo txikiak dituen pita batetik zehar pasarazten da, ikus *145. irudia*. Iruleak biratu eta zuntza zein kordoia fabrika ditzake.



**145. irudia. Polimero termoplastikoen filamentuak lortzeko makinaren funtzionamendu-eskema.**

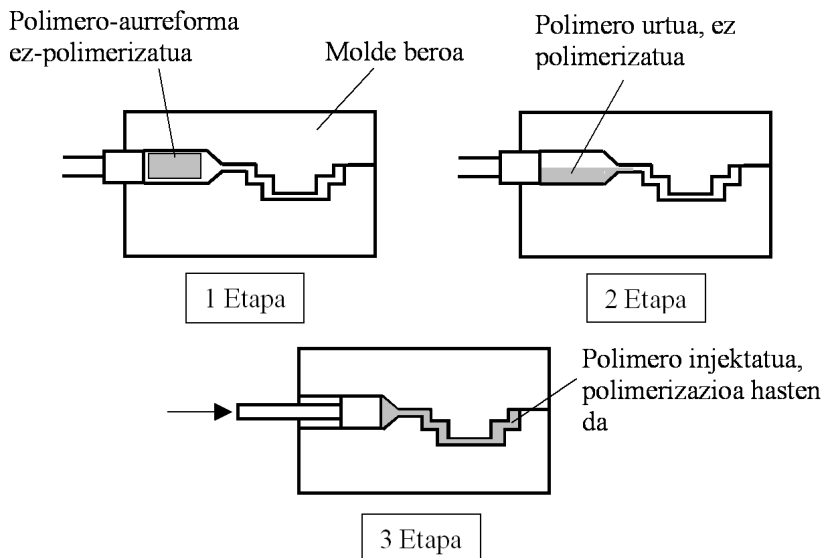
Polimero termoeogonkorrak konformatzeko teknika gutxi erabiltzen dira, polimerizazioa gertatu ostean (kateen formazioa gertatzeko erreakzio kimikoak), egitura erretikularra sortu denean, material hauek ezin direlako gehiago konformatu.

Polimero mota hauek, esate baterako, konpresioa erabiliz konforma daitezke; horretarako, polimeroaren osagai solidoak molde bero baten barruan jarri eta tenperatura eta presio handiak aplikatzen dira erreakzioak gerta daitezen; polimeroa sortuta dagoenean moldearen formarekin, gogortu eta pieza lortu egiten da, ikus 146. irudia.



**146. irudia. Polimero termoeogonkorren konformaziorako konpresiozko sistemaren funtzionamendu-eskema.**

Polimero termoeogonkorrak konformatzeko beste era bat trukatzaile bikoitza erabiltzea da. Polimeroaren osagaiak trukatzaile batean berotzen dira presiopean; polimeroa sortu ostean, molde batean injektatzen da, ikus 147. irudia. Prozesu honek konpresiozko moldekatzea eta injekziozko moldekatzea konbinatzen ditu, eta horrela, azken metodo horrek dituen zenbait abantaila polimero mota hauekin aplikatzea lortzen da.



**147. irudia. Polimero termoeogonkorren konformaziorako sistema trukatzailaren funtzionamendu-eskema.**

### **13.5. POLIMEROEN APLIKAZIOA ERAIKUNTZAN**

Polimeroen bizitza komertziala XX. mendean hasi zen eta apurka material klasi-koak ordezkatzuz edo osatuz joan dira, industriako sektore guztietan, eraikuntza barne.

Polimeroak normalean ez dira eraikinen elementu erresistenteak egiteko erabiltzen, baina osagai moduan hainbat aplikazio dituzte.

#### **13.5.1. Isolatzaile termikoak**

Material polimerikoen aparrek isolatzaile moduan erabiltzen dira eraikinetan.

Polimeroaren formulazioan agente apartzaile edo puzketa sortzen duten produktuak gehituz fabrikatuko dira. Hezetasun- edo tenperatura-baldintza berezietan agente hauek gasak sortzen dituzte; hauek gero, uniformeki banatzen diren poroak eratzen dituzte materiala puztuz. Horrela,  $900\text{--}15\text{ kg/m}^3$  bitarteko dentsitateak dituzten polimero zelularrak lortzen dira. Apar arinak, dentsitate txikiagokoak direnak, material isolatzaileak dira, baina ezin dute kargarik jaso.

#### **13.5.2. Soinu-isolatzaileak**

Aparrek soinuaren transmisioa txikitzeko ere erabilgarriak izan daitezke eraikuntzan, hau da, lokal itxi baten akustika aldatzeko erabiltzen diren produktuak

dira, soinua xurgatuz. Material bigunek eta erraz flexionatzen direnek, aparrak kasu, soinu-energia beroan eraldatzen dute.

### **13.5.3. Hodiak**

Hodien fabrikazioa polimeroen aplikaziorik zaharrena da eraikuntzan. Zoruen estalkiekin eta aparrekin batera, produktu hauen erabilerarik ezagunena da.

Polimeroen abantailarik handienak hodiak fabrikatzeko, hauek dira:

- Arinak dira, honek garraioa eta muntaia errazten ditu, batez ere luzera handietan.
- Hormak barrutik leunak dira, garraiatzen den produktua bertan itsatsita gelditzea galarazten dutenez, fluxu altuak garraiatzeko posibilitatea dago.
- Haien eroankortasun termiko txarra dela-eta, hodiak ura garraiatzeko erabiltzen direnean, adibidez, uraren izozketa atzeratzen dute; eta gainera izozte-arriskua dagoenean hodien apurketak galarazi egiten dituzte.
- Garraiatzen duten fluidoarekiko eta inguruan duten lurrekiko egonkorak dira korrosioaren aurrean.

### **13.5.4. Zorua**

Material polimerikoak lauza edo banda moduan erabiltzen dira etxe-aplikazioetan. Erabilera hauetarako geruza askotako ehun-estalki flexibleak ere aplikagarriak dira (mokat). Ehun zatia nylon-zuntzarekin edo zuntz akrilikoekin, propilenoarekin edo poliesterrekin egin daiteke. Gainera itsasgarria, oin-arrastoak ahultzeko apar motelgailua eta modernoak tefloizko estalkiak daramatzate hauts eta orbanen finkapena galarazteko.

Erresistentzia kimikoa handia dutenez, material hauek ere zoru indus-trialak egiteko erabil daitezke.

### **13.5.5. Margoak eta estaldurak**

Plastiko zurrunak eta margoak (polimeroak ekoizteko era ezberdin bi dira) eraikuntzen kanpoko eta barneko babes moduan aplikatzen dira. Estaldura hauek bi motatakoak izan daitezke

- Iragazgaizgarri edo korrosioaren aurkako babes moduan erabiltzen direnak.
- Gainazalaren babesa egiteko edo apaingarri gisa erabiltzen direnak. Hauek ur-lurrunaren difusioa baimentzen dute.

Itsasgarrien eta margoen aplikaziorako gainazalaren tratamendua egin behar da aurretik. Gainazala garbi egon behar da eta substratua itsasteko zimurtasun-gradu jakin bat izan beharko du.

### ***13.5.6. Itsasgarriak, juntak eta seilanteak***

Itsasgarriak bibrazio edo dilataziorik jasango ez duten lotura zurrunetarako erabiltzen dira normalean. Hala ere, itsasgarri flexibleak daude dilatazio handiak edo karga periodiko handiak jasango dituzten piezetan erabiltzeko aproposak direnak.

Material mota hauen aplikazio garrantzitsu bat egur-aglomeratuak egiteko produktu itsasgarri moduan erabiltzea da.

Zoruen eta plantxen eransgarri moduan aplikagarriak dira kontaktu-itsasgarri bezala; edo, eraikinetan, estalki eta tuneletan seilante moduan.

### ***13.5.7. Beira organikoak***

Polimero bereziki gardenak eta egonkorrak lor daitezke. Zenbait kasutan beira arrunta ordezkatzeko, luzernario, sabai-leiho, leiho handietan eta antzeko aplikazioetan erabiltzeko.

### ***13.5.8. Altzariak, panelak, tresnak eta erabilera mugatugetarako plastikoak***

Material polimerikoak hurrengo aplikazioetan aurki daitezke ere: lorategietako mahiak eta aulkietan; sukaldetako altzarietan; ur-biltegietan; igerilekuetan; fatxaden apaingarrietan; marmola, granitoa edo onix harriak imitatuz harritzko apaingarrien imitazio moduan; leihoen markoetan; enkofratuetan; estalki arinetan eta abarretan.

## ***13.6. ERAIKUNTZAN ERABILITAKO POLIMERO GARRANTZITSUENAK***

### ***13.6.1. Binil polikloruroa***

Binil polikloruroak (PVC), poliolefina, poliestireno eta polietilentereftalatoarekin batera, kontsumo handiko polimeroen taldea sortzen du. Horiekin alor guztietan, eraikuntza barne, erabiltzen diren produktu polimerikoen zati handi bat egiten da.

1950etik aurrera eraikin guztiek polimeroekin eginiko elementuak dituzte. XXI. mendearen hasieran Estatuan erabilitako polimeroen kopuruaren erdia baino gehiago PVCa izan zen. Haren prezio txikia eta propietate bereziak direla-eta, hodian kopuru handi batean, zenbait estalkitan, leihoen perfiletan eta zoruen estalduretan hau erabiltzen da.

PVCak erresistentzia kimiko handia dauka. Azido eta base diluitu gehienek ez diote eraginik egiten eta azido eta base kontzentratu askok ere ez. Haren gain eragina duten produktu bakarrak zetanak, zenbait konposatu aromatiko eta kloro hidrokarburoak dira.

PVCa suaren atzeratzailea da, bere konbustioak azido klorhidrikoa sortzen baitu; berau airea baino dentsuagoa den gasa denez, oso astiro difunditzen da konbustioa gertatzen ari den lekura oxigenoaren sarrera galaraziz. Hau horrela, PVCa sugarrarekin kontaktuan mantentzen bada, sugar urdin batekin erreko da, baina sugarretik urruntzen denean berehala amatatuko da.

Beira-trantsiziozko tenperatura ez da oso altua, 80 °C inguru; horrek bere aplikazio-tartea murrizten du. PVC komertzialak ez dauka % 10 baino kristalinitate handiagorik, amorfoa da gehienbat.

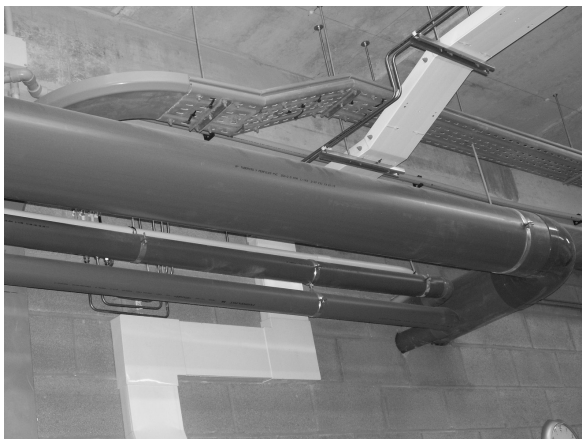
PVCa berotzean,  $T_g$  tenperaturatik gertu, HCl-aren produkzioa hasten da deskonposaketa termikoari hasiera emanez, eta gero baldintzak mantentzen badira, autoazeleratzen doa. Horrek materialaren prozesaketan degradazioa sor dezake, batez ere, PVC zurrunaren kasuan, tenperatura altuagoetan transformatua izan behar delako.

Oro har, bi motatako PVCak bereizten dira:

#### **a. PVC zurruna**

PVC zurruna plastiko gogor eta zaila da. Pisu molekular txikiko homopolimeroari (55.000 inguru) % 8 edo % 12ko gehigarri ez-plastifikatzaileak gehituz ekoizten da, prozesaketan fluidifikazioa errazteko. Homopolimeroa amorfoa da, gutxi gorabehera katean C atomo bakoitzeko % 1eko adarkadurak ditu.

Gehienbat eraikuntzan erabiltzen da pertsianak, leihoen perfilak, sandwich panelak, hodiak (ikus 148. irudia), itxura konplikatuko hustubide-piezak, teilatu-hodiak, fusibleak gordetzeko armairuak, etab. egiteko.



**148. irudia. PVC zurrunekeo hodia.**

### **b. PVC malgua**

Azido adipiko, ftaliko, fosforiko edo sebazikoaren esterrekin plastifikaturiko PVCa da. Berauek plastifikatzailerik erabilienak dira, polimeroarekin bateragarriak izateaz gain, ez dutelako gainazalera migratzen.

Kasu honetan, prozesaketarako behar den fluidifikazioa plastifitzaileak ematen du eta PVCaren pisu molekularra 65.000 eta 70.000 bitartean egon behar da.

Gaur egun, PVC malgua zoruen estalduretan, mangeretan (ikus *149. irudia*), hormen estalduretan eta harien fabrikazioan isolatzaile moduan erabiltzen da. PVC malguko aparrak moketen eta zoladuren euskarri moduan ere erabiltzen dira.



**149. irudia. PVC malguko hodia.**

### **13.6.2. Poliolefinak**

Poliolefinak karbono eta hidrogenoz eginiko polimero saturatuak dira; talde honetan, polietileno homopolimeroaz gain, 1-butadieno eta haren homologoak, eta monomero hauen kopolimeroak etilenoarekin sartzen dira.

Eraikuntzan, poliolefinen aplikazioa zabala da kontsumoari dagokionez, baina aplikazioen kopuruari begira, txikia.

Polietilenoa eta polipropilenoa ezagunenak dira eta kontsumo handienekoak; elkarrekin polimero guztien kontsumoaren % 40 osatzen dute. Hala ere, eraikuntzan PVCaren atzetik doaz eta aplikazio gutxi batzuk dituzte, hala nola estalkien mintz iragaztezinak, hodiak, eta dilatazio-juntetan eta kanpoaldean erabiliko diren gometak.

Polimero mota hauen aplikazio garrantzitsuenetariko bat sistema iragaztezinak dira. Beste materialen aurrean abantailak dituzte. Adibidez, asfaltoen juntetan gertatzen den moduan, poliolefinak ez dira zertan prentsatuak izan; bestalde, ez dute dilatazio-arazorik sortzen ezta estankotasun-galerarik ere. Aplikazio konkritu



honetan erabiltzen diren beste polimeroekin konparatuta, poliolefinak akrilikoak baino merkeagoak dira, PVCa baino hobeto jasaten dute aire librea eta, batez ere, era naturalago batez kentzen dute hezetasuna airearen berriztea ahalbidetuz.

### ***13.6.3. Poliestirenoa***

Poliestirenoa polimero merkea eta erresistentea da. Poliolefinekin eta PVCarekin batera polimero komertzialen taldea eratzen du.

Material honek aurkezpen eta eraldaketa modu asko ditu. Poliestireno homopolimeroa plastiko zurrun eta apar moduan eros daiteke.

Eraikuntzan, poliestirenoa apar moduan erabiltzen da gehienbat, isolatzaile termiko eta soinu-isolatzaile moduan aplikatzeko, baina baita zoladuretako gangatiletan eta, proportzio txikiago batean, hormigoi arinetan.

Apar forman erabiltzen ez bada, margo eta bernizetan ere erabilgarria da. Polimero honek eraikuntzan erabilitako polimeroen artean hirugarren postuan dago, hala ere PVCtik distantzia handira.

Poliestirenoa merkea da, erabilera-tenperaturetan solido amorfoa, gogorra, urak ez dio eragiten eta gardentasuna dauka. Baina aire librean azkartasun handiz degradatzen da eta erraz arrakala daiteke.

Poliestirenoaren beira-trantsiziozko tartea 74 eta 110 °C bitartean dago, baina haren erabilera-tenperatura maximoa pieza barnean hondar-tentsioen agerpenaren funtzioan dago (hozketaz azkarrak gertatzen direnean sortzen dira), beraz, historia termikoaren menpean egongo da. Barne hondar-tentsiorik ez badago, poliestirenoaren erabilera-tenperatura maximoa 80 edo 90 °C bitartean egon daiteke, baina tarte hori txikituz doa barne-tentsioak edo kanpotiko esfortzuak handitzen diren heinean.

140-150 °C bitartean poliestirenoa fluidoa da eta erraz moldea daiteke konpresioz, injekzioz, estruzioz, transferentziaz eta xaflen formazioaren bidez.

Poliestirenoa ez da deformatzen lan-tenperaturan esfortzu bat aplikatzen zaionean, zurruna da, baina piezetan pitzadura txikiak agertzen dira, zeinak esfortzuarekiko norabide perpendikularretan hedatzen diren. Propietate mekanikoak asko hobetzen dira modifikazioak eginez beira-zuntzekin, orientazio biaxialarekin eta kautxoekin.

Poliestirenoak ez du ura xurgatzen eta azidoen, baseen eta amina alifatikoen erasoak jasateko gai da; hala ere, hidrokarburoen, amina aromatikoaren, aldehidoen, esterren eta zetonen eraginaren aurrean ez dute erantzun onik ematen.

Eguzki-argiak poliestirenoa horitzen du eta hauskortasuna ematen dio, baina ABS moduko modifikazioek portaera hori hobetzen dute.

Lehen esan bezala, polimero mota hau apar moduan erabiltzen da eraikuntzan. Horrela, aplikaziorik garrantzitsuenak eraikuntzan poliestireno hedatuaren aparrek dira, zeinak isolamendu termikoak, estalkiak eta kanpo-hormak estaltzeko erabilgarriak baitira.

Beste zenbait aplikazio:

- Zubi eta errepideen lubeten eraikuntzan zoru pobreak eta loditasun txiki-koak konpaktatzeko.
- Hormigoi armatuan hutsak sortzeko zubi, autopista, presa eta kaietan.
- Zubi eta igarobideetan flotagarritasuna emateko kirol-portuetan.

Poliestireno hedatuaren aparra zementuarekin, hormigoiarekin, adreiluekin, igeltsua eta bitumen mintzekin bateragarria da, horregatik giro askotan da aplikagarria. Haren iraunkortasuna eraikuntzarena izango da, haren gainazalean onddoak edo bakterioak hazten ez direlako. Poliestireno hedatuaren aparren propietate mekanikoak transformazio-prozesuan kontrolatzen dira, jasan beharko dituen esfortzuen arabera; horrela, adibidez, konpresioarekiko erresistentzia handia duten aparrek estalkiak isolatzeko edo zoruak gogortzeko erabiltzen dira, eta erresistentzia txikiagoko aparrek, betegarri moduan.

Bestalde, estrusioa jasan duten poliestirenozko aparrek konpresioarekiko erresistentzia handia dute, ur-xurgapen minimoa eta lurrunarekiko iragazkortasuna. Normalean ez dira sukoiak eta urdinez edo berdez margotuta doaz ezberdintzeko. Hormigoiaren enkofratuak egiteko moldeak egiteko erabilgarriak dira, sabaietan apaindura-elementuak egin behar direnean.

Beste aplikazio garrantzitsua soinu-isolamendua da. Poliestirenozko aparrek nahiko zurrunka dira eta arrazoi horregatik airearen bidez garraiatzen den soinua isolatzeko txarrak dira, baina oinatzak murrizteko egokiak dira, horregatik zoladuratan jar daitezke.

Soinu-isolatzailerik soinuaren energia beroan eraldatzen dute. Poliestireno hedatuzko aparrek poroetan gertatzen den aire-korrontearen marruskaduraren bidez lortzen dute, eta, batez ere, maiztasun handiko soinuak xurgatzen dituzte. Autopistetatik edo trenbideetatik gertu dauden lekuak isolatzeko erabiltzen dira.

Azkenik, hormigoi berezietan aplikagarriak dira, hormigoi arinak egiteko. Horiek 2 cm-ko diametrodun poliestirenozko aparrekin ekoizten dira, zementuarekin elkartzuz eta, itsasketa errazteko, epoxi erretxina bat gehituz.

#### **13.6.4. Poliuretanoak**

Poliuretanoak erabilera anitzeko polimeroak dira, oso forma ezberdinetan ekoizti baitaitezke, esate baterako: termoplastiko eta termoeonkor moduan, apar malgu, zurrunka eta erdizurrunka, elastomero bigun eta gogor; estaldura, itsasgarri, zuntz, film erara, etab.

Uretano konposatu asko daudenez, zailtasun, erresistentzia kimiko, korrosioa-  
rekiko erresistentzia, urradurarekiko erresistentzia eta iraunkortasun ezberdinetako  
produktuak egin daitezke.

Produktu hauen aplikazio nagusiak seilanteak, estaldurak, aparrak eta  
itsasgarriak dira.

- Seilanteak

Osagai bakar edo anitzeko produktu gisa aurki daitezke merkatuan, mota  
bakoitzeko erabilera-ezaugarri ezberdinak daude.

Seilante poliuretanoek 25 urteko biziraupena dute, eta ziztada eta urratzeen  
aurrean oso erresistentzia onekoak dira.

Poliuretano-seilante fluidoak —autonibelatzaile izenez ezagutzen direnak  
ere— trafiko arina jasango duten bideak, aparkalekuak, patioak eta makinaren  
inguruan jartzeko egokiak dira juntak ixteko.

- Estaldurak

Estaldurak fluido autonibelatzaileak modukoak dira baina zabalera handia-  
goetan aplikatzen dira. Zoruetan, hormen margoetan, egurraren bernizetan eta  
abarretan aplikagarriak dira. Erregaien aurrean ere erresistenteak izan daitezke.

- Aparrak

Poliuretano zurrunekeo aparrak eraikuntza-industrian erabilgarriak dira  
material isolatzaile moduan.

- Osagai bakarra edo bi osagai dituzten itsasgarriak

Poliuretanozko itsasgarriak osagai banandu moduan aurki daitezke merka-  
tuan, gero aplikazioan nahasten direnak, edo osagai bakar baten moduan giro-  
hezetasunaren bidez ontze-prozesua gauzatzen dutenak.

Osagaiak kimikoki eraldatuz gero, propietate mekanikoen tarte handia duten  
produktuak lor daitezke: film itsaskor, bigun eta deformagarrietatik hasita, film  
zurrunetara igaroz. Biskositatea, ontze-abiadura eta tenperatura erabiltzailearen  
beharretara egokitu daitezke.

Itsasgarri mota hauen aplikazio nagusia egurrezko piezen itsasketa da, batez  
ere obra aurrefabrikatuen osagaien muntaian.

### ***13.6.5. Epoxi erretxinak***

Epoxi erretxinak polimero termoeonkorren talde bat dira, erreakzio-produk-  
turik sortzen ez dutenak eta horregatik ontze-prozesuan kontrakzio gutxi jasaten  
dituztenak. Biskositate txikiko likidoetatik fusio-tenperatura altuko konposatuetara

doaz. Eraikuntzan erabilitako produktu hauek epoxi erretxina likidoetan oinarritzen dira ontzea giro-tenperaturan izanik, ontze-agenteak gehituz.

Eraikuntza-industrian polimero erabilienetarikoak dira, propietate oso onak dituztelako.

Ondoren erretxina mota hauen aplikaziorik garrantzitsuenak azalduko dira:

- Konponketak egiteko epoxi morteroak

Hormigoiak zenbait girotan, agente kutsakorrek eraginda, pitzadurak, karbonatazio-prozesuak eta altzairu indargetzailearen oxidazioak jasaten ditu. Kasu horietan, epoxi erretxinen erabilera ezinbestekoa da egitura horietan konponketak egiteko.

- Epoxi itsasgarriak

Itsasgarri mota hauek material gehienak elkar ditzakete, termoplastiko batzuk izan ezik. Produktu hauen beste propietate batzuk erresistentzia termiko, mekaniko eta kimiko handiak dira hainbat klima-egoeratan.

Itsatsi daitezkeen eraikuntzako materialak hauek dira: metalak eta aleazioak, zementua, harri naturalak, zementu-zuntzak, material zeramikoak, beira eta egurrak. Erabilitako formulazioaren arabera, itsasgarri zurrinak edo flexibleak lor daitezke: poliamidak edo polisulfuroak erabiltzen badira, ontze-agente moduan itsasgarria malgua izango da; agentea amina alifatiko bat bada, itsasgarria zurruna izango da.

Epoxi itsasgarriak izango duen erabileraren arabera, hurrengo sailkapena egin daiteke:

#### a. Egituretakoa

Produktu hauen aplikazio garrantzitsu bat itsasgarri moduan erabiltzea da, hormigoizko piezak elkarrekin batzeko edo beste material batzuekin. Propietate ezin hobeak eta baldintza ezberdinetan itsasketa ona dituztelako. Hormigoi gogortuarekin edo freskoarekin erabil daitezke; hormigoi armatuan itsasketak egiteko edo altzairuzko anklajeak egiteko ere aplikatu daitezke.

#### b. Erabilera orokorrekoa

Eraikuntzan erabili ohi diren materialak itsasteko erabilgarriak dira, bereziki itsasketa-linea oso finak behar dituzten juntak konpontzeko.

#### c. Zeramikoak

Harlauza zeramikoak hormigoiari edo altzairuari itsasteko erabilgarriak dira. Bertikalki erabil daitezke ontze-abiadura handia dutelako eta sortzen dituzten junturak ura, detergente, azido eta baseak jasateko gai direlako. Erresistentzia kimiko handia behar den obra-lekuetan aplikatu ohi dira: laborategietan, ospitaletan, igerilekuetan eta abarretan.

- Injekzio-erretxinak

Hormigoizko egiturek, uzkurdua termikoen eraginez edo izozketek eraginiko tenperatura-aldaketek, gainkargek, talkek eta abarrek sorturiko pitzadurak izan ditzakete. Injektaturiko erretxinek egitura-arrakalak konpon ditzakete bai gainazal bertikaletan baita horizontaletan ere. Eskain ditzaketen abantailak hauek dira: itsaskortasun ona ontze-etapan edo materiala egoera freskoan dagoenean materiala; hezetasuna jasateko ahalmena; tenperatura baxuetan ontzea egiteko aukera; karga-distribuzioak egiteko posibilitatea gehiegizko kargak daudenean, eta, gainera, ontzean ez dute uzkurdurarik jasaten.

- Epoxi estaldurak

Epoxi estaldurak erabilera askoko produktuak dira eraikuntzan, hormigoiarekiko, altzairuarekiko eta gainazal metalikoekiko itsaste-propietate onak dituztelako. Gainera, zenbait produktuen aurrean erresistentzia kimiko ona dute, baita korrosioarekiko ere. Normalean barne-aplikazioetan erabilgarriak dira, eguzkiak horitu eta arrakalatu egiten dituelako.

- Zoruetarako epoxiak

Hormigoizko zoruek ez dituzte ezaugarri onak zenbait aplikaziotan, aplikazio industrialetan esate baterako, non erresistentzia mekaniko, urradurarekiko erresistentzia eta erresistentzia kimikoaren balio altuak behar diren. Epoxi erretxinek behar horiek betetzeko aukera ematen dute.

### ***13.6.6. Polimero akrilikoak***

Metil polimetakrilatoa (PMMA) plastiko akrilikorik ezagunena da. Komerzialki homopolimero, kopolimero eta beste polimero akrilikoekin nahastuta aurki daiteke. Polimero akrilikoaren taldearen barruan poliakrilonitriloa, poliakrilamida, poliakrilatoak, polimetakrilatoak, poliazido akrilikoa eta metakrilikoak ere aurki daitezke.

Eraikuntzan, polimero mota hauek bi aplikazio nagusi dituzte: alde batetik, xafla gardenak eta, bestetik, estaldura eta seilanteak.

Aplikazio horietan polimero hauen propietate onenak erabiltzen dira: egurra-ekin, hormigoiarekin eta harriarekin daukaten itsaskortasun ona eta haien egonkortasun ona eguzki-erradiazio ultramorearen aurrean, hobe polimetakrilatoaren kasuan poliakrilatoetan baino.

Zementu-modifikatzaile eta pitzaduretako injekzio-sistema moduan erabilgarriak dira ere, ontze azkarra behar duten aplikazioetan erabiltzeko. Aplikatzeko duten mugarik handiena prezio altua da.

## 14. Egurak

### 14.1. SARRERA

Egurra dentsitate eta trinkotasun ezberdina duten ehunez osatuta dago. Enborra, sustraiak eta adarrak urtero edo urtaroko hazten diren geruzez eratuta daude.

Material haritsua eta egitura antolatukoa da, organismo bizi batek ekoitzia; beraz, material organiko bat da.

Egurra eraikuntzan erabili zen lehenengo materiala da, ikus *150. irudia*.



**150. irudia. Antzinako egurrezko habeak.**

Organikoa izateagatik, egurak beste materialek baino iraunkortasun txikiagoa du, horregatik haren erabilera txikituz joan da. Hala ere, teknologiaren bidez ezau-garri mekaniko hobeak eta iraunkortasun handiagoa dituzten egurak lortu dira.

Material heterogeneoa da, hau da, ezin dira egurrezko bi pieza berdinak lortu, zuntzak eta korapiloak era ezberdinean agertuko baitira.

Egurren erabilera nagusiak hauek dira: pieza lagungarri moduan, bukaerako piezak egiteko, eraikuntzan elementu lagungarri moduan, elementu erresistente moduan, zurgintzan piezak egiteko, estaldura gisa, etab.

Bi motatako egurak ezberdintzen dira:

- Erretxinadunak: gimnosperma taldean daude. Hosto iraunkorrak dituzten zuhaitzetatik eratorriak dira.
- Hostozabalekoak: angiosperma taldearen barruan dauden espezie guztiak. Hosto erorkorrak dituzten zuhaitzetatik eratorriak dira.

Eraikuntzan egurraren abantailak eta desabantailak hauek dira:

a. Abantailak

1. Erabilera- eta garraio-erraztasuna.
2. Behin-behineko egiturak egiteko erraztasuna.
3. Dentsitate txikia.
4. Isolatzaile termikoak eta soinu-isolatzaileak dira.

b. Desabantailak

1. Bakterioek eta onddoek erasotzen diote.
2. Hezetasun baldintza jakin batzuetan handitu egiten da.
3. Usteldu eta behar baino lehen zahartu daiteke.
4. Elaborazio-prozesua dela-eta, normalean ezin dira 5 m baino luzera handiagoko piezak egin.
5. Suek azkartasun handiz erasotzen diote.
6. Aire zabaleko baldintzak ez ditu oso ondo jasaten (hezetasun- eta lehortasun-zikloak).

## **14.2. EGITURA ETA KONPOSIZIO KIMIKOA**

Material bizia denez, zelula luze eta hodi-itxurakoekin egina dago, horrela bere forma tubularra lortzen du. Zelula horiek zuhaitzaren ardatzarekiko paraleloak dira, elkarrekin lotuta daude zelula-bitarteko substantzia baten bidez eta proportzio txikiagoetan dauden beste zelula batzuekin trabatuta, zeinak perpendikularki kokatzen diren eta zur-erradioak sortzen dituzten.

Zelulen luzera, hormen lodiera, etab. aldakorrak dira zuhaitzean duten egitekoaren arabera, hazkuntza-denborak eta espezie motak ere zeresan handia daukate.

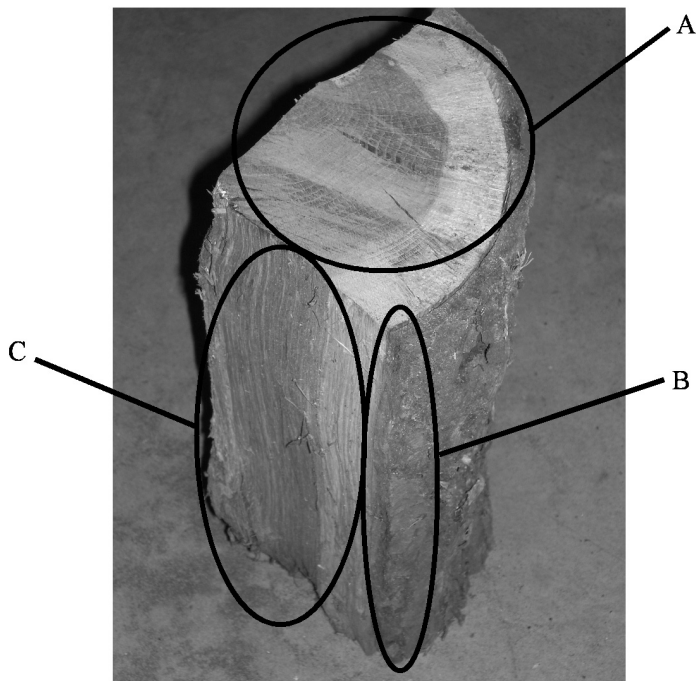
### **14.2.1. Egitura makroskopikoa**

Hurrengo irudietan, ikus *151. irudia* eta *152. irudia*, enbor bati egiten zaizkion ebaketa mota garrantzitsuenak eta enborraren alde adierazgarriak agertzen dira, non:

- A. Zeharkako mozketa den.
- B. Mozketa tangenziala den: mozketa zuhaitzaren ardatzarekiko paraleloa da eta ez du bera barnean.

C. Mozketa erradiala den: mozketa zuhaitzaren ardatzetik igarotzen da.

- a. Zurgizena den.
- b. Zurgiharra den.
- c. Haziera-eraztunak diren.
- d. Zur-erradioak diren.
- e. Muina den.
- f. Azala den.



**151. irudia. Egurraren ebaketak.**

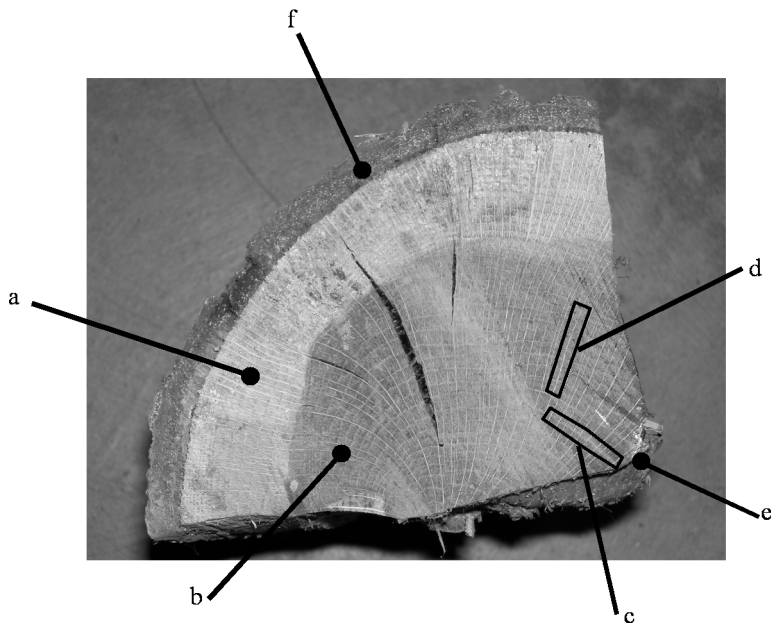
Mozketa erradialean (C) zinta estuak agertzen dira, gutxi gorabehera paraleloak, trinkotasun eta kolore ezberdinetako zuntzak tartekatuz. Ezberdintasun horiek egurraren ehunen ezaugarriak definitzen dituzte. Klima epeletan urtero agertzen diren haziera-eraztunak sortzen dituzte.

Zatirik argiena eta porotsuena udaberriko egurrari dagokio, urtaro horretan egurrak hainbat zur-hodi izango baititu izerdiaren zirkulaziorako.

Zatirik ilunena eta trinkoena uda-udazkeneko egurrari dagokio, urtaro horietan izerdiaren zirkulazioa txikia baita eta horregatik huts gabeko eta horma lodiko zelulak sortzen dira.

Egur tropikaletan ez dira haziera-eraztunak argiro bereizten.





**152. irudia. Egurraren alde adierazgarriak.**

Zeharkako mozketan (A) zuhaitzaren zatiak argiro bereiz daitezke:

1. Zurgizena (a): eratzunak deitzen diren tarte zentrokideen zatia da. Kanpoko zati zabala da, zatirik gazteena. Lodiera txikikoa da, porotsua, ur-kantitate handiarekin eta sendotasun txikikoa. Erraztasunez usteltzen da.

2. Zurgiharra (b): eratzunak deitzen diren tarte zentrokideen zatia da. Barneko zati zaharra da, zurgizenak baino gogortasun handiagoa du, hura baino ilunagoa da, eta erresistentzia eta iraunkortasun handiagokoa.

Zurgizenak eta zurgiharrek egurra bera sortzen dute.

3. Haziera-eratzunak (c): egurrean argiro bereizten dira haziera-eratzunak urtaroaren arabera kolore ezberdina agertzen baitute. Bi motatako eratzunak bereizten dira: urtekoak eta urtarokoak.

Klima epel eta hotzetan eratzunak urtero agertzen dira, beraz, zuhaitzaren adina jakin daiteke hauek zenbatuz. Aldiz, klima bero edo tropikaletan eratzunak urtaro ezberdinetan agertuko dira, horrela urte batean bizpahiru hazkunde-garai ezberdin egon daitezkeenez, haziera-eratzunen zenbakia zuhaitzaren adinaren bikoitza edo hirukoitza da.

Zuhaitzak haziera uniforme eta normala izan duen jakiteko era bat haziera-eratzunak aztertzea da, bertan landareak jasandako fenomeno guztiak agertzen baitira; horrela, izozteak jasan dituenean eratzunak besteak baino meheagoak dira,

argia norabide bakar batetik datorrenean, haizeak norabide bakar batetik datorrenean bezala, zentratu gabeko muin (e) bat agertzen dute, eta beraz, eraztunak ere ez dira zentrokideak; hau bereziki nabaria da zenbait espezieetan eta klima-ezberdintasun oso handiak daudenean.

4. Zur-erradioak (d): elikagaiak garraiatzeko eta muinean erreserbazko substantziak gordetzeko balio dute zurgizaren haziera-prozesuan etenaldiak daudenean. Egurraren identifikazioak egiteko baliagarriak dira eta, gainera, uzkurduar propietateetan zeresana dute ere.

5. Muina (e): zuhaitzaren tarte zentrala da, diametro txikikoa. Egurrezko zenbait ehunek sortua, egurra bera baino bigunagoa da eta, oro har, 1-8 mm-ko dimentsioa du.

6. Azala (f): zuhaitzaren kanpoaldea sortzen duten ehunek osatzen dute, sustraietatik adarretara estaliz eta babestuz. Azalaren lodiera irregularra da eta bi zati ditu: alde batetik, kanpo aldea edo zelula hilen epidermisa, eta, bestalde, zelula biziak eratutako barne-geruza, liber izenekoa, zeina elikagaien banaketa egiten duen ehun nagusia baita.

#### ***14.2.2. Mikroskopikoa***

Egurra mikroskopioarekin aztertzen denean, zelulez osatuta dagoela ondorioztatzen da, gehiengoa (% 98) hilik egonik. Egurra osatzen duten zelulek, formari eta neurriei dagokienez, ezberdinak dira beren artean. Landare-zelula hauetan, mintz garden eta fin baten barruan protoplastoa dago, zitoplasmak eta nukleoak eratutakoa.

Zelula gazte baten mintza pelikula garden, elastiko eta oso fina da; substantzia organiko batez osatuta dago, ehun zelularra edo zelulosa deitzen dena.

Mintz zelularrek lignifikazio deituriko eraldaketa jasan dezakete. Prozesu hori zelulen bizitzan zehar gertatzen da, lignina deituriko substantzia sortzen delako. Zelula lignifikatuek bi prozesu jasan ditzakete: guztiz haz daitezke, edo haien dimentsioak, zelulosa-mintza duten zelulekin konparatuta, proportzio askoz ere txikiagoan haz daitezke.

Mintzean dagoen zelulosa zuntz txikiz eratuta dago, mikrozuntzak deitzen direnak.

Mintzaren egitura arinak egurraren propietateetan eragin nabarmena dauka. Konstituzio-uraren kantitatea txikitzen denean, mikrozuntzen arteko distantziak txikitzen dira, hauen arteko itsaskortasun-indarrak handituz eta, horrela, masa gogorraren kantitatea bolumen-unitateko ere handituz. Horren ondorioz, egurraren propietate mekanikoak hobetzen dira. Aldiz, konstituzio-ura handitzen denean, mikrozuntzak aldendu egiten dira eta egurraren propietate mekanikoak txikitu.

### **14.2.3. Konposizio kimikoa**

Egurraren konposizio kimikoa % 50 karbonoa, % 6 hidrogenoa, % 42 oxigenoa, % 1 nitrogenoa eta beste % 1 errautsa da.

Egurraren % 50 zelulosaz osatuta dago eta % 30 lignina da, zeinak karbono-eduki handiagoak dituen eta izaera aromatikoa duen; gainerakoak hemizelulosak, materia tanikoak, koloratzaileak, erretxinak eta albuminak dira.

Zelulosa karbono hidrato bat da giro-tenperaturan, almidoiaren antzekoa; aire lehorrean aldaezina da, baina giro hezeetan edo uretan deskonposatu egiten da kolore iluna hartuz, ustelduz eta bere propietate erresistenteak galduz.

Ligninaren konstituzio osoa ez da ezaguna bere bereizketa egitea oso zaila baita, fenilpropanoren deribatu bat dela uste da. Kolore ilunekoa da, gogorra eta hauskorra; egurraren zelulosa ordezkatzan du (lignifikazio-prozesua) eta zurruntasuna eta babesa ematen dio.

Hemizelulosak eta ligninak zuntzak elkarrekin batzen dituzten substantziak dira.

## **14.3. PROPIETATE FISIKOAK**

### **14.3.1. Kolorea**

Egurrak daukan kolorea zelulen hutsuneetan dauden erretxina-produktuen eta koloratzaileen menpean dago.

Hegoaldeko eskualde beroetako espezieak eskualde epeletakoek baino kolore biziagoak dituzte; aldi berean, espezie bakoitzak bere kolore berezia dauka zuhaitza identifikatzeko balio duena.

Egurraren kolorea aldatzen duten faktoreak hauek dira: argiaren, airearen eta onddoen efektua eta zuhaitzaren adina.

### **14.3.2. Distira**

Egurrak, era orientatuan, argia desbideratzeko duen era da. Propietate hau muin-izpien dentsitatearen, kantitatearen, dimentsioen eta kokalekuaren arabera da.

Leunketarekin, bernizatzearekin, argizariak aplikatuz edo erretxina artifizialen pelikula gardenekin kolatuz efektua handitu daiteke.

### **14.3.3. Testura**

Egurra moztean lortzen den marrazkia da. Egitura anatomikoak dituzten berezitasunen eta mozketa motaren eta norabidearen menpean dago.

#### **14.3.4. Anisotropia**

Egurra material heterogeneoa izateagatik egitura anisotropikoa dauka, eta horregatik norabide guztietan ez ditu propietate fisiko eta mekaniko berdinak.

Anisotropiaren kontzeptuak material batek, norabide ezberdinen arabera, dituen portaera ezberdinak azaltzen ditu.

Propietate hau egurraren ezaugarri berezia da. Material honen anisotropia aztertzeko hiru norabide definitzen dira:

- Axiala: ardatzarekiko eta zuntzekiko paraleloa dena.
- Erradiala: zuntzekiko eta eraztunekiko elkarzuta dena.
- Tangentziala: zuntzekiko elkarzuta dena eta eraztunekiko tangentea.

Beraz, egurrak hobeto egingo du lan bere egitura nagusiak lan egiten duenean, hau da, esfortzuak zuntzen norabide berean aplikatzen direnean.

Anisotropiaren propietate hau eraztunen egiturari eta zuntzek daukaten norabide bakarrari sor zaio.

#### **14.3.5. Higroskopia**

Egurra higroskopikoa da, hau da, ura xurgatu edo eman dezake giroak daukan hezetasunaren arabera.

Ura hiru egoeratan aurki daiteke egur pieza baten barruan:

- Ur konbinatua edo konstituzioko ura: zuntzetan dagoen ura da.
- Saturazioko ura edo inpregnaziokoa: zuntzen hormak inpregnatzen dagoen ura da.
- Ur askea: egituraren hutsunetan dagoen ura da.

Aurreko ur motak kentzeko erabiltzen den prozesua hau da:

Egurra moztu ostean ur askearen lurrunketa gertatzen da, propietate fisiko-mekanikoak ezberdinak izaten hasten diren puntura heldu arte.

Gero, inpregnazio-uraren lurrunketari hasiera ematen zaio, haren kantitatea txikitzen doan hienean egurraren talkekiko erresistentzia eta uzkuradura handitzen doaz.

Ur konbinatua beroa aplikatuz soilik ken daiteke. Egurrak ur higroskopikoa berreskuratzeko ahalmena dauka ingurutik hartuz. Baina ez ur askea, berau pieza uretan sartuz bakarrik berreskuratuko da.

Lerma egurra lehortzean galtzen duen bolumenari eta sekzioari deritzo; hantura ura xurgatzean jasaten duen bolumen eta sekzioaren handitzeari deritzo.

Egurak ingurutik ur gehiago xurgatu ezin duenean, saturazio-puntura heldu dela esaten da (% 30ko ur-kantitatea).

Ur askeak, egituraren hutsuneak betetzen dituzenez, ez ditu aldaketak sortzen, galdu edo berreskuratzen denean, zuloak urez bete edo husten direlako soilik.

Piezen lodiera guztian zehar hezetasuna ez da konstante mantentzen, barruan kanpoan baino handiagoa da. Zurgizenak zurgiharrek baino hezetasun handiagoa dauka. Egurak ingurumeneko hezetasunarekin orekatzeko joera dauka.

Egur batek duen hezetasun-gradua ( $H$ ) pisu lehorrarekiko, bere baitan daukan ur-kantitateari deritzo, ehunekoetan adierazita:  $H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$

non:

$H$  = hezetasun-gradua den

$P_h$  = egur hezearen pisua den

$P_s$  = egur lehorraren pisua den

Magnitude hori estufa batean lehorketa eginez kalkulatzen da.

Egur batek dituen propietateak aztertu nahi direnean, kalkuluak % 12ko hezetasunarekin egiten dira. Hezetasun-edukiaren arabera, hurrengo sailkapena egin daiteke, ikus 31. *taula*:

|                      | Ur-edukia |
|----------------------|-----------|
| Saturatua            | > % 30    |
| Erdi-lehorra         | % 30-23   |
| Komertzialki lehorra | % 23-18   |
| Airean lehortua      | % 18-12   |
| Lehortua             | < % 12    |
| Anhidroa             | % 0       |

### 31. taula. Egurraren sailkapena hezetasun-edukiaren arabera.

Egurak % 30eko hezetasuna gainditzen badu, ez da deformatuko, baina % 30 hori gainditzen ez badu, deformatuko da.

#### 14.3.6. Deformagarritasuna

Egurak hezetasunaren arabera deformatu egingo da: bere dimentsioak handitu egiten dira ur-edukia handitzen denean, eta uzkurto egingo da eduki hori txikitzen denean. Zelulen arteko distantzia maximoa denean eta egurak bolumen maximoa lortzen duenean, bere saturazio-puntura heldu dela esaten da.

Bolumen-deformazioa kalkulatzeko hurrengo adierazpena erabiliko da:

$$D_v = \frac{V_h - V_s}{V_s} \times 100$$

non:

$D_v$  = deformazio bolumetrikoa den

$V_s$  = bolumen lehorra den

$V_h$  = bolumen hezea den

Uzkurdura-koefizientea probeta batek jasaten duen bolumen-aldaketa moduan definitzen da, % leko hezetasun-aldaketa daukanean.

Uzkurdurak erradialak zein tangentialak izan daitezke.

Matematikoki hurrengo adierazpena erabil daiteke magnitude horren kalkulua egiteko:  $R = \frac{R_h - R_s}{R_s} \times 100$

non:

$R$  = uzkurdura den

$R_h$  = egoera saturatuan daukan luzera den

$R_s$  = egoera lehorrean daukan luzera den

Egurak ez dira norabide guztietan era berdinean deformatzen.

#### 14.3.7. Pisu espezifikoa

Pisu espezifikoa laginaren pisuaren eta bolumenaren arteko erlazioa da, biak hezetasun-baldintza berdinetan neurtuak.

Eguraren dentsitatea haren hezetasun-edukiak eta poroen bolumenak mugatzen dute; horrela, hezetasunak egurraren gainerako propietateak alda ditzake.

Egurra material porotsua izateagatik hurrengo bereizketa egin daiteke:

- Itxurazko pisu espezifikoa: pisuaren eta itxurazko bolumenaren arteko zatiketa da.
- Pisu espezifikoko erreala: pisuaren eta bolumen errearen arteko zatiketa da.

Itxurazko dentsitate edo itxurazko pisu espezifikoko altuek materia erresistentearen kantitate handiak eta poroen kantitate txikiak daudela adierazten dute; aldiz, itxurazko dentsitatearen balio txikiek porositete handiko eta materia erresistente gutxiako egurrak adierazten dituzte.

Pisu espezifikoa hurrengo faktoreen menpe dago: zuhaitzaren espeziearen menpe, egurraren heterogeneotasunaren menpe, landarea hazi den lur mota eta, beraz, jatorriaren menpe.

### 14.3.8. Propietate mekanikoak

Egurraren propietate mekanikoak hezetasun-graduaren eta dentsitatearen menpean daude.

Egurrak, bai konpresioan baita trakzioan ere, erresistentzia-pisu erlazio handiak ditu, eta elastikotasun nahiko handia ere. Karga handiak jasan ditzake, baina denboraldi laburretan hobeto jasango ditu, periodo luzeetan deformazio handiak ager baitaitezke.

Normalean, erresistentzia dentsitatearekin handitzen da eta, beraz, hezetasuna handitzen denean, erresistentzia txikitu egingo da. Tenperaturak, aldiz, eragin txikiagoa dauka, 1 °C-eko hazkuntzek soilik % 3ko erresistentzia-galerak sortzen baitituzte.

Erresistentzia mekanikoa hurrengo faktoreek handitu edo txikitu dezakete:

- Zuntzen zuzentasuna.
- Lignifikazio-gradua.
- Hezetasun-edukia.

Konpresioarekiko erresistentzia maximoa da aplikaturiko esfortzua enborraren ardatzarekiko paraleloa denean, eta, minimoa, ardatzarekiko perpendikularra denean. Lehenengo kasuan, apurketa-pitzadurek, luzapen longitudinalek eta zeharkako biraketek sorturiko zuntzen banaketen ostean dator (haxeak sortzen dira). Bigarren kasuan, tarte elastikoa oso laburra da eta deformazio plastikoarena nahiko handia.

Egurrak —zuntzak haxeetan banatuak izateagatik— trakzio-esfortzuen aurrean oso portaera ona dauka: erresistentziaren balio maximoa kargak enborraren ardatzarekiko paraleloki aplikatzen direnean lor daiteke, eta minimoa, perpendikularrak direnean.

Aldiz, flexioarekiko esfortzuek tarte konprimitu bat sortzen dute eta beste bat trakzionatua; horrela, erresistentzia maximoa da indarra enborraren ardatzarekiko perpendikularki aplikatzen denean, eta, minimoa, ardatzarekiko paraleloki aplikatzean.

Material honek deformazio nahiko handiak jasan ditzake apurtu baino lehen, horrela, kurbadura handiak lor daitezke materiala gaztea, lignifikazio gutxikoa, hezetasun-gradu altukoa denean eta tratamendu egokiak aplikatzen zaizkionean.

Egurrek jasan ditzaketen higadurei dagokienez hurrengo sailkapena egin daiteke:

- Higadura txikiak jasaten dituztenak, gogorrak eta konpaktuak: boj, artea, teka.
- Higadura ertainekoak: makala, pinua eta haritza.
- Higadura handikoak: lizarra eta pagoa.

Hurrengo taulan, ikus 32. *taula*, egur batzuek daukaten erresistentziaren balioak agertzen dira % 15eko hezetasunarekin:

| Egur mota       | Erresistentzia kg/cm <sup>2</sup> -tan |          |         |           |
|-----------------|----------------------------------------|----------|---------|-----------|
|                 | Konpresioa                             | Trakzioa | Flexioa | Ebakidura |
| Flandesko pinua | 355                                    | 600      | 500     | 45        |
| Izeia           | 436                                    | 760      | 620     | 40        |
| Kaoba           | 680                                    | 1.200    | -       | -         |
| Lizarra         | 630                                    | 725      | 1.150   | 72        |
| Urkia           | 650                                    | 400      | 570     | -         |
| Pago europarra  | 530                                    | 1.080    | 800     | 107       |
| Haritza         | 450                                    | 740      | 650     | 80        |
| Teka            | 900                                    | 1.100    | 900     | 100       |

**32. taula. Egur mota batzuen erresistentzia mekanikoak.**

Egurrak, material naturala izateagatik, akatsak izan ohi ditu: korapiloak, erre-txina-poltsak, zuntz labur eta biratuak, agente xilofagoen erasoak, eraztunen arteko distantziak oso handiak edo oso txikiak izan daitezke, normalak ez diren hezetasun-graduak, etab.; horregatik kalkuluetan erabili beharko diren apurketa-balioak txikiagoak izan daitezke. Horretarako, ager daitezkeen akatsen arabera esfortzu-murritzapenen taulak eratu dira.

#### **14.4. SAIKUNTZAK**

Propietateak aztertzeko erabiltzen diren saiakuntzak beste materialetan erabiltzen direnen antzekoak dira. Horrela, gogortasuna neurtzeko Brinell metodoa erabiliko da, besteak beste; konpresioarekiko eta trakzioarekiko erresistentziak kalkulatzeko probetak UNE 56.535.77-ren bidez araututa daude, eta makinak beste materialetan erabiltzen denaren itxura bera izango du.

#### **14.5. EGURREN SAILKAPENA**

Egurrak honela sailka daitezke:

##### **14.5.1. Egur erretxinadunak**

Zurgintzan erabiltzen dira. Garrantzitsuenak hauek dira: pinua, izeia, zedroa, altzifrea eta thulla.

##### **14.5.2. Hostozabalen egurrak**

Egur hauek hurrengo eran sailkatzen dira:



### 14.5.2.1. Egur gogorrak

Talde honetan haritza, artea, zumarra, pagoa, lizarra eta eukalipto daude.

### 14.5.2.2. Egur bigunak

Talde honetan gaztainondoa, urkia, makala eta sahatsa daude.

### 4.5.2.3. Egur finak

Talde honetan intxaurrendoa, olibondoa, akazia, gereziondoa, aranondoa, madariondoa eta bananondoa daude.

### 14.5.3. Gineako egurrak

Egur hauen garrantzia Gineak daukan klima tropikalari sor zaio proportzio handi batean. Zurgintzan erabiliak dira, kanpoaldeko piezak egiteko eta ebanisterian. Garrantzitsuenak Abebay, Embero eta Sapelli dira.

### 14.5.4. Egur exotikoak

Talde honen barruan kaoba, ebanoa, palisandroa, ebano berdea eta teka daude.

## 14.6. EGURRAREN AKATSAK

Eguraren akatsek bere egitura eraldatzen dute, zuntzen haziera erregularra eta ordenatua galarazten dutelako. Hurrengo motak bereizten dira:

- Irregularitasunak eratzuten lodieran, ikus 153. irudia.



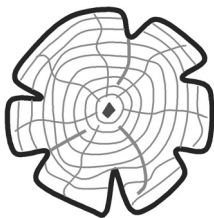
**153. irudia. Egurraren irregularitasunak eratzuten lodieran.**

- Kolaña: eratzuten arteko itsaskortasun falta da, ikus 154. irudia. Erresistentzia txikiko egurrak sortzen ditu.



**154. irudia. Egurraren kolaña fenomenoaren irudia.**

- Fendak: lehorteeek edo izozketek sorturiko luzeratako arrakalak dira, ikus 155. irudia.



**155. irudia. Egurraren fendak.**

- Bihotz irekia: zuhaitzaren erdiko aldean muina banatzen duten arrakala erradialak eratzen direnean, ikus 156. irudia.



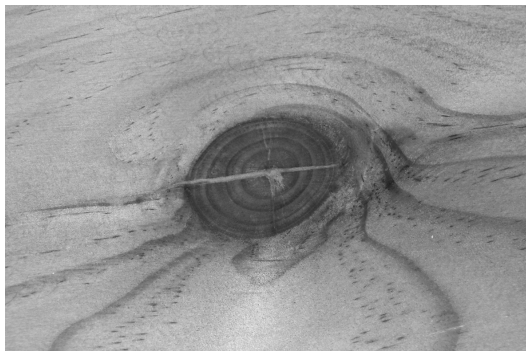
**156. irudia. Bihotz irekiaren fenomeno egurrean.**

Bestalde, alterazioak konposizio kimikoan eragina daukaten eritasunak dira, erresistentzia txikitzen dutenak. Perturbazio horiek zur-ehuna sortu ostean gertatzen dira eta honako mota hauek daude:

- Arrazoi biotikoen ondorioz sortzen direnak: onddoek, intsektu xilofagoek eta itsas organismoek sortuak.
- Arrazoi abiotikoen ondorioz sortzen direnak: suak, ingurumen-baldintzek edo agente kimikoek sortuak.

Azkenik, zuhaitzaren haziera-prozesua gertatzen ari den bitartean gertatzen diren anomaliak aipatu behar dira, aipagarrienak hauek izanik:

- Korapiloak: enborraren barruan geratzen den adar batek sortzen ditu, zuhaitza hazten edo handitzen doan heinean. Zuntzen norabidea edo jarraitutasuna aldatzen dute, ikus 157. irudia. Konpresioan lan egiten duten piezetan agertzen direnean, eta haien neurria luzea bada, ez dute eragin handirik izango. Materialak trakziozko esfortzuak jasaten dituenean, haien eragina handiagoa da, korapiloek zuntzei jarraitutasuna kentzen dietelako. Egurren araudiek korapiloen tolerantzia mugatzen dute, haien neurria eta posizioa piezan kontuan hartuz.



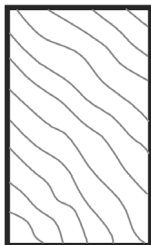
**157. irudia. Egurraren korapiloak.**

- Bihotzaren eszentrikotasuna: muina enborraren ardatz geometrikotik aldentzen denean, ikus *158. irudia*. Haizeek, zoruek eta abarrek eragindako haziera asimetrikoaren eraginez ager daiteke. Era honetako egurrek elastikotasun eta erresistentzia txikia dute eta, gainera, heterogeneotasunak landua izateko erraztasuna txikitzen du ere.



**158. irudia. Egurraren bihotzaren eszentrikotasunaren fenomenoak.**

- Zuntz biribilkatuak: zuntzak zuhaitzaren ardatzari jarraitu beharrean, helize eran kokatzen dira, ikus *159. irudia*. Fenomeno hau gertatzen da kanpoko zuntzak barnekoak baino gehiago hazten direlako, edo zuhaitzak bere sustraien zati bat zoru iragaztezin batean duelako eta besteak zoru sakon eta emankor batean. Zuhaitza zutik dagoenean nabaria da, azala arrakalatu egiten delako helize-itxura hartuz. Egur hau piloteak, posteak eta zutabeak egiteko erabiliko da soilik.



**159. irudia. Zuntz biribilkatuen fenomenoak egurrean.**

## **14.7. FABRIKAZIOA**

Egurra dimentsio egokietan moztu ondoren, agente erasotzaileetatik babesteko zenbait tratamendu aplikatzen zaizkio.

### **14.7.1. Lehorketa**

Lehorketaren helburua egurrak izan dezakeen ur-edukia kentzea da, haren erabilerarako egokia den ur-kantitatea izan arte.

Lehorketa-prozesuarekin hurrengo helburuak lortu nahi dira:

- Egurra egonkortzea, horrela aplikazio konkretu batean erabiltzen denean ez du mugimendurik jasango.
- Onddoen agerpena saihestea, jakinik organismo hauek % 20 baino hezetasun handiagoak behar dituztela hazteko.
- Egurraren erresistentzia handitzea, hezetasunaren edukia txikitzen doan heinean propietate mekanikoak handitzen baitira.

Egurrak hezetasuna kanpotik barnealdera galtzen doa. Ingurumenak hezetasun-balio txikiagoak dituenenez, higroskopia propietatea dela-eta, egurrak giroarekin orekatzeko joera izango du; horrela, kanpoan dauden geruzen ur-edukia lurruntzen hasiko da eta barnealdeko urak kanpoaldera joateko joera izango du, lurrunketa berriro gertatuz, eta horrela prozesua errepikatuz.

Aireak burutzen du operazio hau, eta haren hezetasunak, tenperaturak eta abiadurak zeresan handia dute. Aire zenbat eta beroago egon, azkarrago gertatuko da lehorketa. Momentu bat helduko da non egurrak ez duen pisu gehiago galduko; une horretan aireak duen hezetasunarekin orekara heldu dela esan daiteke.

Lehorketa-prozesua hurrengo eratan egin daiteke:

#### **14.7.1.1. Lehorketa naturala**

Egurrezko piezak airearen zirkulazioa errazteko eran kokatuko dira. Lehorketa-sistema honekin egurrak % 17ko hezetasuna izango du gutxi gorabehera.

Lehorketaren iraupena egur lodietan urte batekoa da zentimetro bateko lodiera bakoitzeko, eta urte erdi ingurukoa egur bigunetan.

#### **14.7.1.2. Lehorketa artifiziala**

Aire lehorrarekin edo beste sistema batzuekin egin daiteke infragorriak edo goi-frekuentziak erabiliz, adibidez.

Lehorketa mota honek lehorketa naturalarekin konparatuta dituen abantailak hauek dira:

- Tenperaturaren, hezetasunaren eta lehorketa-abiaduraren kontrola.
- Sistema lehortu behar den egur motari egokitu daiteke dakioke.
- Klimak egurraren ekoizpenean eragina izateari uzten dio.

Tratamendu honekin onddoen eta intsektuen agerpena saihesten da.

#### **14.7.2. Zahartze artifiziala**

Lehorketa artifizialean baino lehorketa gogorragoa egiten da hemen. Honen eraginez ia ur guztia kenduko da eta egur-zuntzak antiseptiko bihurtuko dira (ez dira ustelduko), erasoen aurka babestuz.

Prozesu hau egur-osagaien transformazioa azkartzean datza, egur zaharrek duten egonkortasuna lortzeko.

Korrante elektrikoaren bidez edo autoklabeetan egin daiteke.

#### **14.7.3. Babesleak**

Agente erasotzaileen aurrean egurrak erresistentzia handiagoa izan dezan aplikatzen diren substantzia kimikoak dira.

Hurrengo ezaugarriak bete behar dituzte:

- Agente erasotzaileentzat toxikoak edo inhibitzaileak izan behar dira.
- Egurrean kantitate eta sakontasun egokian sartzeko ahalmena izan behar dute.
- Egurraren edo berarekin kontaktuan dauden beste materialen propietate fisiko-mekanikoak ez dituzte aldatu behar.
- Egurraren sukoitasuna ez dute handitu behar, are gehiago, gutxitu beharko lukete.
- Bernizekin eta margoekin bateragarriak izan behar dira.
- Ahalik eta merkeenak izan behar dira.

### **14.8. APLIKAZIOAK**

Nahiz eta egurrak eragozpen garrantzitsuak izan —anisotropia edo eragin die-zaioketen erasoak direla-eta—, horiek mugatzeko metodoak garatu izanaren ondorioz, egur eraldatuak lortu dira.

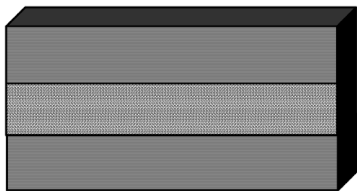
Egur eraldatuekin bete nahi diren helburuak hauek dira:

- Materialaren iraupena handitzea.
- Naturatik zuzenean lortu ezin diren piezak lortzea.
- Egur naturalaren deformazio bolumetrikoak eta itxura-aldaketak saihestea.

### 14.8.1. Taula kontratxapatuak

Taula kontratxapatuen sorrera egur-piezen neurrien eta itxura-egonkortasunaren beharretatik abiatzen da; horrela, zabalera handiko elementuak lor daitezke, baita hezetasun eta erresistentzia mekanikoen ezberdintasunek eragindako anisotropiaren desagertzea ere.

Egurrezko txapa kopuru bakoitiez sortuta daude, xafla batetik bestera zuntzak era perpendikularrean kokatuta daude, ikus 160. irudia. Aurpegi batetik bestera simetria gordetzen da aurpegi-lamina ezberdinen lodiera guztian zehar.



160. irudia. Egurrezko taula kontratxapatuak.

Txapa batek besteen mugimendua galarazten du, sistema uniforme bat lortuz.

Pieza hauek egiteko erabiltzen diren itsasgarriek garrantzi handia dute, sistema uniforme bat lortzeko xafla guztien lan bateratua lortu behar baita. Hori horrela erretxina fenolikoak, bakelita, urea eta formaldehidoa erabiltzen dira batez ere. Pieza lortzeko, xaflen artean itsasgarria jarri ostean, hauek prentsatu egiten dira hotzean zein beroan.

### 14.8.2. Egur laminatua

Pieza hauek egiturak egiteko erabilgarriak dira, zuntzak piezaren ardatzarekiko paraleloak dira eta ez dute korapilo edo beste akatsik izango. Kurbadura-erradio txikiko piezak ere egin daitezke.

Txapak bata bestearen gainean jartzen dira, lehenengoez dituzten zuntzen norabideei jarraituz, gainerakoak jarritz.

Piezen zabalera inoiz ez ditu 29 cm-ak gainditzen, hau da, pieza zerratuek dituzten dimentsio berdinak izango dituzte hauek ere.

Itsasgarriaren lana errazteko, loturak egiteko mozketak inklinatuak egingo dira.

Loturak ez dira bi xafla jarraituetan gainezarri behar, behintzat 24 bider haien lodierara kokatu beharko dira.

Fabrikazioa presioa aplikatuz egiten da, bai hotzean zein beroan, eta kontratxapatuetan erabilitako itsasgarri berdinak erabiliz.

Egur laminatuaren dentsitatea, jatorrizko egurraren dentsitatearekiko, % 40 baino handiagoa da. Zuntzen norabide paraleloan konpresioarekiko eta flexioarekiko erresistentziak bikoiztu egiten dira. Trakzioan balioak % 75 hazten dira, eta ebakidura-erresistentziei dagokienez, egur naturalen balioak 3-5 aldiz biderkatzen dira.

#### ***14.8.3. Egur konprimitua***

Sekzio erresistentearen hutsak txikitzean datza sekzio erresistente errealerara hurbilduz. Pieza hauek sortzeko presio handiak aplikatzen dira norabide erradialean zein tangenzialean. Era horretan trinkotasun handiak lortzen dira; hala ere, egur-zuntzen hormak dislokatzen ez direla ziurtatu behar da.

Aurretik egurra % 10eko hezetasuna izan arte lehortu behar da. Prozesu horrekin sekzioa heren bat txikituko da, homogeneotasuna lortuz eta, itxurazko dentsitatea, dentsitate errealaren antzekoa izatea lortuz, piezaren trinkotasuna handitzea lortuko da.

#### ***14.8.4. Egur metalizatua***

Egurra guztiz lehortu ostean, fusio-puntu txikiko metal likido batean murgiltzen da, beruna, eztainua edo antimonioa esaterako. Gero konpresio txiki bat aplikatzen zaie piezei metala gainazalean barneratzea lortzen den arte.

Era horretan dentsitate, konpresioarekiko erresistentzia eta gogortasun handiko piezak lortuko dira. Aldi berean, ur-xurgapenak asko murrizten dira. Metala urtu eta egurretik irten arte piezak ez dira erretzen, eta horren ostean errekontza geldoa etaugarrik gabe gertatzen da.

Egur naturala bezala itsatsi eta zerratu daiteke.

#### ***14.8.5. Egur bakelizatua***

Egurra bakelitzaz inpregnatzean datza, produktu horren ezaugarriak emanez. Konpresioarekiko eta trakzioarekiko erresistentziak bikoiztu egingo dira. Isolatzaile elektriko ona bihurtzen da, zelulek higroskopikoak izateari usten diote, iragaztezin bihurtzen da eta ez da usteltzen. Erreketa-tenperatura 250 °C arte igotzen da.

#### ***14.8.6. Egur inpregnatuak***

Bakelitarekin lortzen diren propietate berdinak lortzen dira hemen ere, baina urea, fenola edo melamina erabiliz, bakelitaren ordean.

Plastifikazioa egurra urearekin tratatuz lortzen da. Kantitate gutxi erabiltzen bada, animalia ligniboroen aurkako babesa lortuko da soilik. Aldiz, urea-kantitate

handiak erabiltzen badira, produktua egur barnean sartu eta moldeaketarako ahalmen handia emango dio, horregatik deritzo egur plastiko.

#### ***14.8.7. Taula aglomeratuak***

Egur hondakinak berrerabiltzen dira substantzia aglomeratzaileak erabiliz. Horrela xafla arin, egonkor, isolatzaile eta merkeak lortzen dira.

Aglomeratzaile plastikoak erabiltzen dira normalean, erretxina sintetikoetatik eratorriak.

Fabrikatzeko-era hauxe da: aglomeratuaren hiru geruza pilatzen dira, kanpoko geruza biak txirbil onekoak, eta barnekoa ,hondakin birrinduez osatutakoa. Beroa aplikatuz prentsatzen da. Bere dentsitatea  $0,6 \text{ kg/dm}^3$ -koa da. Produktuaren itxura hobetzeko intxaurrondo, haritza eta abarreko xafla finez estaltzen da.





## **15. Material bituminosoak**

### **15.1. SARRERA**

Betuna eraikuntzan erabiltzen diren materialetatik zaharrenetariko bat da. Antzina-ko Mesopotamian haren propietate itsaskorrak eta iraunkortasun ona ezagunak ziren, eta horrela betun naturala igeltserotzan, bideen eraikuntzan eta ur-biltegien iragazgaizteak egiteko erabilia zen.

Erabilitako lehenengo produktuak betun naturalak izan ziren, baina gaur egun ia ez dira aurkitzen; haien orde, petrolio edo ikatzen destilaziotik datozenak topa daitezke merkatuan.

Orain material bituminosoak errepideetan eta iragazgaizgarri moduan erabiltzen dira gehienetan, baita margoetan ere, elastikoak eta hezetasunaren aurkako babesle onak baitira.

Material hauen egitura, batez ere, hidrokarburo aromatiko poliziklikoak aurki daitezke.

### **15.2. EGITURA ETA KONPOSIZIOA**

Material bituminosoak bi taldetan bana daitezke: betunak eta galipotak.

Bi produktu hauek antzeko propietateak dituzte baina ezaugarri berezi batzuk ere. Produktu biak termoplastikoak dira eta agregakinekin itsaskortasun ona daukate; hala ere, galipoten biskositateak tenperaturarekiko mendekotasun handiagoa dauka betunenak baino, eta gainera lehenago zahartzen dira, hau da, iraupen laburragoa dute.

#### **15.2.1. Betunak**

UNE arauen arabera, betunak hidrokarburo naturalen, pirogenatuen edo haien arteko konbinaketan nahasketak dira, karbono sulfuroan guztiz disolbagarriak eta gas, likido zein solido egoeran aurki daitezkeenak.

Talde honetan hurrengo produktuak daude:

- a. Betun naturalak: likido likatsuak edo konposatu solidoak dira, hidrokarburoen eta haien deribatu ez-metalikoen arteko nahasketez sortuak.

- b. Harri asfaltikoak: betun naturalez inguratutako harriak izanik, normalean porotsuak dira, kareharriak, dolomiak, arbelak, hareak eta hareaharriak bezalakoak.
- c. Asfaltoak: UNE arauen arabera produktu naturalak edo prestatuak dira non betun asfaltikoa mineral inerteekin nahastuta dagoen.
- d. Betun artifizialak: destilazioaren, oxidazioaren edo cracking-aren bidez petroliotik lorturiko likido likatsuak dira.
- e. Mastike asfaltikoa: UNE arauen arabera, produktu asfaltiko, granulometria jakin bateko agregakin mineralen eta mineral finen arteko nahasketak dira. Berotzen denean isuria izan daiteke eta ekoizteko makina bereziak behar dira.

### **15.2.2. Galipotak**

Galipota produktu bituminoso likatsua da, materia organikoen destilazio suntsitzailetik lortua. Produktu mota hauek izendatzeko orduan, galipota hitzaren ostean jatorrizko materialaren izena jarriko da: harrikatza, eskistoak, egurra etab., fabrikatzeko erabili izan den prozesua ere adierazi beharko da.

Brea, galipotaren, edo bere produktu eratorrien, destilazio frakzionatua egin ostean geratzen den hondarra da; urtu daiteke, solidoa edo erdi-solidoa da eta kolore beltz edo marroi ilunekoa da.

### **15.2.3. Material bituminosen konposizio kimikoa**

Material bituminosen kimika oso konplexua da, galipotetan bakarrik 10.000 konposatu baino gehiago daude, horietatik bakarrik ehun bat identifikatu eta banatu izan dira orain arte.

Produktu hauen oinarritzko azterketa kimikoa egin ostean, guztiek konposizio antzekoa dutela ikusi da, hurrengo tarteetan mugituz: % 82-85 karbonoa, % 12-15 hidrogenoa, % 2-3 oxigenoa eta % 0-1 nitrogenoa.

Betunen eta galipoten ezaugarriak aztertzeke era bat, frakzio ezberdinetan, haien arteko banaketa egitea da, disolbatzaile jakin batzuetan daukaten disolbagarritasunaren arabera.

## **15.3. PROPIETATEAK**

Erreologiaren ikuspuntutik material pseudoplastikotzat har daitezke. Horren ondorioz, asfaltoen eta gainerako produktu bituminosen ezaugarriak tenperaturaren menpe daude. Horrela, errepideak egiteko erabiltzen diren asfaltoak, adibidez, bero

daudenean propietate egokienak dituzte obran kokatzeko eta gero, hozten direnean, ezaugarri egokiak lortzen dituzte ibilgailuek aplikaturiko eraginei aurre egiteko.

### **15.3.1. Dentsitatea**

Material bituminosen dentsitatea tenperaturarekin, materialen jatorriarekin eta destilazio-prozesuarekin aldakorra da.

Normalean balioak 1 kg/L inguruan daude; magnitude honek, bestalde, produktua dituen ez-purutasunen ideia ematen du. Piknometro deituriko gailuarekin kalkulatu da.

### **15.3.2. Biskositatea**

Eraikuntzan erabiltzen diren produktu bituminosoek loditasun ezberdinak izan ditzakete. Giro-tenperaturan solido gogorrak dira batzuk, eta beste batzuk likido jariakorak; dena den, guztiek biskositate delako propietatea azaltzen dute.

Biskositatea, material likido edo erdi-likido batek denbora jakin batez indar bat jasaten duenean, deformatzeari jartzen dion oztopo gisa uler daiteke; fenomeno hau molekulen barne-marruskadurari sor zaio. Materialari aplikatzen zaion energiaren zati bat mugimenduan erabiliko da, beste zatia, marruskadura dela-eta, beroan eraldatzen den bitartean. Material jakin batean deformazioa kargarekiko eta bere aplikazioaren iraupenarekiko proportzionala izango da. Beraz, biskositatea materialaren deformazio askea eta azkarra mugatzen duen propietatea da. Ingeniaritzan biskositatea material likido, erdi-likido edo solido bati aplikaturiko ebakidura-tentsioaren eta deformazioaren arteko erlazio moduan uler daiteke denboran unitateko.

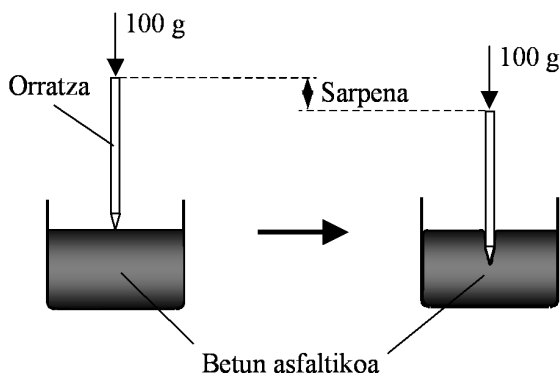
Material newtondarretan, ebakidura-tentsioa deformazio-abiadurarekiko proportzionala da, aldiz, beste kasu batzuetan ez da proportzionaltasun hori betetzen, horiek material pseudoplastikoen taldea sortuko dute. Betunak, gehienetan, azken talde horren barruan daude.

Produktu hauetan biskositatea ezaugarri garrantzitsua da, errepede-geruzak osatzen dituztenean azaltzen duten portaerari dagokionez, baina baita landuak izateko daukaten erraztasuna, itsaskortasuna eta dosifikazioaren aldetik ere.

Betunek tenperatura ertainetan biskositate handiak dituztenean, isurpen-propietateak neurtzeko orratz baten sarpenaren saiakuntza erabiltzen da, milimetro hamarrekotik neurtua.

Sarpenak betun asfalikoa zein erraztasunez deformatzen den adierazten du eta haren biskositatearen eta elastikotasunaren menpean dago.

Saiakuntza egiteko 1 mm-eko diametrodun orratz bat, posizio bertikalean eta aske, betunaren gainazalarekin kontaktuan uzten da. Orratz horrek punta tronko-konikoa du eta 100 g-ko karga aplikatzen zaio, ikus *161. irudia*. Aipaturiko orratzak 5 segundotan eragiten du laginean, berau 25 °C-ko tenperaturan dagoenean. Horrela, 100eko sarpena duen betun batek adierazten du orratza laginean 100 milimetro hamarrekota sartu dela. Saiakuntza honekin produktu bituminosoak likido, erdi-solido edo solido moduan sailka daitezke, gainera zenbait kasutan sarpena eta biskositatea elkarrekin erlazionatzeko balio du, nahiz eta erlazio hori betunaren jatorriarekin aldakorrak izan.



**161. irudia. Material bituminosoaren biskositatea neurtzeko saiakuntza.**

### **15.3.3. Biguntze-puntua**

Produktu bituminosoak ez dira benetako solidoak, eta hori dela-eta, ez dute fusio-puntu definiturik. Asfaltoetan biguntze-puntua definituko da, produktu hauek jariakortasun-balio konkretu bat lortzen dutenean. Puntu hori asfalto ezberdinen portaera konparatzeko definitzen da soilik, ez du tenperatura konkretu horretan gertatzen den propietate-aldaketarik adierazten.

Giro-tenperaturan produktu batzuk gogorrak dira eta beste batzuk bigunak; aplikazio jakin batean, adibidez asfalto bat errepide batean erabiltzeko, garrantzitsua da ezagutzea zein tenperaturan produktu gogorrak biguntzen diren. Hala ere, gogortasuna eta biguntasuna kontzeptu erlatiboak direla kontuan izan behar da.

### **15.3.4. Harikortasuna**

Harikortasuna betun batek daukan deformatzeko ahalmena da, luzatuz eta bere masa banandu gabe. Propietate hau, itsaskortasunarekin batera, oso propietate garrantzitsua da asfaltoetan, haien aplikazioetan jasango dituzten karga motak, oro har, trakzioak eta konpresioak izango baitira, ibilgailuak errepideen gainetik igarotzen direnean edo aldaketa termikoak daudenean.

Material bituminoso jakin batean harikortasuna handiagoa da tenperatura handitzen denean; material ezberdinetan harikortasuna sarpenarekin hazten da eta produktuaren biskositatearekin txikitzen da.

Oro har, errepedeetan aglutinatzaile moduan erabiltzen diren betun asfaltikoek sistema iragazgaizgarrietan erabiltzen direnek baino harikortasun handiagoak dituzte, haien lan-baldintzek behartuta.

### ***15.3.5. Hauskortasuna***

Hauskortasunak, esfortzu jakin batzuen aurrean, material batek zein erraztasunez apurtzen den adierazten du. Material bituminoso batean ezin da hauskortasun-balio absolutu batez hitz egin bere propietate erreologikoak direla-eta; hala ere, tenperatura jakin batzuen azpitik asfaltoek portaera hauskorra izan dezakete.

## ***15.4. FABRIKAZIOA***

### ***15.4.1. Betun naturalak***

Betun naturalak lakuak sortzen edo beta moduan agertzen diren txilistak sortzen aurki daitezke petrolio-meatokietan. Hareekin edo buztinekin nahastuta egon ohi dira eta, horrela, gordailu horiek izaten duten betunen aberastasuna oso ezberdina da. Batzuetan harriak estaltzen aurki daitezke, harri asfaltikoak deitzen direnak sortuz.

Betun naturalak ez dira leku askotan aurkitzen eta haien erauzketak ez dauka interes handirik gaur egun; hala ere, zenbait kasutan harri horietatik betuna destilazioaren bidez atera daiteke, eta beste zenbait kasutan, harriak birrindu eta txikitzen dira hauts asfaltikoa lortzeko.

### ***15.4.2. Betun artifizialak***

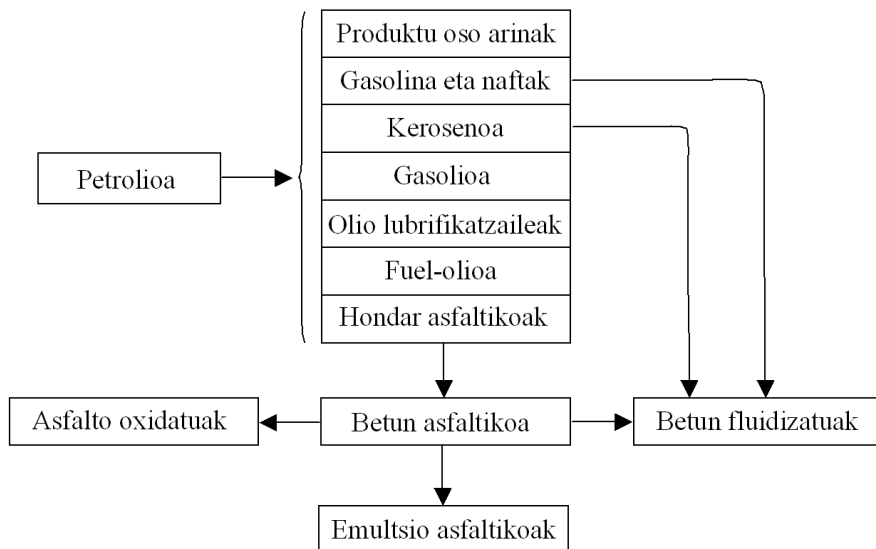
Karbono sulfuroan ( $\text{CS}_2$ ) disolbagarriak diren hidrokarburoen nahasketa hauek petrolioaren birfinketan azpiproduktu moduan lortzen dira.

Oro har, petrolioak era honetan sailka daitezke:

- Parafinikoak: kate irekiko hidrokarburo saturatuekin sortuta daude eta ez dute produktu asfaltikorik.
- Erdi-asfaltikoak: kantitate ertainetan produktu asfaltikoak dituzte.
- Asfaltikoak: hidrokarburo ziklikoz eta aromatikoaz eratuta daude, zeinetatik betun-kantitate handiak lor daitezkeen.

Eraikuntzan erabiltzen diren betun onenak petrolio asfaltiko naftalenikoetatik lortzen dira. Petroliotik betunak lortzeko destilazio frakzionatua egiten da. Prozesu

horretan, petrolioaren osagaien banaketa selektiboa egiten da haien irakite-puntuaren funtzioan. Petrolioaren berotuz, tenperatura ezberdinetan, eter, gasolinak, kerosenoak, gasolioak, olio lubrifikatzaileak, fuel-olioak eta hondar asfaltikoak lortuko dira, ikus 162. irudia.



**162. irudia. Betun artifizialen jatorriaren eskema.**

Hondar asfaltikoak destilazioan lortzen den dentsitate handieneko frakzioa da eta proportzio handi batean betun asfaltikoz sortua dago, betun naturalarekin antzekotasun handia dauka. Betun hau errepideetan erabilgarria da bere propietate onak direla-eta. Tenperatura, huts-gradu eta destilazio-abiaduraren arabera, betun mota ezberdinak lor daitezke; hala ere, normalean bi motatakoak lortzen dira, biguna bata eta gogorra bestea. Hauen arteko nahasketa ezberdinak eginez, arauetan agertzen diren betun gama guztiak lor daitezke.

Hidrokarburo naturalen destilaziotik lorturiko betun asfaltikoak giro-tenperaturaren solidoak edo erdi-solidoak dira; hori horrela, obran erabilgarriak izateko, berotu beharko dira haien biskositatea txikitzeko. Produktu bolatilen proportzio txikiak dituzte eta, oro har, trikloroetilenon disolbagarriak dira. Haien aplikazioa hoztu baino lehen egin behar da, biskositatearen hazkuntzak landu ezinak bihurtu baino lehen.

Betunek iraunkortasun handia dute agente erasotzaile natural askoren aurrean, horrela, airean, beroan edo izpi ultramoreen aurrean oxidatzeko joera daukate. Oxidazioa gainazalean gertatzen den fenomeno bat izan arren, haren efektuak okerragoak dira betun-geruza zenbat eta meheagoa izan.

### **15.4.3. Galipotak**

Galipotak produktu bituminoso erdi-solidoak edo likidoak dira, aire gabeko destilazioaren bidez lortzen direnak, material organiko bolatiletatik abiatuta (harrikatza, lignitoa edo egurra, batez ere).

Break galipotaren edo beronen eratorrien lurrunketa partzial edo destilazio frakzionatutik lortzen dira.

Eraikuntzan gehien erabiltzen den galipota harrikatzetik ateratzen da, baina hiri-gasa ekoizten duten fabriketan eta koke metalurgikoa ekoizten duten labeetan azpiproduktu moduan ere lortzen da. Harrikatza kamara itxietan berotzen da 800 °C baino tenperatura altuagoetan, horrela hidrokarburoetan aberatsak diren material bolatilak lortuko dira, zati bat zuzenean eta besteak kondentsagailu eta estraktore batzuen bidez. Galipota hodietan lortzen da proportzio handi batean; izan ere, kondentsagailu eta estraktorean kantitate txikiagoak ateratzen dira.

Lortutako galipot-kantitatea harrikatzaren konposizioaren arabera da baita erabilitako prozesuaren arabera ere; horrela koke plantetatik lortzen dena eta hiri-gasa ekoizten duten fabriketan lortzen dena, ez dira berdinak izango.

Harrikatzetatik lorturiko galipotak ez dira errepideetan aplikagarriak biskositate txikikoak direlako, indar aglomeratzaile eskasa dutelako eta industrian erabilgarriak diren produktuak dituztelako.

Produktu hauen ezaugarriak erretxina sintetikoekin (polibinil kloruroa, epoxi erretxinak, poliester erretxinak, etab.) polimerizazio-erreakzioak eginez hobetu daitezke. Era horretan, propietate erreologiko bereziak, iraunkortasuna eta beste ezaugarri garrantzitsu batzuk lortuko dira.

Arrazoi ekonomikoak direla-eta, galipotak petroliorik ez duten baina ikatz-meatzak dituzten herrialdeetan erabiltzen dira.

Galipotek duten arazorik handiena, baldintza atmosferikoen aurrean, jasaten duten zahartzea edo gogortzea da.

### **15.5. APLIKAZIOAK**

Material bituminosen aplikazio nagusia errepideetako zoladurak dira, haien produktzioaren zatirik garrantzitsuena lan horietarako erabiliz; horrela, zoru malguak edo zoru beltzak deituriko produktuak fabrikatzen dira. Beste aplikazio nabarmen bat, eraikuntzan daukan garrantzia dela-eta, iragazgaizpen-produktuak dira, obra hidraulikoetan zein eraikinetan erabiltzen baitira.



### ***15.5.1. Errepideetako zoladurak***

Zoladura bat izaera eta lodiera ezberdinetako geruzez osatuta dago, ibilgai-luen karga eta trafikoko kopuruaren arabera izaera ezberdinekoak izango direnak.

Zoladura baten geruzak hauek dira:

- Zabalgunea: trinkotu egiten den lursailaren zatia da. Errepideak duen elementu erresistenterik garrantzitsuenak da ibilgailuek transmititutako kargak xurgatzen dituelako.
- Azpionarria: ale-egitura duten materialekin eginiko geruza da, zabalgunearen gainean kokatzen dena; honen egitekoa zoladura lursailetik isolatzea, zeharkako perfil egokia ematea eta gainazal lau eta garbia sortzea da hurrengo geruza jartzeko.
- Oinarria: trafikoa sortzen dituen karga kontzentratuak gainazal handi batean banatzea da honen egitekoa.
- Errodadura-geruza: errepidearen goiko geruza da, garestiena. Bere egitekoa da errodadura eroso, irristagaitza egitea eta, bere iragazgaizpena dela-eta, beheko geruzetara urari ibilbidea ixtea. Flexioarekiko, nekearekiko eta talkekiko erresistentzia onak izan behar ditu, eta gainera iraunkorra izan behar du.

Errodadura-geruzaren izaera, edozein izanda ere, baldintza batzuk bete beharko ditu:

1. Flexioarekiko erresistentzia handia, transmititutako kargak jasateko deformazio handirik jasan gabe.
2. Nekearekiko erresistentzia handia, karga- eta deskarga-ziklo luzeak jasateko apurketara heldu gabe.
3. Iragazgaiztasun-ahalmen ona, ura oinarrira hel ez dadin bere erosioa saihestuz.
4. Errodadura eroso izatea ibilgailuentzat.
5. Koherentzia ona izan behar du ibilgailuen derrapajeak saihesteko.
6. Tenperatura-aldaketen aurrean erresistentzia ona eta agente atmosferikoen aurrean ere portaera ona izatea (izozte-urtze zikloak era egokian jasatea).

Baldintza horiek guztiak errepideetan aglomeratzaile moduan erabilitako material bituminosoek betetzen dituzte.

### ***15.5.2. Iragazgaizgarriak***

Produktu bituminosen aplikazio zaharrenetarikoa obren iragazgaizpena izan da lursailetatik etorritako uren aurrean, biltegietan eta uren mugimenduek eragindako erosioen aurrean.

### *15.5.2.1. Eraikuntzen iragazgaizpenak*

Eraikuntzen iragazgaizpenak kanpotik datorren urari edo hezetasunari ibilbi-dea galaraztea du helburu; zenbait kasutan eraikuntzako materialek, propietateak galdu ez ditzaten, hezetasunaren xurgapena saihestea izango du helburu.

Eraikuntza-sistema berriek, material arinez eta lodiera txikiko horma eta estalkiez eginak, uraren barneratzea errazten dute, antzinako eraikuntzetan gertatzen zen ez bezala (lodiera handikoak baitziren). Ura, eraikuntza batean, piezen arteko junturetatik edo pitzaduretatik sar daiteke; baita euriak jotzen dituen hormetatik edo, kapilaritatea dela-eta, lursailetik ere sar daiteke horma edo zimenduetara.

Hezetasunaren aurkako babesak eraikuntza-fasean egin beharko dira, itoginak edo hezetasunak sortu direnean zailagoa baita babesa egitea.

Lan hori egiteko hurrengo produktuak erabil daitezke:

- Iragazgaizpena masan

Estalkien, hormen, solairuen eta zimentazioen babesak iragazgaizpenak masan eginez edo aurrefabrikatuak aplikatuz egin daitezke. Masan egiten diren iragazgaizpenak materialen poroetan (hormigoia eta adreilua, batez ere) sartzen diren produktu bituminosoekin egiten dira, horrela beren poroak ixten dituzte uraren sarrera saihestuz. Bestalde, material aurrefabrikatu moduan oihal asfaltikoak erabil daitezke ere eraikuntzetako elementu horiek babesteko.

- Margo asfaltikoak

Normalean, hormigoizko edo altzairuzko eraikuntzak iragazgaizteko galipot edo betunezko xafla edo margoak erabili izan dira; lehen, bero egon behar ziren aplikagarriak izateko, gaur egun hotzean ere jar daitezke. Betun oxidatuak, destilaziotik lortzen direnak baino egokiagoak dira, gainazal oso inklinatueta edo bertikaletan erraztasun handiz isuri daitezkeelako.

Askotan eraikuntzen sotoetan produktu hauek kokatuko dira hormigoizko hormen kanpoko iragazgaizpena egiteko; baita itsas urarekin kontaktuan egongo diren egituretan ere.

- Mintz asfaltiko aurrefabrikatuak

Mintz asfaltiko aurrefabrikatuak normalean metro bateko zabalera duten bobinetan lor daitezke merkatuan, hala ere, batzuetan 2 m-ko zabalera izan dezakete, zabaltzen direnean babes-geruza jarraitua sortuz. Mintz mota hauek estalki lauetan edo inklinatueta aplikagarriak dira, eta beti pertsonen zirkulazio murritzua egongo den lekuetan.

Mintz asfaltiko mota ezberdinak daude, baina, oro har, guztiak oihal organiko edo inorganikoekin eginak daude, gogortasun handiagoko betunezko geruzekin

estaliak; biribilkatuak salduko direnez, malgutasun nahikoak izan behar dute ere. Oro har, geruza anitzez eginiko mintzak erabiltzen dira; hauek bizpahiru geruzez osatuta daude, betun bero baten aplikazioz elkartuak, sistema osoa kalandratu egingo da mintza lortzeko.

Mintz asfaltikoak trakzionatzen direnean, deformatzeko ahalmena dute; horrela, babesten duten estalkiaren gainean pitzadurak agertzen direnean, ez dira apurtuko.

#### *15.5.2.2. Kanalen estaldura eta iragazgaizpena*

Kanal eta erretenetan pitzadurak eta ur-galerak gertatzen dira hormigoian ur-puruen edo sulfatoen erasoak, junturen estankotasunaren galera, asentuak, etab. direla-eta.

Kanalen estaldurek hurrengo helburuak dituzte: obraren gainazala babestea eta erosioa jasango duen gainazal-erresistente bat sortzea.

Produktu bituminosen aplikazioaren bidez kanalen iraunkortasuna handitu izan da, konponketa-lanak erraztu izan dira; eta gainera, junturen desagertpenarekin eta makineria berriaren agertpenarekin, obran kokapena egiteko orduan, errendimendua, zehaztasuna eta homogeneotasuna ere handitu izan dira.

## **16. Lehergaiak**

### ***16.1. SARRERA***

Lehergai bat produktu erregai eta oxidatzaile batzuen arteko nahasketa bat da, produktu abiarazle baten laguntzaz, erreakzio oso azkarra eta bero handiak sortzen dituen (leherketa-erreakzioa).

Zenbait lehergai mota daude, bakoitza konposizio jakin batekin, eta beraz, aplikazio ezberdinekin: batzuk egokiak dira tuneletako harriak erauzteko; beste batzuk ur-azpiko obretarako, eta beste zenbait aire zabalean erabilgarriak izango dira soilik.

### ***16.2. LEHERGAIEN EZAUGARRIAK***

#### ***16.2.1. Egonkortasun kimikoa***

Egonkortasun kimikoa da lehergai batek, denbora jakin batean, kimikoki aldatu gabe mantentzeko duen ahalmena.

Egonkortasun-galera produktuak biltegitratze-denbora luzeak jasan dituelako gerta daiteke. Aireztapen-, hezetasun- eta tenperatura-baldintza txarrak diren lekuetan materialaren desegonkortzea eta deskonposizioa gerta daiteke.

#### ***16.2.2. Sentikortasuna***

Lehergai batek leherketa gertatzeko behar duen energia-graduari sentikortasun deritzen.

Hurrengo sentikortasun motak bereizten dira:

- Detonagailuari sentikortasuna: lehergai industrialak potentzia altuko lehergai batekin abiarazten dira. Lehergai hori detonagailu, kordoi detonagarri edo biderkatzaile batean jar daitezke.
- Uhin leherkariarekiko sentikortasuna: kartutxoek elkarren artean transmititzeko duten ahalmenari deritzen, lerroan jartzen direnean bata bestearen ondoan, edo distantzia batez aldentuak.

- Talkekiko eta marruskadurarekiko sentikortasuna: zenbait lehergaik talkak edo marruskadurak jasaten dituztenean abiatzen dira. Ezaugarri hau saiakuntzen bidez mugatzen da, horrela lehergai guztiek sentikortasun minimoak izango dituzte.

### ***16.2.3. Detonazio-abiadura***

Kartutxo-lehergaien ilara baten hasieran detonagailu bat kokatu eta eragiten bada, lehergaiaren eztanda abiadura jakin batekin gertatuko da, detonazio-abiadura deritzona.

Detonazio-abiadura, lehergai bat aukeratzeko orduan kontuan izan behar den faktorerik garrantzitsuenetariko bat da. Horrela, eztanda astiro egiten duen potentzia handiko lehergai batek bere energia progresiboki askatzen du harrizko bloke handien mugimendua lortuz; aldiz, detonazio-abiadura handiko lehergai batek, energia ia aldiunean askatzen duenez, harrizko blokeak guztiz zatituko ditu, harri txiki birrinduak emanez.

### ***16.2.4. Potentzia-lehergaia***

Lehergai batek harria apurtzeko eta proiektatzeko duen ahalmenari potentzia-lehergai deritzo. Lehergaiaren konposizioaren menpean dago batik bat.

### ***16.2.5. Kartutxoratze-dentsitatea***

Kartutxoen dentsitatea lehergaien ezaugarri garrantzitsua da ere, osagai solidoen granulometriaren eta fabrikazioan erabiltzen diren lehergai motaren menpean dago. Lehergaiaren dentsitatea zenbat eta handiagoa izan, kargaren kontzentrazioa kartutxoan handiagoa izango da ere, eta horrela, potentzia handiko eztandak lortuko dira.

### ***16.2.6. Urarekiko erresistentzia***

Estaldura berezirik gabe lehergai batek ur-azpian bere propietateak, denbora jakin batean, mantentzeko duen ahalmenari deritzo.

Ur-azpian leherketak egin behar direnean, erabiliko den lehergaia uraren presentzian ez da disolbatuko eta, gainera, abiatze- eta hedatze-propietateak mantentzeko gai izan beharko da.

### ***16.2.7. Keak***

Leherketaren ondorioz sortzen diren produktuak dira, gazez ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), ur-lurrunez eta suspentsioan dagoen hautsez osatuak.

Lehergai industrialak, gaur egun, gas toxikoen kantitate mugatuak sortzen dituzten osagaiez fabrikatzen dira.

Hala ere, aplikazio-baldintza errealetan gas toxikoen kantitate handiak sortuko dira,  $\text{NO}_x$  eta CO batez ere; horregatik leherketa baten ostean aireztapen egokia ziurtatu beharko da obraren aurrealdera langileak bidali baino lehen.

### **16.3. LEHERGAI INDUSTRIALAK**

Lehergai industrialak beren konposizioaren eta teknologiaren arabera, hurrengo taldeetan sailka daitezke:

#### **16.3.1. Dinamitak**

Produktu hauek bi taldetan banatzen dira:

##### *16.3.1.1. Goma*

Izaera likatsua dute eta nitroglizerina nitrozelulosarekin nahastean lortzen dira. Nahasketa hori nitroglizerina baino energetikoagoa da. Gainera, bere konposizioan amonio nitratoa darama elementu nagusi moduan.

Izaera honek uraren aurrean oso portaera ona ematen dio eta dentsitate handia ere. Ezaugarri hori dela-eta, bere potentzia eta abiadura handiekin batera, gogortasun ertaina eta handia duten harrien leherketarako, barrena-zuloen hondoan karga egiteko eta ur-azpiko leherketak egiteko erabilgarriak dira. Aire zabalean zein lur-azpiko leherketetan, tuneletan alegia, erabilgarriak dira.

Produktu komertzialak Goma 1-ED eta Goma 2ECO dira.

##### *16.3.1.2. Hauts-itxurako lehergaiak*

Nitroglizerina daramate eztanda-erreakzioari hasiera emateko, hala ere, zenbait kasutan trilita izan dezakete ere.

Izaeraz, izenak adierazten duen bezala, hauts itxurakoak dira, gainera produktua iragaztezin bat gehitzen ez bazaie, haien urarekiko erresistentzia txikia izango da.

Goma erako lehergaiek baino potentzia, dentsitate eta lehertze-abiadura txikiagoa dute; hori horrela, harri erdi-gogor edo bigunen leherketarako eta, oro har, ura ez dagoen barrena-zuloetarako erabilgarriak dira.

Produktu komertzialak Amonita 2l (iragaztezina) eta Ligamita 1 dira.

### **16.3.2. Anfoak**

Hauts-itxurako lehergaiak dira; amonio nitrato eta erregai likido batez osatuta daude. Abiatzeko inisiadore egokiak behar dituzte, hala nola kordoi detonagailua, goma erako dinamitzako almetxakoa edo biderkatzaileak.

Izatez, ez dute urarekiko erresistentziarik, baina hauts-itxura izateak haien karga mekanizatua errazten du

Produktu hau komertzialki era soltean eros daiteke, zakuetan edo kamioietan, hala ere kartutxoetan aurki daiteke ere.

Lehergai hau aire zabalean eginiko leherketetan erabiltzen da, harri gogorretan eta barrenak tenperatura altuan daudenean.

Komertzialki hiru produktu mota daude: Nagolitak, Alnafoak eta Nauritak.

### **16.3.3. Hidrogelak**

Produktu hauek ez dute beren baitan berez lehergai den osagairik; detonagailuarekin, kordoi detonagailuarekin edo edozein biderkatzailearekin erreakzioari hasiera eman beharko zaio eztanda egin dezaten.

Hidrogela solidoen dispersio bat da disoluzio loditu batean. Amonio nitrato oxidatzaileaz, urez eta sentikortasuna ematen dioten produktuez sortuta daude. Gainera, agente lodigarriak gehitu behar dira. Sentikortasuna handitzeko gatz organikoak eta aluminioa erabiltzen dira.

Haien ezaugarriak garrantzitsuenak potentzia eta urarekiko erresistentzia handia eta maneio- eta garraio-segurtasun handiak dira.

Aplikaziorik aipagarrienak barreno-zuloen hondoen karga eta aire zabalean egiten diren leherketak dira.

Produktu komertzial moduan Riogel 2, Riogur R eta Riogur F aurki daitezke.

### **16.3.4. Emultsio-lehergaiak**

Emultsioak hidrogelen eboluzioak dira. Produktu horiek bezala ez dira berez lehergaiak, baina era egokian abiatzen direnean, ezaugarri altuko lehergaien moduan erreakzionatzen dute.

Bi likido nahastezinen dispersioak dira. Bi fasez sortuta daude, lehenengoa eta proportzio handien dagoena, nitrato disoluzio bat da, eta bigarrena olioeko fase bat da, koipez eta argizariz sortua batez ere. Emultsioa sortzeko produktu emulsionatzaile bat erabiliko da gainazal-tentsioa txikitzeko; gainera gehigarriak gehituko dira sentikortasuna handitzeko.

Hidrogelen ezaugarri onenak dituzte eta gainera hobetu egiten dituzte haien urarekiko erresistentzia eta botere energetikoa. Lur azpiko eta aire zabalean eginiko leherketetan erabilgarriak dira.

Komertzialki Riomex E 20/24; Riomex V 20/24 eta Riomex V 150/154 eran aurki daitezke.

### ***16.3.5. Heavy anfo***

Lehergai-familia hau modernoena da, emultsioak eta anfoak proportzio ezberdinetan nahastuz fabrikatzen dira.

Konposatu hauen nahasketa zein proportziotan egiten den kontuan hartuz, amaierako lehergaiaren ezaugarriak emultsioen antzekoak izango dira edo anfoen antzekoak; horrela, urarekiko erresistentzia ona izan dezakete edo erresistentzia txarra, anfoen kantitate handiak dituztenean.

Harri bigun eta erdigogorren leherketetan eta aire zabalean eginiko leherketetan erabilgarriak dira.

Produktu komertzial bezala Emunex 3000 eta Emunex 6000/8000 aurki daitezke.

### ***16.3.6. Meatze-bolbora***

Produktu hau berez ez da lehergaia, lehertu beharrean deflagratu egiten baita. Sufrea, potasio nitratoa eta ikatz begetala nahastuz fabrikatzen den ale itxurako produktua da.

Produktu honen ezaugarriarik nabarmenena errekontza-gas kantitate handiak sortzea da. Ez ditu harriak apurtzen, erreakzioan sorturiko gasek bultzatu egiten dituzte.

Meatze-bolborak marruskadura eta suarekiko sentikortasun nabarmena dauka, horrela segurtasun-neurri egokiak behar dira haren maneian.

Ez dute produktu abiarazlerik behar erreakzioa hasteko, metxa geldo batek sortzen duen sugar edo txinparta nahikoa da; hala ere, kordoi detonagailua erabiltzen da maiz.

Meatze-bolboraren errekontzaren ondorioz sortutako keak toxikoak dira, hori horrela, aireztapen egokia ziurtatu beharko da obran.

Granitoak, marmolak, arbelak eta abarreko ornamentu-harriak induskatzeko erabilgarriak dira, leherketaren ondorioz sortutako gasek harriak bultzatu egiten dituztelako birrinketa sortu gabe.



### **16.3.7. Segurtasun-lehergaiak**

Atmosfera lehergaiak diren lekuetan aplikagarriak dira, ikatz-meatzetan adibidez. Kasu hauetan lehergai arrunten erabilera ezinezkoa izanik, segurtasunekoak erabili beharko dira.

Produktu hauek, euren osagaien artean, detonazioaren efektuak txikitzen dituen substantzia bat daramate, aplikazio hauetarako aproposak bihurtuz.

Segurtasun lehergaien oinarritzko arau bat hauxe da: «Lehergai batek zenbat eta potentzia handiagoa izan, segurtasun gutxiago dauka, eta alderantziz».

## **16.4. LEHERGAIEN AUKERAKETA**

Lehergai bat aukeratzeko orduan kontuan izan behar diren parametroak hauek dira:

### **A. Egin behar den lan mota eta lekua**

Aire zabalean, diametro handiko indusketak egin behar diren leherketetan era soltean dauden lehergaien kantitate handiak erabiliko dira; horretarako Nagolita, Emnux edo Riomer erako produktuak erabil daitezke kamioien bidez kargatuz barrenetan.

Inguru lehergaietan, lehen aipatu den bezala, produktu egokiak erabili beharko dira segurtasuna bermatzeko.

### **B. Barrena-zuloen diametroa**

Lehergai gehienak edozein barrena-diametrorako baliagarriak dira, kartutxoratze egokia aukeratuz gero.

Zenbait lehergaitan mugak daude barrena-zuloen dimentsioei dagokienez, detonagailu bakar batekin beharbada abiatzeko nahikoa ez delako, eta kasu horietan biderkatzaileen beharra dagoelako.

### **C. Leherrarazi behar den harri mota**

Lehertu behar den harri motak lehergaia mugatzen du. Oro har, harri gogor eta pitzadura gutxi dituztenek potentzia handiko lehergai baten erabilera eskatzen dute, harri bigun eta plastikoetan, aldiz, gas asko sortzen dituzten lehergaiak erabiliko dira, horrela harrien bultzada lortuko da. Lehergai horiek, gas-kantitate handiak sortzen dituztenek, detonazio-abiadura txikia dute.

### **D. Uraren presentzia barrena-zuloetan**

Goma erako dinamitek urarekiko oso erresistentzia handia dute; zenbait konposiziotan 100 m-ko ur-zutabea jasan dezaketenez oso egokiak dira ur-azpiko leherketak egiteko.

Aldiz, hauts-erako dinamitek urarekiko erresistentzia txikia dute, Nagolitak bezala; hala ere, tratamendu iragaztezin edo plastikozko estaldura batekin ura duten barrenetan erabilgarriak dira.

### **E. Lehergaiaren segurtasuna**

Lehergai industrialen artean zenbait produktuk ez dute batere sentikortasunik talken aurrean edo marruskaduraren aurrean, Riogel eta Riomex produktuek adibidez.

Beste produktu batzuek, aldiz, oso sentikortasun txikia dute, Ligamitak adibidez.

Azkenik, zenbait produktu, batez ere nitroglizerina/nitroglikol edukiak dituzten goma-dinamitak, maneiu egokia egiten bada inolako arazorik ez badute ere, talka eta marruskadura zakarren aurrean leher daitezke.

### **F. Leherketa-gasen toxikotasuna**

Edozein motatako lehergai baten eztandak gas toxikoen proportzio bat sortuko du beti; proportzio handiago edo txikiagoetan agertzea, lehergaiaren konposizioaren eta bere baitan disolbaturik daraman oxigeno-kantitatearen arabera da.

Lur azpiko leherketak egiteko produktu egokiak daude eta, aldiz, beste batzuk Nagolita bezala, guztiz desagokiak dira. Aplikazio honetarako produktu aproposak Goma 2 ECO eta Riogel 2 dira.

## **16.5. LEHERKETA-OSAGAIK**

Arestian aipatu den bezala, produktu hauen leherketa gertatzeko abiarazi beharko dira. Lehergai bat abiatzeak bere aktibazioa egitea esan nahi du.

Lehergaiak abiatzeko erabil daitezkeen elementuak hauek dira: detonagailuak, kordoi detonagailuak eta biderkatzaileak.

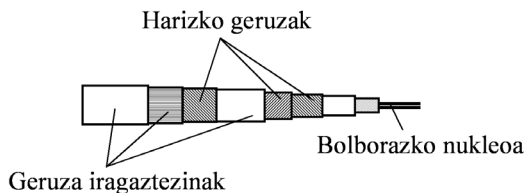
### **16.5.1. Detonagailuak**

#### **16.5.1.1. Metxazko detonagailuak**

Detonagailu arrunta edo metxazkoa, aluminiozko zorro batekin sortuta dago; horren barruan lehergai-kantitate jakin bat kokatzen da. Karga abiatzeko prozesua metxa geldo edo segurtasunezko bat erabiliz egiten da, detonagailuaren mutur librean sartuz. Mutur libre horrek detonagailuak bere baitan daraman lehergaiaren zati bat bistan uzten du; produktu horrek, talka eta marruskadurarekiko sentikortasun handia izanik, metxa izan ezik, ezingo du beste objekturik ukitu.

Metxa geldoa detonagailura sua, abiadura uniformeaz, transmititzeko erabiltzen den era da. Metxa geldoa delakoa, bolborazko nukleo batez sortuta dago, inguruan harizko zenbait geruza iragaztezin daramatza hezetasun, marruskadura

eta esfortzu mekanikoetatik babesteko, ikus 163. irudia. Metro lineal bakoitzeko 2 minutu ematen ditu errekontza egiteko.

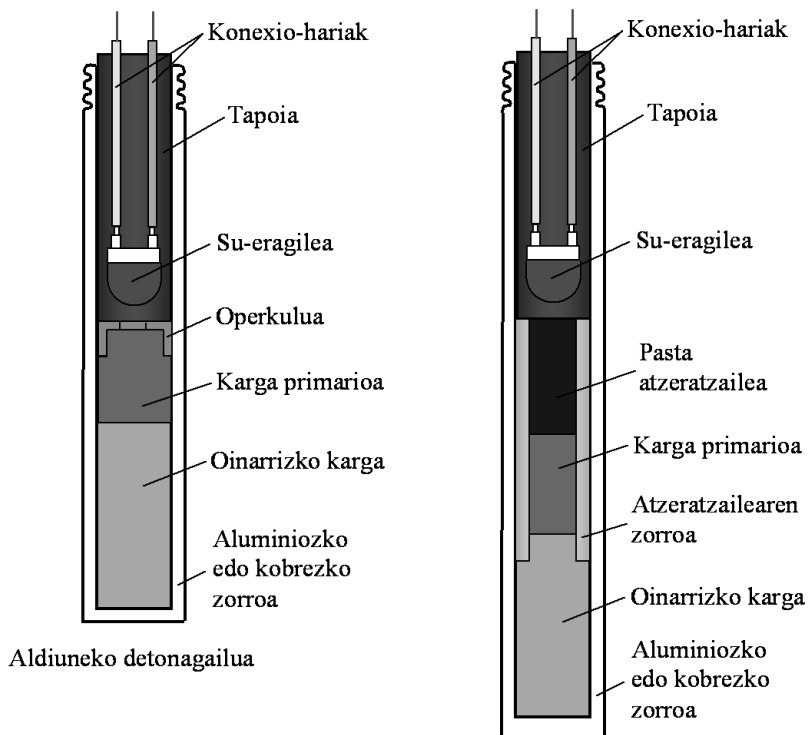


**163. irudia. Metxazko detonagailuak.**

#### 16.5.1.2. Detonagailu elektrikoak

Detonagailu hauek energia elektrikoaren bidez aktibatzen dira. Gaur egun gehien erabiltzen diren produktuak izanik, abantaila handiak ematen dituzte; horrela, emaitza hobeak lortzen dira eztandetan, barrena-zulo gehiago eragin daitezke langileentzako arriskuak saihestuz eta eztandan akatsak gertatzeko arriskua txikituz.

Detonagailu elektriko batek hiru zati ditu: zati elektrikoak, zati atzeratzailea eta zati lehergarria, kobrezko edo aluminiozko zorro baten barruan kokatzen direnak, ikus 164. irudia.



**164. irudia. Detonagailu elektrikoak.**

Zati elektrikoa zorroaren goiko partean kokatzen da eta pospolo (su-eragile) batez eta konexio-hariez osatuta dago.

Pospoloa erresistentzia txiki bat da, pasta lehergai batekin estalita dagoena. Erresistentzia txiki hori konexio-harietara lotuta dago eta berauen bidez korronte elektrikoa jasotzen du. Intentsitate nahikoa zeharkatzen duenean, berotu egiten da, eta pasta lehergaiak sua hartzen du.

Zati atzeratzailea denborazko detonagailuetan soilik agertzen da.

Zati lehergaia zorroaren beheko partean kokatzen da; bi kargez osatuta dago: lehenengoak, txikia denak, primario izena dauka eta, bigarrenari, handiagoa denari, oinarritzko karga edo sekundario deritzo.

### 16.5.1.3. Hastapen-sistema ez-elektrikoak

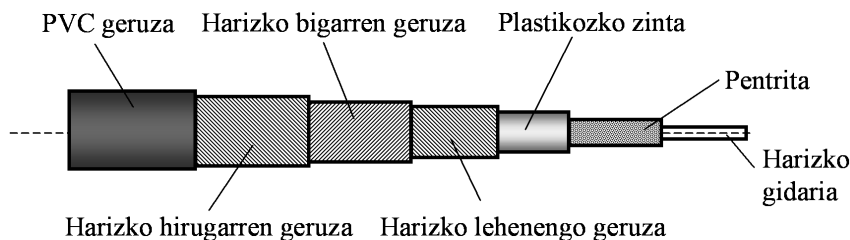
Abiatze-arazoak dauden lekuetan, linea elektriko baten ondoan egiten diren leherketetan edo trenbide elektrifikatu baten alboan egiten diren lanetan, esate baterako, hurrengo produktuak erabilgarriak dira:

- Mikroatzerapenezko erreleak: kordoi detonagailuan zehar tartekatzen dira eta 15 edo 25 milisegundoz leherketa gelditzen dute.
- Rionel detonagailuak: plastikozko hodi batean substantzia erreaktibo bat kokatzen da, honek 2.000 m/s-ko abiadura batekin uhin baten hedapena mantentzen du. Talka-uhin horrek detonagailu bat abiatzeko energia nahikoa izango du.

### 16.5.2. Kordoi detonagailuak

Kordoi detonagailu bat soka flexible eta iragaztezin bat da, bere barruan lehergai bat darama, normalean pentrita.

Pentritazko nukleoa, kordoiaren arabera kantitate ezberdinetan egoten dena, hariz eta zuntz malguen geruza ezberdinez inguratuta dago, kanpotik polibinil klorurozko estaldura bat izanik, ikus 165. irudia. Estaldura horren bidez trakzioarekiko, marruskadurarekiko eta hezetasunarekiko erresistentzia handiak lortzen dira.



165. irudia. Kordoi detonagailuak.

Produktu honen potentzia, kordoi metro lineal bakoitzeko, pentrita-kantitatea-rekiko zuzenki proportzionala da. Kordoiaren potentziak bere aplikazioa mugatzen du.

Kordoi detonagailu hauek bi motatako aplikazioak dituzte:

- a. Leherketa batean lehergaien abiarazle moduan jokatzeko, horretarako 3 g/m linealetik 40 g/m-ra bitarteko kordoiak erabiltzen dira.
- b. Leherketan lehergai moduan jokatzeko.

### ***16.5.3. Biderkatzaileak***

Eztandari hasiera emateko erabiltzen diren osagaiak dira sentikortasun txiki-lehergaiak erabiltzen direnean, hala nola nagolita, hidrogelak, emultsioak edo Heavy-Anfo moduko produktuak.

Hexolitazko zilindro batekin eginak, potentzia eta detonazio-abiadura altuko lehergaiak dira eta plastiko batekin estalita doaz.

## 17. Hormigoizko aurrefabrikatuak

### 17.1. SARRERA

Zementuan oinarritutako aurrefabrikatuak hormigoi armatuzko piezak dira. Obra kokatzen den lekuan egin beharrean, fabrika batean egiten dira kontrol eta kalitate-maila handiekin. Era horretan, akabera oneko piezak lortzen dira prezio merkean, fabrikaturiko serieak handiak direlako eta produkzio-teknikak espezializatuak erabiltzen direlako.

Printzipioz, edozein eraikuntza motatan erabil daitezke aurrefabrikatuak, baina hala ere, aplikazio-esparru handiena argi, altuera edo karga handiak jasaten dituzten estrukturak dira, esate baterako industria-nabeetan, eraikuntza komertzial eta bulegoetan, aparkalekuetan, kiroldegietan eta zubietan, ikus 166. irudia.



166. irudia. Hormigoi aurrefabrikaturiko habeak.

Aurrefabrikazioak hormigoizko egituren monolitismoaren ideia eraldatzea lortu du, obren modifikazioak, anpliazioak edo leku-aldaketak baimentzen dituelako.

### 17.2. PRODUKTU AURREFABRIKATUEN ABANTAILAK

Hormigoiz eginiko elementu aurrefabrikatuek beren osagaien, hau da, hormigoi eta altzairuaren propietateetatik eratorriak diren abantailak dituzte.

### ***17.2.1. Ezaugarri teknikoei dagokienez***

#### *17.2.1.1. Erresistentzia*

Hormigoiak produktu honi konpresioarekiko erresistentzia altuak ematen dizkio, 600 eta 1.000 kp/cm<sup>2</sup> (60 eta 100 N/mm<sup>2</sup>) bitartekoak. Altzairuak, pieza armatuetan zein aurreatezatuetan dagoenak, trakzio-erresistentzia onak ematen dizkio sistemari, luzera handiko eta karga handiak jasan ditzaketen piezak sortuz.

Aurreatezatua erabiltzeak pitzadurak saihesten ditu zurruntasunaren galera txikituz, horrela luzera/ertz erlazio handiak lor daitezke deformazio (gezi) arazoak sortu gabe.

Bestalde, hormigoi armatu edo aurreatezatuko piezek gainkargak jasateko ahalmen handia dute apurketara heldu gabe.

#### *17.2.1.2. Suarekiko erresistentzia*

Produktu hauek, beste babesik erabili gabe, suarekiko erresistentzia altua dute.

Hormigoia material erregaitza izanik ez da erretzen eta ez du, beraz, kerik edo gas hilgarriak sortzen; aldi berean, suaren aurkako hesi moduan jotzen du, galerak txikituz eta itzaltze-sistemen eraginkortasuna handituz.

Sua bukatzen denean, produktu hauekin eginiko eraikuntza egonkor mantentzen dela ikus daiteke, beste material batzuekin gertatu ez bezala: altzairuarekin edo egurrarekin eginiko eraikuntzak minutu gutxitan eror daitezke babes-produktu garestiak erabili ezean.

#### *17.2.1.3. Isolamendu termiko eta akustikoak*

Isolamendu termikoa zein akustikoa lodiera eta masen funtzioan dago; hormigoizko panelek, forjatuek zein elementu bertikalek koefiziente egokiak dituzte, eta gainera hobetu daitezke beste material isolatzaile batzuk jarritz, poliestirenoa, agregakin arinak, etab. adibidez.

#### *17.2.1.4. Iraunkortasuna*

Aurretik azaldu diren propietate guztiak epe batean mantenduko direla ziurtatu beharra dago. Horrela, hormigoiak emango die pieza hauei iraunkortasuna. Material honek armadurei eta elementu metalikoei babes egokia ematen die bere basikotasun handia dela-eta, gainera bere fabrikazioan giro erasotzaile bakoitzeko zementu egokiena baliatuz dosifikazio eta trinkotze-metodo egokiak erabiliko dira.

### 17.2.1.5. Formak eta akaberak

Material honek daukan moldeatzeko ahalmenak forma kurboak, ertz askoko itxurak, leunak eta edozein forma eta neurritako erliebeak egitea baimentzen du. Gainera, mota anitzeko gainazal-akaberak eman ahal zaizkio: margoa, agregakinez eginiko estaldurak, etab.

### 17.2.2. Arrazoi ekonomikoei dagokienez

Material honek hurrengo abantailak ditu:

- a. Hasierako kostua txikia da, jasandako esfortzua-prezioa erlazioa nekez hobetu daiteke.
- b. Eraikuntza-denbora, metodo tradizionalak dutenaren herena da, piezak obrara bukatuak eta kargan sartzeko prest heltzen direlako. Klima txarra denean ere lan egin daiteke, *in situ* hormigoiak jasango lituzkeen atzerapenak kenduz. Gainera, zoladurak berehala lan-plataforma bihurtzen dira eraikuntza gelditu gabe aurrera jarraituz.
- c. Exekuzio-epeak txikiagoak direnez, obrak arinago sar daitezke funtzionamenduan eta, beraz, azkarrago hasiko dira etekin ekonomikoak ematen.
- d. Eraikuntzek hondatze-arrisku txikiagoa dute suteak gertatzen direnean, beste materialekin eginiko obrekin konparatuta.
- e. Mantenu-gastuak txikiak dira material hauek kalterik ia jasaten ez dutelako (pitzadurak, deformazioak, korrosioa, etab.).
- f. Material honekin eginiko panelak erabiltzen direnean, eraikuntzetan energia-kostuak txikitzen dira energia-galerak txikitzen direlako, isolamendu termiko hobea lortzen baita.
- g. Diseinu originalak egin daitezke pieza bereziak erosi gabe, bakarrik katalogoetako produktuak erabiliz.
- h. Enpresa asko daude produktu hauek saltzen dituztenak, horrela ugaritasuna ziurtatzen da prezio onean.

## 17.3. EGITURA-SISTEMA AURREFABRIKATUAK

Egitura aurrefabrikatuak tailerretan eginiko piezak muntatuz eraikitzen dira. Aukeratutako soluzioaren arabera egiturak portaera ezberdinak izango ditu, batez ere karga horizontalei dagokienez.

Elementu aurrefabrikatuekin egitura monolitiko deformaezinak lor daitezke, *in situ* hormigoiztatzen denean lortzen direnen berdinak.

Nahiz eta gaur egungo teknikak edozein motatako esfortzuak jasateko junturak egiteko ahalmena duen, juntura mota guztiek ez dute kostu berdina. Proiektua





Produkzio-etapak hauek dira:

a. Hormigoiaaren prestakuntza

Produktu mota hauetan erabilitako hormigoia partikula finekin sortuta dago proportzio handi batean, partikula lodienek ez dute 25 mm baino neurri handiagorik. Satelite motako nahas-makinak erabiltzen dira hormigoiaaren osagaiak homogeneoki nahasteko.

b. Hormigoiaaren garraioa

Hormigoia nahas-makinatik ateratzen denean kubeta batean jaso eta erabilera lekura garraiatzen da.

c. Hormigoiaaren isurketa

Kubeta moldeen gainean husten da, operazioa maniobra bakar batean egiteko prestatuta dago, denbora eta material galerarik gabe.

d. Pieza moldeatuen fabrikazioa

Moldeak egurrezko hondo batzuen gainean kokatzen dira, zeinak desmuntagarriak diren desmoldeaketa erraz egiteko. Prozesu hori egin ostean, piezak egurrezko hondoan gelditzen dira, era horretan biltegitratze-parkera garraiatzen dira.

e. Fabrikaturiko piezen biltegitratzea

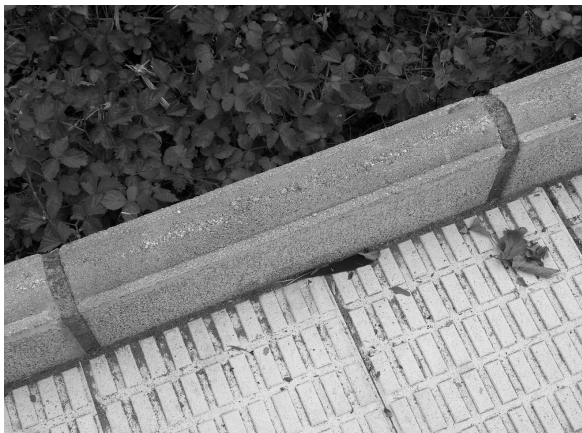
Lehorketa-prozesuaren ostean (24-48 ordu artean irauten duena), piezak bildu eta pilatu egiten dira egurrezko hondoak fabrikazio-prozesura itzultzeko.

f. Karga eta banaketa

Gutxi gorabehera biltegian 15 egun egon ostean, pieza bukatuen merkatu-ratzea egiten da.

Prozesu-sistema honekin eginiko piezak hauek dira:

- Saneamendu hodiak: presio gabeko kargak garraiatzeko soilik erabiliko dira. Normalean metro bateko luzerak dituzte eta armadurak dituztenean (ez beti) oso arinak eta kaiola-itxurakoak dira.
- Espaloi-zintarriak, ikus *168. irudia*: serie handietan egiten diren piezak dira. Molde metalikoak eta mahai bibratzaileak erabiltzen dira fabrikazioan. Prozesu horretan ezaugarriak garrantzitsuena piezen trinkotasuna bermatzea da, urradura eta talken aurrean erresistentzia handia izan dezaten.
- Beste produktu batzuk: arketak, kanalak, tapak, posteak, lauzak, etab.



**168. irudia. Espaloi-zintarriak.**

#### ***17.4.2. Aurrefabrikazio industrial***

Aurrefabrikazio industrial dimentsio handiko piezen fabrikazioa da, enpresa ertain eta handiek dituzten baliabideak beharrezkoak izanik.

Oro har, produktu hauek ezin dira mahai bibratzaileetan ekoitzi, horregatik hormigoiketa-gainazalak erabiltzen dira.

Produktu garrantzitsuenak hauek dira:

##### **A. Zimentazioetan erabiltzeko piloteak**

Prisma-itxurako piezak dira, haien sekzioa karratua edo oktagonala izanik. Sekzio karratua erabiliena da, fabrikatzeko errazagoa eta kostu txikikoa delako. Sekzioen neurriak  $20 \times 20$ tik  $40 \times 40$ ra doaz eta luzerak 6 m-tik 20 m bitartean daude; luzeratako armaturak eta estriboak dituzte.

Sekzio oktagonala sekzio handiko piloteetan da erabilgarria. Horrek, sekzio zirkularrarekin duen antzekotasun handia dela-eta, luzeratako barrak pilotearen ardatzaren eta haien arteko distantzia berdinerak kokatzea baimentzen baitu.

##### **B. Zutoin-oholak**

Hormigoi armatuzko zutoin-oholak karga-horma aurrefabrikatuak egiteko erabilgarriak dira. Zutoin-ohol bakoitzak hormaren elementu bat sortzen du.

Produktu hauek lur bustietan hormak eraikitzeko erabiltzen dira, ez baita beharrezkoa ura ateratzea.

Fabrikazioa hormigoiketa-gainazaletan egiten da. Haien altuera, luzera, lodiera eta armadura kalkulatzeko zoruen mekanika aztertu eta elementuak izango duen flexioarekiko erresistentziaren kalkulua egin beharko da.

### **C. Zoru forjatuak**

Zoru aurrefabrikatuak eraikinetan erabiltzen dira. Produktu hauekin ez dira enkofratuak erabili behar, horrela eraikuntza-denbora txikitu egiten da eta eskulan espezializatuan aurrezten da. Gainera sistema tradizionalan hormigoiketa egin ostean, bizpahiru aste behar dira enkofratua kentzeko.

#### ***17.4.3. Hormigoi aurreatezatua***

Produktu hauetan armadurak tenkatu egiten dira hormigoia isuri baino lehen. Hormigoiaren trakzioarekiko erresistentzia oso txikia denez (konpresioarekiko duenaren hamarrena gutxi gorabehera) tarte trakzionatuetan altzairuzko armadurak kokatzen dira, hormigoi armatu izenez ezagutzen den produktua sortuz.

Hala ere, hormigoi armatuak zenbait arazo ditu bere aplikazioa mugatzen dutenak:

- a. Armadurak inguratzen dituen hormigoia trakzionatuta dago haiekin batera, baina ezin du pitzatu gabe altzairuaren luzapenik jasan, horrela, arrakalak agertuko dira; arrakalon neurria armaduren diametroa eta tentsioa kontrolatuz muga daitezke, baina ezingo dira inolaz ere saihestu, materialak jasango dituen tentsioak asko murrizten ez badira behintzat. Pitzadura horiek armadurak airean utziko dituzte korrosio-prozesuari hasiera emanez, eta gero, pieza apurketara eramanez.
- b. Hormigoi armatua astuna da, zati trakzionatuek altzairua estaltzeko baino ez dute balio, eta haien pisuak eragozpen garrantzitsua sortzen du; askotan habeak luzera handikoak direnean, altzairuzko egiturak erabiltzea irtenbide merkeagoa da.

Armadurak aurreatezatzen direnean, indarra kentzean, hasierako neurriak lortzera jotzen dute, baina hormigoiarekin bat egiten dutenez, elementu honi konpresio bat ematen diote. Gero, pieza obran kokatzen denean eta trakzioak jasaten dituenean, deskonprimitu egingo da, pitzatu gabe.

Hormigoi armatuan erabiltzen diren armadurak (leunak edo itsaskortasun handikoak) altzairu arruntekoak izan daitezke, baina altzairu aurreatezatuak kalitate oneko produktuei eskatzen zaizkien baldintzak bete beharko ditu: haren ezau-garri mekanikoak onak izan behar dira, harikortasun eta zailtasun nahikoa izan behar du eta korrosioarekiko erresistentzia handia izan behar du ere.

Bi era daude produktu aurreatezatuak egiteko:

#### **a. Tentsioa aurretik aplikatuz**

Lehendabizi altzairua tenkatu eta estriboetara finkatzen da. Armadurak korrugatuak izango dira eta moldearen luzera guztian jarriko dira. Hormigoia isuri eta

gogortasun-maila nahikoa lortu duenean, armadurak askatu egiten dira, horrela produktuak aurreatezatu bat lortuko du itsaskortasuna dela-eta.

Prozesu hau habexka aurrefabrikatuak egiteko erabiltzen da seriean eta molde metaliko berreskuragarriak erabiliz. Eraikinetan erabilitako forjatuak proportzio handi batean era honetan eginak daude, baita trenbide-trabesak eta elektrizitatea garraiatzeko posteak ere.

#### **b. Tentsioa ondoren aplikatuz**

Armadurak zorro metaliko batzuetan sartzen dira hormigoiketa eginez. Hormigoia gogortu ostean, armadurak trakzionatu egiten dira piezari finkatuz. Egoera horretan zorroa morteroz edo zementu-pastaz betetzen da. Horrela, altzairua korrosiotik babestua gelditzen da eta aldi berean hormigoiarekin bat egiten du.

## **18. Margoak**

### ***18.1. SARRERA***

Margoa era fluidoan aurkezten den produktua da, xafla solido eta opaku bat sortzeko gai izanik. Gogor itsasten da aplikaturiko gainazalaren gainean eta bere konposizioan duen pigmentuaren kolorea ematen dio.

Nahasketa likido hauek, normalean koloredunak direnak, hedatuz, lainoztatuz edo murgilpenaren bidez aplikatzen dira geruza opakuak sortuz eta gainazala babestuz eta apainduz.

Margoen osagai garrantzitsuak bi dira: pigmentu solido bat eta aglutinatzaile likido bat, dispersio bat sortzen dutenak.

Margoak era honetan sailkatzen dira:

- a. Pigmentuen kolorearen eta izaeraren arabera: zink zuria, urdin kobaltoa, etab.
- b. Aglutinatzailearen arabera: ur-pinturak, kolak, olioak.
- c. Funtzioaren arabera: apaingarriak, antioxidatzaileak, suaren kontrakoak, garbigarriak, etab.

### ***18.2. MARGOEN OSAGAI OROKORRAK***

#### ***18.2.1. Pigmentuak***

Produktu solidoak dira, hauts eran daudenak eta aglomeratzailean disolbaezinak. Haien eginbeharra kolorea eta loditasuna eman eta margoaren lehorketa erraztea da.

Pigmentuen jatorriaren arabera, naturalak eta artifizialak sailka daitezke, eta izaeraren arabera, mineralak eta organikoak.

Margoan betetzen duten funtzioaren arabera, koloredunak edo opakuak sailkatzen dira eta gardenak edo inerteak.

#### ***18.2.2. Aglutinatzaileak***

Produktu hauek pigmentuak suspentsioan daramatzaten likidoak dira; lehortzen direnean partikula koloredunak elkarrekin mantentzen dituzte gainazalarekin bat eginez.

Margoen osagai hau aglutinatzaileak berak eta berau disolbatzen eta diluitzen duen likido batek sortuta dago.

Aglutinatzailerak bolatil eta ez-bolatil moduan sailka daitezke:

- Ur-aglutinatzaile bolatila: mineralak, karea dutenak, kola begetal edo animalia-kolak, almidoi-emultsioak, kaseina, argizaria etab.; edo erretxina-xaboiak izan daitezke.

Produktu hauek lurrunketa-erraztasuna duten likidoak dira, aglutinatzaile-tara gehitzen direnak fluidoagoak izan daitezen, margoen hedapena gainazalean zehar errazagoa izateko eta lehorketa-abiadura handitzeko. Pigmentuaren huts interstizialetan zehar banatzen dira; zati bolatila lurruntzen direnean (lehorketa gertatzean) aglutinatzaileak pigmentuaren partikulak zementatzen ditu eta gainazalaren gainean geruza zimur, porotsu eta distiragabekoa sortzen da.

- Aglutinatzaile ez-bolatilak: olio begetalez osaturik daude, esate baterako: linazi, lo-belar, intxaur, egur, errizino, berniz eta lakak. Olio begetal hauek gantz-gorputz begetalak dira eta hedatuak izateko ahalmena dute. Oxigenoa xurgatu eta polimerizatzen direnean, solidotu eta geruza elastiko eta garden bat sortzen dute. Prozesu hau eguzki-argiaren eragin kimikoaren bidez errazten da.

### **18.2.3. Lehortzaileak**

Margoei gehitzen zaizkien produktuak dira, olio begetalen oxidazio eta polimerizazioa azkartzen dute eta lehorketa-denbora murrizten da.

Lehortzaileak oxidoz, berun, manganeso eta kobalto erretxinatoz eta oleatoz, litargirioz, berun azetatoz, minioz, albayaldez, bioxidoz, manganeso boratoz eta oxalatoz eta terebenoz osatuta daude. Era solidoan hauts eta pasta moduan agertzen dira, baina baita likido eran ere.

Produktu hauek proportzio txikietan erabiltzen dira, % 1-5 tartean, eta esan bezala, haien funtzioa olioaren oxidazioaren erreakzioa azkartzea eta gantz-azidoaren konbinazioa lehortzailearen metalarekin erraztea da.

Lehortzaile-kantitate optimo bat dago, muga hori gainditzen bada, kontrako efektuak gerta daitezke, hau da, lehorketa erraztu beharrean oztopatu egiten da eta batzuetan eten daiteke ere.

Margoen lehorketa ere, geruzen lodieraren, aireztapenaren, argi-intentsitatearen eta abarren menpe dago.

### **18.3. BERNIZAK**

Fluidotasun aldakorreko likidoak dira. Gorputzen gainean geruza meheak sortuz solidotzen dira gainazal lau, jarraitu, koloregabe eta distiratsuak sortuz. Koloreak nabarmentzen dituzte eta agente atmosferikoek sortzen dituzten kalteen aurrean babesa ematen dute. Gardenak zein opakuak izan daitezke.

Bernizak olio lehortzaileetan disolbaturiko erretxina eta goma edo argizariekin edo disolbatzaile bolatil eta materia koloratzaileekin eginak daude.

Disolbatzailearen arabera hurrengo eran sailkatzen dira: olio-bernizak, lakak edo berniz bolatilik, berniz-lakak eta berniz zelulosikoak. Barruan daramaten erretxinaren arabera ere sailka daitezke.

### **18.4. ESMALTEAK**

Olio-berniz edo berniz zelulosikoak dira, kolorez tintatuak (normalean mineralak dira) eta homogeneouski nahastuta egon behar dira. Lehortze-abiadura handiak dituzten margoekin, gainazal distiratsuak, elastikoak eta konpaktuak lortzen dira. Kanpoaldean zein eraikuntzen barnealdean erabilgarriak dira.

Barnealdean erabiltzeko prestatuta dauden esmalteetan aglomeratzaileak, hotzean prestatutako olio polimerizatuen nahasketak edo beroketa kontrolatua jasan duten erretxina edo berniz-disoluzioak izan daitezke.

Kalitate handiko esmalteetan erabiltzen diren aglomeratzaileak olioekin eraldaturiko erretxina glizeroftalikoak dira, kanpoan zein barnealdean aplikagarriak izanik.

Esmalteak igeltsuzko, eskaiolazko, zementuzko, egurrezko eta altzairuzko gainazaletan aplikagarriak dira, bai kanpoaldean zein barnealdean daudenean.

### **18.5. MARGO-TEKNIKA**

Lehendabizi, margoa aplikatu behar den gainazalek garbi egon behar dute, koi-perik, oxidorik eta hautsik gabe, horretarako eskuilak, hare-sopleteak eta, metalak direnean, azidoak eta alkaliak erabiliko dira.

Lehenengo margo geruza inprimazioa izenez ezagutzen da; horrek oso itsas-korra izan behar du, gainazalaren babesa ziurtatzeaz gain, gainerako geruzen euskarri moduan joka dezan.

Horren ostean, margoa bera aplikatzen da pintzelak, brotxak, pistolak, aire konprimituarekin ihintzatuz, goma-arrabolak edo murgilketa-sistema erabiliz.



Margoak, oro har, airean lehortzen dira; klima, aireztapena eta haien klasearen arabera prozesua azkarragoa edo geldoagoa izan daiteke. Zelulosazko margoek 30-60 minutu ematen dituzte lehortzen; kola eta ur-margoek 8 eta 10 ordu ematen dituzten, eta olio-bernizek eta olio-margoek 12-24 orduz egon behar dute lehortzen.

Margoa lehortu ostean, zenbait kasutan, gainazalak leundu egiten dira ezberdintasunak kentzeko eta itxura zimurra emateko; horrela, hurrengo margo-geruzak hobeto itsasten dira. Operazio hau lixekin, apar-harriekin edo olioarekin egin daiteke.

## **18.6. PROPIETATE FISIKOAK**

- Dentsitate errealak

Piknometro baten bidez kalkulatzen da. Margo baten dentsitatea bere baitan duen materia ez-bolatilaren bolumenarekin eta produktuaren biskositatearekin zuzenki erlazionatuta dago.

- Biskositatea

Biskositateak margoa aplikatzeko era ezberdinekin zuzenki erlazionatuta dago.

- Fintasuna

Kontzeptu hau margoak dituen pigmentuen granulometriarekin lotuta dago.

Fintasunak, lehorketaren ostean, margoak izango duen loditasuna eta itxurarekin erlazio zuzena dauka.

Amaierako akaberak egiteko erabiltzen diren esmalteek 30 mikrako loditasunak dituzte eta inprimazioak edo barneko geruzen lodierak 70 eta 80 mikra tartean egon daitezke.

- Lehorketa-denbora

Aplikazioaren kontrolean kontuan izan behar den aspekturik garrantzitsuenetarikoa da, lehortze-denborak margoaren erabileran, geruza batetik bestera itxaron behar den denboran eragina baitu.

Azkenik, lehortze-erak eta denborak eragina dute aplikatzeko lekuan eta aplikazio-eran ere.

- Sukoitasuna

Margo bat sukoitzat jotzen da 300 °C azpitik lurrin sukoiak ekoizten dituean, eta segurtasunezkoitzat, 400 °C-ra heltzen denean su hartu gabe.

### ***18.7. KORROSIO-KONTRAKO BABESAK***

Pieza metalikoetan, burdinazkoetan batez ere, korrosioa ager ez dadin margoen aplikazioa erabil daitekeen irtenbide bakar bat da soilik, beste zenbait era baitaude korrosioa saihesteko.

Margo ideal batek altzairuan hesi moduan jokatu beharko luke geruza iragaztezin bat sortuz, urari eta oxigenoari bidea itxiz. Baina margoek ez dute elementu horien bidea guztiz ixten eta, hori dela-eta, denbora labur edo luzeago batean korrosio-prozesua hasiko da piezan. Arazo hori konpondu nahian, margo askotan pigmentu inhibitzaileak gehitzen dira, denbora luzean, degradazio-prozesua zailduz eta atzeratuz. Hala ere, kontuan izan beharra dago margoekin egiten den korrosio-kontrako babesak ez dela betiko irtenbidea, era jarraituan ikuskatze- eta mantenu-lanak egin beharko dira margoa berrizteko.



## Bibliografía

- [1] Arcos, J. (1995): *Los materiales básicos de la construcción*, Progensa, Sevilla.
- [2] Arredondo y Verdú, F. (1990): *Generalidades sobre materiales de la construcción*, E.T.S. Ingenieros de Caminos-Madrid, Madril.
- [3] Askeland, D.R. (1985): *La ciencia e Ingeniería de los materiales*, Iberoamericana, Mexico.
- [4] Bustillo, M. eta Calvo J.P. (2005): *Materiales de Construcción*, Fuego, Madril.
- [5] Callister, W.D. (1995): *Introducción a la ciencia de los materiales*, Reverté, Bartzelona.
- [6] Cerdá Antón, M. eta Ferrer Domingo, I. (1999): *Geología aplicada a las obras civiles*, ECU, Alacant.
- [7] Fernández, M. (1996): *Hormigón*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madril.
- [8] Fernández, M. (1990): *Materiales bituminoso*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madril.
- [9] Fernandez Navarro, J.M. (1991): *El vidrio*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madril.
- [10] Hellerich, W. (1989): *Guía de materiales plásticos*, Hanser, Munich.
- [11] Jiménez P. Garcia A. Morán F. (1991): *Hormigón armado*, Gustavo Gili, Bartzelona.
- [12] Lasheras, J.M. eta Carrasquilla, J.F. (1991): *Ciencia de los materiales*, Donostiarra, Donostia-San Sebastián.
- [13] Lopez Marinas, J.M. (2002): *Geología aplicada a la Ingeniería civil*, Dossat 2000, Madril.
- [14] Mari, E.A. (1998): *Los materiales cerámicos*, Alsina, Buenos Aires.
- [15] Rubin, I.I. (1999): *Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones*, Limusa, Mexico.
- [16] Saval, J.M. (1995): *Materiales de construcción*, II. lib., Gamma, Alacant.
- [17] Smith, W.F. eta Hashemi, J. (2004): *Fundamentos de ciencia de los materiales*, Mc Graw Hill, Mexico.
- [18] Union Española de Explosivos. (1999): *Manual de empleo de explosivos*, Unión Española de Explosivos (UEE), Madril.



## Taulen aurkibidea

|            |                                                                                  |     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. taula.  | Ingeniaritzako zenbait materialen propietate garrantzitsuak.....                 | 21  |
| 2. taula.  | Zenbait metalen egitura kristalinoa eta sare-parametroak.....                    | 31  |
| 3. taula.  | Metalen ezaugarri kristalino garrantzitsuenak.....                               | 32  |
| 4. taula.  | Egitura kubikoan difrakzio-planoek beteriko baldintzak.....                      | 35  |
| 5. taula.  | Aktibazio-energiaren eta tenperaturaren arteko erlazioa zenbait elementutan..... | 48  |
| 6. taula.  | Zenbait egituraren aktibazio-energia.....                                        | 48  |
| 7. taula.  | Zenbait materialen eroankortasun elektrikoak.....                                | 53  |
| 8. taula.  | Zenbait materialen bero espezifikoak.....                                        | 58  |
| 9. taula.  | Zenbait materialen dilatazio termikoaren koefiziente linealak...                 | 59  |
| 10. taula. | Zenbait materialen eroankortasun termikoak.....                                  | 60  |
| 11. taula. | Zenbait materialen elastikotasun- eta ebakidura-moduluak.....                    | 66  |
| 12. taula. | Zenbait metalen muga elastikoak, trakzio-erresistentziak eta harikortasunak..... | 71  |
| 13. taula. | Zenbait zeramikaren izaera ionikoa eta kobalentea.....                           | 93  |
| 14. taula. | Zenbait zeramikaren dentsitate kristalografikoa.....                             | 96  |
| 15. taula. | Zenbait zeramikaren fusio-puntuak.....                                           | 97  |
| 16. taula. | Zenbait zeramikaren modulu elastikoak.....                                       | 101 |
| 17. taula. | Kareen hidraulikotasun-indizeak.....                                             | 153 |
| 18. taula. | Ur-kareen konpresioarekiko erresistentzia 28 egun ostean.....                    | 155 |
| 19. taula. | Hormigoien sailkapena.....                                                       | 185 |
| 20. taula. | Fuller-en metodoan ur-zementu erlazio maximoa eta zementu-kantitate minimoa..... | 186 |
| 21. taula. | Hormigoien loditasunen sailkapena.....                                           | 187 |
| 22. taula. | Fuller-en metodoan ur-kantitateak agregakinen ezaugarrien funtzioan.....         | 187 |
| 23. taula. | Fuller-en metodoan ur-kantitateen zuzenketak.....                                | 187 |
| 24. taula. | Bolomey-ren metodoan $a$ parametroaren balioak.....                              | 189 |
| 25. taula. | Peña-ren metodoan $K$ parametroaren balioak.....                                 | 191 |
| 26. taula. | Peña-ren metodoan ur-kantitateak loditasunaren funtzioan.....                    | 192 |

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 27. <i>taula</i> . Hormigoiaaren adin ezberdinetan erresistentzia kalkulatzeko<br>erabilitako biderketa-faktoreak..... | 206 |
| 28. <i>taula</i> . Abrams-en konoaren asentuak eta loditasunak.....                                                    | 214 |
| 29. <i>taula</i> . Loditasunak astinduetako mahaian.....                                                               | 215 |
| 30. <i>taula</i> . Zenbait polimeroren dentsitateak.....                                                               | 260 |
| 31. <i>taula</i> . Egurren sailkapena hezetasun-edukiaren arabera.....                                                 | 288 |
| 32. <i>taula</i> . Egur mota ezberdinen erresistentzia mekanikoak.....                                                 | 291 |

## Irudi eta grafikoen aurkibidea

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. irudia. Zenbait materialen erresistentzia tenperaturaren funtzioan..... | 19 |
| 2. irudia. Lotura metalikoa.....                                           | 25 |
| 3. irudia. Lotura kobalentea.....                                          | 25 |
| 4. irudia. Lotura ionikoa.....                                             | 26 |
| 5. irudia. Van der Waals-en lotura.....                                    | 27 |
| 6. irudia. Atomoen desordenamendua.....                                    | 28 |
| 7. irudia. Atomoen irispide laburreko ordenamendua.....                    | 28 |
| 8. irudia. Atomoen irispide luzeko ordenamendua.....                       | 29 |
| 9. irudia. Gelaxka unitarioa.....                                          | 29 |
| 10. irudia. Bravais-en sareak.....                                         | 30 |
| 11. irudia. Egitura hexagonal konpaktua.....                               | 33 |
| 12. irudia. Sare-parametroak.....                                          | 33 |
| 13. irudia. Planoen arteko distantzia ezagutzeko X izpien difrakzioa.....  | 34 |
| 14. irudia. Difraktometroaren funtzionamendua.....                         | 35 |
| 15. irudia. Diamantearen egitura kubikoa.....                              | 36 |
| 16. irudia. Sodio kloruroaren egitura.....                                 | 36 |
| 17. irudia. Ertz-dislokazioak.....                                         | 37 |
| 18. irudia. Dislokazio helikoidalak.....                                   | 38 |
| 19. irudia. Dislokazioen mugimendua saretik.....                           | 39 |
| 20. irudia. Dislokazioen efektua sarean.....                               | 40 |
| 21. irudia. Akats puntualak.....                                           | 41 |
| 22. irudia. Ale-ertzak.....                                                | 42 |
| 23. irudia. Angelu txikiko ale-ertzak.....                                 | 43 |
| 24. irudia. Makla-ertzak.....                                              | 44 |
| 25. irudia. Difusio-mekanismoak.....                                       | 45 |
| 26. irudia. Difusiorako aktibazio-energia.....                             | 46 |
| 27. irudia. Fick-en bigarren legearen errore-funtzioa.....                 | 49 |
| 28. irudia. Karga-eramaileen mugikortasuna.....                            | 52 |
| 29. irudia. Momentu magnetikoak.....                                       | 54 |
| 30. irudia. Eroankortasun termikoa.....                                    | 60 |
| 31. irudia. Tentsio-deformazio motak.....                                  | 61 |



|             |                                                                |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 32. irudia. | Trakzio-makina.....                                            | 62  |
| 33. irudia. | Deformazio elastikoa eta elastikotasun-modulua.....            | 64  |
| 34. irudia. | Modulu tangentea eta modulu sekantea.....                      | 64  |
| 35. irudia. | Elastikotasun-moduluaren eta tenperaturaren arteko erlazioa... | 65  |
| 36. irudia. | Materialen propietate elastikoak.....                          | 67  |
| 37. irudia. | Tentsio-deformazio diagrama orokorra.....                      | 68  |
| 38. irudia. | Trakzioarekiko erresistentzia.....                             | 69  |
| 39. irudia. | Harikortasuna eta hauskortasuna.....                           | 70  |
| 40. irudia. | Trakzio-kurbak tenperaturaren funtzioan.....                   | 71  |
| 41. irudia. | Erresilientzia.....                                            | 72  |
| 42. irudia. | Gogortasuna neurtzeko saiakuntzak.....                         | 74  |
| 43. irudia. | Harrizko horma.....                                            | 77  |
| 44. irudia. | Granitoa.....                                                  | 81  |
| 45. irudia. | Gabroa.....                                                    | 81  |
| 46. irudia. | Kuartzita.....                                                 | 83  |
| 47. irudia. | Arbela.....                                                    | 84  |
| 48. irudia. | Marmola.....                                                   | 85  |
| 49. irudia. | Adreilu, teila eta azulejuen adibideak.....                    | 94  |
| 50. irudia. | Zeramiken apurketa.....                                        | 100 |
| 51. irudia. | Adreilu trinkoa.....                                           | 109 |
| 52. irudia. | Adreilu zulatua.....                                           | 109 |
| 53. irudia. | Adreilu hutsa.....                                             | 109 |
| 54. irudia. | Efloreszentziak.....                                           | 111 |
| 55. irudia. | Luzerako aparailua.....                                        | 111 |
| 56. irudia. | Zeharkako aparailua.....                                       | 112 |
| 57. irudia. | Aparailu ingelesa.....                                         | 112 |
| 58. irudia. | Panderete-aparailua.....                                       | 112 |
| 59. irudia. | Uso-aparailua.....                                             | 113 |
| 60. irudia. | Gangatila.....                                                 | 113 |
| 61. irudia. | Teila kurboa.....                                              | 115 |
| 62. irudia. | Teila ahokagarria.....                                         | 115 |
| 63. irudia. | Teila kurbo-laua.....                                          | 115 |
| 64. irudia. | Beirazko fatxada.....                                          | 117 |
| 65. irudia. | Beira-trantsiziozko tenperatura.....                           | 119 |
| 66. irudia. | Biskositate-tenperatura erlazioa beiraren lanketan.....        | 121 |
| 67. irudia. | Beira-xaflen eta -plaken fabrikazioa.....                      | 122 |
| 68. irudia. | Beiraren puztea, prentsaketa eta moldeaketa.....               | 123 |
| 69. irudia. | Barne-tentsioen agerpena beiraren hozketa-prozesuan.....       | 123 |
| 70. irudia. | Zementu zuria.....                                             | 127 |

|              |                                                                      |     |
|--------------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 71. irudia.  | Biskositate-denbora erlazioa prozesu konglomeratzailean.....         | 128 |
| 72. irudia.  | Konglomeratzaileen fraguatze-prozesuan bolumen-aldaketak..           | 130 |
| 73. irudia.  | Zementuen fabrikazio-prozesua.....                                   | 147 |
| 74. irudia.  | Kareharria.....                                                      | 151 |
| 75. irudia.  | Upelezko labeak kareen fabrikaziorako.....                           | 157 |
| 76. irudia.  | Labe bertikalak kareen fabrikaziorako.....                           | 158 |
| 77. irudia.  | Labe birakariak kareen fabrikaziorako.....                           | 158 |
| 78. irudia.  | Adreilu siliko-kalkareoa.....                                        | 162 |
| 79. irudia.  | Igeltsua.....                                                        | 164 |
| 80. irudia.  | Xehamakinaren funtzionamendu-eskema.....                             | 168 |
| 81. irudia.  | Galdarak igeltsuaren fabrikaziorako.....                             | 170 |
| 82. irudia.  | Hormigoi-lagina.....                                                 | 173 |
| 83. irudia.  | Aleen poroak hormigoietako agregakinetan.....                        | 175 |
| 84. irudia.  | Hormigoiaren agregakinen hezetasuna.....                             | 177 |
| 85. irudia.  | Hormigoian erabilitako hareen hanpadura.....                         | 178 |
| 86. irudia.  | Agregakinen nahasketa-proportzioa Peña-ren metodoan.....             | 192 |
| 87. irudia.  | Konpresio-erresistentzien bilakaera hormigoia-<br>ren prozesuan..... | 198 |
| 88. irudia.  | Agregakinen nahasketa-proportzioa Peña-ren metodoan.....             | 200 |
| 89. irudia.  | Hormigoia-<br>ren elastikotasun-moduluak.....                        | 202 |
| 90. irudia.  | Hormigoia-<br>ren tentsio-deformazio kurba.....                      | 203 |
| 91. irudia.  | Hormigoia-<br>ren osagaien tentsio-deformazio kurbak.....            | 203 |
| 92. irudia.  | Hormigoia-<br>ren erresistentzia karakteristikoa.....                | 207 |
| 93. irudia.  | Abrams-en konoaren saiakuntza.....                                   | 214 |
| 94. irudia.  | Trakzioarekiko erresistentzia-<br>ren neurketa hormigoian.....       | 216 |
| 95. irudia.  | Flexotrakzioarekiko erresistentzia-<br>ren neurketa hormigoian.....  | 217 |
| 96. irudia.  | Altzairuzko zenbait pieza.....                                       | 221 |
| 97. irudia.  | Metalen tentsio-deformazio kurba orokorra.....                       | 222 |
| 98. irudia.  | Nekea sor dezaketen karga motak.....                                 | 224 |
| 99. irudia.  | Nekearekiko erresistentzia-<br>neurtzeko saiakuntza.....             | 225 |
| 100. irudia. | Charpy-ren pendulua.....                                             | 227 |
| 101. irudia. | Gogortasuna neurtzeko makina.....                                    | 228 |
| 102. irudia. | Oxidazioaren adibidea.....                                           | 230 |
| 103. irudia. | Korrosioaren adibidea.....                                           | 230 |
| 104. irudia. | Metalen solidotze-prozesuan agerturiko makroegitura.....             | 231 |
| 105. irudia. | Metal puruen eta aleazioen hozte-kurbak.....                         | 233 |
| 106. irudia. | Fase-diagramen adibidea.....                                         | 234 |
| 107. irudia. | Baraila-xehamakinaren argazkia.....                                  | 236 |
| 108. irudia. | Sailkagailu magnetikoa.....                                          | 236 |

|              |                                                                                            |     |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 109. irudia. | Burdina-minerala.....                                                                      | 238 |
| 110. irudia. | Koke metalurgikoa.....                                                                     | 238 |
| 111. irudia. | Labe garaiaren funtzionamendu-eskema.....                                                  | 239 |
| 112. irudia. | Zepa hoztuak.....                                                                          | 240 |
| 113. irudia. | Arrabio hoztua.....                                                                        | 240 |
| 114. irudia. | Bihurgailuaren funtzionamendu-eskema.....                                                  | 241 |
| 115. irudia. | Isurketa jarraituaren instalazioaren funtzionamendu-eskema                                 | 242 |
| 116. irudia. | Labe elektrikoaren funtzionamendu-eskema.....                                              | 243 |
| 117. irudia. | Kubilote labearen funtzionamendu-eskema.....                                               | 244 |
| 118. irudia. | Altzairuzko perfilak.....                                                                  | 245 |
| 119. irudia. | Altzairuzko barra korrugatuak.....                                                         | 246 |
| 120. irudia. | Altzairuzko armadura elektrosoldatua.....                                                  | 247 |
| 121. irudia. | Kable baten ebakidura.....                                                                 | 248 |
| 122. irudia. | Burdinurtuko arketa eta kaleko apaingarria.....                                            | 249 |
| 123. irudia. | Kobrezko hodia.....                                                                        | 250 |
| 124. irudia. | Letoizko bisagra.....                                                                      | 250 |
| 125. irudia. | Pieza galbanizatua.....                                                                    | 251 |
| 126. irudia. | Aluminiozko barra.....                                                                     | 252 |
| 127. irudia. | Aluminiozko xafla tolestua.....                                                            | 252 |
| 128. irudia. | Plastikozko ontziak.....                                                                   | 253 |
| 129. irudia. | Kopolimero motak.....                                                                      | 254 |
| 130. irudia. | Polimero termoplastikoen egitura.....                                                      | 255 |
| 131. irudia. | Polimero termoplastikoen bilakaera orokorra tenperaturaren<br>funtzioan.....               | 256 |
| 132. irudia. | Polimero amorfoen eta kristalinoen egiturak.....                                           | 257 |
| 133. irudia. | Elastomeroen egitura.....                                                                  | 258 |
| 134. irudia. | Polimero termoeگونkorren egitura.....                                                      | 258 |
| 135. irudia. | Polimero-familien portaera mekanikoa.....                                                  | 262 |
| 136. irudia. | Polimeroen apurketa hauskorra.....                                                         | 263 |
| 137. irudia. | Polimeroen apurketa harikorra.....                                                         | 264 |
| 138. irudia. | Polimeroen gainazalaren eragina apurketan.....                                             | 265 |
| 139. irudia. | Polimeroen neke-saiakuntzan tentsioa eta deformazioa<br>denboran zehar.....                | 266 |
| 140. irudia. | Polimero termoplastikoak estrusioz moldekatzeko makinaren<br>funtzionamendu-eskema.....    | 267 |
| 141. irudia. | Polimero termoplastikoen puzte bidezko moldekatze-<br>makinaren funtzionamendu-eskema..... | 268 |

|              |                                                                                             |     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 142. irudia. | Polimero termoplastikoak injekzioz moldekatzeko makinaren funtzionamendu-eskema.....        | 268 |
| 143. irudia. | Polimero termoplastikoen hutsean konformatzeko makinaren funtzionamendu-eskema.....         | 269 |
| 144. irudia. | Polimero termoplastikoen moldeaketarako kalandratze-sistemaren funtzionamendu-eskema.....   | 269 |
| 145. irudia. | Polimero termoplastikoen filamenduak lortzeko makinaren funtzionamendu-eskema.....          | 270 |
| 146. irudia. | Polimero termoeگونkorren konformaziorako konpresiozko sistemaren funtzionamendu-eskema..... | 270 |
| 147. irudia. | Polimero termoeگونkorren konformaziorako sistema trukatzailaren funtzionamendu-eskema.....  | 271 |
| 148. irudia. | PVC zurruneke hodia.....                                                                    | 274 |
| 149. irudia. | PVC malguko hodia.....                                                                      | 275 |
| 150. irudia. | Antzinako egurrezko habeak.....                                                             | 281 |
| 151. irudia. | Egurraren ebaketak.....                                                                     | 283 |
| 152. irudia. | Egurraren alde adierazgarriak.....                                                          | 284 |
| 153. irudia. | Egurraren irregulartasunak eratzunen lodieran.....                                          | 292 |
| 154. irudia. | Egurraren kolaña fenomenoak.....                                                            | 292 |
| 155. irudia. | Egurraren fendak.....                                                                       | 293 |
| 156. irudia. | Bihotz irekiaren fenomenoak egurrean.....                                                   | 293 |
| 157. irudia. | Egurraren korapiloak.....                                                                   | 294 |
| 158. irudia. | Egurraren bihotzaren eszentrikotasunaren fenomenoak.....                                    | 294 |
| 159. irudia. | Zuntz biribilkatuen fenomenoak egurrean.....                                                | 294 |
| 160. irudia. | Egurrezko taula kontraxapatuak.....                                                         | 297 |
| 161. irudia. | Material bituminosoen biskositatea neurtzeko saiakuntza..                                   | 304 |
| 162. irudia. | Betun artifizialen jatorriaren eskema.....                                                  | 306 |
| 163. irudia. | Metxazko detonagailuak.....                                                                 | 318 |
| 164. irudia. | Detonagailu elektrikoak.....                                                                | 318 |
| 165. irudia. | Kordoi-detonagailuak.....                                                                   | 319 |
| 166. irudia. | Hormigoi aurrefabrikaturiko habeak.....                                                     | 321 |
| 167. irudia. | Korapilo artikulatuak dituen eraikuntza.....                                                | 324 |
| 168. irudia. | Espaloi-zintarriak.....                                                                     | 326 |



## **Ingeniaritza sailean argitaratu diren beste liburu batzuk**

### *Ingeniaritza termikoa (2. argitalpen zuzendua)*

Iñaki Gomez Arriaran, Jose Lorenzo Gutierrez de Rozas Salterain  
2003an argitaratua  
ISBN: 84-8438-037-8

### *Sistema digitalen diseinu-hastapenak: Oinarrizko kontzeptuak eta adibideak*

Olatz Arbelaiz Gallego, Txelo Ruiz Vazquez, Olatz Arregi Uriarte,  
Agustin Arruabarrena Frutos, Izaskun Etxeberria Uztarroz, Amaia  
Ibarra Lasa  
2005ean argitaratua  
ISBN: 84-86967-069-6

### *Ingeniaritza termikoa (3. argitalpen zuzendua)*

Iñaki Gomez Arriaran, Jose Lorenzo Gutierrez de Rozas Salterain  
2007an argitaratua  
ISBN: 978-84-8438-095-5

