

**Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil**

**Concreto hidráulico: Usos y aplicaciones**

**Trabajo de Graduación**

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

**Guiselle Torres Serrano**

Directora del Proyecto de Graduación:

**Ing. Flor Muñoz Umaña M.Ing, I.C.**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

**Miembros del comité asesor  
y sustentante**



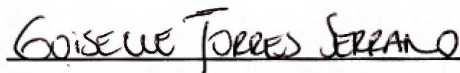
**Directora:** Ing. Flor Muñoz Umaña, M.Ing, I.C.



**Asesor:** Ing. Robert Anglin Fonseca, MSc



**Asesor:** Ing. Manuel Martínez Guevara



**Estudiante:** Guiselle Torres Serrano

## **Derechos de autor**

**Fecha:** 2012, setiembre, 14

**El suscrito, Guiselle Torres Serrano,** cédula 3-0397-0772, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A 25088,** manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Concreto hidráulico: Usos y aplicaciones,** bajo la Dirección de la **Ing. Flor Muñoz Umaña M.Ing, I.C.,** quién en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## **Dedicatoria**

A mi familia, en especial a mi madre, una gran mujer a la cual le debo el poder haber llegado a concluir esta meta, mamita te amo mucho.

A mis hermanas, por todo su apoyo y paciencia, chiquillas las quiero mucho.

A mis tíos y tías que siempre estuvieron ahí para apoyarme y ayudarme cuando más los necesitaba.

## **Reconocimientos**

Agradezco primero a Dios por haberme dado la salud, las fuerzas y el entendimiento que han hecho que pueda culminar un objetivo más en mi vida.

A mi madre Mayra y mis hermanas Ivo y Kathe, por darme el apoyo y la confianza que necesitaba para seguir adelante semestre a semestre.

A mi novio Daniel, por su incondicional apoyo, por su ayuda y consejos que me dio en todo momento.

A la Ing. Flor Muñoz, quién con su experiencia, me ha ayudado a culminar con éxito este proyecto. Al Ing. Robert Anglin y al Ing. Manuel Martínez, por sus recomendaciones y aportes dados para poder realizar un buen trabajo de investigación.

A las chiquillas de la secre, quienes desde inicios de la carrera, me han brindado su confianza, su apoyo y sus consejos para seguir adelante.

A mis amigos Raque, Alex, Karlita, Kate, Alonso y Edu, por todo su apoyo y porque con sus ocurrencias hicieron que esas largas horas de estudio fueran agradables.

A todos ustedes, muchas gracias!

---

## Índice de contenidos

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Capítulo 1. Introducción</b>                  | <b>1</b>  |
| 1.1. Justificación                               | 1         |
| 1.1.1. El problema específico                    | 2         |
| 1.1.2. Hipótesis e importancia                   | 2         |
| 1.2. Objetivos                                   | 4         |
| 1.2.1. Objetivo general                          | 4         |
| 1.2.2. Objetivos específicos                     | 4         |
| 1.3. Alcances y limitaciones                     | 5         |
| 1.4. Metodología                                 | 5         |
| 1.5. Historia                                    | 7         |
| <br>   |           |
| <b>Capítulo 2. Fundamentos del concreto</b>      | <b>14</b> |
| 2.1. Componentes del concreto                    | 15        |
| 2.1.1. Cemento Portland                          | 15        |
| 2.1.2. Agregados                                 | 20        |
| 2.1.3. Agua                                      | 21        |
| 2.1.4. Aditivos                                  | 22        |
| 2.2. Trabajabilidad                              | 26        |
| 2.3. Densidad                                    | 27        |
| 2.4. Fraguado y endurecimiento                   | 27        |
| 2.5. Resistencia                                 | 27        |
| 2.6. Contenido de aire                           | 28        |
| 2.7. Influencia de la temperatura                | 28        |
| 2.8. Vibración                                   | 28        |
| 2.9. Curado                                      | 29        |
| 2.9.1. Curado con agua                           | 30        |
| 2.9.1.1. Anegamiento o inmersión:                | 30        |
| 2.9.1.3 Costales, mantas de algodón y alfombras: | 31        |
| 2.9.1.2. Rociado de neblina o aspersion:         | 31        |
| 2.9.1.5 Arena y aserrín:                         | 32        |

---

|   |    |
|---|----|
| 2.9.1.6. Paja o heno:   | 32 |
| 2.9.2 Materiales selladores:  | 32 |
| 2.9.1.4. Curado con tierra:   | 32 |
| 2.9.2.1. Película plástica:   | 33 |
| 2.9.2.3. Compuestos líquidos para formar membranas de curado:                                   | 33 |
| 2.9.2.2 Papel impermeable:  | 33 |
| 2.9.3 Curado con vapor:   | 34 |
| 2.9.3.2 Vapor a alta presión en autoclaves:   | 34 |
| 2.9.3.1 Vapor directo (vivo) a presión atmosférica:   | 34 |
| 2.10. Tipos de concreto   | 35 |
| 2.10.1. Algunos tipos de concreto   | 36 |
| 2.10.1.1. Concreto convencional   | 36 |
| 2.10.1.2. Concreto aislante   | 39 |
| 2.10.1.3. Concreto de alto desempeño (HPC, por sus siglas en inglés: High Performance Concrete) | 44 |
| 2.10.1.4. Concreto de alta resistencia (CAR)  | 50 |
| 2.10.1.5. Concreto autocompactante (CAC)  | 55 |
| 2.10.1.6. Concreto de baja permeabilidad  | 59 |
| 2.10.1.7. Concreto bombeable  | 60 |
| 2.10.1.8. Concreto con aire incluido (incorporado)  | 63 |
| 2.10.1.9. Concreto con polímeros  | 66 |
| 2.10.1.10. Concreto con puzolanas   | 70 |
| 2.10.1.11. Concreto reforzado con fibras  | 72 |
| 2.10.1.12. Concreto expansivo   | 77 |
| 2.10.1.13. Concreto de fraguado acelerado   | 79 |
| 2.10.1.14. Concreto de fraguado retardado   | 80 |
| 2.10.1.15. Concreto de resistencia acelerada (alta resistencia inicial)                         | 81 |
| 2.10.1.16. Concreto lanzado   | 84 |
| 2.10.1.17. Concreto ligero  | 87 |
| 2.10.1.18. Concreto permeable   | 93 |
| 2.10.1.19. Concreto pesado / Concreto de densidad elevada                                       | 95 |
| 2.10.1.20. Concreto resistente a la penetración de cloruros                                     | 98 |

---

|   |            |
|---|------------|
| 2.10.1.21. Concreto resistente al ataque de sulfatos _____                      | 100        |
| 2.10.1.22. Concreto de polvo reactivo (CPR) _____                               | 104        |
| 2.10.1.23. Concreto masivo _____  | 107        |
| 2.10.1.24. Concreto con materiales reciclados _____                             | 109        |
| 2.10.1.25. Concreto translúcido _____   | 116        |
| 2.10.2. Tipos de concreto con investigación en laboratorios de Costa Rica _____ | 120        |
| <b>Capítulo 3. Métodos de diseño de mezcla _____</b>                            | <b>128</b> |
| 3.1. El método del Instituto Americano del Cemento y del Concreto _____         | 129        |
| 3.2. Método Mironof _____   | 133        |
| 3.3. Método del Dr. Vitervo O` Reille (MVO) _____                               | 135        |
| 3.4. Método Walker _____  | 139        |
| 3.5. Método del módulo de fineza _____  | 142        |
| <b>Conclusiones _____</b>   | <b>144</b> |
| <b>Recomendaciones _____</b>  | <b>145</b> |
| <b>Bibliografía _____</b>   | <b>146</b> |
| 1. Trabajos finales de graduación _____   | 146        |
| 2. Libros _____   | 150        |
| 3. Internet _____   | 151        |
| <b>Apéndices _____</b>  | <b>160</b> |
| Apéndice 1 _____  | <b>161</b> |
| Línea de tiempo: Evolución histórica del concreto hidráulico _____              | 161        |
| Apéndice 2 _____  | <b>166</b> |
| Manual de usuario de la matriz para la escogencia del tipo de concreto _____    | <b>166</b> |
| Fichas técnicas _____   | 170        |
| <b>Anexos _____</b>   | <b>209</b> |



## Índice de cuadros

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 2.1.</b> Uso principal de los distintos tipos de cemento Portland _____                                  | 16 |
| <b>Cuadro 2.2.</b> Normas de referencia según el Reglamento Técnico Costa Rica<br>RTCR 383:2004 _____              | 18 |
| <b>Cuadro 2.3.</b> Clasificación de los cementos según la norma RTCR 383:2004 _____                                | 19 |
| <b>Cuadro 2.4.</b> Razones para usar aditivos según ACI 212: Guía para el empleo<br>de aditivos _____              | 23 |
| <b>Cuadro 2.5.</b> Aspectos a considerar en los aditivos antes de su aplicación<br>en una mezcla de concreto _____ | 24 |
| <b>Cuadro 2.6.</b> Efecto de algunos aditivos en las propiedades del concreto _____                                | 25 |
| <b>Cuadro 2.7.</b> Clasificación del concreto hidráulico, por su consistencia _____                                | 26 |
| <b>Cuadro 2.8.</b> Dosificación recomendada para proporciones medidas con cajón _____                              | 37 |
| <b>Cuadro 2.9.</b> Dosificación recomendada para proporciones medidas con<br>cubetas de 19 L (5 galones) _____     | 37 |
| <b>Cuadro 2.10.</b> Concreto convencional. Usos, ventajas y desventajas _____                                      | 38 |
| <b>Cuadro 2.11.</b> Clasificación por grupo de los concretos aislantes según Kosmatka _____                        | 40 |
| <b>Cuadro 2.12.</b> Ejemplos de mezclas de concreto aislante con agregados ligeros _____                           | 41 |
| <b>Cuadro 2.13.</b> Valores de conductividad térmica de materiales _____   | 42 |
| <b>Cuadro 2.14.</b> Concreto aislante. Usos, ventajas y desventajas _____  | 43 |
| <b>Cuadro 2.15.</b> Resistencia a la compresión del CAD con respecto a la relación a/c _____                       | 46 |
| <b>Cuadro 2.16.</b> Concreto de alto desempeño (CAD). Usos, ventajas y desventajas _____                           | 50 |
| <b>Cuadro 2.17.</b> Concreto de alta resistencia (CAR). Usos, ventajas y desventajas _____                         | 55 |
| <b>Cuadro 2.18.</b> Dosificación típica para concreto autocompactante _____  | 57 |
| <b>Cuadro 2.19.</b> Concreto CAC. Usos, ventajas y desventajas _____   | 58 |
| <b>Cuadro 2.20.</b> Concreto de baja permeabilidad. Usos _____   | 60 |
| <b>Cuadro 2.21.</b> Concreto bombeable. Usos, ventajas y desventajas _____   | 63 |
| <b>Cuadro 2.22.</b> Concreto con aire incluido. Usos y ventajas _____  | 66 |
| <b>Cuadro 2.23.</b> Concreto con polímeros. Usos, ventajas y desventajas _____                                     | 70 |
| <b>Cuadro 2.24.</b> Concreto con puzolanas. Usos, ventajas y desventajas _____                                     | 72 |
| <b>Cuadro 2.25.</b> Concreto reforzado con fibras. Usos, ventajas y desventajas _____                              | 76 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Cuadro 2.26.</b> Concreto expansivo. Usos, ventajas y desventajas _____   | 79  |
| <b>Cuadro 2.27.</b> Concreto de fraguado acelerado. Usos, ventajas y desventajas _____   | 80  |
| <b>Cuadro 2.28</b> Concreto de fraguado retardado. Usos, ventajas y desventajas _____  | 81  |
| <b>Cuadro 2.29.</b> Concreto de alta resistencia inicial. Usos, ventajas y desventajas _____   | 83  |
| <b>Cuadro 2.30.</b> Concreto lanzado. Usos, ventajas y desventajas _____   | 86  |
| <b>Cuadro 2.31.</b> Dosificaciones para diferentes agregados ligeros _____   | 91  |
| <b>Cuadro 2.32.</b> Concreto ligero. Usos, ventajas y desventajas _____  | 93  |
| <b>Cuadro 2.33.</b> Concreto permeable. Usos, ventajas y desventajas _____   | 95  |
| <b>Cuadro 2.34.</b> Concreto pesado. Usos, ventajas y desventajas _____  | 98  |
| <b>Cuadro 2.35.</b> Concreto resistente a la penetración de cloruros. Usos y ventajas _____  | 100 |
| <b>Cuadro 2.36.</b> Concreto resistente al ataque de sulfatos. Usos, ventajas y desventajas _____                                    | 104 |
| <b>Cuadro 2.37.</b> Concreto de polvo reactivo. Usos y ventajas _____  | 106 |
| <b>Cuadro 2.38.</b> Concreto masivo. Usos y ventajas _____   | 109 |
| <b>Cuadro 2.39.</b> Proyección de desechos de bloques de mampostería para el 2007 _____  | 114 |
| <b>Cuadro 2.40.</b> Residuos en una planta productora de concreto premezclado _____  | 114 |
| <b>Cuadro 2.41.</b> Cantidad de componentes que se obtienen de los desechos del concreto premezclado en una planta fabricadora _____ | 115 |
| <b>Cuadro 2.42.</b> Concreto con materiales reciclados. Usos, ventajas y desventajas _____   | 116 |
| <b>Cuadro 2.43.</b> Concreto traslúcido. Usos, ventajas y desventajas _____  | 120 |
| <b>Cuadro 2.44.</b> Investigaciones sobre diferentes tipos de concreto _____   | 120 |
| <b>Cuadro 2.45.</b> Cuadro comparativo de diferentes tipos de concreto _____   | 125 |
| <b>Cuadro 3.1.</b> Resumen del método de diseño de mezcla del ACI 211 _____  | 130 |
| <b>Cuadro 3.2.</b> Resumen del diseño de mezcla de concreto hidráulico con el método de Mironof _____                                | 133 |
| <b>Cuadro 3.3.</b> Resumen del diseño de mezcla con el método del Dr. Vitervo O´Reilly (MVO) _____                                   | 136 |
| <b>Cuadro 3.4.</b> Diseño de mezcla con el método Walter _____   | 141 |
| <b>Cuadro 3.5.</b> Diseño de mezcla con el método del módulo de fineza _____   | 143 |
| <b>Cuadro A.1.</b> Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción _____  | 211 |
| <b>Cuadro A.2.</b> Requisitos aproximados de agua de la mezcla y contenido de _____  | 211 |
| <b>Cuadro A.3.a.</b> Correspondencia entre la relación a/c y la resistencia _____  | 212 |
| <b>Cuadro A.3.b.</b> Relación a/c y la resistencia máximas permisibles para concreto bajo _____                                      | 212 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Cuadro A.4.</b> Factores de corrección _____                                      | 212 |
| <b>Cuadro A.5.</b> Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto _____ | 213 |
| <b>Cuadro A.6.</b> Cantidad de pasta según a/c _____                                 | 213 |
| <b>Cuadro A.7.</b> Revenimiento según tipo de obra _____                             | 213 |

**Índice de figuras**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.1.</b> Torres The Burj Dubai   | 1  |
| <b>Figura 1.2.</b> Metodología del trabajo final de graduación                       | 6  |
| <b>Figura 2.1.</b> Curado de una losa por inmersión                                  | 30 |
| <b>Figura 2.2.</b> Curado con neblina  | 31 |
| <b>Figura 2.3.</b> Curado con alfombra   | 31 |
| <b>Figura 2.4.</b> Curado con arena  | 32 |
| <b>Figura 2.5.</b> Curado con película plástica                                      | 33 |
| <b>Figura 2.6.</b> Curado con papel kraft  | 33 |
| <b>Figura 2.7.</b> Curado con compuestos líquidos                                    | 33 |
| <b>Figura 2.8.</b> Curado con vapor de vigas estructurales                           | 34 |
| <b>Figura 2.9.</b> Curado en autoclave   | 34 |
| <b>Figura 2.10.</b> Aplicaciones del concreto convencional                           | 36 |
| <b>Figura 2.11.</b> Formas de realizar concreto convencional                         | 38 |
| <b>Figura 2.12.</b> Perlita de poliestireno expandido                                | 39 |
| <b>Figura 2.13.</b> Puente de Normandía, construido con CAD de microflice            | 44 |
| <b>Figura 2.14.</b> Grietas por contracción plástica                                 | 47 |
| <b>Figura 2.15.</b> Grietas por contracción por secado                               | 47 |
| <b>Figura 2.16.</b> Retracción química   | 48 |
| <b>Figura 2.17.</b> Edificio cuya base y primeros niveles cuentan con el uso del CAR | 50 |
| <b>Figura 2.18.</b> Uso del CAC, alta concentración de armadura                      | 55 |
| <b>Figura 2.19.</b> Uso del concreto de baja permeabilidad                           | 59 |
| <b>Figura 2.20.</b> Equipo usado para concreto bombeado                              | 60 |
| <b>Figura 2.21.</b> Sección pulida de concreto con aire incluido                     | 63 |
| <b>Figura 2.22.</b> Reparación de una estructura con concreto con polímeros          | 66 |
| <b>Figura 2.23.</b> Fabricación de concreto impregnado con polímeros                 | 67 |
| <b>Figura 2.24.</b> Fabricación de concreto modificado con polímeros                 | 67 |
| <b>Figura 2.25.</b> Fabricación de concreto polimérico                               | 68 |
| <b>Figura 2.26.</b> Acueducto Romano en el que se uso concreto con puzolanas         | 70 |
| <b>Figura 2.27.</b> Fibras de acero, vidrio, sintéticas y naturales                  | 72 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 2.27.</b> Demolición de rocas con concreto expansivo _____                  | 77  |
| <b>Figura 2.28.</b> Uso de concreto de fraguado acelerado _____                       | 79  |
| <b>Figura 2.29.</b> Uso de concreto de alta resistencia _____                         | 81  |
| <b>Figura 2.30.</b> Concreto lanzado _____  | 84  |
| <b>Figura 2.31.</b> Sección de concreto ligero _____                                  | 87  |
| <b>Figura 2.32.</b> Tipos de concreto ligero _____                                    | 89  |
| <b>Figura 2.33.</b> Uso del concreto permeable en una acera _____                     | 93  |
| <b>Figura 2.34.</b> Uso de concreto presado _____                                     | 95  |
| <b>Figura 2.35.</b> Pilotes de un muelle con problemas de corrosión _____             | 98  |
| <b>Figura 2.36.</b> Uso del concreto resistente al ataque de sulfatos _____           | 100 |
| <b>Figura 2.37.</b> Concreto con polvo reactivo recién mezclado _____                 | 104 |
| <b>Figura 2.38.</b> Cimentación con uso de concreto masivo _____                      | 107 |
| <b>Figura 2.39.</b> Materiales para la fabricación de concreto reciclado _____        | 109 |
| <b>Figura 2.40.</b> Máquina trituradora móvil _____                                   | 111 |
| <b>Figura 2.41.</b> Reclaimer _____   | 112 |
| <b>Figura 2.42.</b> Concreto traslúcido _____   | 116 |
| <b>Figura Ap.1.</b> Línea de tiempo de la evolución del concreto (continuación) _____ | 161 |

## **Abreviaturas**

**ACI:** Instituto Americano del Concreto, por sus siglas en inglés (American Concrete Institute)

**ASTM:** Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials)

**a/c:** relación agua cemento

**CAC:** Concreto autocompactante

**CAD:** Concretos de alto desempeño o por sus siglas en inglés HPC (High Performance Concrete)

**CAR:** Concreto de Alta Resistencia

**CPR:** Concreto de polvo reactivo

**ICCYC:** Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto

**IMCYC:** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

**INTECO:** Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica

**ITCR:** Instituto Tecnológico de Costa Rica

**TFG:** Trabajo Final de Graduación

**NRMCA:** Asociación nacional de mezcla lista para concreto, por sus siglas en inglés (National Ready Mixed Concrete Association)

**NRS:** Norma Sismo Resistente

**PCA:** Asociación de Cemento Portland, por sus siglas en inglés (Portland Cement Association)

**UCR:** Universidad de Costa Rica

Torres Serrano, Guiselle  
Concreto hidráulico: usos y aplicaciones  
Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José. C.R.:  
G. Torres S., 2012  
xiv, 160, [53]h; ils. col. – 119 refs.

### Resumen

Este trabajo condensa en un solo documento gran cantidad de información técnica relativa al concreto hidráulico, tanto el convencional como otros tipos de concreto que en una otra medida han sido utilizados en diferentes partes del mundo. El propósito fundamental es que este documento técnico facilite la escogencia del tipo de concreto hidráulico a utilizar según los requerimientos estructurales y constructivos de una obra y las condiciones ambientales a las que estará sometido. En su elaboración se ha tenido en cuenta información bibliográfica recopilada a partir de diferentes artículos técnicos, libros y trabajos finales de graduación que, en mayor o menor alcance, se refieren al concreto y sus características como material para la construcción, como también el criterio de expertos para completar la información recopilada.

Se parte de un marco histórico que muestra los avances significativos en la evolución del concreto como material de construcción, desde antes de Cristo hasta nuestros días, para continuar con una caracterización técnica de cada uno de los veinticinco tipos de concreto incluidos como parte de este trabajo, información que se resume en fichas técnicas con el fin de agilizar la consulta. En el diseño de las fichas se consideró los aspectos que suelen ser relevantes de conocer para la selección del tipo de concreto. Para el caso de los concretos que han sido estudiados en nuestro país, a los cuales se tuvo acceso a la información, se elaboró un cuadro que incluye para cada caso la descripción del concreto, su resistencia, usos, ventajas y desventajas, que es de utilidad para conocer qué se ha investigado en esta materia en Costa Rica.

Finalmente, se hace referencia a diferentes opciones para la determinación de las proporciones a usar en mezclas de concreto hidráulico, más allá del método usual que es el de la ACI 211. G.T.S.

CONCRETO; HORMIGÓN; ADITIVOS; DISEÑO DE MEZCLA

Ing. Flor de María Muñoz Umaña, M.Ing., I.C.  
Escuela de Ingeniería Civil

## Capítulo 1. Introducción

### 1.1. Justificación

Uno de los materiales más utilizados en las obras civiles, es el concreto. Este se presenta en una gran variedad, dependiendo de los requerimientos de la estructura en proyección.

El concreto u hormigón, ha sido un gran descubrimiento que ha permitido a lo largo de la historia, la construcción de gran variedad de edificaciones en tierra y mar; esto ha generado la necesidad de investigar más sobre su comportamiento, de entender los factores que afectan su durabilidad (para poder controlarlos), procurar nuevos usos mediante la incorporación de distintos tipos de adiciones, entre otros aspectos.



Así como las maravillosas construcciones de los egipcios, los griegos y los romanos, es sorprendente la forma en que ha evolucionado este material compuesto para lograr aplicaciones sorprendentes como por ejemplo la torre **"Burj Dubai"** constituida por 160 niveles, que cubren 818 m de altura en cuya construcción se utilizó un concreto con una resistencia a compresión simple de 80 MPa.

**Figura. 1.1. Torres The Burj Dubai**  
Fuente: <http://hnetten.home.xs4all.nl>

La aplicación del concreto y específicamente **de concretos "especiales"** surge como una posibilidad de mejorar los comportamientos deseados de las edificaciones. El avance de la tecnología, hace imprescindible el manejo de nuevos conceptos constructivos que no se deben dejar por fuera en el ámbito ingenieril.



En Costa Rica se han hecho esfuerzos para investigar sobre la posibilidad de lograr algunas de las múltiples aplicaciones de estos concretos descubiertas principalmente en Estados Unidos de Norte América y Europa. No obstante, no siempre estos trabajos han tenido una adecuada divulgación por lo que no se aprovecha en mayor medida los resultados en aras de diversificar los usos y aplicaciones del concreto en el medio nacional. Incluso algunas empresas en el país han hecho aplicaciones de concretos específicos en diversas obras de ingeniería (concretos de baja contracción, concretos de alta resistencia, concreto resistente a cloruros, entre otros), los cuales se tratarán en específico en el capítulo 2.

Con esta investigación se ha podido determinar que existe información muy valiosa a nivel nacional e internacional generada a partir de diversos trabajos sobre el comportamiento de los concretos y nuevos usos y tecnologías en esta materia, solo que se encuentra muy dispersa y dificulta sobremanera el estar al día en este campo tan importante para la ingeniería civil.

### ***1.1.1. El problema específico***

No existe a nivel nacional un documento específico que trate el tema de concreto hidráulico considerando los resultados de los estudios que se han hecho a nivel nacional y los avances más recientes en esta materia.

Sobre el tema hay mucha información, pero está dispersa, lo que dificulta la selección de un tipo específico de concreto hidráulico o bien, si es necesario desestimar su uso.

Por otro lado, el centrarse en el estudio de un tema tan específico como éste, permite afianzar criterios para recomendar la ejecución de nuevos proyectos a la luz de las experiencias que se hayan dado en otros países.

### ***1.1.2. Hipótesis e importancia***

A pesar de la gran diversidad de concretos hidráulicos que se han desarrollado e investigado a nivel internacional, en Costa Rica es poco lo que se ha hecho en materia de investigación

referente a concretos hidráulicos diferentes al convencional, y de los que se han investigado y aplicado en nuestro país no se ha dado seguimiento en cuanto a su comportamiento en servicio.

El probar esta hipótesis permitió proveer de información para direccionar estudios tendientes a reproducir en el laboratorio nuevos concretos o concretos modificados que empleen materia prima nacional y sean factibles de elaborar y aplicar atendiendo a nuestras limitantes tecnológicas, dado que la universidad debe llevar a cabo investigación científica y tecnológica que coadyuve en el desarrollo del país, esto independientemente de que lo solicite o no un cliente particular, o lo puedan desarrollar empresas con fines de lucro.

La importancia de este proyecto se resume de la manera siguiente:

- **Brinda a los interesados un documento que reúna el "estado del arte" a nivel nacional** en materia de investigación en el uso y aplicaciones del concreto hidráulico. En especial para ser utilizado como material de consulta para los estudiantes de Ingeniería Civil.
- Provee información actualizada para direccionar estudios tendientes a reproducir en laboratorio nuevos concretos o concretos modificados que empleen materia prima nacional y que sean factibles de elaborar y aplicar atendiendo a nuestras limitantes tecnológicas.

El estudio del concreto abarca una gran cantidad de factores que afectan en mayor o menor medida la calidad final que se alcance y que inciden de diferente forma según el ambiente en que se construya la estructura, por lo que cada uno de estos debe ser considerado con la debida profundidad. Este trabajo sirve entonces como material para consulta que facilita el comprender que características se deben de tomar en cuenta y los factores que inciden en el comportamiento y durabilidad del concreto.

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo general***

Elaborar un documento técnico que facilite la escogencia del tipo de concreto hidráulico a utilizar según los requerimientos estructurales y constructivos de la obra, y las condiciones ambientales a que estará sometido.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- Construir un marco histórico que muestre cómo ha evolucionado el concreto hidráulico al transcurrir el tiempo y hasta el presente.
- Realizar una caracterización de diferentes opciones de concreto que se pueden producir a la luz del conocimiento actual en este campo.
- Elaborar fichas técnicas que faciliten la consulta de información para cada tipo de concreto hidráulico incluido en este trabajo, así como una matriz de selección del tipo de concreto según la característica que especifique el usuario.
- Realizar un compendio de resultados relevantes obtenidos en diversos trabajos de investigación que se ha llevado a cabo en Costa Rica, referentes al concreto hidráulico.
- Presentar diferentes opciones para la determinación de las proporciones a usar en mezclas de concreto hidráulico.

## **1.3. Alcances y limitaciones**

### ***1.3.1. Alcances***

Se compiló de manera teórica lo referente a los estudios y aplicaciones de diversos tipos de concreto en Costa Rica. Para esto se consideró tanto material disponible en bibliotecas, empresas y sitios de internet.

A nivel nacional, se revisó el material existente en bibliotecas, principalmente en la Universidad de Costa Rica (Biblioteca Luis Demetrio Tinoco), en el Instituto Tecnológico de Costa Rica y en el Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto (ICCYC), ya que no fue posible obtener información de los Centros de documentación de HOLCIM y CEMEX.

Además, se consultaron sitios de internet (en español e inglés) para abarcar el tema a nivel internacional y así poder dar una caracterización de las diferentes opciones de concreto que se pueden producir a la luz del conocimiento actual en este campo.

### ***1.3.2. Limitaciones***

La mayor limitación se dio al tener escasa o nula colaboración por parte de las empresas productoras de concreto, lo que impidió el complementar el trabajo con datos de campo para valorar cuál ha sido el comportamiento del concreto colocado a lo largo del tiempo.

Además la necesidad de consultar varias fuentes de información para lograr una caracterización lo más completa posible sobre cada tipo de concreto.

## **1.4. Metodología**

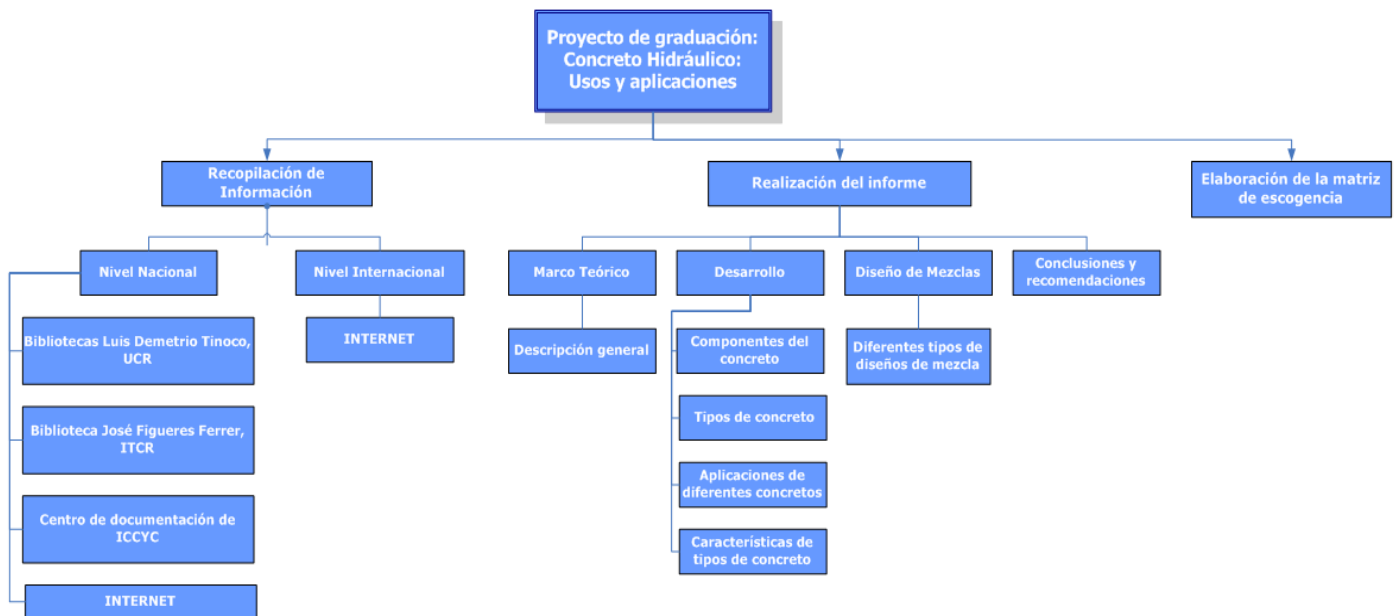
Este trabajo de investigación conllevó una búsqueda y revisión exhaustivas de información, tanto a nivel nacional como internacional.

A partir del estudio de esta información se construyó un marco histórico que muestra la evolución del concreto y se estructuraron los fundamentos teóricos bajo un enfoque de material de apoyo para el estudio del concreto hidráulico.

Por otra parte, con el fin de presentar diferentes opciones para la determinación de las proporciones a usar en mezclas de concreto hidráulico, se investigó, sobre diferentes formas de realizar el diseño de mezcla, en el que se involucra el establecimiento de características específicas y la elección de proporciones de los materiales disponibles para la producción del concreto con las propiedades requeridas y la mayor economía.

Finalmente, el trabajo se complementó con la elaboración de una matriz en el programa Microsoft Excel, que tiene como fin agilizar la selección del tipo de concreto a utilizar, por medio de características como resistencia, tiempo de fraguado, curado y usos.

Todo esto se puede observar en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 1.2.



**Figura 1.2. Metodología del trabajo final de graduación  
Concreto Hidráulico: Usos y aplicaciones  
Fuente: Torres**

### 1.5. Historia

Este apartado se apoya en información recopilada a partir de diferentes artículos técnicos que, en mayor o menor alcance, se refieren a la evolución del concreto como material para la construcción.

De acuerdo con la investigación realizada, el inicio del uso del concreto se puede situar cuando el ser humano empieza a utilizar materiales arcillosos o pétreos para obtener pastas o morteros que permitieran unir elementos y poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias atmosféricas, por lo que se idearon diversas soluciones, mezclando agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradasen fácilmente.

En las regiones de Israel y la antigua Yugoslavia, se encontraron vestigios de los primeros pisos de concreto a partir de calizas calcinadas que datan de los años 7000 a. C. y 6000 a. C. respectivamente.

Cerca del año 2500 a. C., se emplearon mezclas de calizas y yesos calcinados para pegar los grandes bloques de piedra que se utilizaron para la construcción de las pirámides de Giza en Egipto, conformada por las pirámides de Cheops, Chefrén y Miserino. Se dice también que los babilonios utilizaron materiales bituminosos en sus muros.

En el año 1950 a. C. se emplearon mezclas similares para rellenar muros de piedra, así se construyó el mural de Tebas en Egipto; años después estas mezclas empezaron a ser utilizadas como material estructural.

En el siglo VII a.C, en la Isla Griega Santorín, se usó una tierra volcánica para hacer más resistentes al agua las argamasas de cal destinadas al revestimiento de cisternas, pero se reconoce que fueron los romanos los primeros que sustituyeron ventajosamente los morteros hechos de cal y arena, heredados de los griegos y los etruscos, por morteros hechos de cal y

ceniza volcánica, constituyendo de este modo los primeros cementos verdaderamente hidráulicos que éstos usaron extensamente en sus obras, principalmente de contacto permanente con el agua, y que a pesar de la acción del tiempo aún perduran como prueba de calidad.

Entre dichas obras son de mencionarse, los acueductos en el occidente de Alemania y en los Países Bajos, las obras marítimas en los Puertos de Ostia, Brindisi, Pozzuoli, Leptis agna, Cyrene y obras miseláneas de impermeabilización como las cisternas de la Isla Santorín y la **"Piscina Mirabilis" del César, en Baja.**

En todas ellas se emplearon materiales puzolánicos de origen volcánico como la toba de la **Ribera Occidental del Rhin, conocida por "Trass", la toba riolítica de la Isla de Santorín o las tobas fonolíticas del Vesubio** de las que formaban parte los grandes depósitos de Pozzuoli.

En el Mediterráneo occidental y alrededores, cerca del año 500 a. C., los antiguos griegos mezclaron compuestos basados en caliza calcinada (cal viva) y agua a la cual se adicionaba arena, para recubrir y unir piedras y ladrillos no cocidos, llegando a mencionarse que los palacios de Cresos y Atala fueron construidos de esta forma. La adición a estas mezclas, de piedra triturada, tejas rotas o ladrillo, dieron origen al primer hormigón de la historia.

En el año 300 a. C. la civilización romana copió algunas técnicas para construir varias de sus obras, entre ellas el Foro Romano.

Durante el siglo II a. C. en la población de Pozzuoli, mezclando caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico se desarrolló el cemento puzolánico. Esta mezcla fue empleada para la construcción del Teatro de Pompeya en el año 75 a. C.

Posteriormente, utilizando rocas de origen volcánico como agregado liviano y jarrones de barro incrustados para aligerar el concreto, se construyó el Coliseo Romano en el siglo I d. C. y el domo del Panteón con 50 m de diámetro en el siglo II d. C.

Con la caída del imperio romano declinó el uso del hormigón y muchos de los conocimientos desarrollados desaparecieron completamente. La técnica comenzó a ser recobrada en Inglaterra alrededor del año 700 d.C, cuando se construyeron en Saxon elementos mezclados de hormigón, encontrándose que empleaban en la fabricación del hormigón y del mortero caliza como agregado y cal quemada como cementante.

Los Normandos, en el siglo VIII d. C. emplearon hormigón como material llenante en muros que luego eran recubiertos con piedra, ejemplo de ello es la abadía de Reading en la región de Berkshire, donde el recubrimiento de piedras cayó totalmente y dejó al descubierto el esqueleto en hormigón.

Después del siglo XII, mejoró la calidad del concreto y de nuevo se utilizó, gracias a una mejora en la calcinación de la cal y al uso de algún material similar en propiedades a las tobas volcánicas. El Trass de Andernach, junto al Rhin, es una obra de esta época construída con el material descrito.

En el siglo XIII, la mezcla de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos es utilizada para los cimientos de la Catedral de Salisbury y en la Torre de Londres en Inglaterra.

Ya en el siglo XVIII, se despierta el interés por el conocimiento de los cementos; hasta ese momento, los únicos conglomerantes empleados en la construcción habían sido los yesos y las cales hidráulicas.

John Smeaton, ingeniero de Yorkshire (Inglaterra), al reconstruir en 1758 el faro de Eddystone en la costa de Cornish, se encuentra con que los morteros formados por puzolanas y calizas con alta proporción de arcilla eran los que mejores resultados daban frente a la acción de las aguas marinas, y que la presencia de arcilla en las cales no las perjudicaba sino que por el contrario, las mejoraba, haciendo que estas cales fraguasen bajo el agua y que una vez endurecidas fuesen insolubles en ella. En el año de 1876 una parte de la estructura se debilitó y el faro fue reemplazado por uno más grande. La cimentación del faro todavía permanece en su sitio, después de más de 250 años de construída.



En siglo XIX, se da un intenso desarrollo de la construcción de ferrocarriles, puentes, diques, entre otras obras y en la segunda mitad de este siglo, las fábricas de cemento natural, cementos producidos por calcinación de una mezcla natural de sustancias calcáreas y argiláceas (roca compuesta esencialmente de arcillas, tales como lutitas, pizarras, argilitas, entre otros), a una temperatura por debajo de aquella en que sucede la aglomeración, empiezan a extenderse.

En 1811, Edgar Dabbs, obtuvo una patente para producir concreto empleando arcilla y polvo de los caminos y cal.

En 1824, Joseph Aspdin, en Inglaterra, influido por los trabajos de Dabbs, daba el nombre de cemento portland y patentaba un material que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland.

En 1825, el primer concreto moderno producido en América se utiliza en la construcción del canal de Erie. Se utilizó el cemento hecho de la cal hidráulica encontrada en los condados de Madison en Nueva York, de Cayuga y de Onondaga.

La primera referencia conocida sobre el uso de concreto reforzado es entre 1832 y 1835, cuando Sir Marc Isambard y Francois Martin Le Brun erigieron, en Inglaterra y Francia, respectivamente, estructuras de este material tales como arcos y edificaciones.

En 1835, se empleó por primera vez el concreto a gran escala para la construcción de muros, tejas, marcos de ventana y trabajos de decoración en una edificación para vivienda en Swanscombe, Inglaterra.

En 1838 Brunel emplea por primera vez un cemento procedente de la fábrica de Aspdin, en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres.

Luego en 1845, Isaac Johnson realiza un prototipo del cemento moderno, logrando conseguir temperaturas suficientemente altas y clinkerizar la mezcla de arcilla y caliza empleada como

materia prima. Tomando como base los experimentos de Johnson, la fabricación de cemento Portland se inició en varias plantas, no solo en Inglaterra, sino también en toda Europa.

La invención del hormigón armado se suele atribuir al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego. El francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860, pero fue François Hennebique quien ideó un sistema convincente de hormigón armado, patentado en 1892, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895.

En Francia, en 1887 fue desarrollado el primer cemento blanco y en Estados Unidos, en 1903 fue perfeccionado logrando un portland blanco de mayor calidad.

Ya en el siglo XX se da el auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Louis Vicat con Henry Le Chatelier y el alemán Michaélis, quienes logran cemento de calidad homogénea. Con la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular, pudo producirse el cemento *Portland* en cantidades comerciales, ya que el sistema agiliza el proceso de calcinación y molienda de la caliza, y los métodos de transportar hormigón fresco ideado por Juergen Hinrich Magens, quien hizo transportar el primer m<sup>3</sup> de concreto, producido en una planta mezcladora estacionaria, en un vehículo especial tirado por caballos una distancia de 11 km, que patenta entre 1903 y 1907.

En 1900 se inició la producción de concretos con fibras de asbestos, pero el uso de fibras como refuerzo en el concreto se remonta a tiempos de los Romanos. Ellos fueron los primeros en usar matrices reforzadas con fibras. Las fibras que emplearon fueron entre otras el pelo de caballo y el yute.

La fibra de acero se utiliza desde el año de 1910. La forma en que las fibras trabajan dentro de la matriz es por tensión. Su mecánica es compleja, su distribución es al azar y además intervienen muchos factores, tales como: el espacio que queda entre una y otra fibra, la composición del material, el porcentaje de fibras que se va a usar, el tipo de fibras, el peso de la misma, entre otros.

Hasta 1930, se dispuso en el mercado de un único tipo de cemento *Portland*, sin embargo, las necesidades del mercado, llevaron a desarrollar otros tipos de cemento.

Durante el periodo de 1940 a 1970, la disponibilidad de los cementos portland de alta resistencia temprana permitió el uso de alto contenido de agua en las mezclas de concreto que eran fáciles de manejar. Este enfoque, sin embargo, condujo a serios problemas en la durabilidad de las estructuras, especialmente en aquellas sometidas a exposiciones ambientales severas.

En Rusia cerca del año 1950, se da la utilización de las fibras de vidrio corriente, pero no dio buen resultado, por el ataque químico que le causa el álcali del cemento. En un principio se creyó que el problema de la desintegración de la fibra se debía a la alta temperatura que alcanza el cemento en contacto con el agua, y fue por eso que se impregnó en borosilicato; pero los resultados obtenidos no fueron los esperados.

Se sigue estudiando el uso de aditivos y en la década de 1960, especialmente por el desarrollo del concreto premezclado, se llevaron a cabo investigaciones para el desarrollo de una nueva generación de aditivos con elevados niveles de reducción de agua en las mezclas de concreto, que fueron denominados superplastificantes o aditivos reductores de agua de alto rango.

En 1968, el inglés A.J.Majundar le adicionó zirconium a las fibras de vidrio, dándole una verdadera solución al problema del álcali del cemento. Esta fibra impregnada en zirconium es la que se usa para reforzar concretos con fibra de vidrio hoy día.

Luego se consideraron los aditivos inclusores de aire, los cuales mejoraban la resistencia del concreto en zonas afectadas por fríos extremos o heladas. Comercialmente se produjeron gran cantidad de aditivos inclusores de aire con base en materias primas de muy baja calidad. Dos de los más comunes eran los elaborados con base en resinas de pino y otras con subproductos del refinamiento del petróleo a las que se les adicionaba triethanolamina.

En los años 1970, los aditivos permiten obtener hormigones de alta resistencia. Para esta época, muchos de los químicos utilizados tendían a retardar el fraguado y es por eso que la gran mayoría de los aditivos en el mercado son clasificados como retardantes y reductores de agua.

Finalmente, en este siglo, el uso de materiales reciclados como ingredientes del concreto está ganando popularidad. Los más utilizados son las cenizas volantes que se utilizan como sustitutos del cemento y reducen la cantidad necesaria de éste para obtener un buen concreto. Como la producción de cemento genera grandes volúmenes de dióxido de carbono, la tecnología de sustitución del cemento desempeña un importante papel en los esfuerzos por aminorar las emisiones de dióxido de carbono.

Hoy, con ayuda de los aditivos existen muchos tipos de concreto, desde el concreto pobre para un sello que soportará una cimentación sencilla hasta el concreto de alta resistencia usado por ejemplo en represas, puentes y similares.

El concreto es entonces un material de construcción universal, que ha sido utilizado de diversas maneras por miles de años.

En la Figura Ap.1 del Apéndice 1 se muestra una línea de tiempo que ejemplifica la evolución del concreto desde su primera ubicación histórica y hasta la fecha.

## **Capítulo 2. Fundamentos del concreto**

El concreto es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena, piedra y en algunos casos aditivos. Es un material durable, resistente y dado que se trabaja en forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma.

El concreto es una roca creada por el ser humano, diseñada y producida de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con características determinadas, que tiene una alta resistencia a la compresión, pero una baja resistencia a la tracción, por lo que se refuerza con varillas de acero para que sean éstas las que soporten esos esfuerzos.

La dosificación y la producción del concreto requieren del cumplimiento de normas y especificaciones para obtener un producto de calidad adecuada, entre las usadas en nuestro país están:

- American Society for Testing and Materials, ASTM por sus siglas en inglés, que vela por la producción de concreto y la calidad de los agregados
- American Concrete Institute, ACI por sus siglas en inglés, que tiene normas para la dosificación del concreto
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, que promueve el mejoramiento de la calidad de los procesos, productos y servicios diseñados, fabricados, transformados, utilizados o vendidos en el país, sean ellos nacionales o importados

En este capítulo se dan los fundamentos básicos necesarios para entender el comportamiento de diferentes tipos de concreto, conociendo cada uno de sus componentes y sus características.

## **2.1. Componentes del concreto**

Para interpretar el comportamiento de un material compuesto, se requiere un conocimiento de las características de sus componentes, por otro lado, la calidad final depende en gran parte de la buena elección de éstos, de ahí la importancia de caracterizar cada uno de estos componentes; a saber: cemento Portland, agregados (piedra y arena), agua y aditivos.

Dentro de los componentes principales del concreto están:

### **2.1.1. Cemento Portland**

Los cementos, en general, son conglomerados hidráulicos, o sea, productos que mezclados con agua forman pastas que fraguan y endurecen, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto en el aire, como bajo el agua.

La clasificación de un cemento puede realizarse en función de:

- La naturaleza de sus componentes
- Su categoría resistente
- O, por sus características especiales

Los cementos Portland usados para la producción de concreto hidráulico se obtienen mezclando proporciones exactas de materiales calcáreos y argiláceos (roca sedimentaria clástica compuesta esencialmente de arcillas, tales como lutitas, pizarras, argilitas, entre otros). Luego, la mezcla se calcina en un horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente 1500 °C, con lo que se forman esferas duras, llamadas *clinker* o escoria. En seguida se muele el *clinker* junto con un retardador (generalmente roca de yeso) hasta convertirlo en polvo finísimo, que se conoce como cemento *Portland* (Merritt, 2004).

Según la *Especificación estándar para cemento Portland (ASTM C 150)*, se definen ocho tipos de cementos, como se muestra en el Cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1.** Uso principal de los distintos tipos de cemento Portland

| <b>Cemento Portland</b> | <b>Uso principal</b>   |
|-------------------------|--|
| Tipo I                  | Uso general en construcción, cuando propiedades especiales no son requeridas.  |
| Tipo IA                 | Para los mismos usos que el tipo I, pero con inclusores de aire.   |
| Tipo II                 | Uso general, cuando se requiere una resistencia moderada al ataque de sulfatos o un calor de hidratación algo menor que el tipo I. |
| Tipo IIA                | Para los mismos usos que el tipo II pero, con inclusores de aire.  |
| Tipo III                | Para usos cuando se requiera una resistencia temprana alta. Tiene alto calor de hidratación.                                       |
| Tipo IIIA               | Para los mismos usos que el tipo III, pero con inclusores de aire.   |
| Tipo IV                 | Para usos cuando se requiere bajo calor de hidratación.  |
| Tipo V                  | Para usos cuando se requiere alta resistencia al ataque de sulfatos.   |

**Fuente:** Muñoz, 1998

El cemento tipo I, de uso general, se utiliza en casi todas las aplicaciones estructurales ordinarias.

Las especificaciones químicas de este tipo de cemento se limitan a su contenido de magnesio y trióxido de azufre y a sus pérdidas por combustión, ya que éste material está muy bien definido por sus características físicas. Sus empleos en concreto incluyen pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tanques, embalses, tubería, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado.

El cemento tipo II es un material con un contenido ligeramente menor de aluminato tricálcico ( $Ca_3Al$ ) que le brinda una resistencia moderada al ataque de sulfatos y un calor de hidratación moderadamente bajo. Estas características se logran mediante ciertas limitaciones impuestas al contenido de silicato tricálcico ( $C_3S$ ) y aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) al cemento, ya que estos compuestos liberan alto contenido de calor durante la reacción (de 120 cal/g y 207 cal/g respectivamente), lo que propensa la formación de grietas. Este tipo de cemento adquiere su resistencia con un poco más de lentitud que el tipo I, aunque los resultados finales son similares. Se lo puede utilizar en estructuras normales o en miembros expuestos a suelos o agua subterránea, donde la concentración de sulfatos sea más alta que la normal, pero no severa.

El cemento tipo III adquiere una considerable resistencia en muy corto tiempo. En tan solo tres días, la resistencia del concreto elaborado con este tipo de cemento es prácticamente igual a la del concreto con 28 d de fraguado hecho con los cementos tipos I y II. Este fraguado más rápido se logra moliendo a un grano más fino los materiales e incrementando el contenido de  $C_3S$  y el  $C_3A$  del cemento. Sin embargo, el tipo III genera una enorme cantidad de calor durante el fraguado y, por consiguiente, no se debe usar en elementos masivos.

El cemento tipo IV es un material que genera muy poco calor y está diseñado para la construcción de elementos masivos de concreto. Se usa donde se deban minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación. Por lo tanto, este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que otros tipos de cemento.

El cemento tipo V es un aglomerante especial destinado a estructuras que requieran alta resistencia al ataque de sulfatos. Dicha resistencia se logra limitando el contenido de  $C_3A$  del cemento, ya que el  $C_3A$  más los sulfatos presentes en el ambiente marino forman sulfoaluminato lo que provoca la expansión del concreto y por ende la formación de grietas. Este tipo es particularmente adecuado en estructuras sujetas al ataque de soluciones que contienen sulfatos, como el agua de mar y ciertas aguas duras.

En Costa Rica, en el año 2005 se publica en el Diario Oficial La Gaceta (No. 49 del 10-03-2005), el *Reglamento Técnico RTCR 383:2004 Cementos hidráulicos y Especificaciones*, cuyo objetivo es establecer los parámetros y especificaciones de calidad de los cementos hidráulicos y de los componentes de éstos, que normalmente se usan en el territorio nacional, sean producidos localmente o importados. Además de establecer la clasificación de dichos cementos por tipos, con sus respectivas especificaciones.

En este reglamento se toma como referencia las normas que se indican en el Cuadro 2.2:



**Cuadro 2.2.** Normas de referencia según el Reglamento Técnico Costa Rica RTCR 383:2004

| <b>Designación</b>    | <b>Título de la norma</b>   |
|-----------------------|---|
| ASTM C 109 M-01       | Método estándar de la prueba para la fuerza compresiva de los morteros de cemento hidráulico.             |
| ASTM C 114-03         | Método de análisis químico para el cemento hidráulico.  |
| ASTM C 151-00         | Método de prueba para la expansión en autoclave del cemento <i>Portland</i> .                             |
| ASTM C 183-02         | Práctica para el muestreo y la cantidad de pruebas del cemento hidráulico.                                |
| ASTM C 185-02         | Método de prueba para contenido de aire en el mortero con cemento hidráulico.                             |
| ASTM C 191-03         | Método de prueba para el tiempo de fragua por aguja VICAT.  |
| ASTM C 204-00         | Método de prueba para la determinación de la finura por medio del aparato permeabilímetro.                |
| ASTM C 465-99         | Especificaciones para el procesamiento de aditivos en el uso de la manufactura de cementos hidráulicos.   |
| ASTM C 150            | Especificaciones estándar para cemento Portland.  |
| ASTM C 187-98         | Método de prueba para la consistencia normal del cemento hidráulico.                                      |
| ASTM C 188-95         | Método de prueba para determinar la densidad del cemento hidráulico.                                      |
| ASTM C 219-03         | Terminología relacionada con cementos hidráulicos.  |
| ASTM C 430-96         | Método de prueba para determinar la finura de cemento hidráulico utilizando la malla No. 325.             |
| ASTM C 1157-02        | Especificaciones de desempeño para cementos hidráulicos mezclados.  |
| ASTM C 595-03         | Especificaciones estándar para cementos mezclados.  |
| NMX-C-414-ONNCCE-1999 | Norma Mexicana, Industria de la construcción-cementos hidráulicos – especificaciones y métodos de prueba. |
| UNE-EN 17-1-2000      | Para cementos comunes del Instituto de normalización de Madrid.   |

**Fuente:** Diario Oficial La Gaceta, 10 de marzo de 2005

La clasificación de los cementos, según su naturaleza, es especificada en este reglamento como se muestra en el Cuadro 2.3.

**Cuadro 2.3.** Clasificación de los cementos según la norma RTCR 383:2004

| <b>Tipo</b>                                   | <b>Descripción</b>  |
|---|---|
| I-RTCR  | Cemento <i>Portland</i> (que cumple con las especificaciones físicas de la norma ASTM C150 para el cemento tipo I), cemento hidráulico producido al pulverizar clinker y una o más formas de sulfato de calcio como adición de molienda.  |
| MP-RTCR                                       | Cemento hidráulico modificado con puzolana que consiste en una mezcla homogénea de clinker, yeso y puzolana (y otros componentes minoritarios), producido por molienda conjunta o separada.   |
| MS-RTCR                                       | Cemento hidráulico modificado con escoria que consiste en una mezcla homogénea de clinker, yeso y escoria granulada de alto horno (y otros componentes minoritarios), producido por molienda conjunta o separada.   |
| UG-RTCR                                       | Cemento hidráulico de uso general que consiste en una mezcla homogénea de clinker, yeso y otros componentes minerales, producido por molienda conjunta o separada.  |
| Modificaciones                                | <p>Los cementos hidráulicos pueden incluir las siguientes modificaciones, opcionales, las cuales deberán ser indicadas en su empaque respectivo:</p> <p>A: cemento hidráulico con resistencia al congelamiento (mediante dispersión de burbujas de aire en el concreto producido).</p> <p>AR: cemento hidráulico de alta resistencia inicial.</p> <p>AS: cemento hidráulico de alta resistencia a los sulfatos.</p> <p>BL: cemento blanco. Aquel cemento que cumpla con un índice de blancura superior a 85 en el parámetro *L, de acuerdo a la norma UNE 80305:2001 (establecida por las coordenadas CIELAB).</p> <p>BH: cemento hidráulico de bajo calor de hidratación (en caso de requerirse una mayor cantidad de puzolana debe estar adecuadamente indicada, así como debe existir una especificación aprobada por el cliente).</p> <p>BR: cemento hidráulico de baja reactividad a los agregados reactivos a los álcalis (deben cumplir con los parámetros para baja reactividad a los agregados reactivos a los álcalis).</p> <p>MH: cemento hidráulico de moderado calor de hidratación.</p> <p>MS: cemento hidráulico de resistencia moderada a los sulfatos.</p> |
| Cemento de albañilería / Cemento para mortero | <p>Cemento hidráulico, usado principalmente en albañilería o en preparación de mortero el cual consiste en una mezcla de cemento hidráulico o tipo Portland y un material que le otorga plasticidad (como caliza, cal hidráulica o hidratada) junto a otros materiales introducidos para aumentar una o más propiedades, tales como el tiempo de fraguado, trabajabilidad, retención de agua y durabilidad.</p> <p>Este cemento debe cumplir con la norma ASTM C-91 (cemento de albañilería) y ASTM C-1329 (cemento para mortero) en su última versión.</p>   |

**Fuente:** Diario Oficial La Gaceta, 10 de marzo de 2005

### **2.1.2. Agregados**

Los agregados constituyen la mayor parte del volumen del concreto y son responsables de buena parte de las características del mismo, pues comprenden entre el 70 % y 85 % de su masa total.

Los agregados gruesos o piedra consisten en una grava o combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas generalmente se encuentran entre 9,5 mm y 38 mm.

Los agregados finos o arena consisten en arena natural o piedra triturada, con partículas menores a 5 mm, aunque en el país se comercializa también arena de 6 mm.

Inicialmente, se tenía la creencia que los agregados se incorporaban a las mezclas de concreto básicamente por razones de economía, se les consideró como elementos inertes dentro del concreto ya que no intervenían directamente dentro de las reacciones químicas, sin embargo, con ayuda de la tecnología se establece que sus propiedades y características sí influyen en el concreto, no sólo en el acabado final y calidad, sino también, sobre la trabajabilidad y consistencia en el estado plástico, así como la durabilidad, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido.

Las pruebas experimentales han demostrado su gran importancia en la resistencia y trabajabilidad de las mezclas; en el primer caso atribuido al agregado grueso y, en el segundo, al agregado fino. Además los agregados contribuyen en la reducción de las contracciones durante el secado (cuando no son químicamente activos). Los agregados de buena calidad aumentan la durabilidad del concreto y, en concreto expuesto, la selección adecuada del agregado permite obtener acabados de singular belleza estética (Muñoz, 1998).

Los agregados deben estar constituidos por partículas duras, de forma adecuadas, sin formas largas o aplanadas, inertes y no reactivas con los álcalis del cemento. Además, no deben contener arcillas, limos ni materias orgánicas. En general, los agregados de baja densidad son poco resistentes y porosos.

También son importantes en cualquier aglomerado la limpieza, resistencia y granulometría. Para casi todos los fines, el aglomerado debe estar libre de arcilla, limo, materia orgánica y sales.

En el concreto en estado fresco, las partículas con textura áspera, angulares o alargadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos.

La cantidad de vacíos de los agregados fino y grueso compactados se puede usar como un índice de las diferencias en la forma y la textura de los agregados con la misma granulometría. La demanda de agua de mezcla y cemento normalmente aumentan con el aumento de la cantidad de vacíos. Los vacíos entre las partículas de agregados aumentan con la angularidad del agregado, por lo tanto el agregado debe ser relativamente libre de partículas planas y alargadas.

En el concreto endurecido, la adherencia entre la pasta de cemento y un determinado agregado generalmente aumenta con el cambio de partículas lisas y redondeadas por las ásperas y angulares. Cuando la resistencia a flexión es importante o cuando se necesite alta resistencia a compresión, se debe considerar este aumento de la adherencia al elegirse el agregado para el concreto.

Además, las partículas de agregado angulares requieren más cemento para mantener la misma relación a/c.

### **2.1.3. Agua**

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante.

La utilización del agua tiene fundamentalmente tres propósitos:

- Como agua de mezclado: forma aproximadamente el 15 % del volumen total del concreto, de donde un 5 % sirve para hidratar el cemento y el 10 % restante lubrica

al concreto siendo el responsable de la manejabilidad, evaporándose durante el proceso de fraguado

- Como agua de curado: se utiliza después de que el concreto ha fraguado teniendo como funciones la de seguir hidratando el cemento y la de controlar el calor de hidratación
- Como agua de lavado de los agregados: no participa activamente en la mezcla de concreto, pero es importante para el procesamiento de los agregados.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua que debe usarse debe estar lo suficientemente limpia, libre de impurezas, de aceite, materia orgánica, y sustancias que puedan afectar el endurecimiento, curado o la calidad del concreto. En general, el agua potable es la adecuada para la realización de las mezclas.

Según Kosmatka (2004), el exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo y reducción de la durabilidad.

Por otra parte, a medida que se aumente la cantidad de agua, la pasta de cemento se diluye, el concreto se hace más trabajable, sin embargo su resistencia y durabilidad disminuyen.

### **2.1.4. Aditivos**

Según la norma ASTM C125, un aditivo es **un** "material diferente al agua, agregados y cemento hidráulico que se utiliza como componente del concreto o mortero y que se agrega **a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado**".

Los aditivos se incorporan al concreto en una proporción inferior al 5 % de la masa del cemento, para modificar alguna de sus características, propiedades o comportamiento en estado fresco o endurecido.

La ASTM C94 clasifica los aditivos químicos para concreto de la manera siguiente (Muñoz, 2012):

| Tipo | Función                                     |
|------|---|
| A    | Reductor de agua                            |
| B    | Retardador de fraguado                      |
| C    | Acelerador de fraguado                      |
| D    | Reductor de agua y retardador               |
| E    | Reductor de agua y acelerador               |
| F    | Reductor de agua de alto rango              |
| G    | Reductor de agua de alto rango y retardador |
| S    | De alto desempeño                           |

Por otro lado, en el ACI 212: *Guía para el empleo de aditivos*, hay una clasificación desde el punto de vista funcional, en donde se dan razones para usar aditivos (ver Cuadro 2.4)

**Cuadro 2.4.** Razones para usar aditivos según ACI 212: Guía para el empleo de aditivos

|   |  |
|---|--|
| Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad. | Reducir o evitar el asentamiento o para originar una leve expansión en el concreto o mortero, usados para rellenar huecos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria, columnas, o para rellenar ductos de cables de concreto pos tensado o vacíos en agregado pre colocado. |
| Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.                          | Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.  |
| Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.   | Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos.   |
| Retardar o acelerar el fraguado inicial.  | Para producir concreto celular.  |
| Retardar o reducir el desarrollo de calor.  | Aumentar la adherencia del concreto y el acero.  |
| Modificar la velocidad o la aptitud de exudación o ambos.   | Aumentar la adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo.  |
| Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.  | Obtener concretos o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas   |
| Mejorar la penetración y el bombeo.   | Aumentar la resistencia.   |
| Reducir el flujo capilar de agua.   | Producir concreto o mortero de color.  |
| Reducir la permeabilidad a los líquidos.  | Reducir el costo de la construcción de concreto.   |

**Fuente:** A partir de Sánchez, 2011.

En relación con los aditivos y sus funciones, algunos autores señalan aspectos importantes a considerar previo a su empleo en la producción de concreto. En el Cuadro 2.5 se citan aquellos que se han considerado de interés para este trabajo.

**Cuadro 2.5.** Aspectos a considerar en los aditivos antes de su aplicación en una mezcla de concreto

| Tipo de aditivo                                      | Aspectos a considerar previo al empleo   |
|--|--|
| Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire) | El uso de estos aditivos debe limitarse a los casos en que su uso sea inevitable, por razones de durabilidad en concretos sujetos a congelamiento – deshielo y para proteger el concreto contra el ataque de los sulfatos, debido a que reducen la resistencia mecánica del concreto. Por cada 1 % en la inclusión de aire, la resistencia se reduce en un 5 % (Sáenz, 1987).  |
| Aditivos reductores de agua                          | Producen aumentos en la resistencia sin afectar la velocidad de hidratación de la pasta cemento. Permiten lograr reducciones de hasta 10 % del contenido de agua de la mezcla, compensando esta disminución en volumen con agregado fino (Sáenz, 1987).  |
| Plastificantes (fluidificantes)                      | Estos aditivos se adicionan al concreto de revenimiento y relación agua-cemento de bajo a normal para producir un concreto fluido, con alto asentamiento. El concreto fluido o plástico es un concreto con consistencia bien fluida, pero trabajable, y que se puede colocar con poca o ninguna vibración o compactación mientras que se lo mantiene prácticamente libre de sangrado (exudación) o segregación excesivas (Kosmatka, 2004). |
| Aditivos aceleradores (acelerantes)                  | Los acelerantes pueden ser de dos tipos, los que su composición base son cloruros y los exentos de cloruros. Los primeros pueden atacar a las armaduras con la mínima presencia de humedad, por lo que sólo se deben emplear en concretos en masa (Talavera, 2004).  |
| Aditivos retardadores (retardantes)                  | Permiten controlar la velocidad de hidratación de la pasta cemento, produciendo mezclas trabajables por un tiempo razonable sin aumento de los requerimientos de contenido de agua. La evidencia experimental muestra que produce un aumento en la resistencia proporcional a la cantidad de aditivo que se suministre (Sáenz, 1987).  |
| Aditivos de control de la hidratación                | Consisten en un estabilizador o retardador que básicamente detiene la hidratación de los materiales cementantes y un activador que, adicionado al concreto estabilizado, restablece la hidratación y el fraguado normales. El estabilizador puede suspender la hidratación por hasta 72 h y el activador se adiciona al concreto poco antes de que se lo use (Kosmatka, 2004).   |
| Inhibidores de corrosión                             | Detienen químicamente la reacción de corrosión (Kosmatka, 2004).   |
| Reductores de retracción                             | Son empleados en elementos en los cuales se deban minimizar las fisuras (grietas). Estos aditivos tienen efectos insignificantes sobre el revenimiento (asentamiento) y la pérdida de aire, pero pueden retardar el fraguado. Normalmente son compatibles con otros aditivos (Kosmatka, 2004).   |
| Inhibidores de reacción álcali-agregado              | Son sustancias químicas capaces de reducir los efectos expansivos de la reacción álcali – agregado, entre las cuales se pueden mencionar las sales de litio y bario, las proteínicas contenidas en algunos aditivos inclusores de aire, reductores de agua y retardadores (tesis.uson.mx, s.f).  |
| Aditivos colorantes                                  | Se utilizan para dar un efecto decorativo en el concreto endurecido, se recomienda usar porcentajes por peso de cemento entre 3 % y 10 %, debido a que porcentajes más altos pueden provocar disminución en la resistencia (Torres, 2000).   |
| Aditivos diversos                                    | Tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.   |

En cuanto a otros efectos posibles del aditivo en el concreto, es de tener presente que estos dependen de aspectos como el tipo, marca y cantidad del material cementante, contenido de agua, forma, granulometría y proporción de los agregados, tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

En el Cuadro 2.6 se muestra el efecto de algunos aditivos en las propiedades del concreto.

**Cuadro 2.6.** Efecto de algunos aditivos en las propiedades del concreto

| Tipo  | Reductor de agua  | Retardante  | Acelerante  | Reductor de agua y retardante   | Reductor de agua y acelerante   | Reductor de agua de alto rango  | Reductor de agua de alto rango y retardante                                    |
|---|---|---|---|---|---|---|--|
| Reducción de agua para el mismo asentamiento y contenido de aire          | Max 10 %<br>Min 5 %   |   |   | Max 10 %<br>Min 5 %   | Max 10 %<br>Min 5 %   | Max 30 %<br>Min 12 %  | Max 30 %<br>Min 12 %   |
| Manejabilidad manteniendo constante el contenido de agua de la mezcla     | Aumenta el asentamiento, mejora la manejabilidad y disminuye la segregación   |   |   | Aumenta el asentamiento, mejora la manejabilidad y disminuye la segregación | Aumenta el asentamiento, mejora la manejabilidad y disminuye la segregación | Aumenta notablemente el asentamiento, mejora la manejabilidad, sin segregación        | Aumenta notablemente el asentamiento, mejora la manejabilidad, sin segregación |
| Pérdida del asentamiento  | Aunque el asentamiento es mayor para las reducciones de agua, la pérdida de asentamiento es igual que sin aditivos, sin embargo, éstos permiten mayor tiempo de mezclado y colocación |   |   |   |   | Después de 30 a 60 minutos ocurre una rápida pérdida de manejabilidad                 |  |
| Inclusión de aire   | En general algo de aire, especialmente los lignosulfatos, por lo cual al aplicar inclusores de aire se debe reducir la cantidad de inductor de aire                                   |   |   |   |   | En general, no incluye aire   |  |
| Calor de hidratación y aumento de temperatura                             | Se obtiene más lentamente   |   | Se obtiene más temprano                           | Se obtiene más lentamente   | Se obtiene más temprano   | Se obtiene más lentamente   |  |
| Velocidad de fraguado con respecto al concreto de referencia sin aditivos | No es mas de 1 hora antes o más de 1.5 horas después  | De 1 a 3.5 horas después                                | De 1 a 3.5 horas antes                            | De 1 a 3.5 horas después  | De 1 a 3.5 horas antes  |   |  |
| Exudación   | Solo los ácidos carboxílicos aumentan la exudación. Los demás no causan este efecto en el concreto  |   |   |   |   |   |  |
| Contracción   | Aumento o disminuye de acuerdo a la composición química del aditivo. Lo único cierto es que entre menos cemento tenga el concreto, menos contracción habrá                            |   |   |   |   |   |  |
| Resistencia   | Aumenta a todas las edades  | Igual entre 16 h y 48 h, 15 % a 25 % de aumento en 28 d | Aumenta notablemente a todas las edades tempranas | Igual entre 16 h y 48 h, 15 % a 25 % de aumento en 28 d                     | Aumenta notablemente a todas las edades tempranas                           | Al reducir el agua manteniendo constante el contenido de cemento aumenta notablemente |  |
| Durabilidad   | Mejora  | Mejora  | Puede verse afectada según dosificación y tipo    | Mejora  | Puede verse afectada según dosificación y tipo                              | Mejora  |  |
| Otras propiedades   | Con todos se mejora el módulo de elasticidad y adherencia con varillas de refuerzo  |   |   |   |   |   |  |

**Fuente:** Sánchez, 2001



## 2.2. Trabajabilidad

La trabajabilidad se refiere a la capacidad del concreto de mantener su fluidez, cohesión, adherencia, entre otros. La trabajabilidad mejora cuando se tienen altas concentraciones de cemento y elevadas proporciones de arena respecto al aglomerado grueso, sin embargo, estos factores también implican altos costos y pueden ocasionar grandes cambios volumétricos. Por lo tanto, el diseñador de concretos debe lograr un equilibrio entre todos los factores que intervienen y, muy a menudo sacrificar un poco de trabajabilidad en aras de un concreto más satisfactorio con otro aspecto.

Para referirse a la trabajabilidad, se hace acotación al término consistencia. La consistencia de una mezcla de concreto se puede determinar por medio del asentamiento o revenimiento (asentamiento de cono de Abrams); así, un mayor asentamiento denota una mayor consistencia y, por ende, una mayor trabajabilidad. En el ensayo de revenimiento para una proporción dada de cemento y agregados, sin aditivos, cuanto mayor sea el revenimiento, más húmeda es la mezcla.

Según Matallana (2006), la consistencia del concreto se puede clasificar como se muestra en el Cuadro 2.7.

**Cuadro 2.7.** Clasificación del concreto hidráulico, por su consistencia

| <b>Asentamiento (cm)</b> | <b>Consistencia (tipo de concreto)</b> | <b>Grado de trabajabilidad</b> |
|--------------------------|--|--------------------------------|
| 0 – 2,0                  | Muy seca                               | Muy pequeño                    |
| 2,0 – 3,5                | Seca                                   | Pequeno                        |
| 3,5 – 5,0                | Semi seca                              | Pequeno                        |
| 5,0 – 10,0               | Media                                  | Medio                          |
| 10,0 – 15,0              | Húmeda                                 | Alto                           |

**Fuente:** Matallana, 2001

### **2.3. Densidad**

Es la relación entre la masa y el volumen que ocupa un cuerpo o una sustancia, en nuestro caso el concreto.

La densidad del concreto líquido que se elabora con agregados ordinarios, se aproxima a  $2500 \text{ kg/m}^3$ . Este valor se usa para calcular la resistencia de los encofrados y la densidad del concreto fraguado.

### **2.4. Fraguado y endurecimiento**

El fraguado es el paso del estado fluido al rígido de una mezcla de concreto, mientras que el endurecimiento se refiere a la ganancia de resistencia del concreto bajo condiciones de curado conforme transcurre el tiempo.

Ambos procesos resultan de una reacción química entre los constituyentes del cemento y el agua. Dicha reacción va acompañada por la generación de mucho calor. En condiciones normales, en un concreto estructural ese calor se elimina por conducción, radiación o convección casi con la misma rapidez con que se genera; pero cuando se cuelean grandes masas, el calor se disipa lo suficientemente rápido y puede elevar la temperatura del elemento de concreto hasta  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **2.5. Resistencia**

Del concreto se procura aprovechar la resistencia a compresión que este aporta a un elemento, y se puede definir como la medida máxima de la resistencia a una carga axial, por eso es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras.

Esta resistencia se ve modificada principalmente por la relación agua cemento ( $a/c$ ), el lapso del fraguado y el tipo de cemento, o bien, por la incorporación de algún aditivo. Pero, para

lograr la resistencia esperada es necesario el curado del concreto. En la Sección 2.9 se trata el tema de curado del concreto hidráulico.

## **2.6. Contenido de aire**

La presencia de aire en el concreto afecta su resistencia mecánica, no obstante, a diferencia del aire atrapado, la inclusión de aire intencional es una técnica que proporciona al concreto minúsculas burbujas que aparecen en estado fresco y permanece en el estado endurecido, proporcionando los espacios que servirán para absorber presiones perjudiciales debidas al congelamiento del agua al interior del concreto (Muñoz, 1998).

## **2.7. Influencia de la temperatura**

La temperatura juega un papel muy importante en la trabajabilidad del concreto, bajo condiciones de clima cálido, se requiere mayor cantidad de agua para una determinada consistencia o revenimiento.

El efecto en la demanda de agua es principalmente producido por su efecto en la velocidad de hidratación del cemento y en la tasa de evaporación del agua.

Generalmente la temperatura del concreto debe ser mantenida por encima de los 10 °C para un ritmo adecuado de desarrollo de resistencias. Además, debe mantenerse una temperatura uniforme a través de la sección de concreto, mientras está ganando resistencia, para evitar las grietas por choque térmico.

## **2.8. Vibración**

La vibración es la agitación de alta frecuencia del concreto fresco a través de aparatos mecánicos, con propósitos de consolidación.

Cuando se vibra el concreto, la fricción interna entre las partículas de agregados se destruye temporalmente y el concreto se comporta como un líquido. El concreto se fragua en las formaletas bajo la acción de la gravedad y los vacíos grandes de aire atrapado suben hacia la superficie más fácilmente. La fricción interna se restablece cuando la vibración se interrumpe.

Algunas consecuencias de la mala vibración son:

- Agujeros
- Cantidad excesiva de aire atrapado
- Juntas frías
- Agrietamiento por sedimentación o asentamiento

### 2.9. Curado

El curado es el conjunto de operaciones necesarias para evitar la evaporación o pérdida de agua de amasado del concreto, deberá realizarse de tal forma, que se evite la pérdida de humedad a través de las superficies de los elementos del concreto desde el primer momento de su colocación. Para ello podrán utilizarse distintos procedimientos tales como:

- **Aspersión, pulverización o riego con agua de las superficies**
- **Cubrimiento** con arena húmeda
- **Aplicación** de un producto de curado, membrana, o similares
- Inmersión

El curado es especialmente importante cuando se coloca concreto en condiciones climáticas severas: ambientes cálidos, secos, superficies expuestas al sol directamente, vientos, las cuales aceleran la pérdida de humedad y aumentan las posibilidades de fisuras y fracturas en el concreto.

Por el contrario, en climas fríos, deben tomarse precauciones especiales ya que la hidratación es muy lenta. Un curado adecuado implica mantener ciertas condiciones de temperatura y humedad, tanto en el interior del concreto como en las áreas expuestas.

Para que se verifique un buen curado es necesario que tanto la temperatura como la humedad se mantengan continuamente durante un tiempo adecuado. En general, el tiempo de curado requerido depende de las características del medio ambiente que rodea al elemento, las características de la obra y de la dosificación y tipo de cemento.

Para la mayoría de las estructuras expuestas a temperatura ambiente superior a 4 °C, el periodo mínimo de curado recomendado es de siete días, o el tiempo necesario para obtener el 70 % de la resistencia a la compresión especificada. Si el concreto se coloca a una temperatura ambiente de 4 °C o menos, se deben tomar las precauciones para evitar los daños por congelamiento y para que se aseguren las condiciones de hidratación del cemento (Matallana, 2006).

El curado deberá prolongarse como mínimo durante los tres primeros días, adaptándose en cualquier caso a las condiciones ambientales existentes. Como regla general, es recomendable mantener el curado durante los primeros siete días.

Según al ACI 308: curado del concreto, hay tres tipos de curados:

### **2.9.1. Curado con agua**, dentro de los cuales están:



**2.9.1.1. Anegamiento o inmersión:** consiste en la inmersión total en agua del elemento de concreto ya terminado. Se emplea cuando se trata de losas de piso, puentes, pavimentos, techos planos, es decir, en cualquier lugar donde sea posible crear un charco con un dique, evitando que se pierda el agua encharcada.

**Figura 2.1.** Curado de una losa por inmersión  
Fuente: civilgeeks.com, 2011

El agua de curado no debe ser más fría de 11 °C que el concreto, ya que los cambios de temperatura pueden causar agrietamiento.

*2.9.1.2. Rociado de neblina o aspersión:* cuando la temperatura es bastante superior a la de congelación, el rociado o aspersión mediante boquillas o aspersores, proporciona un curado excelente. Siempre que la superficie del concreto esté más fría que la atmósfera, el vapor a presión atmosférica hará que se presente sobre la superficie una película de humedad.



**Figura 2.2** Rociado con neblina  
Fuente: Kosmatka y otros, 2004

La aspersión o rociado intermitente no son recomendables cuando permiten que se seque la superficie de concreto.

El uso de mangueras es útil, precisamente para empapar superficies verticales o casi verticales pero se debe tener cuidado de no provocar erosión de dicha superficie.



**Figura. 2.3.** Curado con alfombra  
Fuente: Kosmatka y otros, 2004

*2.9.1.3 Costales, mantas de algodón y alfombras:* estas y otras cubiertas de material absorbente retendrán agua sobre la superficie del concreto sea ésta horizontal o vertical. Estos materiales deben estar libres de sustancias dañinas como azúcar o fertilizantes, que sí pueden dañar el concreto y decolorarlo.

Es ventajoso colocar los costales dobles, traslapando las tiras hasta la mitad de su ancho, lo cual proporcionará

una mejor retención de humedad y ayudará a que no se levante cuando sopla viento fuerte o lluvia.

Las mantas de algodón y las alfombras retienen el agua durante más tiempo que el costal, con menos riesgos de secarse. Se manejan igual, excepto que por su mayor peso, no se

pueden poner sobre la superficie de manera inmediata, sino que se debe esperar que el concreto tenga un mayor grado de endurecimiento.

*2.9.1.4. Curado con tierra:* el curado con tierra mojada se ha empleado especialmente en trabajos de losas y pisos. Lo esencial es que la tierra esté libre de partículas mayores a 25 mm y que no contenga cantidades peligrosas de materia orgánica u otras sustancias que puedan dañar el concreto.



**Figura 2.4.** Curado con arena  
Fuente: [www.por-box.es](http://www.por-box.es), s.f.

*2.9.1.5 Arena y aserrín:* la arena limpia y el aserrín mojado se emplean para el curado de la misma manera que la tierra. Sin embargo, el aserrín se debe emplear con cuidado ya que muchas veces contiene cantidades excesivas de ácido tánico que no se debe usar. Este ácido es usado para preservar la madera del frío, calor y lluvias y pasado cierto tiempo, puede desprenderse y decolorar el suelo subyacente y manchar la superficie.

*2.9.1.6. Paja o heno:* se deben cubrir con telas de alambre, costales u otro material para evitar que el viento las levante. Sin embargo, si se decide emplear esta técnica hay que tener presente lo siguiente: existe el peligro de incendio si se deja secar; suelen causar una decoloración en la superficie de concreto que se evidenciará hasta varios meses después de haber sido retirados. Cuando se aplican estos materiales la capa debe tener por lo menos, 150 mm de espesor.

**2.9.2 Materiales selladores:** son hojas o membranas que se colocan sobre el concreto para reducir la pérdida de agua por evaporación. Dentro de estos están:



**Figura 2.5.** Película plástica  
Fuente: enconcreto-mf.blogspot.com, 2009

*2.9.2.2 Papel impermeable:* dos hojas de papel kraft unidas entre sí mediante un adhesivo bituminoso e impermeabilizado con fibras. Deben cumplir con la norma ASTM C171. Muchas veces se utilizan las bolsas de cemento para esta tipo de curado.



**Figura 2.6.** Curado con papel kraft  
Fuente: civilgeeks.com, 2011



**Figura 2.7.** Curado con compuesto líquido formador de película  
Fuente: Kosmatka, 2004

*2.9.2.3. Compuestos líquidos para formar membranas de curado:* consisten esencialmente en ceras, resinas naturales o sintéticas, así como solventes de volatilidad elevada a la temperatura atmosférica. Se les debe proporcionar ventilación adecuada. Debe ser capaz de retener la humedad poco después de aplicarse y no debe ser perjudicial para la pasta de cemento. Los valores usuales de cobertura varían entre  $0,20 \text{ l/m}^2$  a  $0,25 \text{ l/m}^2$ . Deben cumplir con la norma ASTM C309.



**2.9.3 Curado con vapor:** es ventajoso donde sea importante el desarrollo de resistencia temprana o donde sea necesario calor adicional para que se logre la hidratación, como en el caso del clima frío. Se usan dos métodos de curado a vapor:

*2.9.3.1 Vapor directo (vivo) a presión atmosférica:* para estructuras encerradas, coladas en obra y unidades grandes de concreto prefabricado.

Se emplea comúnmente en la fabricación de productos de concreto para acelerar el desarrollo de resistencia temprana, generalmente mediante el uso de lonas.



**Figura 2.8.** Curado con vapor de vigas estructurales  
Fuente: [besser.com/kraft\\_energy/espanol/aplicaciones-hormigon-pretensado.htm](http://besser.com/kraft_energy/espanol/aplicaciones-hormigon-pretensado.htm)



**Figura 2.9.** Curado en autoclave  
Fuente: [masa-group.com](http://masa-group.com), s.f.

*2.9.3.2 Vapor a alta presión en autoclaves:* para unidades prefabricadas pequeñas.

Se emplea en la producción de algunas piezas de mampostería de concreto, tubos de asbesto cemento, así como de concreto celular de peso ligero.

Según el ACI 318, a menos que el curado se realice de acuerdo a la sección 5.11.3 (curado acelerado: curado con vapor a alta presión, vapor a presión atmosférica, calor y humedad), el concreto debe mantenerse a una temperatura por encima de 10 °C y en condiciones de humedad por lo menos durante los primeros 7 días después de la colocación (excepto para concreto de alta resistencia inicial).

**2.10. Tipos de concreto**

Gracias al avance en la tecnología en la producción del concreto, es que hoy se cuenta con la facilidad de lograr producir diferentes concretos, siendo el diseñador el responsable de brindar las proporciones adecuadas de cada uno de los componentes para alcanzar la resistencia especificada.

En la actualidad existen entonces gran variedad de concretos, según sea la necesidad y el requerimiento estructural; desde el pobre para un sello que soportará una cimentación sencilla; hasta el de alta resistencia usado por ejemplo en represas, puentes, entre otros.

Dentro de los concretos que se producen con o sin ayuda de los aditivos, están:

|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| Concreto convencional              | Concreto con polímeros                                       | Concreto ligero                                  |
| Concreto aislante                  | Concreto con puzolanas                                       | Concreto permeable                               |
| Concreto de alto desempeño (CAD)   | Concreto reforzado con fibras                                | Concreto pesado / Concreto de densidad elevada   |
| Concreto de alta resistencia (CAR) | Concreto expansivo   | Concreto resistente a la penetración de cloruros |
| Concreto autocompactante (CAC)     | Concreto de fraguado acelerado                               | Concreto resistente al ataque de sulfatos        |
| Concreto de baja permeabilidad     | Concreto de fraguado retardado                               | Concreto de polvo reactivo (CPR)                 |
| Concreto bombeable                 | Concreto de resistencia acelerada (alta resistencia inicial) | Concreto masivo                                  |
| Concreto con aire incluido         | Concreto lanzado   | Concreto con materiales reciclados               |
|                                    | Concreto translúcido   |  |

En esta sección se da una caracterización general de cada uno de estos tipos de concretos.

Como complemento, en el Apéndice 2 se incluye una matriz que se ha elaborado como parte de este trabajo, con el fin de agilizar la selección del tipo de concreto a usar según el uso previsto.

Este apartado se encuentra dividido en dos secciones, en la primera (2.10.1.) los diferentes tipos de concretos estudiados, y en la segunda (2.10.2.) los tipos de concretos con investigación en laboratorios del país.

### **2.10.1. Algunos tipos de concreto**

#### *2.10.1.1. Concreto convencional*



El concreto convencional o normal, es una mezcla de cemento Portland, arena, agregado y agua, que en estado fresco, posee suficiente tiempo de manejabilidad y excelente cohesividad en estado endurecido.

**Figura 2.10.** Aplicaciones del concreto convencional  
Fuente: Torres

Para el concreto convencional el ICCYC (2006) propone las dosificaciones que se muestran en el Cuadro 2.8 y en el Cuadro 2.9. Para estos casos, las resistencias varían entre los 7 MPa y los 42 MPa y es especificado para obtenerla a los 28 d, según criterios de aceptación del ACI 318 y ASTM C94.

**Cuadro 2.8.** Dosificación recomendada para proporciones medidas con cajón (34 cm x 34 cm x 34 cm)

| Cemento |                | Arena   |                    | Agregado grueso |                    | Agua          |
|---------|----------------|---------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| Tipo    | 1 saco (50 kg) | Tipo    | Cantidad (cajones) | Tipo            | Cantidad (cajones) | Cubeta * 19 L |
| UG      | 1              | Río     | 3                  | 19 mm río       | 2 ½                | 1 ½           |
| UG      | 1              | Río     | 2 ½                | 16 mm río       | 3                  | 1 ½           |
| UG      | 1              | Tajo    | 1 ½                | 25 mm cantera   | 2                  | 1 ½           |
| UG      | 1              | Río     | 2                  | 25 mm cantera   | 2                  | 1 ½           |
| UG      | 1              | Cantera | 2                  | 25 mm cantera   | 2                  | 1 ½           |
| UG      | 1              | Cantera | 1 ¾                | 12 mm cantera   | 2                  | 1 ½           |
| UG      | 1              | Tajo    | 2                  | 25 mm tajo      | 2                  | 1 ½           |

Notas:

- Cemento UG: cemento de uso general
- Para el agregado grueso se indica el tamaño máximo
- Es caso de necesitarse un poco más de agua, puede adicionarse hasta media cubeta, para un máximo de 2 cubetas de 19 L (5 galones)

Fuente: ICCYC, 2006

\*Entiéndase por cubeta, **el balde** de 5 galones de uso frecuente en las construcciones en Costa Rica. Se respetan las unidades de la fuente.

**Cuadro 2.9.** Dosificación recomendada para proporciones medidas con cubetas de 19 L (5 galones)

| Cemento |                | Arena   |                    | Agregado grueso |                    | Agua        |
|---------|----------------|---------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------|
| Tipo    | 1 saco (50 kg) | Tipo    | Cantidad (cubetas) | Tipo            | Cantidad (cubetas) | Cubeta 19 L |
| UG      | 1              | Río     | 6                  | 19 mm río       | 5                  | 1 ½         |
| UG      | 1              | Río     | 5                  | 16 mm río       | 6                  | 1 ½         |
| UG      | 1              | Tajo    | 3                  | 25 mm cantera   | 4                  | 1 ½         |
| UG      | 1              | Río     | 4                  | 25 mm cantera   | 4                  | 1 ½         |
| UG      | 1              | Cantera | 4                  | 25 mm cantera   | 4                  | 1 ½         |
| UG      | 1              | Cantera | 3 ½                | 12 mm cantera   | 4                  | 1 ½         |
| UG      | 1              | Tajo    | 4                  | 25 mm tajo      | 4                  | 1 ½         |

Notas:

- Cemento UG: cemento de uso general
- Para el agregado grueso se indica el tamaño máximo
- Es caso de necesitarse un poco más de agua, puede adicionarse hasta media cubeta, para un máximo de 2 cubetas de 19 L (5 galones)

Fuente: ICCYC, 2006

\*Entiéndase por cubeta, el balde de 5 galones de uso frecuente en las construcciones en Costa Rica.

En un concreto convencional, la relación a/c debería variar entre 0,40 y 0,80. Por ejemplo, para un concreto de este tipo (sin aditivo) con una relación a/c cercana a 0,60, se esperaría un revenimiento de 80 mm a 100 mm.

Este tipo de concreto posee aproximadamente un 3 % de contenido de aire y tiene un tiempo de fraguado inicial de 2,5 h y 4 h para su fraguado final. Se debe tener cuidado al compactar el concreto con vibrador durante la colocación y darle el acabado requerido a la superficie además de empezar a realizar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo y durante los primeros 7 días por lo menos para alcanzar un desarrollo óptimo de las propiedades del concreto.

Puede ser fabricado en obra mediante el uso de una batidora, o bien en planta (concreto premezclado). También se puede fabricar en obra utilizando pala para mezclar, sin embargo, esta es una práctica no recomendada.



**Figura 2.11.** Formas de realizar concreto convencional  
Modificado por: Torres

Algunos usos, así como sus ventajas y desventajas, se muestran en el Cuadro 2.10.

**Cuadro 2.10.** Concreto convencional. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas   | Desventajas   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Placas</li> <li>• Muros de contención</li> <li>• Paredes de mampostería</li> <li>• Pisos</li> <li>• Tanques</li> <li>• Gradas</li> <li>• Columnas</li> <li>• Vigas</li> <li>• Losas</li> <li>• Elementos prefabricados</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ser fabricado por los peones en la obra como en una planta (premezclado)</li> <li>• No necesita aditivos para lograr la resistencia a los 28 d</li> <li>• Presenta buena trabajabilidad</li> <li>• En iguales condiciones (geográficas, tiempo, clima) es menos costoso que otros tipos de concretos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las desventajas están asociadas al peso de los elementos que se requieren en las edificaciones, como ejemplo si las edificaciones tienen luces grandes o voladizos grandes las vigas y losas tendrían dimensiones grandes, esto llevaría a generar mayor peso de la edificación</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

2.10.1.2. *Concreto aislante*



**Figura 2.12.** La perlita de poliestireno expandido  
Tomado de: actimat.mx, 2011

El concreto aislante es un concreto ligero con densidad seca en el horno (peso volumétrico seco en el horno) de no más que  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Se produce con materiales cementantes, agua, aire, con o sin agregado fino y aditivos químicos.

En el concreto aislante, las cavidades internas de los agregados livianos permiten amortiguar las

vibraciones, atenuar ruidos aéreos e impactos por lo que funciona como material aislante térmico y acústico.

La norma ASTM C 332-99: especificación para agregados de peso ligero para concreto aislante, cubre los agregados livianos destinados para uso en concreto no expuesto a la intemperie, en el que la consideración principal es la propiedad de aislamiento térmico.

Esta norma establece dos grupos de agregados ligeros:

- ✓ Grupo I: agregados producto de la expansión, como la perlita o vermiculita (estos agregados generalmente producen concretos de densidades de  $240 \text{ kg/m}^3$  a  $800 \text{ kg/m}^3$ )
- ✓ Grupo II: agregados obtenidos por expansión, calcinación, o sintetización, como escoria de alto horno, arcilla, diatomita, cenizas volantes, esquisto o pizarra, y, agregados preparados por el procesamiento de materiales naturales como piedra pómez, escoria o toba (estos agregados generalmente producen concretos de densidades de  $720 \text{ kg/m}^3$  a  $1440 \text{ kg/m}^3$ )

Para fines de exposición, los concretos ligeros aislantes y de moderada resistencia se pueden agrupar como se muestra en el Cuadro 2.11, según Kosmatka (2004).

**Cuadro 2.11.** Clasificación por grupo de los concretos aislantes según Kosmatka

| Grupo | Tipo de agregados  | Densidad seca al horno (kg/m <sup>3</sup> )    |
|-------|--|--|
| I     | <p><u>Agregados expandidos, tales como:</u><br/> <i>Perlitas:</i> Es un mineral que aparece en la naturaleza, y tiene la propiedad poco común de expandirse muchísimo cuando se la calienta lo suficiente.<br/> <i>Vermiculitas:</i> Al elevar rápidamente la temperatura de la vermiculita se genera una expansión conocida como exfoliación, resultando un producto utilizado como agregado liviano para construcción con propiedades aislantes térmicas y acústicas, además de ser químicamente inerte.<br/> <i>Poliestireno expandido:</i> es un material plástico espumado, derivado del poliestireno, conocido en el país como estereofón.</p>   | 240 kg/m <sup>3</sup> a 800 kg/m <sup>3</sup>  |
| II    | <p><u>Agregados fabricados con materiales expandidos, calcinados o sinterizados, tales como:</u><br/> <i>Escoria de alto horno:</i> Reduce la unidad de volumen de cemento <i>Portland</i> y el mortero es menos vulnerable al álcali-sílice y al ataque de sulfato.<br/> <i>Arcilla expansiva:</i> es aquella arcilla susceptible de producir grandes cambios de volumen, en directa relación con los cambios en la humedad del suelo.<br/> <i>Diatomita:</i> la diatomea con grado de porosidad elevada o de gran poder absorbente, es muy importante en cuanto a sus cualidades como aislante.<br/> <i>Ceniza volante:</i> son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados.<br/> <i>Esquisto o pizarra:</i> rocas fuertes y duraderas, sin embargo, puede desmoronarse y permitir el paso del agua.<br/> <u>Agregados fabricados por el procesamiento de materiales naturales tales como:</u><br/> <i>Piedra pómez:</i> también conocida como puzolana, destinados a mejorar las condiciones térmicas y acústicas.<br/>                     Escoria natural de origen volcánico: material cementante que fraguan y endurecen en presencia del agua.</p> | 720 kg/m <sup>3</sup> a 1440 kg/m <sup>3</sup> |
| III   | <p><u>Concretos que se producen con la incorporación, en la pasta de cemento o en el mortero de cemento y arena, de una estructura celular uniforme de vacíos de aire obtenida con:</u><br/> <i>Espuma preformada:</i> La otra forma de inyectar el aire es mediante aire a presión "incorporado / encapsulado" con ayuda de una máquina y de un aditivo.<br/> <i>Espuma formada en el sitio o agentes especiales de espuma:</i> Consiste en añadir agentes químicos con el fin de buscar reacciones formadoras de hidrógeno en la mezcla de mortero o concreto. Al adicionar compuestos de aluminio, este reacciona con algunos componentes del cemento y forma hidrógeno el cual efervese en la masa cementante, el uso de este sistema está limitado a plantas de prefabricado y la fase de terminación, fraguado / curado; a base de autoclaves de alta o de baja presión con el fin de obtener un producto de calidad.<br/>                     ASTM C 869: proporciona los medios para evaluar el rendimiento de un agente espumante específico.<br/>                     ASTM C 796: especifica el método de prueba para agentes espumantes a ser usados en la producción de concreto celular usando espuma preformada.</p>   | 240 kg/m <sup>3</sup> a 1900 kg/m <sup>3</sup> |

Fuente: Torres

Por otra parte, el uso de agregados muy ligeros, que son por lo general naturales o minerales, junto con el aire atrapado como la espuma, puede producir concreto de resistencias muy bajas, alrededor de 7 MPa.

En el cuadro 2.12 se puede observar mezclas de concreto aislante con agregado ligero.

**Cuadro 2.12.** Ejemplos de mezclas de concreto aislante con agregados ligeros

| <b>Tipo de concreto</b>     | <b>Relación cemento Portland/agregado en volumen</b> | <b>Densidad seca al horno (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Cemento Portland ASTM tipo I (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Relación a/c en masa</b> | <b>Resistencia a compresión a los 28 d (kg/m<sup>2</sup>) en cilindros de 15 cm x 30 cm</b> |
|-----------------------------|--|--|--|-----------------------------|---|
| Perlita                     | 1:4  | 480 a 608  | 362  | 0.94                        | 28.1  |
|                             | 1:5  | 416 a 576  | 306  | 1.12                        | 22.9  |
|                             | 1:6  | 352 a 545  | 245  | 1.24                        | 15.5  |
|                             | 1:8  | 320 a 512  | 234  | 1.72                        | 14.1  |
| Vermiculita                 | 1:4  | 496 a 593  | 380  | 0.98                        | 21.1  |
|                             | 1:5  | 448 a 496  | 295  | 1.30                        | 12.0  |
|                             | 1:6  | 368 a 464  | 245  | 1.30                        | 9.1   |
|                             | 1:8  | 320 a 336  | 178  | 2.08                        | 5.6   |
| Poliestireno (de arena)     |  |  |  |                             |   |
|                             | 0 kg/m <sup>3</sup>                                  | 545  | 445  | 0.40                        | 22.9  |
|                             | 73 kg/m <sup>3</sup>                                 | 625  | 445  | 0.40                        | 28.1  |
|                             | 154 kg/m <sup>3</sup>                                | 725  | 445  | 0.40                        | 33.4  |
| 200 kg/m <sup>3</sup>       | 1:2.5  | 769  | 474  | 0.40                        | 38.7  |
| Celular (cemento sin arena) | -  | 625  | 524  | 0.57                        | 24.6  |
|                             | -  | 545  | 468  | 0.56                        | 14.8  |
|                             | -  | 448  | 396  | 0.57                        | 9.1   |
|                             | -  | 368  | 317  | 0.65                        | 3.5   |
| Celular (arenoso)           | 1:1  | 929  | 429  | 0.40                        | 32.3  |
|                             | 1:2  | 1250   | 373  | 0.41                        | 57.7  |
|                             | 1:3  | 1602   | 360  | 0.51                        | 154.0   |

**Fuente:** Kosmatka, 2004

Los requisitos de agua para los concretos aislantes varían considerablemente dependiendo de las características de los agregados, aire incluido y proporciones de la mezcla. Se debe evitar una cantidad excesiva de agua en el concreto aislante usado para relleno de cubiertas de techo, ya que puede causar elevada contracción (retracción) por secado y agrietamiento (fisuración), pudiendo dañar las membranas de impermeabilización que se coloca sobre el concreto. Además, no se deben utilizar aceleradores que contengan cloruro de calcio donde el hierro galvanizado de las cubiertas vaya a permanecer en contacto permanente con el concreto, debido a posibles problemas de corrosión.



El aislamiento térmico se hace mayor o menor en razón inversa a la densidad del material. La mayor parte de los materiales orgánicos que se utilizan tienen una composición química muy semejante, la cual consiste principalmente en una mezcla de silicatos razón por la cual su densidad real y su conductividad térmica son también muy parecidas.

Algunos valores de conductividad térmica del concreto aislante de peso ligero se muestran en el Cuadro 2.13.

**Cuadro 2.13.** Valores de conductividad térmica de materiales

| <b>Material</b>                               | <b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b> | <b>Conductividad Kcal/mh°C</b> |
|---|----------------------------------|--------------------------------|
| Escoria de hulla (clinker)                    | 1200                             | 0,31                           |
|   | 1520                             | 0,50                           |
|   | 1680                             | 0,56                           |
| Escoria espumosa                              | 1000                             | 0,25                           |
|   | 1280                             | 0,30                           |
| Arcilla expandida                             | 720                              | 0,17                           |
|   | 960                              | 0,24                           |
|   | 1200                             | 0,29                           |
| Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo | 1200                             | 0,29                           |
| Pómez   | 720                              | 0,16                           |
|   | 1120                             | 0,25                           |
|   | 1200                             | 0,29                           |
| Vermiculita                                   | 576                              | 0,14                           |
|   | 770                              | 0,19                           |
| Perlita                                       | 480                              | 0,10                           |
|   | 800                              | 0,19                           |

**Fuente:** Short y Kinniburgh, 1980

Cuando se quiere impermeabilizar una cubierta existente, se nivela la superficie con un concreto aislante el cual se ancla a la lámina de techo y sobre éste se coloca una membrana, también sirve para rellenar sub bases de losas permitiendo rehabilitar suelos (por ejemplo en pisos de madera) que requieren un material ligero para su nivelación.

Por otra parte, la capacidad de conducción de energía térmica de un material está dada por su peso unitario, mientras más alto es este valor mayor es su conductividad térmica, los concretos livianos estructurales son de baja conductividad térmica, esto implica buen aislamiento del calor y por lo tanto, se utiliza para aislar estructuras de acero contra el fuego

o como material de relleno entre el concreto convencional u otro material (se le conoce como aislante de segunda capa).

También, cuando no se tiene una buena pendiente pluvial, el concreto liviano permite generar mejores pendientes para que circule el agua sin agregar peso significativo a la estructura metálica, de igual manera se utiliza en pisos.

El concreto aislante colado en obra presenta ventajas y desventajas que se muestran en el Cuadro 2.14, así como sus usos.

**Cuadro 2.14.** Concreto aislante. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas   | Desventajas  |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislamiento térmico y acústico</li> <li>• Rellenar la parte superior de las cubiertas de techo</li> <li>• Relleno de sub bases de losas sobre el terreno</li> <li>• En algunos casos para aislar estructuras de acero contra el fuego</li> <li>• Se recomienda principalmente como aislante de segunda capa para el recubrimiento de exteriores, en acabados sobre calderas, hornos, aislamientos térmicos</li> <li>• Accesorios de tuberías como válvulas, bridas, codos, tees, entre otros, utilizando una membrana metálica como refuerzo</li> <li>• Capas de nivelación de pisos y cubiertas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja capacidad de transmisión del calor</li> <li>• Baja densidad</li> <li>• Peso ligero</li> <li>• Excelente trabajabilidad, por su alto contenido de aire y bajo peso</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede ser usado como elemento estructural principal</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

### 2.10.1.3. Concreto de alto desempeño (HPC, por sus siglas en inglés: High Performance Concrete)



**Figura 2.13.** Puente de Normandía, Francia, construido con CAD de micro sílice, llegando a alcanzar 60 MPa  
Tomado de: imcyc.com, 2011

Según Aragón (2004), el concreto de alto desempeño (CAD), puede ser definido como aquel concreto que alcanza ciertos requerimientos de rendimiento para una aplicación específica, que de otra manera no podrían ser obtenidos en un concreto normal.

El CAD casi siempre tiene mayor resistencia que el concreto normal. Sin

embargo, la resistencia no siempre es la principal propiedad requerida. Por ejemplo, un concreto con resistencia normal con durabilidad muy alta y baja permeabilidad se lo considera con propiedades de alto desempeño.

Tampoco debe confundirse el concreto de alto desempeño con el concreto de alta resistencia (CAR). El concreto de alto desempeño evolucionó por la producción de concreto con resistencias cada vez más altas, 80 MPa, 90 MPa, 100 MPa, 120 MPa, y a veces inclusive mayores en el caso del concreto de alta resistencia. Sin embargo, en el CAD el énfasis ha cambiado de una resistencia muy alta a otras propiedades deseables en algunas circunstancias como lo son alto módulo de elasticidad, alta densidad, baja permeabilidad y resistencia a algunas formas de ataque.

Usualmente, en la mezcla para el diseño de CAD, se emplea cemento del tipo I, pero si se requiere alta resistencia temprana, puede utilizarse el cemento tipo III. El CAD con frecuencia contiene humo de sílice, entre 3 % y 10 %, y (no siempre), contiene ceniza volante entre 10 % y 30 % o escoria de alto horno granulada y molida entre 15 % y 30 %. El contenido total de los materiales cementantes es muy alto, varía entre 400 kg/m<sup>3</sup> a 550 kg/m<sup>3</sup>. La masa del

humo de sílice, cuando se utiliza, representa de 5 % a 15 % de la masa total del material cementante, siendo 10 % lo más típico.

Por otra parte, según Aitcin (2008), la selección de los agregados debe hacerse con mucho cuidado porque, conforme aumenta la resistencia a la compresión deseada, los agregados pueden convertirse en el punto más débil, el cual puede dar inicio a una falla por extrema presión. En comparación con el concreto convencional se necesita un control más estricto sobre la calidad del agregado, con respecto a la graduación granulométrica, y sobre tamaño máximo, pues es fundamental mantener el requerimiento de agua en el mínimo posible.

La distribución del tamaño del agregado fino en el concreto de alto desempeño, ha permanecido dentro de los límites recomendados por el ACI para concreto convencional. Sin embargo, el agregado fino debe tener el mayor grueso permitido, lo que corresponde a un módulo de finura de 2,7 a 3,0. El uso de una arena gruesa se sustenta en que todas las mezclas de alta resistencia tienen una cantidad suficiente de partículas finas debido al alto contenido de cemento y cementantes, por lo que no es necesario usar una arena fina desde el punto de vista de la trabajabilidad y la segregación. Además, la arena gruesa provoca una disminución en la cantidad de agua de mezclado lo cual es ventajoso desde el punto de vista de resistencia y economía (Aitcin 2008).

La selección del agregado grueso se vuelve más importante conforme aumenta la resistencia a la compresión. Las rocas duras y densas trituradas como la caliza, dolomía y rocas ígneas (granito, sienita, diorita y diabasa), se han utilizado con éxito como agregado grueso en aplicaciones de CAD.

Con respecto a la forma se deben generar partículas cúbicas en vez de alargadas y planas. Se puede producir entonces concreto de alto desempeño con agregados de tamaño de 25 mm, sin embargo con la mayoría de los agregados naturales es más seguro utilizar entre 10 mm y 12 mm, pero esto no significa que no puede usarse un agregado de 20 mm.

La dosis del superfluidificador es aproximadamente de 5 l/m<sup>3</sup> a 15 l/m<sup>3</sup> de concreto. Esta dosis permite una reducción del contenido de agua de 75 l/m<sup>3</sup> a 45 l/m<sup>3</sup> de concreto. El valor

de la relación  $a/c$ , generalmente, varía entre 0,20 y 0,40. En cuanto al revenimiento, el colapso del cono de concreto es progresivo y, a veces, es difícil decidir cuándo tomar la altura del cono que colapsa lentamente.

Los HPC tienen una resistencia a la compresión especificada desde 40 MPa y hasta los 125 MPa, una alternativa real en la construcción de diversas estructuras con requerimientos especiales.

En el Cuadro 2.15 se muestra la resistencia a la compresión del HPC como una función de la relación  $a/c$ .

**Cuadro 2.15.** Resistencia a la compresión del CAD con respecto a la relación  $a/c$

| <b><math>a/c</math></b> | <b>Rangos máximos de la resistencia a la compresión, MPa</b> |
|-------------------------|--|
| 0,40 – 0,35             | 50 a 75  |
| 0,35 – 0,30             | 75 a 100   |
| 0,30 – 0,25             | 100 a 125  |
| 0,25 – 0,20             | más de 125   |

**Fuente:** Aitcin, 2008

Según Neville y Aitcin (1999), el concreto de alto desempeño presenta al igual que muchos concretos, diferentes tipos de contracción. Primero, la que ocurre mientras el concreto aún está en el estado plástico, la magnitud de ésta, llamada contracción plástica, se ve afectada por la cantidad de agua perdida por la superficie expuesta del concreto.

Si la cantidad perdida por área unitaria excede la cantidad de agua que llega a la superficie por el sangrado, puede ocurrir agrietamiento por contracción plástica. El concreto de alto desempeño tiene un muy bajo contenido de agua (expresado en litros por metro cúbico de concreto), y los poros capilares que se desarrollan son, consecuentemente, muy pequeños. Por lo tanto, no existe sangrado y esto llevará al agrietamiento por contracción plástica, a menos que pueda evitarse la pérdida de agua de la superficie del concreto. De ahí la necesidad de curado húmedo desde el momento más temprano posible.

En la figura 2.14. se muestran las grietas por este tipo de contracción.

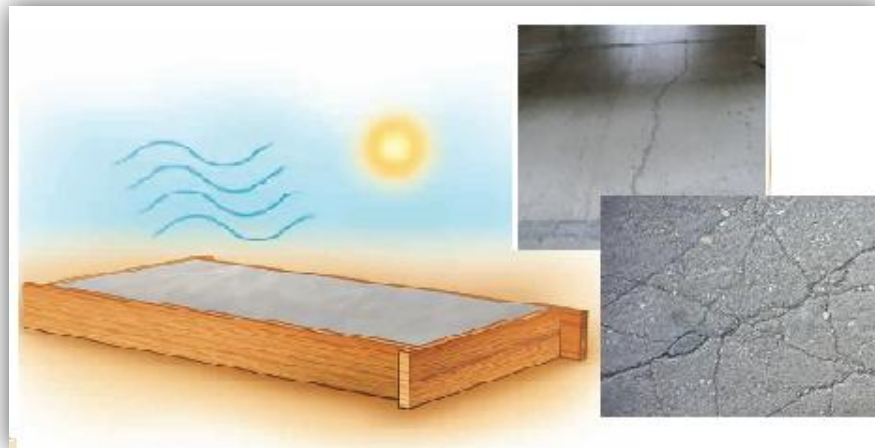


**Figura 2.14.** Las grietas por contracción plástica aparecen en la superficie del concreto a las pocas horas del colado, a veces muy pronto después y frecuentemente antes del allanado. A menudo no se notan hasta el siguiente día, pues se desarrollan luego de que los trabajadores han dejado la obra. Raramente perjudican la resistencia del concreto, pero de modo común forman un patrón, como las ramas de un árbol.

Tomado de: IMCYC, s.f.

El segundo y mejor conocido tipo de contracción es la contracción por secado del concreto endurecido. Es esto lo que se considera simplemente como "contracción". La causa de la contracción por secado es la pérdida de agua por evaporación hacia el exterior del concreto.

En la figura 2.14. se puede apreciar el tipo de grietas formadas por esta contracción.



**Figura 2.15.** Cuando el concreto es expuesto a su ambiente de servicio tiende a alcanzar un equilibrio con ese ambiente. Si el medio ambiente es una atmósfera seca, la superficie expuesta del concreto pierde agua por evaporación. La velocidad de evaporación dependerá de la humedad relativa, la temperatura, la relación agua-cemento y el área de la superficie expuesta del concreto.

Tomado de: IMCYC, s.f.

Por otra parte, en el concreto de alto desempeño, hay muy poca contracción por secado, en parte porque los capilares son muy pequeños. Pero existen otras razones; la principal es que gran parte del agua ha dejado ya los capilares debido a la autodesecación. Esto puede causar el tercer tipo de contracción, la contracción autógena (Neville y Aitcin, s.f.).

La contracción autógena es la consecuencia de la hidratación continua del cemento en toda su masa, y no solamente cerca de la superficie. Esta contracción es alentada por la baja relación a/c y por lo tanto, un número menor y un tamaño más pequeño de los capilares. El humo de sílice, que reacciona muy pronto, agota rápidamente el agua y también contribuye a la autodesecación.

Una consecuencia importante de la contracción autógena en el concreto de alto desempeño es el desarrollo de microagrietamiento interno en toda la masa de concreto, y esto puede y debe evitarse por medio del curado húmedo.

La hidratación del cemento en el concreto de alto desempeño es muy rápida y, si se le permite que continúe ininterrumpidamente por medio de un constante suministro de agua de curado, no habrá contracción autógena, por lo menos cerca de la fuente externa de agua, es decir, la zona expuesta de la superficie del miembro de concreto. Así pues, con un curado realmente bueno, no habrá contracción autógena ni contracción por secado.

En la figura 2.16. se muestra como se observa la contracción autógena en el concreto.

**Figura 2.16.** La retracción química o autógena resulta de las reacciones químicas que ocurren a medida que el cemento Portland se hidrata.

La hidratación del cemento Portland en un ambiente sellado o en un ambiente saturado, ocasiona una reducción del volumen de la pasta de cemento y con ello una serie de mecanismos conocidos como retracción química o autógena.

Tomado de: IMCYC, s.f. y de <http://www.360gradosblog.com>



Para transportar este tipo de concreto, se pueden utilizar camiones mezcladores o camiones estacionarios con o sin agitadores. Se suele colocar mediante bombeo, grúas, y bandas transportadoras.

El concreto de alto desempeño debe ser curado con agua lo más pronto posible, el curado tardío prácticamente no tiene valor, aunque es mejor que ningún curado; la contracción total puede reducirse drásticamente con un apropiado y oportuno curado con agua.

Cuando se usa un concreto de alto desempeño con una baja relación a/c, solo se disminuye la penetración de agentes agresivos a través del concreto mismo. Para evitar la penetración de los agentes agresivos a través de las grietas, es absolutamente esencial curar el concreto de alto desempeño de manera apropiada para eliminar estas grietas en la medida de lo posible. Si el curado con agua se aplica tan pronto como la temperatura del CAD empieza a subir, la mayoría de la contracción autógena se puede eliminar. La contracción volumétrica absoluta que acompaña la reacción de hidratación ocurre pero, ya que el agua externa penetra el concreto tan pronto como se forman poros muy finos debido a la contracción química, no hay formación de meniscos dentro de los capilares; por lo tanto, no hay resistencia a la tracción, de modo que no ocurre la contracción aparente, a pesar de que se desarrolla la contracción del volumen absoluto.

La mejor manera de curar el concreto de alto desempeño para protegerlo contra la contracción plástica, es mediante una membrana de curado o una neblina de agua. Cuanto más dure el curado mejor, pero siete días parece ser un período lo suficientemente largo para reducir en forma drástica la contracción del CAD, y en ningún caso debe realizarse por menos de tres días (Aitcin, 2008).

Los usos, ventajas y desventajas de este tipo de concreto se pueden observar en el Cuadro 2.16.



**Cuadro 2.16.** Concreto de alto desempeño (CAD). Usos, ventajas y desventajas

| Usos  | Ventajas  | Desventajas   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puentes</li> <li>• Edificios de gran altura</li> <li>• Elementos prefabricados</li> <li>• Elementos pre-esforzados</li> <li>• Elementos que requieran habilitarse en menos de 24 h de colado el concreto.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor rigidez de las estructuras</li> <li>• Aumento del área neta con reducción de secciones en elementos estructurales</li> <li>• Reducción del peso propio de las estructuras</li> <li>• Mayor módulo de elasticidad</li> <li>• Mejor comportamiento al ataque químico</li> <li>• Alto módulo de elasticidad</li> <li>• Alta resistencia a abrasión</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe llevar un seguimiento y control de obra más intenso, así como una planificación bien establecida para la solicitud de los camiones transportadores.</li> <li>• El proceso de curado debe ser riguroso para evitar la contracción y así ofrecer un rendimiento alto.</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

2.10.1.4. Concreto de alta resistencia (CAR)



**Figura 2.16.** Edificio cuya base y primeros niveles cuentan con CAR  
Tomado de: Zamora, 2009

Durante los últimos años, los diseñadores y constructores de edificios y de grandes estructuras, se han visto presionados por las mayores cargas de diseño y la necesidad de materiales más resistentes.

Se entiende por concreto normal de alta resistencia (CAR) como aquel concreto de peso normal cuya resistencia a la compresión es de 42 MPa o mayor (ACI 363).

Según el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), los concretos de alta resistencia se han elaborado desde los años sesenta, pero en la actualidad se comercializan en lugares como el área de Chicago, Montreal, Toronto, Seattle y en forma más aislada en otros países.

La producción de CAR es posible sin emplear materiales especiales. Sin embargo, para que el proporcionamiento de una mezcla cumpla con los requerimientos específicos de trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad y costo de una obra determinada, es necesario emplear materiales de más alta calidad que los necesarios para producir concreto de resistencia menor. Para producirlo se requiere de altos contenidos de material cementante, así el tipo, la composición química y la finura del cemento son factores que tienen más influencia en las resistencia mecánica de las mezclas de CAR que en la de mezclas de concreto de resistencia normal.

Según la PCA (*Portland Cement Association*) estudios han demostrado que el tamaño máximo nominal de 9.5 mm a 12.5 mm, resulta en resistencias más elevadas y recomienda la combinación de tamaños de agregado para producir la granulometría requerida. Por otra parte, debido a la gran cantidad de material cementante en el concreto de alta resistencia, el papel del agregado fino en cuanto a trabajabilidad y características de buen acabado no es tan crucial como en el caso del concreto de resistencia convencional. La arena con módulo de finura cerca de 3.0 se ha mostrado satisfactoria para producir una buena trabajabilidad y alta resistencia a compresión.

En la producción de CAR, es necesario el uso de aditivos químicos, tales como reductores de agua, retardadores o superplastificantes, ya que aumentan la eficiencia de las altas cantidades de material cementante en el concreto y ayudan a obtener una relación a/c lo más baja posible. El uso de aditivos inclusores de aire no es necesario ni deseado en el concreto de alta resistencia protegido del intemperismo, tales como columnas y muros de cortante en edificios altos. Sin embargo, en puentes, pilas de concreto, estribos o estructuras de aparcamientos, donde sea necesaria durabilidad en ambiente de hielo y deshielo, es obligatorio el uso de inclusor de aire.

Otros aditivos o materiales cementantes que ayudan a controlar la elevación de la temperatura a edades tempranas y pueden reducir la demanda de agua para una trabajabilidad dada son la ceniza volante, la escoria de alto horno molida y el humo de sílice o microsíllica.

Las cenizas volantes preferidas para usarse en el CAR tienen una pérdida en la ignición no mayor del 3 %, tienen un alto grado de finura y producen una fuente con una uniformidad que cumple los requisitos de la norma ASTM C 618.

La escoria de alto horno se produce de dos maneras, una de ellas es poner en contacto una cantidad controlada de agua con la escoria fundida aplicándola como rociador mientras el material se descarga del horno, se genera vapor que hincha la escoria, lo hace que endurezca en forma porosa, este proceso **se llama "chorro de agua"**. El otro proceso, de **"máquina"**, la escoria fundida se agita rápidamente con una cantidad controlada de agua, se atrapa vapor y se forman además algunos gases, debido a reacciones químicas de algunos componentes de la escoria con el vapor de agua. Las resistencias obtenidas con estas escorias son bajas y sus contracciones medias.

El humo de sílice o microsíllica es un material puzolánico muy fino, compuesto principalmente de sílice amorfa derivada del humo que generan los hornos eléctricos destinados a la producción de silicio elemental o aleaciones de ferro silicón. El humo que las plantas lanzan, es recolectado en filtros y este material retenido queda a disposición para ser usado en el concreto directamente.

Por otra parte al ser un material amorfo, es decir, no cristalino, no se disuelve en el concreto y no se da una reacción. Este aditivo aumenta la cohesión del concreto en estado fresco lo que le permite un mayor revenimiento, reduce el sangrado ya que la microsíllica tiene una superficie específica alta y el contenido de agua es bajo, habrá muy poco espacio para que se dé el sangrado. Además reduce la permeabilidad del concreto, lo que lo hace resistente al ataque de cloruros, sulfatos y otros ácidos.

El cemento debe producir cubos de mortero con resistencia mínima a los 7 d de 31 MPa, la adición de otros materiales cementantes como la ceniza volante, humo de sílice o escoria normalmente son obligatorios en la producción del concreto de alta resistencia, pues el desarrollo de la resistencia obtenido con estos materiales no se puede lograr solamente con el incremento del contenido de cemento. Estos materiales cementantes suplementarios normalmente se adicionan en una dosis del 5 % al 20 %.

Con el concreto de alta resistencia se pueden obtener resistencias superiores a los 42 MPa.

Las relaciones a/c para concreto de alta resistencia típicamente han variado desde 0,20 a 0,50 (IMCYC, 2005), con la cual se logra obtener un revenimiento de 18 cm a 25 cm. El porcentaje de aire incluido varía entre 1,5 % y 2,5 %.

Con respecto a la colocación de este tipo de concreto, se deben evitar retrasos en la entrega y en la colocación, por su rápido fraguado, de alrededor 0.75 h. Se debe vibrar el concreto lo más rápido posible después de su colocación ya que los concretos de alta resistencia resultan ser pegajosos y son más cohesivos que el concreto convencional, por lo que tienden a atrapar burbujas de aire que deben ser eliminadas por vibración. Los vibradores de alta frecuencia deben ser suficientemente pequeños para permitir espacio suficiente entre la cabeza de vibración y el acero del refuerzo. La vibración excesiva de concretos generalmente resulta en segregación, pérdida de aire incluido o ambos.

El curado deberá comenzar tan pronto como la superficie del concreto esté suficientemente endurecida y no sufra daños una vez encofrado. El objetivo es mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el concreto recién colado, para que pueda desarrollar las propiedades deseadas.

Los concretos de alta resistencia secan con relativa rapidez, por lo que es importante realizar el curado inmediatamente después de desmontar el desencofrado, el cual puede ser por 7 d. Después de 7 d, generalmente habrá alcanzado cerca del 75 % de su fuerza, eliminando la posibilidad de formación de grietas debido a sequedad propia del concreto (Zamora, 2009.).

El CAR puede provenir de una planta central de mezclado o de camiones mezcladores. Para la primera opción, el concreto se mezcla por completo en una mezcladora estacionaria y luego se transfiere a una unidad. Al utilizarse un camión mezclador o agitador para el concreto mezclado en planta, el ASTM C 94 limita el volumen del concreto cargado a 80 % del volumen del tambor. Con la segunda opción de mezclado, es un proceso en el cual los materiales se cargan, previamente dosificados, en un camión de mezclado para el mezclado y entrega en el sitio de la construcción; a fin de obtener un mezclado completo, el volumen de

los ingredientes no debe exceder el 63 % del volumen del tambor según la misma norma ASTM (Zamora, 2009.).

Al tener módulos de elasticidad muy altos, este tipo de concreto puede ser utilizado en puentes con grandes luces; además, al tener una baja relación  $a/c$ , se disminuye la penetración de agentes agresivos a través del material al haber menos espacios vacíos y permite ser usado en pilotes para fundaciones u otras estructuras en contacto directo con el suelo.

Con el CAR, el incremento en la resistencia a compresión mejora el comportamiento frente a los esfuerzos de flexo compresión en los elementos, esto permite la reducción de las secciones estructurales y por ende menores áreas de construcción, también da como resultado menores esfuerzos en las cimentaciones logrando una reducción en el peso y costo de la estructura.

Al lograr una reducción de las deformaciones debido al mayor módulo de elasticidad y al mejor comportamiento por efectos de fluencia, se obtiene un mejor comportamiento antes sismos.

Sin embargo, los agregados deben ser resistentes y durables, necesitan ser compatibles, en términos de rigidez y resistencia con la pasta de cemento. Debido a los altos contenidos de agregado grueso y una baja relación  $a/c$ , los concretos de alta resistencia pueden ser difíciles de colocar, además estas mezclas tienen un alto contenido de materiales cementantes que incrementan el calor de hidratación y posiblemente produzcan una mayor contracción o retracción por secado, creando un mayor potencial de agrietamiento.

El CAR, por lo general necesita tener una baja relación  $a/c$ , lo que provoca altas dosificaciones de aditivos reductores de agua (superplastificantes).

Los usos, así como las ventajas y desventajas del CAR, se muestran en el Cuadro 2.17.

**Cuadro 2.17.** Concreto de alta resistencia (CAR). Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas  | Desventajas   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificios de gran altura</li> <li>• En puentes de grandes luces</li> <li>• Represas de arco muy delgadas</li> <li>• Pilotes para fundaciones</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite cubrir grandes luces</li> <li>• La baja permeabilidad del concreto endurecido, lo hace recomendable para piezas atacadas por el medio ambiente</li> <li>• Permite mayor rotación de encofrados y menos tiempo de uso</li> <li>• Se pueden diseñar menores secciones estructurales, con ahorro en áreas de construcción</li> <li>• Reduce en el peso y costo de la estructura</li> <li>• Logra un mejor comportamiento ante sismos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de muy buenos materiales para su fabricación</li> <li>• Puede ser difícil de colocar</li> <li>• Puede presentar mayor contracción por secado que otros concretos</li> <li>• La baja relación a/c hace necesario el uso de aditivos</li> <li>• Lapsos de manipulación del concreto fresco muy cortos</li> <li>• Se debe llevar un seguimiento y control de obra más intenso, así como una planificación bien establecida para la solicitud de los camiones transportadores</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

2.10.1.5. Concreto autocompactante (CAC)



**Figura 2.18.** Uso de CAC, alta concentración de armadura  
Tomado de: [www.hormigonesvicente.com](http://www.hormigonesvicente.com)

El concreto autocompactante es un concreto fluido, diseñado para que se coloque sin necesidad de vibradores en cualquier tipo de elemento, también es conocido como concreto autoconsolidante (NRMCA, s.f.).

Está constituido fundamentalmente por pasta de cemento. Es fácil de colocar sin necesidad de compactación. No presenta

segregación ni sangrado ya que tiene la propiedad de consolidarse y fluir bajo su propio peso, en forma cohesiva, aún en elementos estrechos y densamente armados.

Los materiales componentes del concreto autocompactante son los habitualmente empleados en los concretos vibrados, pudiéndose señalarse al respecto, según Fernández y Burón (2005), que pueden utilizarse los mismos cementos que para los concretos estructurales normales, siendo idénticas las prescripciones referentes a la durabilidad y a los usos adecuados.

El tamaño máximo de agregado, debe favorecer el paso del concreto por todas las zonas del elemento, tomando como recomendación que debe ser menor a  $2/3$  de la separación entre varillas o  $3/4$  del recubrimiento mínimo. Esto implica no usar tamaños máximos superiores a 20 mm, siendo habituales los tamaños comprendidos entre 12 mm y 16 mm.

Con respecto al agregado fino, éste debe pasar por el tamiz 0,125 mm; el módulo de finura de la arena no debe tener variaciones superiores a  $\pm 0,20$  para garantizar la estabilidad de las propiedades de producción. En cualquier caso es conveniente que el 70 % de los finos pase por el tamiz 0,063 mm.

En cuanto a los aditivos, es obligatorio utilizar aditivos superfluidificantes. Pueden incorporarse otros aditivos para modificar la viscosidad, incorporadores de aire incluido, retardadores de fraguado, entre otros. los modificadores de viscosidad son productos que mejoran la cohesión de la masa en estado fresco, impidiendo la segregación y limitando la pérdida de agua por exudación. Aunque su empleo no es imprescindible, utilizados de forma conjunta con los superfluidificantes permiten obtener concretos autocompactantes estables y de gran fluidez.

La dosificación de este tipo de concreto, según Fernández y Burón (2005), puede tener rangos típicos como se muestra en el Cuadro 2.18.

**Cuadro 2.18.** Dosificación típica para concreto autocompactante

| Material  | Peso (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---|---------------------------|
| Polvo (cemento + filler + adiciones)  | 380 – 600                 |
| Pasta (cemento + filler + adiciones + agua)   | 530 – 810                 |
| Agua  | 150 – 210                 |
| Agregado grueso   | 650 – 900                 |
| Agregado fino   | *                         |
| * para ajustar la dosificación. Normalmente se supone del 48 % al 55 % del peso total del agregado grueso más el agregado fino. |                           |

**Fuente:** Fernández y Burón, 2005

Se pueden obtener resistencias entre los 28 MPa a 40 MPa. Su composición específica se completa con una baja relación a/c, del orden de 0,45 y una baja relación agua/ finos de aproximadamente 0,37 (Burón, 2007), para dar un revenimiento de entre 50 cm a 70 cm y con un porcentaje de aire del 2 %.

Esta tecnología, desarrollada en Japón en los años 80`s, se basa en el aumento de la cantidad de finos, por ejemplo, ceniza volante o caliza, sin cambiar el contenido de agua, comparativamente con el concreto convencional, cambiando así el comportamiento reológico del concreto. El bajo contenido de agua garantiza una alta viscosidad, permitiendo que el agregado grueso flote en el mortero sin segregarse, gracias al aditivo.

En Japón, el concreto autocompactante se divide en tres tipos, de acuerdo con la composición del mortero:

- Tipo polvo
- Tipo agente de viscosidad (estabilizador)
- Tipo combinado

En el tipo polvo, una gran cantidad de finos produce el volumen necesario de mortero. En el tipo estabilizador, el contenido de finos puede estar en el rango admisible para los concretos vibrados y la viscosidad necesaria para inhibir la segregación, que se ajusta con el uso del estabilizador. El tipo combinado se produce con la adición de una pequeña cantidad de



estabilizador en el tipo polvo, a fin de equilibrar las variaciones de humedad en el proceso de producción.

Según Bouzoubaa, Lachemi y Ludwig, mencionados por Kosmatka y otros (2004), el uso de ceniza volante como fino parece ser más ventajoso que la caliza, pues resulta en mayor resistencia mecánica y mayor resistencia a cloruros.

El CAC puede colocarse sin vibración mecánica y con menos allanado, resultando en ahorros en costos de colocación, además, mejora la infirmitad en acabados de superficies arquitectónicas, reduciendo los trabajos de reparación superficial. Por su fácil llenado de secciones restringidas y áreas de difícil acceso, se pueden crear formas estructurales y arquitectónicas y acabados superficiales que no se podrían lograr con concretos convencionales (se acomoda solo).

La resistencia y la durabilidad de un CAC bien diseñado son casi similares a los del concreto normal. Sin embargo, sin el curado apropiado, el CAC tiende a presentar más fisuración por retracción plástica que el concreto convencional.

Los usos de este tipo de concreto así como sus ventajas y desventajas, se muestra en el Cuadro 2.19.

**Cuadro 2.19.** Concreto CAC. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas   | Desventajas   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• En estructuras de alta concentración de armadura</li> <li>• Donde el acceso de un vibrador es difícil</li> <li>• Muros y columnas de gran altura</li> <li>• Elementos prefabricados, presforzados o postensados</li> <li>• Bombeos a grandes distancias horizontales o verticales</li> <li>• Pisos industriales</li> <li>• Losas de entrepiso y contrapiso</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta productividad, al dar mayor velocidad en la construcción</li> <li>• Reduce costos de mano de obra</li> <li>• Disminuye tiempos de colocación y plazos de construcción</li> <li>• Elimina el vibrado y por ende disminuye la contaminación sónica</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La producción del CAC es más cara que el concreto convencional</li> <li>• Es difícil de mantener la consistencia deseada por un largo periodo</li> <li>• Puede presentar más fisuración por retracción plástica que el concreto convencional, sin el curado requerido</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

### 2.10.1.6. Concreto de baja permeabilidad



**Figura 2.19.** Uso de concreto de baja permeabilidad en un canal

Tomado de: [www.cemexcolombia.com](http://www.cemexcolombia.com), 2012

El concreto de baja permeabilidad es aquel que contrarresta la ascensión por capilaridad del agua en contacto, como es el caso de muros y cimentaciones, ayudando a mitigar los ataques por agentes químicos agresivos para el concreto tales como sulfatos y bióxido de carbono disueltos en agua.

La cantidad mínima de cemento tipo I a utilizar en este tipo de concreto no debe ser menor a  $350 \text{ kg/m}^3$ , para garantizar un buen aporte de finos para una adecuada compacidad. Esta cantidad puede ser modificada al usar microsilíce, que aumenta la impermeabilidad del concreto, tiene un elevado poder puzolánico e incrementa otras propiedades como la resistencia mecánica, la resistencia al ataque por sulfatos, resistencia al hielo, entre otras. La adición de microsilíce suele oscilar entre el 5 % y el 10 % sobre el peso del cemento. (BASF The Chemical Company, s.f.)

El tamaño máximo de agregado grueso es de  $1/3$  de la dimensión de la armadura.

El uso de aditivos reductores de agua (superplastificantes) es necesario para obtener una trabajabilidad aceptable, pueden usarse aditivos basados en éter policarboxílico, que permiten fuertes reducciones de agua que implican menor permeabilidad o un aditivo propiamente impermeabilizante al crear la interrupción de la red capilar mediante la inclusión de burbujas de aire.

En un concreto de baja permeabilidad, pueden lograrse resistencias a la compresión desde los 7 MPa hasta los 42 MPa.

Es un concreto fluido, con una relación a/c entre 0,40 y 0,55 y con un revenimiento entre 10 cm y 15 cm. El tiempo de fraguado inicial de 2,5 h y de fraguado final de 4 h, por lo que es manejable por 2,5 h, con un contenido de aire de 2 % a 4 %.

Con el objetivo de conseguir la máxima homogeneidad en la distribución de los componentes así como asegurar la máxima compacidad posible, ya que de ello dependerá la resistencia del concreto y la permeabilidad, y con ello, la durabilidad y la protección contra la corrosión de la armadura, este tipo de concreto se debe vibrar.

El curado debe darse desde el momento en que se coloca el concreto y prolongarse como mínimo 7 d. el mal curado puede originar fisuración, con la correspondiente pérdida total de permeabilidad.

En el Cuadro 2.20 se pueden observar algunos usos que presenta el concreto de baja permeabilidad.

**Cuadro 2.20.** Concreto de baja permeabilidad. Usos

| Usos  |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Tanques</li><li>• Viga – canales</li><li>• Cubiertas</li><li>• Muros de contención</li><li>• Aquellas estructuras expuestas al agua</li></ul> |

**Fuente:** Torres

### 2.10.1.7. Concreto bombeable



**Figura 2.20.** Equipo usado para el concreto bombeado  
Tomado de: <http://civilgeeks.com>, 2011

El concreto bombeado puede definirse como un concreto diseñado para ser conducido por presión a través de un tubo rígido o de una manguera flexible y vaciado directamente en el área de trabajo.

La presión se aplica con bombas de pistón, aire comprimido o presión comprimida (ACI 304).

El sistema de bombeo puede ser utilizado en la mayor parte de construcciones, pero es útil en las áreas donde el espacio para el equipo de construcción es muy reducido.

El tamaño máximo del agregado está limitado a un tercio del diámetro interior más pequeño de la bomba. Para agregados bien redondeados el tamaño máximo deberá limitarse a dos quintos de este diámetro, sin embargo se debe cumplir con los requerimientos de ASTM C 33, la cual asigna un número de tamaño de la abertura más pequeña del tamiz a través del cual pasará casi todo el agregado menor (IMCYC, 1999).

Los agregados finos, junto con el cemento y el agua, proporcionan el mortero que conduce en suspensión el agregado grueso, y de esta forma se logra una mezcla bombeable. De igual manera, la granulometría de éste agregado deberá cumplir con la norma ASCT C 33. Al menos el 15 % al 30 % deberá pasar la malla 50 y del 5 % al 10 % la malla 100 (IMCYC, 1999).

Los aditivos frecuentemente usados en mezclas para bombeo suelen proveer efectos deseables tales como lubricación adicional, reducción de la segregación y disminución del sangrado, y son los reductores de agua o retardantes, los inclusores de aire y los aditivos minerales.

Este tipo de concreto se presiona a través de una tubería que funciona como un cilindro; lo separa la pared de la tubería con una capa lubricante compuesta de agua, aglomerante y arena (la pasta de cemento). Durante el bombeo, el concreto fluye como material continuo; pero tiene que poder pasar por piezas reductoras del sistema de tuberías y de codos.

Según el IMCYC (2009), es importante que las mezclas de concreto estén correctamente dosificadas, permitiendo que el concreto fluya fácilmente y de forma uniforme por las tuberías. En otras palabras, la mezcla no debe ser demasiado cohesiva; debe presentar una consistencia que permita una buena trabajabilidad en el lugar de suministro.

Como es diseñado para ser conducido a presión a través de una tubería, permite alcanzar largas distancias horizontales y verticales, según los requerimientos de colocación. Su resistencia a la compresión varía entre los 7 MPa y los 42MPa (Cemex, Costa Rica).

Es un concreto con una relación a/c entre 0,48 y 0,73, con lo que alcanza un revenimiento entre los 15 cm y 20 cm, condición que brinda muy buena manejabilidad, especialmente cohesivo lo cual permite colocación a diferentes alturas y profundidades. El tiempo de fragua inicial es de 2,5 h y el de fragua final es de 4 h, además tiene un contenido de aire del 3 % al 5 % el cual retrasa la exudación e incrementa la trabajabilidad y, por lo tanto, la bombeabilidad. Si las cantidades de aire son superiores al 6 % o 7 %, el concreto se vuelve demasiado compresible, imposibilitando el bombeo (Cemex, Costa Rica).

El empleo de concreto bombeado es una alternativa muy usada para colar concreto en la construcción de grandes edificios, ya que de este modo el concreto puede colarse en lugares en los que utilizando otros métodos de colado sería difícil o casi imposible. No obstante, el bombeo de concreto a grandes alturas plantea requisitos específicos al diseño de la mezcla.

El mayor reto en el bombeo de concreto en aplicaciones en grandes edificios consiste en alcanzar un equilibrio entre la fricción y el flujo del material. Si estas mezclas contienen un elevado porcentaje de finos (más de 180 l/m<sup>3</sup>), la resistencia a la fricción es elevada y se dificultará el proceso de bombeo. El empleo de un fluidificante compuesto de policarboxilato contribuye a reducir los problemas de bombeo (el empleo de aditivos basados en policarboxilato, además de mejorar la trabajabilidad y puesta en obra del concreto, produce una disminución de su porosidad y, por lo tanto, una mejora de sus propiedades mecánicas y durables). Para lubricar este elevado porcentaje de finos normalmente sería necesario aumentar el porcentaje de agua; sin embargo, este tipo de procedimiento destruiría el equilibrio de la relación agua-finos (IMCYC, 2009).

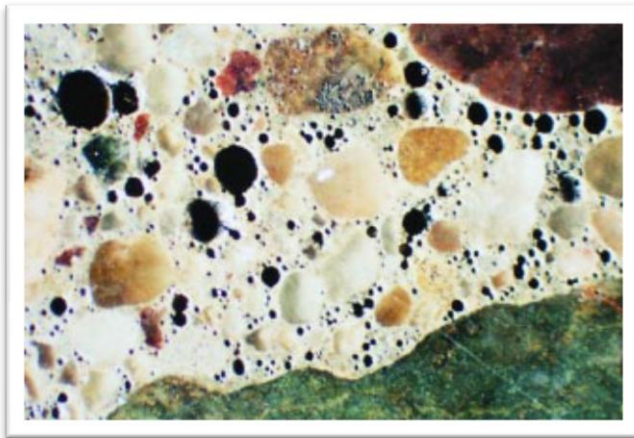
El concreto bombeable puede ser usado como se muestra en el Cuadro 2.21, en cual también incluye algunas ventajas y desventajas de su uso.

**Cuadro 2.21.** Concreto bombeable. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas  | Desventajas   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras esbeltas como columnas o muros de retención</li> <li>• Cimentaciones</li> <li>• Losas</li> <li>• Estructuras con difícil acceso y espacios limitados</li> <li>• Todos aquellos elementos en donde no es posible la colocación del concreto directamente del camión</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso de equipo de bombeo aumenta los rendimientos en la obra</li> <li>• Permite la colocación del concreto en lugares difíciles</li> <li>• Excelente manejabilidad y trabajabilidad</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Depende de un equipo de bombeo</li> <li>• La presión del bombeo puede dañar las formaletas si no están suficientemente rígidas y soportadas</li> <li>• Si el bombeo no es el correcto, puede provocar segregación</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

2.10.1.8. Concreto con aire incluido (incorporado)



**Figura 2.21.** Sección pulida de concreto con aire incluido  
Tomado de: Kosmastka, 2004

Durante el proceso de colocación del concreto, la mezcla no queda totalmente compacta, sino que permanecen algunas cavidades de aire, a lo que se le denomina como aire atrapado.

Éste se distribuye de manera heterogénea y aleatoria en la mezcla, lo que le baja la densidad, la hacen permeable, le disminuyen la resistencia y mengua la durabilidad.

Por estas razones, el concreto una vez colocado en la formaleta, se debe compactar para sacar el aire atrapado y reacomodar el concreto.

Otra forma del aire en el concreto es el aire incluido intencionalmente, que consiste en introducirle a la mezcla en estado fresco, pequeñas burbujas de aire para darle propiedades especiales, en particular la de disminuir la permeabilidad y en hacer estructuras más durables.

El concreto con aire incluido se produce utilizando un cemento inclusor como el de tipo IA, IIA o IIIA, o con la adición de un aditivo inclusor de aire durante el mezclado, estos aditivos están compuestos de sales y resinas de madera, detergentes sintéticos, sales de lignina sulfonada, sales de ácidos del petróleo o grasas y aceites de origen animal y vegetal y sus ácidos grasos o algunas sales orgánicas de hidrocarburos sulfonados (Matallana, 2001).

A diferencia de los vacíos de aire atrapado, que ocurren en todos los concretos y que dependen en gran medida de las características del agregado, las burbujas de aire intencionalmente incluidas son extremadamente pequeñas y tienen un diámetro de entre 10 micras y 1000 micras disminuyendo la tensión superficial del agua de mezclado.

En la relación entre el cemento y el agregado grueso en el concreto con aire incluido, de acuerdo con la Asociación de Cemento Portland (PCA por sus siglas en inglés), hay poco cambio en el contenido de aire cuando el tamaño máximo del agregado es mayor a 38,1 mm, ya que la superficie específica se reduce apreciablemente y, por ende, se arrastra menos aire. Para tamaños de agregados más pequeños el contenido de aire se incrementa bruscamente, debido a que el volumen de mortero se aumenta. A medida que el contenido de cemento aumenta el contenido de aire decrece para el rango normal del contenido de cemento y para una misma cantidad de incorporador de aire, un cemento cuyo contenido de álcali sea alto incorporará mayor cantidad de aire que un cemento de contenido menor.

Con respecto al agregado fino, el incremento en éste consigue que se atrape una mayor cantidad de aire durante el mezclado. Según la PCA, las partículas de agregado fino que más incorporan aire en la mezcla son las que pasan el tamiz No. 30 (595  $\mu\text{m}$ ) y las que quedan retenidas en el tamiz No. 100 (149  $\mu\text{m}$ ).

La inclusión de la cantidad apropiada de aire en el concreto produce efectos deseables a sus características como:

- En estado fresco mejora la trabajabilidad pues las burbujas de aire tienen resistencia propia que actúan como esferas de la masa de concreto fresco, haciendo que las

partículas se desplacen mejor unas sobre otras, esto se traduce en una mejor trabajabilidad

- Disminuye el riesgo de segregación ya que el aire incluido tiene la propiedad intrínseca de desarrollar tensiones hidrostáticas que aumentan la cohesividad de la mezcla, disminuyendo el riesgo de la segregación
- En estado endurecido mejora notablemente la durabilidad, especialmente contrarrestando la acción de los ciclos de congelamiento y deshielo, además, reduce la permeabilidad. La estructura endurecida del concreto presenta una porosidad con canales capilares generados por la evaporación del agua de mezclado, cuando hay bajas temperaturas el agua se congela lo que provoca un aumento de volumen, el cual provoca esfuerzos de tensión internos y genera una ruptura superficial, estos ciclos de congelamiento y deshielo acumulativos destruyen cada vez más el concreto; la incorporación de burbujas de aire intercepta buena parte de estos canales capilares aislándolos unos de otros, haciendo que el concreto sea menos permeable y por consiguiente, impidiendo la entrada de agua además de crear depósitos de aire en los cuales al introducirse agua por congelación encuentran el espacio requerido para su expansión sin generar esfuerzos internos ya que no llegan a llenarse totalmente.
- Aumenta la resistencia a la acción de los sulfatos y sustancias químicas, pues la acción que se genera es similar a la de congelamiento deshielo.
- Permite la reducción del agua de mezclado para un determinado grado de trabajabilidad e incluso puede reemplazar parte de la cantidad de arena de mezclado.
- La reducción de la relación a/c produce un aumento en la resistencia a la compresión

Dentro de los usos y ventajas de este tipo de concreto se pueden encontrar los mostrados en el Cuadro 2.22.



**Cuadro 2.22.** Concreto con aire incluido. Usos y ventajas

| Usos   | Ventajas   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pisos de cuartos de congelación</li> <li>• Estructuras sujetas al proceso de hielo-deshielo</li> <li>• Elementos prefabricados</li> <li>• Pavimentos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor resistencia al hielo-deshielo, ya que los vacíos de aire incluido actúan como cámaras huecas en la pasta, donde el agua congelada y el agua emigrante pueden entrar, aliviando la presión y previniendo daños al concreto</li> <li>• Resistencia del concreto a los sulfatos</li> <li>• Reduce la falla por expansión provocada por la reactividad álcali-sílice</li> <li>• El aire incluido mejora la trabajabilidad del concreto, particularmente en las mezclas con bajo contenido de cemento</li> <li>• La reducción de la relación a/c produce un aumento en la resistencia a la compresión</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

2.10.1.9. Concreto con polímeros



**Figura 2.22.** Reparación de una estructura con concreto con polímeros

Tomado de: [www.manutencaoessuprimentos.com.br](http://www.manutencaoessuprimentos.com.br)

Según el diccionario de la Real Academia Española, un **polímero** es "un compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas".

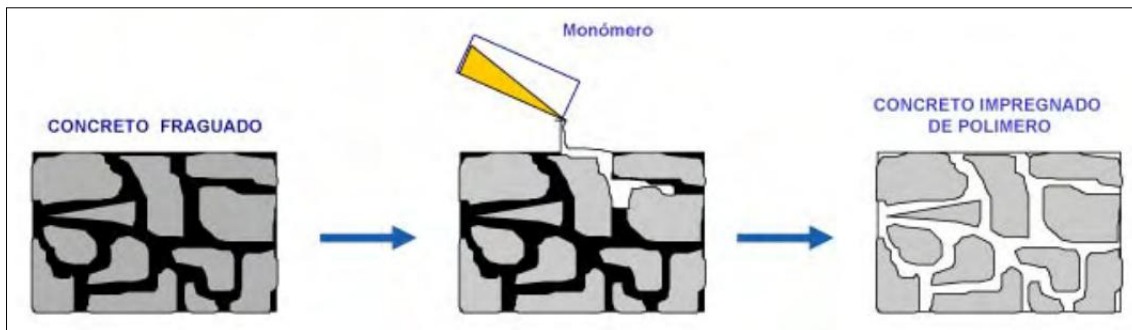
Según Torres (2000), un polímero se utiliza a menudo como sinónimo de plástico, pero muchas moléculas biológicas e inorgánicas son también poliméricas. Todos los plásticos son

polímeros pero no todos los polímeros son plásticos. Plástico se refiere realmente a la manera de derretirse y de fluir de un material.

Los concretos poliméricos utilizan los mismos métodos de aplicación y propiedades de trabajo que los concretos convencionales.

Según el ACI 548, se puede dar la siguiente clasificación:

- Concreto impregnado con polímero: consiste en un concreto de cemento Portland ya fraguado, que posteriormente es impregnado con monómero que polimeriza en sitio.



**Figura 2.23.** Fabricación de concreto impregnado con polímeros

**Fuente:** [www.proquinsa.com/pdf/introduccion.pdf](http://www.proquinsa.com/pdf/introduccion.pdf), s.f.

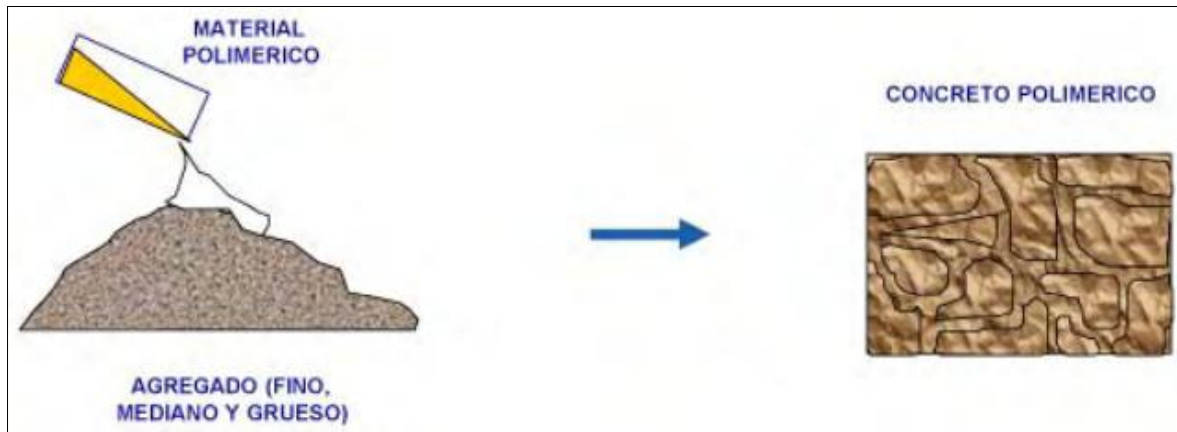
- Concreto modificado con polímeros: consiste en un material compuesto por cemento Portland y agregados, combinados en el momento del mezclado con polímeros orgánicos dispersos en agua.



**Figura 2.24.** Fabricación de concreto modificado con polímeros

**Fuente:** [www.proquinsa.com/pdf/introduccion.pdf](http://www.proquinsa.com/pdf/introduccion.pdf), s.f.

- Concreto polimérico: es un material compuesto en el que los agregados se encuentran dentro de una matriz cementante de polímero.



**Figura 2.25.** Fabricación de concreto polimérico

**Fuente:** [www.proquirsa.com/pdf/introduccion.pdf](http://www.proquirsa.com/pdf/introduccion.pdf), s.f.

Los polímeros comerciales se forman mediante reacciones químicas en recipientes grandes bajo calor y presión. Otros ingredientes se agregan controladamente mientras el polímero se forma, para producir la longitud molecular y las características deseadas. Este proceso químico se llama "polimerización".

La utilización de polímeros en el concreto, que comenzó en los años 1950 en forma de adiciones para mejorar la adherencia y resistencia al desgaste de morteros o la fabricación de mármol artificial, ha dado paso, en los últimos 25 años, a un amplio reconocimiento de los concretos fabricados o modificados con polímeros como material de construcción. Según Torres (2000), se han realizado estudios en Europa, sobre la inclusión de polímeros como aditivos, y muestran una mejora significativa de resistencia en condiciones en las que, por sus características no dan un buen desempeño, como lo es la resistencia a la flexión y a la tensión principalmente.

El concreto polimérico es, en esencia, una mezcla constituida por dos fases: una continua, que es la resina, y otra dispersa, que es el agregado. Las características del material dependerán, fundamentalmente, de estos dos constituyentes, pudiéndose controlar para

posibilitar la fabricación de un material "hecho a medida", de forma que tengan un amplio espectro de aplicación.

Los polímeros empleados son variados, dependiendo del tipo de concreto, pero, las resinas más utilizadas son las epoxi, las de poliéster insaturado y las de metacrilato.

Los látex termoplásticos y elastoméricos son los polímeros más comúnmente usados. En general, el látex mejora la ductilidad, la durabilidad, las propiedades adhesivas, la resistencia al ingreso de los iones cloruro, la resistencia a cortante, a tensión y a flexión del concreto y del mortero. Los concretos modificados con látex también son excelentes para las resistencias a congelación deshielo, a abrasión y al impacto.

La resistencia a la compresión de un concreto con polímeros varía entre los 100 MPa y 150 MPa.

Las propiedades de adhesión de este concreto permite la conexión entre concreto viejo y concreto nuevo, por lo que es usado en reparación de elementos estructurales. Además, su baja permeabilidad permite ser usado en estructuras expuestas al agua como piscinas, tuberías de desagüe, canales de drenaje entre otras. También puede ser usado como sustituto de pavimento de asfalto, para una mejor durabilidad y mayor resistencia.

El uso de polímeros como aglutinantes implica una mejor resistencia estructural, resistencia mejorada a la penetración del agua, una buena resistencia química y estabilidad térmica excelente. La absorción del agua es menor del 0,5 %, por lo que resiste los ciclos de hielo – deshielo. Durante el proceso de fraguado, se forman espacios pequeños entre las partículas de agregados que permiten que el agua penetre y se formen grietas; los polímeros se unen para llenar los vacíos, lo que lo hace menos permeable y da una mayor protección contra el ataque de éstos ciclos.

Se tiene también que los polímeros tienen buena resistencia química; los polímeros de acrílico resisten la decoloración porque no absorben el ultravioleta. Esta característica de durabilidad

de los polímeros de acrílico, se transmite a las mezclas de concreto modificadas con este polímero

Sin embargo, por efecto de la fluencia, se llega a la rotura a niveles tensionales a veces sustancialmente menores que la carga de rotura. Por el efecto del calor desprendido, debe estudiarse previamente el tiempo de polimerización que permita la colocación, sobre todo en grandes cantidades, además los polímeros pueden tener un alto grado de toxicidad, volatilidad y la facilidad de combustión.

Los usos se muestran en el Cuadro 2.23, así como sus ventajas y desventajas.

**Cuadro 2.23.** Concreto con polímeros. Usos, ventajas y desventajas

| Usos  | Ventajas   | Desventajas  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparación de estructuras de concreto</li> <li>• Prefabricados</li> <li>• Tuberías</li> <li>• Piscinas</li> <li>• Paredes y pisos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistente a agentes corrosivos</li> <li>• Resiste ciclos de hielos – deshielo</li> <li>• Buena durabilidad ante agentes químicos agresivos</li> <li>• Prácticamente nula la absorción de agua</li> <li>• Resistente a la abrasión</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotura a niveles tensionales menores que la carga de rotura</li> <li>• Debe estudiarse previamente el tiempo de polimerización que permita la colocación</li> <li>• Los polímeros pueden tener un alto grado de toxicidad, volatilidad y la facilidad de combustión.</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.10. Concreto con puzolanas*



El primer concepto de puzolanas se refiere a materiales de origen volcánico que, aunque no tienen en sí propiedades cementantes, cuando se mezclan con cal en presencia de agua, dan origen a un mortero que fragua y endurece bajo el agua.

**Figura 2.26.** Acueducto Romano en el que usó concreto con puzolanas

Tomado de: [www.concrete-zen.com](http://www.concrete-zen.com), 2010

En la actualidad las puzolanas se definen como materiales silíceos y aluminosos, que en sí poseen poco o ningún valor cementante, pero que, puede formar compuestos cementantes de baja solubilidad.

Las puzolanas se dividen en dos grandes grupos, las naturales y artificiales. Dentro del primer grupo se pueden encontrar rocas volcánicas como las cenizas volcánicas, las tobas y la escoria y rocas o suelos como arcillas calcinadas. En el segundo grupo se encuentran las cenizas volantes, producidas por la combustión de carbón mineral, las arcillas artificiales, como residuos de la quema de ladrillos de arcilla, escorias de fundición, de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos y las cenizas de residuos agrícolas, como la de la cascarilla de arroz y de la paja de la caña de azúcar.

De acuerdo con la propiedad fundamental de las puzolanas, que reside en su habilidad para combinarse con la cal hidratada y formar compuestos cementantes resistentes y de baja solubilidad, en sus aplicaciones se persigue principalmente aprovechar esta habilidad combinando en forma directa la cal con la puzolana o con la cal liberada durante la hidrólisis del cemento.

En el país, el cemento Portland modificado con puzolana Tipo I (MP), tienen hasta 5 % de caliza y hasta 15 % de puzolana; el cemento Portland puzolánico Tipo P, contiene hasta 5 % de caliza y hasta 40 % de puzolana.

Con este tipo de concreto se pueden obtener resistencias a la compresión a los 28 días entre 13 MPa hasta los 21 MPa.

Las secciones elaboradas con cemento adicionado con puzolana, se recomienda mantener el proceso de curado por tres semanas (Matallana, 2006).

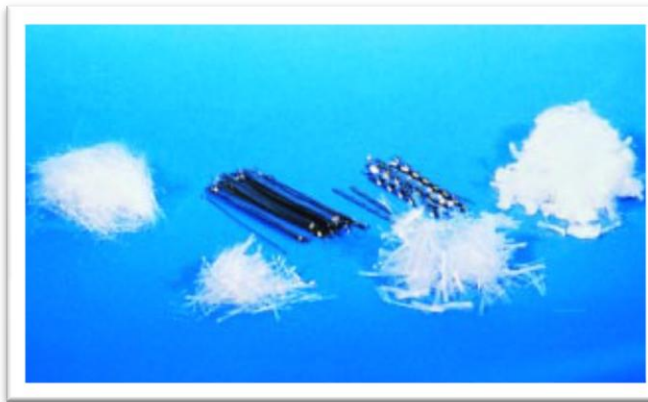
Algunos usos, así como sus ventajas y desventajas, se muestran en el Cuadro 2.24.

**Cuadro 2.24.** Concreto con puzolanas. Usos, ventajas y desventajas

| Usos  | Ventajas   | Desventajas  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• En la preparación de morteros, combinando puzolana con cal.</li> <li>• En la fabricación de cementos puzolánicos, ya sea moliendo conjuntamente la puzolana con el clinker o bien, mezclando cemento con puzolana molidos separadamente.</li> <li>• En la fabricación de morteros o concretos con Cemento Portland, usando una puzolana como material incluido a la revoltura en el momento de la mezcla.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora la trabajabilidad</li> <li>• Reduce la exudación y la segregación</li> <li>• Disminuye el calor de hidratación</li> <li>• Disminuye la permeabilidad</li> <li>• Disminuye la expansión álcali-agregados</li> <li>• Incremento de la resistencia a los agentes químicos y a las aguas y suelos agresivos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las condiciones de deformación elástica del concreto son ligeramente disminuidas por los cementos puzolánicos</li> <li>• Las obras de concreto puzolánicos exigen mayor control y curado</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.11. Concreto reforzado con fibras*



**Figura 2.27.** Fibras de acero, vidrio, sintéticas y naturales  
Tomado de: Kosmatka, 2004

El concreto reforzado con fibras es un material compuesto, hecho con cemento hidráulico, agregado fino y grueso y una dispersión aleatoria de fibras pequeñas, las cuales le brindan características físico-mecánicas distintas a los elementos de concreto normal.

Pueden ser elaborados con agregado grueso de tamaño nominal de 12,5 mm a 25 mm y cementos de tipo general.

Según la norma ASTM C 1116, una fibra son "filamentos delgados y elongados en forma de redes, hilos o haces de cualquier material natural o manufacturado, que pueden ser distribuidos en la mezcla de concreto fresco".

Dentro de los diferentes tipos de fibras, se pueden encontrar las fibras de bajo módulo de elasticidad y alta elongación a la ruptura tales como nylon, polipropileno y polietileno, capaces de absolver mucha energía y que imparten tenacidad tanto del impacto como a cargas explosivas. Las fibras de polímero como nylon y polipropileno de alto módulo y alta elongación, presentan estabilidad química dentro de la pasta y no son atacados por ácidos ni álcalis y son repelentes al agua.

Fibras de alta resistencia y módulo como acero, vidrio, asbesto y carbón producen compuestos de características muy buenas de resistencia y rigidez y en cierto grado, mejoran las propiedades dinámicas del compuesto. Sin embargo, las fibras de asbesto son perjudiciales para la salud.

Los diámetros de las fibras sintéticas (poliéster, polipropileno, vidrio entre otras) oscilan entre 0,5 mm a 0,6 mm, las fibras minerales (metálicas, asbestos, entre otras), de 0,5 mm y las orgánicas (grafito, yute, algodón, entre otras), entre 0,2 mm y 0,4 mm (Sánchez, 1985).

En las mezclas de concreto se incluyen elementos fibrosos con la finalidad de aumentar su resistencia a la tensión, reduciendo el agrietamiento por contracción o pérdida de agua. Dentro de éstos elementos se han usado agujas de acero, vidrio y fibras minerales o sintéticas con los que se pueden obtener resistencias a los 28 d entre los 17,5 MPa y 35 MPa.

El mejoramiento que le proporcionan las fibras al concreto convencional, está influenciado por la cantidad, la geometría y el tipo de fibra empleada, factores que dependen del uso y aplicación del concreto fibroso y que deben además cumplir ciertos requisitos de mezcla como trabajabilidad y colocación.

El desempeño del concreto reforzado con fibras es dependiente de la susceptibilidad de éstas al daño durante el proceso de mezclado, de la compatibilidad química con el ambiente alcalino de la pasta de cemento y de la resistencia a las condiciones de servicio en concretos sin agrietar.



Su mecánica es compleja, su distribución es al azar y además intervienen muchos factores, tales como: el espacio que queda entre una y otra fibra, la composición del material, el porcentaje de fibras que se va a usar, el tipo de fibras, el peso de la misma, entre otros.

Por otra parte, según Kosmatka y otros (2004) a pesar de que los principios básicos gobernantes en los refuerzos convencionales y en los sistemas con fibras son los mismos, hay varias características que los diferencian:

1. Las fibras se distribuyen aleatoriamente por toda la sección transversal, mientras que las barras de refuerzo o armadura se ponen sólo donde son necesarias.
2. La mayoría de las fibras son relativamente cortas y poco espaciadas si comparadas a las barras continuas de refuerzo
3. Generalmente no es posible lograrse la misma relación de área de refuerzo- área de concreto con el uso de fibras si comparado a la red de refuerzo con barras.

Las fibras se adicionan al concreto normalmente en bajos volúmenes (frecuentemente menos del 1 %) y han mostrado eficiencia en el control de la fisuración por retracción permitiendo la transferencia de esfuerzos de tensión a través de la sección y propiciando el desarrollo de la falla dúctil.

El concreto con fibras, presenta un revenimiento de 10 cm a 12,5 cm. El tiempo de fraguado es de alrededor de 2,5 h y puede ser manejable durante un periodo de 1,5 h. El contenido de aire máximo es de 3 %.

En general, las fibras no alteran considerablemente la retracción libre del concreto, pero, si empleadas en cantidades adecuadas, pueden aumentar la resistencia al agrietamiento y disminuir la abertura de las fisuras (Shah, Weiss e Yang, mencionados por Kosmatka y otros, 2004).

Algunas características de los diferentes tipos de fibras según Kosmatka y otros (2004), son:

- **Fibras de acero:** Las fibras de acero cortas son pequeños pedazos discontinuos de acero. Los volúmenes de fibras de acero usados en concreto normalmente varían del 0.25% al 2%. Volúmenes mayores que 2% generalmente reducen la trabajabilidad y la dispersión de las fibras y requieren un diseño especial de las mezclas o técnicas especiales de colado. Las fibras de acero se usan comúnmente en pavimentos de aeropuertos y en las capas de revestimiento de las pistas, en los tableros de puente y pisos industriales. El concreto con fibras de acero en estructuras sometidas al agua en alta velocidad han mostrado que pueden durar hasta tres veces más que las en concreto convencional. En los tanques sépticos, las fibras de acero sustituyen el refuerzo convencional. Las fibras de acero también se usan largamente en el concreto lanzado en aplicaciones de capas delgadas, especialmente en la estabilización de la inclinación de rocas y revestimiento de túneles.
- **Fibras de vidrio:** La primera investigación sobre fibras de vidrio a principio de los años 60 usó vidrio convencional de borosilicato (fibras de vidrio-E) y fibras de vidrio de sílice-cal-soda (fibra de vidrio-A). Los resultados de las pruebas mostraron que la reactividad entre las fibras de vidrio-E y la pasta de cemento reduce la resistencia del concreto. El avance de las investigaciones ha resultado en la creación de las fibras de vidrio resistentes a álcalis (Fibras de vidrio RA). La mayor aplicación del concreto reforzado con fibras de vidrio es la producción de paneles de fachada.
- **Fibras sintéticas:** Las fibras sintéticas son las fibras que se fabrican por el hombre y son resultado de la investigación y el desarrollo de las industrias petroquímicas y textiles. Los tipos de fibras usadas en concreto son: acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. Las fibras sintéticas pueden reducir la retracción plástica y consecuentemente la fisuración y pueden ayudar el concreto después que se fisura.
- **Fibras naturales:** Las fibras naturales se han usado como una forma de refuerzo desde mucho tiempo antes de la llegada de la armadura convencional de concreto. Los ladrillos de barro reforzados con paja y morteros reforzados con crin de caballo son unos pocos ejemplos de cómo las fibras naturales se usaron como una forma de refuerzo.

- Fibras naturales no procesadas: Se pueden usar estas fibras con éxito para la producción de planchas finas para muros y techos. Algunas fibras naturales no procesadas son fibras de coco, sisal, bambú, yute, madera y fibras vegetales. A pesar de que los concretos producidos con fibras naturales presentan propiedades mecánicas buenas, tienen algunos problemas de durabilidad. Muchas de estas fibras son altamente susceptibles a los cambios de volumen debido a variaciones de la humedad que contienen. Los cambios de volumen de las fibras que acompañan los de humedad pueden afectar drásticamente la resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz.

La función principal de las fibras es la restricción de la propagación de la grieta, ya que se producen fuerzas de agarre en sus extremos.

El concreto con fibras presenta ventajas y desventajas que se muestran en el Cuadro 2.25, así como sus usos.

**Cuadro 2.25.** Concreto reforzado con fibras. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas  | Desventajas  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Losas apoyadas en suelo</li> <li>• Losas de techo</li> <li>• Contrapisos de uso industrial</li> <li>• Parqueos</li> <li>• Manufactura de tubos de concreto</li> <li>• Pistas de aeropuertos</li> <li>• Productos prefabricados</li> <li>• Paredes de tanques</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia</li> <li>• Alto módulo de elasticidad en fibras de vidrio y acero</li> <li>• Bajo módulo de elasticidad en fibras sintéticas</li> <li>• Proporciona rigidez</li> <li>• Capacidad alta de absorción de energía</li> <li>• Proporciona tenacidad ante cargas de impacto y estabilidad química dentro de la pasta</li> <li>• Reduce las contracciones en el estado plástico y/o endurecido</li> <li>• Permite mayores espaciamientos de juntas en pisos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las fibras se distribuyen aleatoriamente por la sección transversal del concreto. Por lo tanto, muchas fibras se localizan inadecuadamente con relación a la resistencia y a las tensiones resultantes de las cargas aplicadas</li> <li>• Muchas fibras cruzan las fisuras con ángulos diferentes de 90° o pueden tener una longitud embebida (anclaje) menor que la necesaria para el desarrollo de una unión fibra-matriz adecuada. Así, apenas un pequeño porcentaje del contenido de fibras puede resistir eficientemente a las tensiones de tracción (esfuerzo de tensión) o flexión</li> <li>• No previenen fisuras ocasionadas por fuerzas externas</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

Al usar fibras, se debe tener cuidado con el tamaño de ésta, ya que si es muy larga puede causar grumos, si la fibra usada es de acero y quedan fibras expuestas se llegan a corroer fácilmente y dañar el acero de los elementos, además puede llegar a disminuir el revenimiento, lo que puede causar el aumento del agua en la mezcla para obtener mayor trabajabilidad.

### 2.10.1.12. Concreto expansivo



**Figura 2.27.** Demolición de rocas con concreto expansivo  
Tomado de: <http://medellin.olx.com.co/no-mas-explosivos-demolicion-rocas-y-concretos-y-mineria-con-cemento-expansivo-iiid-258957640>

Según Solano (1980), un concreto expansivo es aquel que aumenta de volumen aparente tan pronto como endurezca y sin dejar de ser estable puede desarrollar una resistencia comparable con la de concretos normales.

Para su fabricación se utilizan cementos expansivos que son cementos hidráulicos de características semejantes a los

cementos Portland. El cemento expansivo es un cemento que se expande ligeramente durante el inicio del periodo de endurecimiento, después del fraguado. Los hidróxidos de álcali reaccionan con la sílice de los agregados reactivos para formar productos expansivos, provocando la expansión del concreto. Además se utiliza agregado grueso de tamaño máximo nominal entre 25 mm y 38 mm.

El agente expansivo se obtiene quemando una mezcla de yeso, bauxita y caliza, los cuales forman sulfato de calcio y aluminato de calcio que en presencia de agua, reaccionan formando hidrato de sulfoaluminato de calcio (etringita) y produce una expansión en la pasta.

Otro cemento expansivo, llamado expansivo de alta energía, se elabora mediante escoria de cemento Portland, clinker de cemento aluminoso y yeso, aproximadamente en la proporción de 65:20:15, la expansión se realiza en un periodo de 2 a 3 días, después de la colocación del concreto (Solano, 1980).

Los concretos expansivos son clasificados por el ACI como:

- Concreto de contracción pesada: al restringir la expansión se inducen esfuerzos de compresión que aproximadamente cancelan los esfuerzos de tensión inducidos por la contracción. El concreto de contracción compensada (concreto de retracción compensada, concreto compensador de contracción) es un concreto que contiene un cemento expansivo o un aditivo expansivo, los cuales producen expansión durante el endurecimiento que compensa la contracción que ocurre durante el secado (contracción por secado). El concreto de contracción compensada se usa en losas de concreto, pavimentos, estructuras y reparos, a fin de minimizar el agrietamiento provocado por la contracción por secado. La expansión del concreto con contracción compensada se debe determinar a través de la ASTM C 878: método de prueba estándar para la expansión restringida de la retracción compensada del concreto (Kosmatka y otros, 2004).
- Concreto autoesforzante: los esfuerzos de compresión inducidos son suficientes para conservar esfuerzos de compresión significativos después de que la contracción en seco ha transcurrido.

Sin embargo, lo importante no es la expansión, sino los esfuerzos de compresión inducidos que pueden compensar los de tensión.

El concreto expansivo puede mostrar una mayor o menor contracción dependiendo de factores como:

- Riqueza de la mezcla
- Relación a/c
- Curado

El concreto de contracción pesada tiene una resistencia a la compresión de entre 35 MPa a 100 MPa, mientras que el concreto autoesforzante permite alcanzar resistencias de compresión de alrededor de 15 MPa.

El revenimiento de este tipo de concreto varía entre 10 cm y 25 cm.

El concreto producido con cemento expansivo se puede usar para compensar la contracción por secado prevista para después del curado.

Los usos, así como las ventajas y desventajas del concreto expansivo, se muestran en el Cuadro 2.26.

**Cuadro 2.26.** Concreto expansivo. Usos, ventajas y desventajas

| <b>Usos</b>   | <b>Ventajas</b>   | <b>Desventajas</b>  |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Losas de puentes</li><li>• Pavimentos</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Reduce contracción por secado, por lo que reduce fisuración</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Debe elaborarse bajo condiciones de control muy rigurosos</li></ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.13. Concreto de fraguado acelerado*



Son concretos especialmente diseñados que presentan un proceso de fraguado más rápido que lo normal y con una curva de evolución de resistencias similar a la de un concreto convencional, que varía desde los 8 MPa hasta los 42 MPa.

El tamaño máximo de agregado varía entre 12,7 mm y 25 mm.

**Figura 2.28.** El uso de concreto de fraguado acelerado en un elemento pos tensionado para la fabricación en serie de los mismos  
Tomado de: Industrial Escosa S.A., s.f.

Este tipo de concreto presenta una relación a/c de y un revenimiento de 10 cm, fraguando en un periodo de 1 h en clima frío y hasta 30 min en clima cálido. El contenido de aire máximo es de 3 %.

Se logra por medio del uso de aditivos acelerantes. No obstante, como no se ha encontrado un sustituto apropiado para el cloruro de calcio (base de los aditivos acelerantes), hoy día se prefiere el empleo de superfluidificantes, que son aditivos que permiten trabajar con relaciones a/c tan bajas como 0,24.

El problema fundamental del cloruro de calcio, es que no solo corroe el acero, sino también el concreto.

Los usos de este tipo de concreto así como sus ventajas y desventajas, se muestra en el Cuadro 2.27.

**Cuadro 2.27.** Concreto de fraguado acelerado. Usos, ventajas y desventajas

| <b>Usos</b>  | <b>Ventajas</b>   | <b>Desventajas</b>  |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Sistemas constructivos que demandan acabados rápidos</li><li>• En la fabricación de productos prefabricados</li><li>• Pavimentos</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Es un concreto que permite rápido acabado</li><li>• Permite mayor rotación de formaleta</li><li>• Disminuye el tiempo en obra</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Se tiene mejor tiempo de manejabilidad, por lo que debe tenerse cuidado con las demoras</li></ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.14. Concreto de fraguado retardado*

Es un concreto que en estado fresco posee mayores tiempos de manejabilidad y un proceso de fraguado más lento que el concreto convencional, con resistencias a la compresión entre los 7 MPa y los 42 MPa.

El tamaño máximo de agregado varía entre 12,5 mm y 25 mm.

Su relación a/c es de 0,48 a 0,73, para dar un revenimiento de alrededor de 15 cm. El tiempo de fraguado inicial es de 3 h y de fraguado final de 6 h, lo que permite un tiempo de manejabilidad de 3 h a 4 h. El contenido de aire debe de ser como máximo del 3 %.

Se logra por medio del uso de aditivos retardantes de fraguado, y que al igual que el concreto de fraguado acelerado, es conveniente el uso de fluidificantes.

En el Cuadro 2.28 se pueden observar algunos usos, ventajas y desventajas que presenta el concreto de fraguado retardado.

**Cuadro 2.28.** Concreto de fraguado retardado. Usos, ventajas y desventajas

| <b>Usos</b>  | <b>Ventajas</b>  | <b>Desventajas</b>  |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Casos constructivos especiales donde deben evitarse las juntas frías</li><li>• Donde por ductilidad, se requieran mayores tiempos de manejabilidad</li><li>• Donde es conveniente reducir la temperatura generada por calor</li><li>• En lugares de temperaturas altas</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mayor tiempo de manejabilidad que permite una adecuada colocación del concreto</li><li>• Reduce la posibilidad de juntas frías</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Cualquier factor que retrase el fraguado incrementa la posibilidad del agrietamiento por contracción plástica</li></ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.15. Concreto de resistencia acelerada (alta resistencia inicial)*



**Figura 2.29.** Uso del concreto de alta resistencia inicial  
Tomado de: <http://www.aripisa.com/Paginas1/Cientes%20y%20Obras1.htm>

Según Kosmatka y otros (2004), el concreto de alta resistencia inicial, también llamado de concreto de alta resistencia en edad temprana o fast track, logra su resistencia especificada más rápido que el concreto convencional. El periodo de tiempo en el cual la resistencia especificada se debe desarrollar puede variar de unas pocas horas (o hasta minutos) hasta varios días. Se puede lograr la alta resistencia



en edades tempranas con la utilización de ingredientes y prácticas de colado convencionales, a pesar de que en algunos casos se hacen necesarios materiales y técnicas especiales. Se fabrica con cemento de uso general o de alta resistencia inicial y agregado grueso de tamaño máximo nominal entre 12,5 mm a 25 mm.

Son concretos especialmente diseñados y controlados que permiten resistencias a la compresión entre los 7 MPa y los 42 MPa para las edades entre 1 d y 14 d, con una relación a/c de 0,20 a 0,45 y un revenimiento de 12 cm a 18 cm. Su fraguado se da aproximadamente a las 2,5 h pero es manejable por 1 h en clima frío y 30 min en clima cálido.

Cuando se utiliza cemento normal, algunas especificaciones exigen que el curado del concreto se mantenga como mínimo 7 d; mientras que otros requieren que sea de 14 d o más. Cuando los cementos utilizados son de tipo III (alta resistencia inicial), los períodos de curado pueden ser reducidos a la mitad. La Norma Sismo Resistente NSR-98 establece que tanto la temperatura como la humedad relacionadas, se deben asegurar por lo menos durante tres d (Matallana, 2006).

No debe confundirse el término resistencia acelerada con fraguado acelerado. En fraguado acelerado no se incrementan las resistencias iniciales. La alta resistencia inicial se puede obtener con el uso de una o la combinación de varias de las siguientes recomendaciones, dependiendo de la edad en la cual se debe alcanzar la resistencia especificada y las condiciones de la obra:

1. Cemento de alta resistencia inicial, tales como ASTM tipo III
2. Alto contenido de cemento (400 a 600 kg/m<sup>3</sup>)
3. Baja relación agua-material cementante (0,20 a 0,45 en masa)
4. Temperatura más elevada del concreto fresco
5. Mayor temperatura de curado
6. Aditivos químicos
7. Humo de sílice (u otro material cementante suplementario)
8. Curado a vapor o en autoclave

- 9. Aislamiento para retener el calor de hidratación
- 10. Cementos especiales de endurecimiento rápido

Al diseñarse el concreto de alta resistencia inicial, el desarrollo de la resistencia no es el único criterio que se debe evaluar. Otras propiedades, tales como durabilidad, endurecimiento rápido, contracción autógena, retracción por secado y aumento de temperatura, también se deben evaluar cuanto a su compatibilidad con el proyecto. Pueden ser necesarios procedimientos especiales de curado, tales como rociado, para prevenirse el agrietamiento plástico (fisuración plástica).

El concreto de alta resistencia inicial debe mantenerse por encima de 10° C y en condiciones de humedad por lo menos los 3 primeros días, excepto cuando se cure por medio de curado acelerado.

El concreto de resistencia acelerada puede ser usado como se muestra en el Cuadro 2.29, en cual también incluye algunas ventajas y desventajas de su uso.

**Cuadro 2.29.** Concreto de alta resistencia inicial. Usos, ventajas y desventajas

| <b>Usos</b>   | <b>Ventajas</b>  | <b>Desventajas</b>   |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casos en que se requiera poner el servicio de la estructura antes del plazo presupuestado</li> <li>• Cualquier elemento estructural puede ser construido con estos concretos a excepción de concretos masivos</li> <li>• En elementos pretensado y prefabricado, para la rápida producción de elementos.</li> <li>• En clima frío</li> <li>• En el reparo de pavimentos para su rápida habilitación al tránsito</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se desarrollan altas resistencias iniciales y finales</li> <li>• Se requiere menor tiempo para quitar encofrados</li> <li>• Se puede dar función estructural al elemento en corto tiempo</li> <li>• Se reduce el tiempo general de la obra</li> <li>• Se disminuyen los tiempos para dar afinado y acabado</li> <li>• El personal puede ser utilizado en otras funciones</li> <li>• Se incrementan las resistencias a compresión, flexión, impermeabilidad</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe utilizar resistencias entre 7 MPa y 35 MPa en obras masivas</li> <li>• Requieren un proceso de curado especial en las primeras horas y días</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

### 2.10.1.16. Concreto lanzado



**Figura 2.30.** Concreto lanzado  
Tomado de: Kosmatka y otros, 2004

El ACI 506 define el concreto lanzado como un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. Se le conoce también como concreto proyectado o concreto neumático. Dicha superficie puede ser concreto, piedra, terreno natural, poliestireno, entre otros. A diferencia del

concreto convencional, que se coloca y luego se compacta (vibrado) en una segunda operación, el concreto lanzado se coloca y se compacta al mismo tiempo, debido a la fuerza con que se proyecta desde la boquilla.

Hay dos métodos principales de aplicación: el "seco" y el "húmedo". En el primer proceso, una premezcla de cemento y agregado húmedo se propulsa a través de una manguera hasta una boquilla, por medio de aire comprimido. El agua se adiciona a la mezcla de cemento y agregado en la boquilla y se proyectan los ingredientes íntimamente mezclados sobre la superficie. En el proceso de vía húmeda, todos los ingredientes son premezclados. La mezcla húmeda se bombea a través de la manguera hasta la boquilla, donde se aplica aire comprimido, el cual aumenta la velocidad y propulsa la mezcla contra la superficie.

Según Reyes (2002), algunas consideraciones a tomar en cuenta para escoger el método de aplicación son:

- ✓ El método por vía seca
  - Control instantáneo sobre el agua de mezclado y consistencia de la mezcla en la boquilla para cumplir con las condiciones variables del lugar
  - Más apropiado para mezclas que contengan agregados livianos, materiales refractarios y concreto que requiera resistencia temprana
  - Puede transportarse a largas distancias

- Mejor control del inicio y parado de la colocación con menor desperdicio y mayor flexibilidad
- ✓ El método por vía húmeda
  - El agua de mezclado se controla en el equipo de entrega y puede ser medida con precisión
  - Mejor seguridad de que el agua de mezclado es completamente mezclada con el resto de los ingredientes
  - Menos polvo y pérdida de cemento
  - Por lo regular, menor rebote, y con ello, menor desperdicio de material
  - Posibilidad de lograr una producción mayor

Para la fabricación de este concreto se pueden usar agregados de hasta 19 mm, sin embargo, la mayoría de las mezclas contienen agregados de hasta 9.5 mm y en las mezclas húmedas, se utilizan normalmente del 25% al 30% de grava (Austin y Robbins, citado por Kosmatka y otros, 2004). También se pueden emplear materiales cementantes suplementarios, tales como ceniza volante y humo de sílice en el concreto lanzado. Estos materiales mejoran la trabajabilidad, la resistencia química y la durabilidad.

Por facilidad de bombeo, el contenido e agregado grueso debe ser menor que en un concreto convencional.

El concreto lanzado tiene una densidad y resistencia a compresión similares al concreto normal y al concreto de alta resistencia; se pueden obtener resistencias de 8 MPa y hasta 48 MPa.

La relación a/c generalmente es de 0,30 a 0,50 para los concretos colocados por vía seca y entre 0,40 y 0,55 para los concretos colocados por vía húmeda, además, requiere una mayor cantidad de cemento, entre 300 kg/m<sup>3</sup> a 500 kg/m<sup>3</sup>, por lo que tiene mayores posibilidades de sufrir agrietamientos de contracción por secado, por lo que requiere de un mayor control en la colocación de juntas o incrementar el uso de refuerzo en fibras de acero, además de un curado adecuado (IMCYC, 2002).

El concreto lanzado tiene un revenimiento de entre 8 cm y 17 cm, un contenido de aire de 3 % y un tiempo de fraguado de 5 min.

Cuando la mezcla de concreto lanzado choca con la superficie, parte del agregado grueso rebota de la superficie, hasta que haya suficiente cantidad de pasta donde el agregado pueda pegarse. Para disminuir el rociado (mortero que se fija en las superficies próximas) y el rebote (agregados que rebotan de la superficie), la boquilla se debe sostener en un ángulo de 90° con la superficie. La distancia apropiada entre la boquilla y la superficie es normalmente entre 0.5 m y 1.5 m, dependiendo de la velocidad de proyección.

Los usos se muestran en el Cuadro 2.30, así como sus ventajas y desventajas.

**Cuadro 2.30.** Concreto lanzado. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas  | Desventajas   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras con secciones curvas o alabeadas</li> <li>• Recubrimiento de túneles</li> <li>• Recubrimiento de mampostería para protección o acabados</li> <li>• Refuerzos de estructuras de concreto</li> <li>• Reparación de estructura de concreto</li> <li>• Estabilización de taludes</li> <li>• Protección del acero estructural</li> <li>• Tanques de agua</li> <li>• Estructuras tipo domo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita la colocación de la mezcla</li> <li>• Los desperdicios del rebote son mínimos</li> <li>• No se necesita vibrador ni compactador</li> <li>• Permite dar el acabado deseado</li> <li>• Reduce costos de encofrado</li> <li>• Permite altos rendimientos en mano de obra</li> <li>• Disminuye tiempos de ejecución</li> <li>• Baja permeabilidad</li> <li>• Alta densidad y durabilidad</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En terrenos poco firmes, la contención debe tener acero</li> <li>• El concreto lanzado por el método seco, requiere de la manipulación cuidadosa de la boquilla por parte del operador para mezclar completamente el material cuando sale de ésta.</li> <li>• La mezcla con el método húmedo da un mayor revenimiento debido a la cantidad excesiva de agua que debe incluirse para obtener bombeabilidad</li> <li>• Requiere de equipo especial para su colocación</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

### 2.10.1.17. Concreto ligero



**Figura 2.31.** Sección de concreto ligero.  
Tomado de: civilgeeks.com, 2011

El concreto ligero o liviano es aquel cuya densidad es inferior a la del concreto convencional y usualmente varía entre  $400 \text{ kg/cm}^3$  y  $2000 \text{ kg/cm}^3$ . Se obtiene sustituyendo el agregado grueso convencional por agregado grueso ligero (usualmente arcilla expandida).

En general, según Merritt (1990), los concretos más ligeros tienen mayores grados de absorción, menor resistencia, menor módulo elástico, menor conductividad térmica y mayor grado de contracción que los concretos de peso normal.

Alvarado (1983), menciona que el concreto ligero abarca tres grupos de concreto:

✓ Concretos sin finos:

Concreto de cemento, agua y agregado grueso, cuyo tamaño oscila entre 1 cm a 1.9 cm, dejando vacíos repartidos uniformemente en toda la masa. Sin embargo el número de vacíos no depende del tamaño del agregado, sino de la forma (esférica o granular); con granos redondeados se obtiene hasta un 37% de vacíos, mientras que con agregados en forma de astilla se obtienen hasta un 60 % de vacíos.

Entre los agregados que se usan están gravas, piedra triturada, escoria gruesa de hulla, cenizas sinterizadas de combustible en polvo, arcillas o esquistos expandidos, pizarras expandidas y escorias espumosas.

✓ Concretos con agregados de peso ligero:

Concreto al cual se le incluye aire a la mezcla por medio de agregados como:

- Cenizas
- Escoria de altos hornos

- Lana de madera (colochos)
- Aserrín
- Arcilla expandida
- Pómez
- Lava volcánica

✓ Concreto aireado o concreto celular:

Como en el concreto de peso normal, el aire incluido en el concreto estructural ligero garantiza resistencia a congelación-deshielo y a las sales descongelantes. También mejora la trabajabilidad, reduce el sangrado (exudación) y la segregación y puede compensar pequeñas deficiencias en la granulometría del agregado.

Se subdividen en dos grupos de acuerdo con el método de manufactura utilizado:

- Aireación química: se le conoce como concreto celular gaseoso, es hecho de una mezcla de agentes químicos con un mortero fluido, el gas se genera dentro de la **mezcla produciéndose cuando los agentes químicos reaccionan "inflándose" al mortero al producirle poros o células de aire repartidas uniformemente en toda la mezcla**

Como agentes activantes están el polvo de aluminio, cloruro de peróxido de hidrógeno, zinc, calcio, bario, carburo de calcio y otros

- Mezcla espumosa: resulta de mezclar espuma o agentes que produzcan espuma con un mortero con agregado fino, agua y cemento o cemento y cal o cal (este último con cal solo puede ser fabricado cuando vaya a ser curado con vapor a alta presión)

Se dan dos tipos de mezcla con espuma:

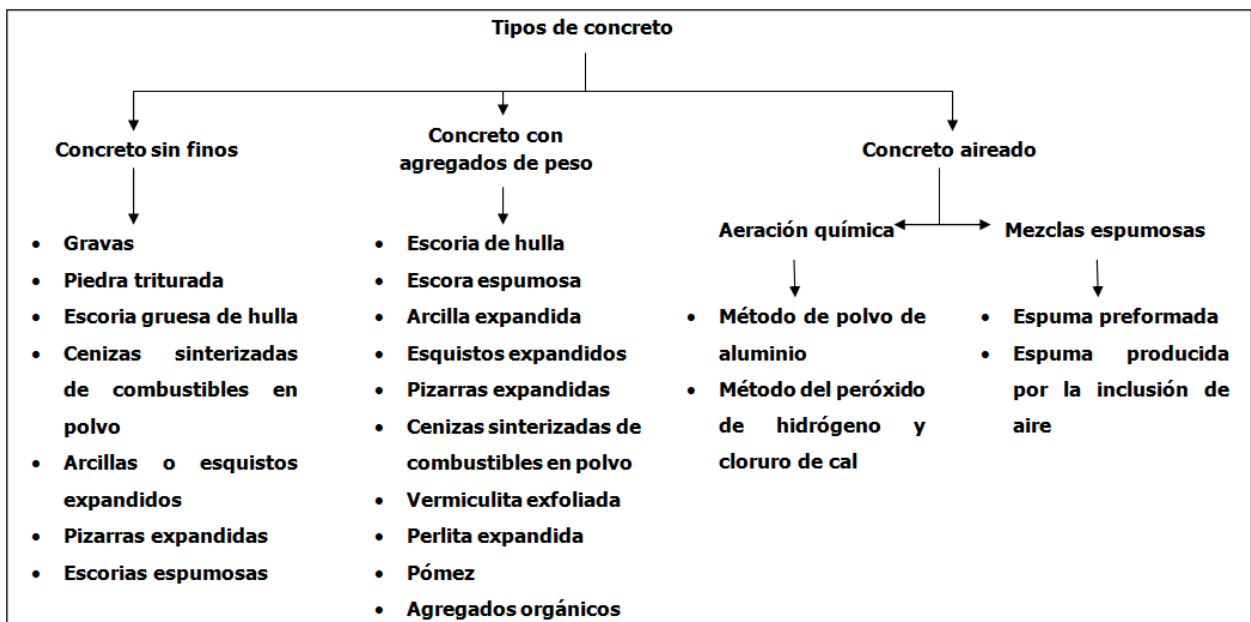
- Con espuma en la mezcla: se forma un mortero de consistencia ligeramente líquida, luego se le echa el agente espumante y se mezcla hasta generar la espuma
- Con espuma preformada: similar a la anterior, con la diferencia de que la espuma se genera fuera de la mezcla, usándose un generador de espuma,

y se agrega al mortero. Entre sus ventajas están que requiere menos cantidad de agente para lograr una densidad determinada y que se puede controlar más la densidad

Dentro de los agentes espumantes están:

- Detergentes (sulfatos de lauril de sodio y otros)
- Jabón de resina y cola vegetal o animal
- Saponina
- Sulfato meftaleno alcalinizado
- Resina neutralizada
- Proteínas hidrolizadas

Los tres tipos de concreto ligero se muestran esquemáticamente en la Figura 2.33. Sin embargo, aunque son básicamente esos tres tipos, se pueden tener también unas combinaciones de los mismos para formar otros concretos más ligeros aún; por ejemplo, se puede tener un concreto sin finos cuyo agregado sea de peso ligero, al igual que un concreto aireado que contenga agregado celular.



**Figura 2.32.** Tipos de concreto ligero

**Fuente:** Short y Kinniburgh, 1980



Según Short y Kinniburgh (1980), el tamaño máximo de agregado para los diferentes concretos ligeros son:

Concreto sin finos: 19 mm

Concreto parcialmente compactado con agregados ligeros: material grueso y fino de 5 mm o menos, combinados

Concreto estructural con agregados ligeros, completamente compactados: desde 13 mm a 19 mm; hasta polvo con un número de finos de 5 mm

Concreto aireado: finos de 0,125 mm, aunque en algunas ocasiones se les añade agregado fino menor a 5 mm.

La resistencia a compresión típica varía de 21 MPa y 35 MPa.

La resistencia a compresión de los concretos ligeros (livianos) estructurales frecuentemente se relaciona con el contenido de cemento y con el contenido de aire, mucho más que con la relación a/c. Esto se debe a la dificultad de determinarse la cantidad de agua de la mezcla que fue absorbida por el agregado y que, por lo tanto, no está disponible para la reacción con el cemento. Sin embargo, la mayoría de los concretos sin finos se hacen con una relación a/c entre 1,6 y 1,10, en volumen, lo que depende del agregado que se utilice y de la resistencia a la compresión deseada.

A diferencia del concreto convencional, el concreto sin finos, es sumamente sensible al contenido de agua, por lo que no puede ser utilizada una sola proporción de ésta y deberá determinarse haciendo cada vez mezclas alternativas. Como punto de partida Según Short y Kinniburgh (1980), recomiendan empezar la mezcla con una proporción de 1:8 con una relación a/c de aproximadamente 0,45, para agregados naturales o densos; para agregados de peso ligero se puede considerar una proporción 1:6 con una relación a/c entre 0,40 y 0,60.

Otras dosificaciones según el tipo de agregado ligero se muestran en el Cuadro del 2.31.

**Cuadro 2.31.** Dosificaciones para diferentes agregados ligeros

| <b>Agregado</b>  | <b>Cemento : agregado en vol</b> | <b>Resistencia a los 28 d<br/>(kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|--|----------------------------------|---|
| <b>Escoria de la hulla quemada</b>   |                                  |   |
| Escoria de hulla cruda (57 % de combustible)                                       | 1:6                              | 53,8  |
| Escoria de hulla quemada (3 % de combustible)                                      | 1:6                              | 72,0  |
| Con escoria espumosa   |                                  |   |
| 1:4  | 232                              | 1:4   |
| 1:5  | 176                              | 1:5   |
| 1:6  | 113                              | 1:6   |
| 1:8  | 78                               | 1:8   |
| <b>Mezclas semi secas de concreto con arcilla expandida</b>                        |                                  |   |
| Agregado ligero de arcilla   | 1:6                              | 24,6  |
| Agregado de esquistos expandidos   | 1:6<br>1:9                       | 137,1<br>65,2   |
| <b>Concreto hecho con agregado de cenizas sinterizadas de combustible en polvo</b> |                                  |   |
| 1:4  | 193,3                            | 1:4   |
| 1:5  | 130,1                            | 1:5   |
| 1:6  | 105,5                            | 1:6   |
| <b>Concreto hecho con agregado de cenizas de combustible pulverizados</b>          |                                  |   |
| 1:1,4: 3,3   | 302,3                            | 1:1,4: 3,3  |
| 1:1,7:3,3  | 337,5                            | 1:1,7:3,3   |
| 1:1,2:2,4  | 421,9                            | 1:1,2:2,4   |
| <b>Concreto con pizarras expandidas</b>  |                                  |   |
| 1:2,8  | 281                              | 1:2,8   |
| 1:3,7  | 242                              | 1:3,7   |
| 1:5,2  | 162                              | 1:5,2   |
| 1:9,0  | 92                               | 1:9,0   |
| <b>Con piedra pómez</b>  |                                  |   |
| 1:3  | 104                              | 1:3   |
| 1:4,5  | 140                              | 1:4,5   |
| <b>Con diatomita</b>   |                                  |   |
| 1:9  | 22                               | 1:9   |
| 1:6  | 46                               | 1:6   |
| 1:3,7  | 85                               | 1:3,7   |
| 1:2,4  | 115                              | 1:2,4   |
| <b>Con aserrín</b>   |                                  |   |
| 1:1  | 352                              | 1:1   |
| 1:2  | 123                              | 1:2   |
| 1:3  | 49                               | 1:3   |
| 1:4  | 18                               | 1:4   |

**Fuente:** Short y Kinniburgh, 1980

El revenimiento en este tipo de concreto oscila entre 0 mm y 25 mm.

El curado en el concreto ligero puede ser el de almacenamiento en condiciones húmedas, tratamiento a baja presión de vapor o curado a alta presión de vapor en autoclave. Esta última proporciona muy alta resistencia en un periodo muy corto y en algunos casos da una resistencia más alta que la que podría haberse alcanzado con un curado al aire, además, la contracción por secado se reduce. El curado a baja presión de vapor no afecta a la contracción por secado, pero proporciona rápidamente una alta resistencia, aunque ésta sea generalmente menor que la que se obtiene con un curado al aire en un ambiente húmedo (Short y Kinniburgh, 1980).

La característica más evidente de este tipo de concreto es, su densidad, la cual es como se mencionó anteriormente, considerablemente menor que la del concreto convencional. Las ventajas de tener materiales con baja densidad son muy numerosas, dentro de las cuales Short y Kinniburgh (1980), mencionan por ejemplo, reducción de las cargas muertas, mayor rapidez de construcción, menores costos de transporte y acarreo. El peso que le llega a una cimentación por medio de marcos, pueden disminuir con el uso de concreto ligero y así lograr considerables ahorros en su costo.

El uso fundamental del concreto ligero busca reducir la carga muerta de una estructura de concreto, lo que permite a su vez que el diseñador reduzca el tamaño de columnas, cimentaciones y otros elementos estructurales de soporte de cargas. Otros usos son en estructuras de varios niveles, donde se requieren peraltes mínimos y la ubicación para las columnas está limitada o en puentes muy altos donde la carga muerta de la superestructura requiere columnas y estribos excesivamente grandes para resistir las fuerzas sísmicas.

El peso reducido del concreto minimiza la cantidad de acero de refuerzo en la superestructura y el concreto y acero de refuerzo en la subestructura al grado de que el ahorro en los materiales pueda contrarrestar el costo de los agregados ligeros.

Algunos usos, así como sus ventajas y desventajas, se muestran en el Cuadro 2.32.

**Cuadro 2.32.** Concreto ligero. Usos, ventajas y desventajas

| Usos  | Ventajas  | Desventajas   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• En losas y muros</li> <li>• Capas de nivelación</li> <li>• Relleno de nivelación</li> <li>• Como aislante</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de cargas muertas</li> <li>• Aislamiento térmico y acústico</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los agregados livianos requieren ser humedecidos antes de usarse a fin de lograr un alto grado de saturación</li> <li>• Excesivas cantidades de agua o excesivo revenimiento, hacen que el agregado liviano se segregue del mortero</li> <li>• Debido al mayor contenido de humedad, requiere más tiempo para secarse</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

2.10.1.18. Concreto permeable



Según la NRMCA (*National Ready Mixed Concrete Association*), el concreto permeable es un tipo especial de concreto con una alta porosidad, usado para aplicaciones en superficies de concreto que permita el paso a través de

**Figura 2.33.** Uso del concreto permeable en una acera.  
Modificado de: Holcim Costa Rica, 2009

él de agua proveniente de precipitación y otras fuentes, reduciendo la escorrentía superficial de un sitio y recargando los niveles de agua subterránea.

El concreto permeable no es tan distinto al concreto convencional, básicamente se trata de una mezcla de cemento, agua y agregados. Sin embargo, las proporciones de estos materiales permiten obtener un concreto con alta porosidad. Generalmente este tipo de concreto posee un índice de vacíos que oscila entre 15 % y 30 %, razón por la cual permite la infiltración de agua a través del mismo (Zamora, 2011). En algunas ocasiones se ha utilizado un contenido bajo de agregado fino (no mayor al 30 % por peso con respecto al agregado grueso), y aditivos que permiten reducir el contenido de agua, aumentar el tiempo de fragua y aumentar su trabajabilidad (Fernández, 2008).

La ausencia de agregado fino brinda las características de permeabilidad buscadas pues presenta contenidos de vacíos mayores en comparación con los concretos convencionales y se utiliza tamaño máximo de agregado entre **6" y 16"** de forma redondeada. La relación agregado grueso / cemento es cercana a 4 (Zamora, 2011).

El concreto permeable tiene una resistencia a la compresión de 10,5 MPa y hasta 28 MPa.

La relación a/c oscila entre 0,35 a 0,45, con un contenido de vacios de 15 % a 25 %.

Las variables que afectan las resistencias y el comportamiento del concreto permeable tanto en estado fresco como endurecido son:

- Porcentaje de vacíos
- Tamaño máximo de agregado
- Procedencia de agregado
- Rugosidad del agregado
- Procedimiento d mezcla de utilizado
- Relación a/c
- Relación ag/c
- Uso de aditivos
- Energía de compactación
- 

El concreto permeable reduce la escorrentía superficial en áreas pavimentadas, reduciendo así la necesidad de lagunas separadas de retención de agua de lluvia y permite el uso de un alcantarillado de menor capacidad. Esto permite a los propietarios o desarrolladores, desarrollar áreas de mayor tamaño a un costo menor. El concreto permeable también filtra de manera natural el agua de lluvia y reduce las cargas de polución que pueden entrar en los arroyos, lagunas y ríos.

Este tipo de concreto funciona como una laguna de retención de agua de lluvia y permite que el agua de lluvia se infiltre en la tierra sobre un área mayor, facilitando la recarga de suministros de agua subterránea localmente.

El concreto permeable puede de igual manera reducir el impacto del desarrollo de árboles. Un pavimento con concreto permeable permite la transferencia de agua y aire a los sistemas de raíces dejando que los árboles florezcan incluso en las áreas altamente desarrolladas. Además, permite la infiltración del agua de lluvia.

Los usos, ventajas y desventajas de este tipo de concreto se pueden observar en el Cuadro 2.35.

**Cuadro 2.33.** Concreto permeable. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas  | Desventajas   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques</li> <li>• Aceras</li> <li>• Invernaderos</li> <li>• Áreas de poco tráfico</li> <li>• Restauración de mantos acuíferos</li> <li>• Cubierta laterales de piscinas</li> <li>• Rutas de carros de golf</li> <li>• Muros de contención</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce la escorrentía superficial en áreas pavimentadas</li> <li>• Filtra el agua de lluvia</li> <li>• Permite la transferencia de agua y aire a los sistemas de raíces, dejando que los árboles florezcan incluso en las áreas altamente desarrolladas</li> <li>• Disminuye focos de infección por contaminación de aguas</li> <li>• Ayuda a la restauración de mantos acuíferos</li> <li>• Permite la eliminación de drenajes pluviales</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El tiempo de fraguado se reduce en el concreto permeable, por lo que en algunos casos se deben usar aditivos químicos para permitir la adecuada colocación.</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.19. Concreto pesado / Concreto de densidad elevada*



**Figura 2.34.** Uso del concreto pesado en una central nuclear  
Tomado de: civilgeeks.com, 2011

Este tipo de concreto posee una densidad superior a la habitualmente conocida, es capaz de alcanzar una densidad de hasta 6400 kg/m<sup>3</sup>. Para algunos fines es deseable aumentar el peso unitario del concreto. Una manera para lograrlo es utilizar agregado grueso pesado, dentro de los que se encuentran minerales como la barita, la limonita, la magnetita, la ilmenita, la hematita y las esferas de

hierro, además de cemento Portland, con lo que se pueden llegar a producir concretos con resistencias a la compresión similares a las de un concreto convencional, entre los 7 MPa y los 42 MPa.

Para que se logre una buena trabajabilidad, la densidad máxima y economía, los agregados deben tener una forma aproximadamente cúbica y deben estar libres de partículas excesivamente planas o alargadas.

Adiciones de boro, como colemanita, fritas de boro y borocalcita, se usan a veces para mejorar las propiedades del concreto de blindaje contra los neutrones. Sin embargo, pueden afectar adversamente el fraguado y la resistencia temprana, por lo tanto, se deben realizar mezclas de prueba con la adición, bajo las condiciones de obra, para determinar su conveniencia. Los aditivos, tales como cal hidratada bajo presión, se pueden usar con tamaño de arena gruesa, para minimizar cualquier efecto retardante.

Los procedimientos para la selección de las proporciones del concreto de gran peso son los mismos de aquellos del concreto de peso normal. Sin embargo, el ACI 211.1 trae información adicional sobre las mezclas, así como ejemplos de cálculos.

Los primeros usos de este concreto se remonta a los años 60 del siglo XX. El concreto de alta densidad tiene propiedades de utilidad como material de protección contra la radiación. Su aplicación en la industria de la construcción es relativamente reciente, y coincide con el desarrollo de la energía nuclear. Una pantalla de este tipo de concreto puede servir como protección contra los rayos gamma y los rayos X y además suponer un ahorro económico respecto a los concretos ordinarios (Montenegro, 2011).

Montenegro (2011) menciona que los materiales de protección requieren:

- Absorber los rayos Gamma, para lo cual deben serios más pesados posibles
- Disminuir la velocidad de los neutrones rápidos y transformarlos en neutrones térmicos, para lo cual deben contener átomos ligeros como el hidrógeno

- Absorber los neutrones térmicos, para lo cual deben tener cuerpos de gran sección eficaz.

Gracias a su elevado peso volumétrico y a su alto contenido de átomos de hidrógeno, y en especial cuando se le adicionan materiales como boro para absorber los neutrones térmicos, el concreto cumple las tres condiciones expuestas. Si bien el concreto normal puede emplearse en escudos de protección, el concreto denso se utiliza en las zonas en las que es necesario ganar espacio, por sus secciones más reducidas.

El concreto descrito reúne los dos primeros requisitos, por su alto peso volumétrico y por contener una importante cantidad de átomos de hidrógeno. La necesidad de hidrógeno se satisface con un contenido de agua del 5% del peso del concreto, que se encuentra tanto en forma de agua combinada como libre dentro de su masa; eventualmente, el agregado puede aportar agua de cristalización. El contenido de hidrógeno en un concreto seco es de aproximadamente 0.25 % del peso. La adición de materiales como el boro, tiene el inconveniente de reducir la resistencia.

Al absorber la energía de radiación, el concreto incrementa su temperatura, de manera no uniforme, de acuerdo a la distancia a la fuente de radiación. Esta situación origina tensiones internas que deben ser previstas para evitar fallas. Las tensiones térmicas se originan, no sólo por la energía absorbida, sino también por el enfriamiento de las superficies y las propiedades intrínsecas del concreto.

En el Cuadro 2.34. se pueden observar algunos usos, ventajas y desventajas que presenta el concreto de baja pesado.



**Cuadro 2.34.** Concreto pesado. Usos, ventajas y desventajas

| Usos  | Ventajas   | Desventajas   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• En estructuras de protección contra radiaciones</li> <li>• En paredes de bóvedas y cajas fuertes</li> <li>• En pisos industriales</li> <li>• En elementos de sirvan como lastre</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorben energía de radiación</li> <li>• Ganancia de espacio, donde el espacio sea limitado, el concreto de gran peso va a permitir reducciones en el espesor del blindaje sin afectar su eficiencia</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado peso volumétrico, lo que hace estructuras más pesadas</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.20. Concreto resistente a la penetración de cloruros*



**Figura 2.35.** Pilotes de un muelle con problemas de corrosión

Tomado de: [www.360gradosblog.com](http://www.360gradosblog.com), 2011

El concreto protege a la armadura embutida de la corrosión, debido a su alta alcalinidad. El ambiente de pH alto en el concreto (normalmente mayor que 12.5) promueve la formación sobre el acero de una película de protección de óxido no corrosivo. Sin embargo, la presencia de iones de cloruros de los anticongelantes y del agua del mar puede destruir o penetrar en la película.

Cuando se alcanza el límite de corrosión por cloruros (aproximadamente 0.15% cloruro solubles en agua por peso de cemento), una célula eléctrica se forma a lo largo del acero y entre las barras de acero y el proceso electroquímico de la corrosión empieza.

Es así como el deterioro de las estructuras que se encuentran ubicadas cerca del mar se puede presentar por la entrada de los iones cloruro a la matriz de concreto, luego de lo cual éstos pueden llegar a alcanzar el acero de refuerzo e iniciar el proceso de corrosión. Por ello es de vital importancia implementar procedimientos que permitan establecer cuál mezcla de concreto es la más indicada para estos casos.

Una de las formas para lograr un concreto con la capacidad de resistir la penetración de fluidos, es disminuyendo la porosidad de la pasta de cemento con adiciones como la microsílíce o escoria de alto horno o aditivos reductores de alto rango, para evitar en alguna medida el paso de los iones cloruro.

La microsílíce puede ser adicionada como sustituto de la cantidad total de cemento, además de ayudar a reducir la porosidad de la pasta permite la elaboración de mezclas de concreto menos permeables y ayuda a incrementar la resistencia a la compresión.

En un estudio realizado por Tarek, Toru y Hidenori, mencionados por Santamaría y otros (2006), en el cual experimentan con un concreto sin adiciones, uno adicionado con ceniza volante y otro con escoria; muestran que se da un ingreso de cloruros menor en el concreto con escoria, en comparación a las otras mezclas.

Para elaborar concretos de baja permeabilidad se requiere reducir la porosidad de la pasta para disminuir la permeabilidad de la mezcla en estado endurecido. Al lograr reducir los espacios interparticulares entre los componentes de las mismas, se logran disminuir las potenciales rutas por donde un agente agresivo pueda penetrar y dañar la composición física o química del material, o en su efecto, al acero de refuerzo que cubre. Esta propiedad se logra disminuyendo las relaciones de agua – material cementante al emplear aditivos reductores de agua de alto rango e incorporando aditivos granularmente finos como densificadores de la pasta. Dicha relación es de 0,50 o menos.

La resistencia a la compresión puede ser de entre los 25 MPa y los 40 MPa. Santamaría y otros (2006), en su estudio, muestran que un concreto con 40 % de escoria da una resistencia de entre 20 MPa y los 50 MPa, con un 26 % de escoria la resistencia aumenta de 30 MPa y los 55 MPa.

Al igual que con otros concretos con aditivos, debe valorarse mediante ensayos de laboratorio la idoneidad de su uso. En Costa Rica, en un caso específico de un muelle en zona costera, se evidenciaron fisuras al día siguiente del colado. Otra alternativa que debe ser tomada es el empleo de impermeabilización superficial, en cuyo caso, hay que asegurarse de

la condición en que se debe aplicar sobre la superficie, el mantenimiento y el tiempo durante el cual se prevé dará protección al elemento.

Los usos se muestran en el Cuadro 2.35, así como sus ventajas.

**Cuadro 2.35.** Concreto resistente a la penetración de cloruros. Usos y ventajas

| Usos  | Ventajas  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Estructuras en contacto con el mar</li><li>• Estructuras expuestas a alta concentración de agentes corrosivos</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Estructuras más durables</li><li>• Estructuras más resistentes al ataque de agentes corrosivos</li><li>• Tiene propiedades en estado fresco y endurecido, similares a las del concreto convencional</li></ul> |

**Fuente:** Torres

2.10.1.21. Concreto resistente al ataque de sulfatos



**Figura 2.36.** Uso del concreto resistente al ataque de sulfatos  
Tomado de: IMCYC, 2009

El concreto expuesto a soluciones de sulfatos puede sufrir deterioro en un grado que depende de los constituyentes del concreto, la calidad del concreto en el lugar, así como el tipo y la concentración del sulfato.

El ataque de sulfatos al concreto tiene lugar cuando la solución de sulfato

penetra en el concreto y reacciona químicamente con sus constituyentes, principalmente con la matriz de cemento. Así pues, los factores que afectan la resistencia a sulfatos del concreto no son solamente aquellos que influyen en la reacción química con la matriz de cemento, sino también aquellos que influyen en la permeabilidad y la calidad total del concreto.

La resistencia del concreto a los sulfatos puede mejorarse significativamente produciendo un concreto impermeable y denso, hecho de cemento resistente a sulfatos, una baja relación de a/c con suficiente contenido de cemento, y que sea apropiadamente colocado, compactado y curado o con la incorporación de aire.

Los sulfatos de sodio, potasio y magnesio, presentes en los suelos y aguas alcalinas, son muchas veces los responsables del deterioro de las estructuras de concreto. La causa del deterioro puede tener dos orígenes. En primer lugar, porque los sulfatos reaccionan químicamente con la cal y el aluminato de calcio hidratados en la pasta de cemento para formar sulfato de calcio y sulfoaluminato de calcio, respectivamente; dichas reacciones van acompañadas de una considerable expansión que ocasionan esfuerzos de tensión internas y que culminan con agrietamiento y rompimiento de la masa de concreto.

La segunda causa se presenta cuando el concreto está en contacto con aguas alcalinas, lo cual produce la deposición de cristales de sulfato en los poros y canales capilares del concreto como consecuencia de la evaporación. El crecimiento de los cristales tiene lugar cuando se tiene un ciclo de humedecimiento y secado que puede eventualmente llenar los poros y desarrollar presiones suficientes para la ruptura del concreto.

Para prevenir el deterioro del concreto, por acción de la primera causa normalmente se utiliza el cemento tipo II o V, dependiendo del grado de ataque. Todos los cementos normales pueden desarrollar una completa desintegración pasados uno o dos años, pero con los cementos de bajo contenido de  $C_3A$ , la resistencia al deterioro se prolonga a períodos mucho más largos. Adicionalmente, los concretos elaborados con cementos con adiciones puzolánicas silíceas, poseen resistencia al ataque de los sulfatos (Matallana, 2001).

La resistencia a la compresión del concreto resistente a los sulfatos varía entre los 20 MPa y los 60 MPa.

La permeabilidad del concreto es un factor significativo que influye en su resistencia al ataque de sulfatos. Cuando se tiene materiales de buena calidad, proporcionamiento satisfactorio y una buena práctica, la permeabilidad del concreto es una función directa de su

relación a/c y del tiempo de curado. En otras palabras, siendo todos los otros factores iguales, la resistencia a sulfatos del concreto se incrementa al disminuir su relación agua-cemento.

El concreto con aire incluido producido con baja relación a/c, un contenido adecuado de cemento y un cemento resistente a los sulfatos va a resistir al ataque de los sulfatos presentes en el suelo o en el agua.

Con respecto al ataque de sulfatos al concreto, el IMCYC (2006), menciona sobre la ocurrencia de este problema que a veces se encuentran sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, que ocurren naturalmente en el suelo o disueltos en el agua que corre por el suelo o presentes en agregados (por ejemplo, pirita). El sulfato puede estar presente en los efluentes y desechos industriales tales como los de las industrias asociadas con la fabricación de químicos, baterías, aluminio y en la minería. El agua empleada en las torres de enfriamiento también puede contener sulfatos debido a la acumulación gradual de sulfatos provenientes de la evaporación.

Además, que existen dos reacciones químicas involucradas en el ataque:

1. Reacción del sulfato con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando sulfatos de calcio (yeso).
2. Reacción del sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado, formando sulfoaluminato de calcio (etringita).

Estas dos reacciones dan como resultado un incremento en el volumen de sólidos, causa de la expansión y descomposición de los concretos expuestos a soluciones de sulfatos.

La severidad del ataque de sulfatos al concreto depende de lo siguiente:

- Tipo de sulfatos: Los sulfatos de magnesio y amonio son los más dañinos al concreto.
- Concentración de sulfatos: La presencia de sulfatos más solubles son más perjudiciales al concreto. La mayoría de las recomendaciones toman en cuenta la cantidad de sulfatos presente al clasificar la severidad del ataque.

- Si la solución del sulfato está estancada o fluyendo: La severidad del ataque se incrementa en el caso de las aguas que fluyen. Así, la naturaleza y el contacto entre el sulfato y el concreto son importantes. El ataque más intensivo tiene lugar en el concreto que está expuesto a ciclos de mojado y secado que en el concreto completa y continuamente sumergido.
- Presión: La fuerza del ataque aumenta debido a que las presiones tienden a forzar la solución del sulfato en el concreto.
- Temperatura: Al igual que sucede con cualquier reacción química, la velocidad de la reacción se incrementa con la temperatura.
- Presencia de otros iones en la solución del sulfato: Afectan la potencia del ataque. Un ejemplo típico es el agua de mar, que contiene sulfatos y cloruros. Generalmente, la presencia de iones de cloruro altera la extensión y la naturaleza de la reacción química, produciendo menor expansión en el concreto debido a los sulfatos en el agua de mar. Como puede verse, la intensidad del ataque de sulfatos es una cuestión compleja influida por muchos factores.

El ataque de sulfatos al concreto tiene lugar cuando la solución de sulfato penetra en el concreto y reacciona químicamente con sus constituyentes, principalmente con la matriz de cemento. Así pues, los factores que afectan la resistencia a sulfatos del concreto no son solamente aquellos que influyen en la reacción química con la matriz de cemento, sino también aquellos que influyen en la permeabilidad y la calidad total del concreto, como:

- Cemento: Los estudios han demostrado que los cementos que contienen potencialmente menos hidróxido de calcio en la hidratación se comportan bien en exposición de sulfatos.
- Relación a/c: La permeabilidad del concreto tiene relación directa con la cantidad a/c y el tiempo de curado. La resistencia a los sulfatos se incrementa al disminuir la relación a/c.
- Aditivos: Los aditivos que provocan una reducción en la relación a/c y/o incrementan la trabajabilidad, pueden aumentar la resistencia del concreto a sulfatos; mientras no se usen para reducir su contenido de cemento.

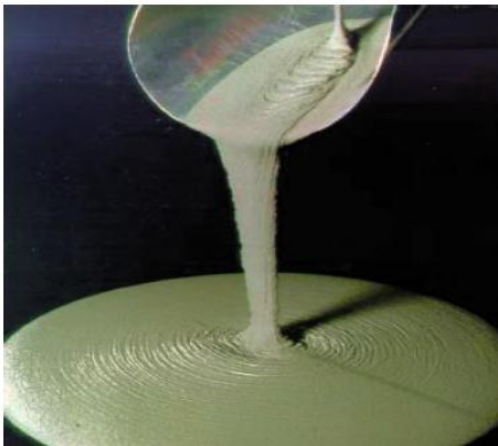
Los usos, así como las ventajas y desventajas del concreto resistente al ataque de sulfatos, se muestran en el Cuadro 2.36.

**Cuadro 2.36.** Concreto resistente al ataque de sulfatos. Usos, ventajas y desventajas

| Usos  | Ventajas  | Desventajas  |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuberías</li> <li>• Canales</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras más durables</li> <li>• Estructuras más resistentes al ataque químico</li> <li>• Tiene propiedades en estado fresco y endurecido, similares a las del concreto convencional</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere de compactación adecuada y curado apropiado para producir concreto denso con capilares discontinuos (baja permeabilidad)</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

#### 2.10.1.22. Concreto de polvo reactivo (CPR)



El concreto de polvo reactivo fue patentado por una compañía de construcción francesa en 1994. Son concretos de alto desempeño que se caracterizan por su alta resistencia y baja porosidad, las cuales se logran con la mejoría del empaquetamiento de las partículas (al no contener agregado grueso) y el bajo contenido de agua.

**Figura 2.37.** Concreto con polvo reactivo recién mezclado  
Tomado de: Kosmatka y otros, 2004

Estas propiedades del CPR se alcanzan según Kosmatka y otros (2004) a través de:

- Eliminación de los agregados gruesos; sólo se emplean partículas muy finas, tales como arena, cuarzo triturado y humo de sílice, todos con tamaño de partícula entre 0.02  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$
- Mejoría de la distribución de los tamaños de los granos a fin de densificar la mezcla

- Tratamiento con calor después del fraguado a fin de mejorar la microestructura (véase apartado 2.9.9.1 en curado)
- Adición de fibras de acero y fibras sintéticas (cerca de 2% en volumen)
- Uso de superplastificantes para disminuir la relación agua-cemento, normalmente menor que 0.2 – mientras que mejora la reología de la pasta

Con respecto a los agregados, es muy importante que el cemento empleado tenga una elevada resistencia y uniformidad, en el concreto de polvo reactivo se puede emplear cementos tipo I y III. Se debe cumplir con la norma ASTM C 33, y el tamaño de las partículas de arena es limitado a 600  $\mu\text{m}$ , pero no menor a 150  $\mu\text{m}$ . Son preferibles las partículas con formas esféricas, lo anterior debido a que se requiere menos cantidad de agua.

Se puede añadir también humo de sílice, el cual es un subproducto que resulta de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en calderos de arco eléctrico en la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio. El humo de sílice a causa de su extrema finura y su alto contenido de sílice, cumple un papel muy importante en la estructura de la pasta de cemento. Actúa como relleno físico o filler, aumentando la compacidad de la mezcla. Reduce considerablemente la exudación en el hormigón fresco debido a su gran superficie específica y capacidad para retener el agua. Los contenidos normales de humo de sílice varían entre 5 % y 15 % del peso del cemento.

La superior ductilidad de los CPR es obtenida a través de la incorporación de microfibras de acero. Sin la adición de las fibras el concreto presenta un comportamiento completamente frágil.

La resistencia a compresión del concreto de polvo reactivo oscila entre los 150 MPa, y los 300 MPa (Ordóñez, 2009), pero se lo puede producir con resistencia a compresión de hasta 830 MPa (Semioli, mencionado por Kosmatka y otros ,2004). Sin embargo, la resistencia a tensión relativamente baja requiere un pretensado del refuerzo en el caso de condiciones de servicio estructural severo.



La ventaja de tener resistencias mayores es que permite reducir secciones por ende disminuye el peso de la estructura, y permite aumentar luces en las vigas, lo cual implica disminuir número de columnas o de pilas según sea el caso de la edificación a construir.

Debido a su ductilidad, permitiría en ciertos casos reducir o eliminar el cierto reforzamiento en las estructuras bajo determinadas circunstancias.

En cuanto a la manejabilidad, se tiene una mejor facilidad en la colocación y debido a que tiene propiedades autocompactantes disminuye el tiempo de vibración y de fundición de algún elemento, esto es posible por la utilización de un súperplastificante.

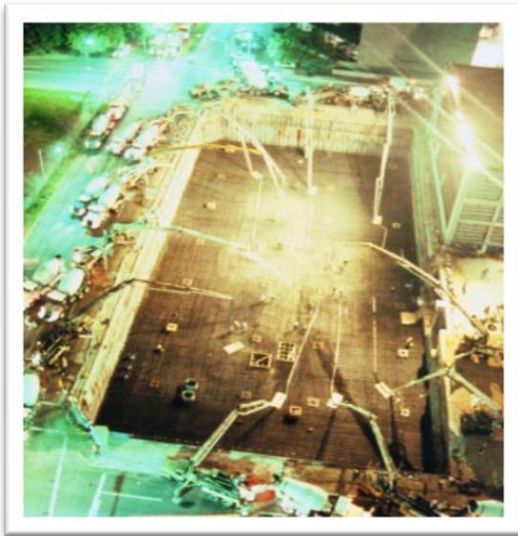
Los concretos con polvo reactivo, por poseer ingredientes finos, ayuda a que posea un mejor empacamiento en las partículas que lo constituyen y por ende una baja porosidad y a la vez la impermeabilidad que evitaría daños en la armadura.

Algunas de las aplicaciones del concreto de polvo reactivo se muestran en el Cuadro 2.37, así como algunas ventajas.

**Cuadro 2.37.** Concreto de polvo reactivo. Usos y ventajas

| <b>Usos</b>  | <b>Ventajas</b>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Puentes peatonales</li><li>• Adecuado para el almacenamiento de desechos nucleares, debido a su baja porosidad</li><li>• Elementos prefabricados</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Menor el tiempo de vibrado</li><li>• Baja porosidad y a la vez la impermeabilidad</li><li>• Alcanza alta resistencia en poco tiempo lo que conlleva a un fraguado más rápido u reutilización de formaleta</li><li>• Excelente resistencia a impactos, debido a la fibra metálica</li></ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.23. Concreto masivo*

**Figura 2.38.** Cimentación con uso de concreto masivo  
Tomado de: Kosmatka y otros, 2004

El ACI 116 define el concreto masivo como "siendo cualquier gran volumen de concreto colado en la obra, con dimensiones suficientemente grandes que requieran medidas para enfrentar la generación de calor y para controlar los cambios de volumen, a fin de **minimizar el agrietamiento**".

El colado de concreto masivo requiere consideraciones especiales para reducir el calor de hidratación y el aumento de temperatura resultante, a fin de evitarse daños

del concreto por las altas temperaturas y por las diferencias de temperatura que pueden resultar en fisuración térmica (Gajda y Vaneem, mencionados por Kosmatka, 2004).

Este concreto incluye los concretos de bajo contenido de cemento que se utiliza en presas y en otras estructuras masivas, además de concretos con un contenido de cemento de moderado a alto, usados en miembros estructurales que requieren de la adopción de consideraciones especiales para manejar el calor de hidratación y el aumento de temperatura.

Los principales aditivos son reductores de agua o incluso de aire que permiten reducir la cantidad de cemento.

En el concreto masivo, el aumento de temperatura es resultante del calor de hidratación de los materiales cementantes. A medida que la temperatura del concreto en el interior aumenta y el concreto se expande, la superficie puede estar enfriándose y contrayéndose. Esto origina esfuerzos de tracción que pueden resultar en fisuras en la superficie si el gradiente de temperatura entre la superficie y el centro es muy grande. El ancho y la profundidad de las

fisuras dependen del gradiente de temperatura, propiedades físicas del concreto y del acero de refuerzo.

Según Barréndez (s.f.), el ACI 211.1 señala que muchos elementos estructurales grandes pueden ser lo suficientemente masivos como para considerar la generación de calor, en particular cuando las dimensiones transversales mínimas de un elemento sólido de concreto se acerquen o sobrepasen de 60 cm o 90 cm o cuando hayan considerando contenidos de cemento superiores a  $355 \text{ kg/m}^3$ .

Según Matallana (2006), es conveniente iniciar el curado tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente como para prevenir que la superficie se dañe. A fin de evitarse el agrietamiento (fisuración), no se debe permitir que la temperatura interna del concreto en presas y en otras estructuras reforzadas de concreto, que posean relativamente baja resistencia a compresión, exceda en más que  $11^\circ\text{C}$  a  $14^\circ\text{C}$  el promedio anual de temperatura ambiente.

El aumento de la temperatura interna del concreto se puede controlar de varias maneras:

- Bajo contenido de cemento ( $120 \text{ kg/m}^3$  a  $270 \text{ kg/m}^3$ )
- Agregados grandes (75 a 150 mm)
- Alto contenido de agregado grueso (hasta 80% del contenido total de agregados)
- Cemento de bajo calor de hidratación, tipo IV o tipo II
- Puzolanas, el calor de hidratación de la puzolana puede ser del 25% al 75% del cemento
- Reducción de la temperatura inicial del concreto para aproximadamente  $10^\circ\text{C}$  a través del enfriamiento de los ingredientes del concreto
- Enfriamiento del concreto, a través de la inserción de tubería de enfriamiento
- Encofrados de acero para la disipación rápida del calor
- Curado con agua
- Colados pequeños (entre 1.5 m o menos durante el colado)

Los miembros de concreto estructural reforzado y masivo con contenidos de cemento elevados ( $300$  a  $600 \text{ kg/m}^3$ ), no pueden usar muchas de las técnicas de colocación, ni las

medidas de control descritas anteriormente para mantener las temperaturas bajas, a fin de controlar la fisuración. En estos concretos (normalmente utilizados en puentes, cimentaciones o plantas de energía), una buena técnica es:

- Colar toda la sección de concreto en una vaciada continua, para evitar juntas frías
- Reducir el tamaño del miembro con el colado del concreto en vertidos pequeños
- Controlar los gradientes de deformación térmica interna, previniéndose que se desarrollen diferenciales de temperatura elevados entre la superficie del concreto y el centro (se logra diseñando el concreto adecuadamente, manteniéndose la superficie del concreto caliente o reduciéndose la temperatura interna del concreto a través del pre enfriamiento del concreto o del pos enfriamiento con tubería interna de enfriamiento)

Los usos de este tipo de concreto así como sus ventajas, se muestra en el Cuadro 2.38.

**Cuadro 2.38.** Concreto masivo. Usos y ventajas

| <b>Usos</b>  | <b>Ventajas</b>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Puentes</li><li>• Cimentaciones</li><li>• Plantas de energía</li><li>• Elementos de gran dimensión</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere tomar medidas para contrarrestar la generación de calor</li><li>• Utiliza formaletas de acero</li></ul> |

**Fuente:** Torres

*2.10.1.24. Concreto con materiales reciclados*

La industria de la construcción genera residuos por:

- Construcción de nuevos edificios y estructuras
- Demolición de viejos edificios y estructuras
- Rehabilitación y restauración de edificios y estructuras existentes



**Figura 2.39.** Materiales para la fabricación de concreto reciclado.

Tomado de: [mexico.cnn.com](http://mexico.cnn.com). 2010

Se denomina concreto reciclado al que se fabrica con un árido reciclado o con mezcla de árido reciclado y árido natural (López, 2008).

Según el IMCYC (2007), con el concreto con materiales reciclados se trata de reutilizar el concreto como agregado para reducir el consumo de agregados naturales. Usa como agregado grueso el procedente del proceso de reciclaje al que se someten los escombros de concreto. De este proceso se obtiene, como agregado grueso, el agregado natural recubierto de mortero o "agregado grueso reciclado".

Poveda (2008), menciona algunas razones a nivel nacional que hace indispensable el estudio de la reutilización y el reciclaje de materiales de construcción, entre ellas:

- El crecimiento en la construcción, el cual demanda materiales naturales que deben ser explotados y al mismo tiempo genera importantes residuos, que no son depositados en un lugar apropiado. Tanto nuevos lugares de explotación como rellenos sanitarios, son ya escasos e insuficientes en el país.
- Una variación importante en los precios de los materiales de construcción y una mayor cantidad de demoliciones de edificaciones, son también indicadores importantes del problema existente en cuanto a disponibilidad, uso y reutilización de escombros de construcción.

Generalmente el concreto sobrante, así como pedazos de bloques de concreto y mortero de repello es lo que se considera como escombros. Estos residuos son usualmente desechados junto con la basura general de las construcciones o junto con lo removido en el movimiento de tierras.

Para procesar los escombros, se debe contar con maquinaria de trituración como la que se usa en tajos o quebradores. Estos equipos, pueden ser estacionarios o móviles y también varían en la forma en la que trituran y tamizan el material. Se debe tener en cuenta que para este procesamiento, el material debe estar limpio de impurezas como aceites y tierra y que se haya removido por completo cualquier refuerzo metálico.



**Figura 2.40.** Máquina trituradora móvil

**Fuente:** [www.metso.com](http://www.metso.com), s.f.

Se puede dar también fabricación de concreto a partir de los desechos de una planta fabricadora de concreto premezclado. El manejo y el tratamiento de estos desechos se puede identificar en tres etapas: la primera es el tratamiento primario, que comprende el manejo de los residuos con el fin de separar los residuos sólidos y obtener un efluente para ser tratado por aparte; la segunda etapa comprende un manejo de los principales componentes del concreto que permite la separación y reutilización de los agregados, y por último, la tercera etapa que intenta darle uso a los lodos cementosos (Madrigal, 2004).

En el mercado internacional se identifican equipos para reciclar estos residuos. Los simples y más comunes funcionan con un tornillo sinfín dentro de un tambor que posibilita la separación por tamaño de los agregados, permitiendo su reutilización en una nueva mezcla.

Los complejos, son equipos para el tratamiento de lodos y de las aguas residuales, los cuales además de clasificar los agregados permiten el reuso de los lodos, como el equipo de reutilización directa, que después del proceso de reciclado de los agregados, depositan los lodos en tanques con agitadores que mantienen la mezcla homogénea e impiden la sedimentación, para luego mediante bombeo adicionar los lodos a una nueva mezcla.



**Figura 2.41.** Reclaimer  
**Fuente:** [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

Los equipos llamados "reclaimer", permiten la separación de los agregados de la mezcla de concreto para ser utilizados en una nueva mezcla, y a su vez genera otro tipo de desechos que son el agua aclarada y los lodos cementosos.

Por otro lado, los lodos pueden ser tratados mediante la utilización de un tanque aclarador, que permite que la mezcla sedimente para poder obtener agua lista para su reúso.

El agua aclarada es el producto del tratamiento en piletas de decantación del agua utilizada para el lavado de los camiones. Estas aguas pueden presentar una cantidad considerable de sólidos disueltos (hidróxido de sodio y potasio) y suspendidos (carbonato de calcio), alta alcalinidad y calor residual.

Los lodos cementosos, son una mezcla de partículas finas de cemento Portland diluidas en agua, por lo que se pueden caracterizar como sólidos suspendidos. Los principales componentes son calcio (28,5 %), sílice (53,1 %), sulfatos (0,82 %) (Madrigal, 2004).

En cuanto a la composición específica del concreto con agregados reciclados, se considera que el porcentaje de sustitución, en peso, del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado será igual o menor del 20%. Dicho agregado grueso reciclado deberá tener un diámetro mínimo de 4 mm y una absorción de agua máxima de 7%.

Debido a la peor calidad del agregado, se da un incremento adicional en la cantidad de cemento, respecto al concreto fabricado con agregados naturales, para mantener la resistencia y la consistencia. Cuando se sustituya el agregado grueso en su totalidad por agregado reciclado, la cantidad de cemento aumenta más del 5 %. Si se sustituye el agregado grueso y el fino, dicha cantidad aumenta hasta un valor superior al 15 %.

Con respecto al contenido de agua, éste es mayor con respecto a un concreto convencional, debido sobre todo, a la presencia de mortero adherido en la matriz. El incremento se estima entre un 5 % y un 10 % respecto a un concreto convencional. En caso de usar agregados gruesos y finos reciclados completamente secos el incremento de agua estaría alrededor del 15 %.

Con un adecuado control de la relación a/c para mantenerla en el valor adecuado para el concreto convencional, con ayuda de superfluidificantes, la utilización del concreto con agregados reciclados es posible obteniéndose las mismas prestaciones desde el punto de vista de resistencia y durabilidad que con el concreto convencional (IMCYC, 2007). Si no se usaran los superfluidificantes, debido a la mayor absorción de los agregados reciclados, se debe aumentar la cantidad de agua y por ende de cemento en la misma proporción.

Estudios llevados a cabo en la Universidad Politécnica de Cataluña, en la Universidad Politécnica de Madrid, en la Universidad de La Coruña, en la Universidad de Cantabria, en la Universidad Politécnica de Valencia y en el Centro de Experimentación y Obras Públicas, coinciden en señalar que la absorción junto al mortero adherido como las propiedades más relevantes que afectan en mayor medida a la producción y a las características del concreto reciclado (López, 2008).

Con respecto a la resistencia a la compresión, los concretos fabricados con agregados reciclados disminuye con respecto a los concretos convencionales, esto manteniendo en ambos la misma relación a/c (López, 2008).

Por otra parte, los agregados obtenidos a partir del proceso de reciclaje del concreto premezclado tienen las mismas características que los agregados en su condición inicial. De ahí que pueden utilizarse sin problemas en una nueva mezcla de concreto (Barboza, 2006).

A nivel nacional, algunos datos sobre desechos de bloques de mampostería se presentan en el Cuadro 2.39.



**Cuadro 2.39.** Proyección de desechos de bloques de mampostería para el 2007

| Provincia                                       | Alajuela  | Cartago   | Heredia   | San José  | GAM        |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <b>m<sup>2</sup> de obra habitacional</b>       | 320 106   | 288 095   | 448 148   | 544 180   | 1 600 530  |
| <b>Kg de residuos de bloques de mampostería</b> | 5 573 148 | 5 015 836 | 7 802 410 | 9 474 360 | 27 865 753 |

**Fuente:** Poveda (2008)

Tomando ese desperdicio, y calculando para una casa de 100 m<sup>2</sup> y de un nivel, por lo general pueden contener 2000 bloques, con los bloques desperdiciados se pueden construir alrededor de 1300 casas de habitación con las características mencionadas (Poveda, 2008).

Madrigal (2004), expone que los desechos y residuos en una planta de concreto premezclado son en promedio por año de 640 m<sup>3</sup>, como se observa en el Cuadro 2.40.

**Cuadro 2.40.** Residuos en una planta productora de concreto premezclado

| Origen del desecho                             | m <sup>3</sup> /año |
|--|---------------------|
| Concreto de retorno (devuelto desde las obras) | 24                  |
| Lavado de mezcladores                          | 405                 |
| Lavado del equipo de bombeo                    | 183                 |
| Residuos de toma de muestras                   | 28                  |
| TOTAL  | 640                 |

**Fuente:** Madrigal (2008)

Estos residuos, en estado fresco, comprenden principalmente una mezcla de agua con cierta proporción de agregados, lodos cementosos y residuos de aditivos.

Si estos residuos y desechos se desagregan según los diferentes componentes del concreto premezclado, teniendo en cuenta los datos para un concreto de resistencia a la compresión de 21 MPa a los 28 d, se obtienen las cantidades de componentes que se muestran en el Cuadro 2.41.

**Cuadro 2.41.** Cantidad de componentes que se obtienen de los desechos del concreto premezclado en una planta fabricadora

| <b>Agregado</b> | <b>t/año</b> |
|-----------------|--------------|
| Grueso          | 632          |
| Fino            | 564          |
| Cemento         | 205          |
| Agua            | 134          |
| TOTAL           | 1535         |

**Fuente:** Madrigal (2008)

Sin embargo, entre las razones para que no se realiza el proceso de procesamiento y reutilización de los escombros en sitio, se puede citar el elevado costo de la máquina de trituración, en contraste con el bajo costo de desechar estos residuos de manera tradicional. No obstante, Salazar (2009), realiza una recopilación de información referente al tema del reciclaje de escombros y desarrolló un análisis financiero para la propuesta de reciclaje en sitio. El equipo utilizado para producir el agregado reciclado fue una trituradora eléctrica de muelas y una criba también eléctrica, y los resultados obtenidos demostraron que la actividad de reciclaje propuesta es sumamente factible, la inversión inicial puede recuperarse en menos de un año y luego seguir generando ganancias.

La retracción por secado es mayor en los concretos reciclados que en los concretos convencionales. Éste aumento se puede deber a que la cantidad de mortero que lleva adherido, la mayor cantidad de agua empleada y por la mayor absorción del agregado grueso.

El deterioro del concreto reciclado por porosidad y permeabilidad aumenta, además de disminuir su resistencia al hielo, esto fundamentalmente por la mayor absorción del agregado reciclado al presentar una menor densidad, entre 4 % y 8 %.

Debido a la mayor permeabilidad, la penetración de sustancias con alto contenido de sulfatos hace al concreto susceptible a estos ataques. Sin embargo, esta característica también depende del tipo de cemento nuevo que se utilice además del que llevaba adherido el

agregado reciclado. Si dichos cementos son resistentes a los sulfatos el comportamiento del concreto será similar al del concreto convencional fabricado para dicho fin.

En el Cuadro 2.42, se muestran algunos usos, así como ventajas y desventajas que presenta el concreto con materiales reciclados.

**Cuadro 2.42.** Concreto con materiales reciclados. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas  | Desventajas  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigas</li> <li>• Columnas</li> <li>• Pisos</li> <li>• Losas</li> <li>• Placas</li> <li>• Elementos prefabricados</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beneficio ambiental al reciclar escombros</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor porosidad</li> <li>• Mayor absorción</li> <li>• Mayor permeabilidad</li> <li>• Poca resistencia al hielo</li> <li>• Mayor retracción por secado</li> <li>• El proceso de separación de los agregados es costoso</li> <li>• Se necesitan por lo menos dos plantas fabricadoras de concreto premezclado para obtener la cantidad necesaria de agregado reciclado</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

2.10.1.25. *Concreto translúcido*



**Figura 2.42.** Concreto translúcido  
Tomado de: [ingciv-sandrus.blogspot.com](http://ingciv-sandrus.blogspot.com), 2006

El concreto translúcido es un concreto polimérico diseñado bajo patente. Los estudiantes de ingeniería civil Joel Sosa Gutiérrez de 26 años y Sergio Omar Galván Cáceres de 25 años, de procedencia mexicana, crearon en el 2005 el concreto translúcido.

Se trata de un nuevo compuesto con la

resistencia del hormigón, pero complementado por fibras ópticas embebidas a través de las cuales pasa la luz, permitiendo distinguir las siluetas al otro lado del muro.

El material se presenta en forma de bloques que pueden utilizarse en la composición de muros o pilares. Desde el momento de su creación y comercialización, el cemento translúcido ha estado en un constante proceso de mejoramiento tanto en su acabado, precio, estabilidad y translucidez.

Su fabricación es igual a la del concreto común. Es una mezcla a base de vidrio y plástico, cemento combinado con fibra óptica, refuerzo transparente a base de plástico, agregados finos, agregados gruesos, agua y el aditivo cuya fórmula aún no se ha dado a conocer (ya **que está en proceso de ser patentada**), llamado "Illum".

En un concreto tradicional con un arreglo tridimensional de fibras ópticas y/o fibras de vidrio, para formarlo se utilizan miles de fibras ópticas con diámetros que van de 2 micras a 2 mm, las cuales se ordenan en capas o celdas; en cambio el concreto translúcido desarrollado por los mexicanos es, desde su origen, una pasta translúcida.

El cemento blanco es una variedad de cemento que se fabrica a partir de materias primas cuidadosamente seleccionadas de modo que prácticamente no contengan hierro u otros materiales que le den color. Sus ingredientes básicos son la piedra caliza, base de todos los cementos, el caolín (una arcilla blanca que contiene mucha alúmina) y yeso.

La presente invención se refiere al campo de los aditivos para concreto, los cuales permiten lograr un concreto con uso estructural y arquitectónico con sorprendentes propiedades ópticas. El aditivo objeto de la presente invención comprende la incorporación de concreto como aglutinante, una matriz o aglutinante polimérico, preferentemente dos matrices poliméricas, una resina epóxica y la otra poli carbonatada, acompañadas cada una de su respectivo catalizador.

La matriz o aglutinante epoxídico utilizado para la formulación de este concreto, es el éter diglicidílico del bisfenol A, que es deshidratado a vacío a 80° C durante 8 horas antes de su empleo.

El endurecedor utilizado es la dietilentriamina, que debe ser deshidratada sobre tamices moleculares antes de su empleo.

Se utilizaron fibras de vidrio, de hilos cortados, fibras molidas de longitudes mayores a los 0.02 mm., con la función de mejorar las resistencias a la compresión, flexión, tensión y torsión del concreto.

Las fibras ópticas utilizadas en la formulación de este concreto, básicamente son un fino hilo de vidrio ó plástico que guía la luz.

Como aditivos se usan pigmentos; agentes antiestáticos para eliminar la electricidad estática; agentes de puente para favorecer la unión a la matriz, dar resistencia y protección contra el envejecimiento; agentes lubricantes para dar protección superficial y agentes fumógenos colantes para dar integridad, rigidez, protección e impregnación, sales metálicas, agentes tixotrópicos (hojuelas de materiales inorgánicos, microesferas de vidrio, carbonates de calcio, dióxido de silicio, entre otros.), agentes retardadores de llama (elementos que contienen cloro, bromo, fosforo, entre otros. ), y agentes de protección UV (estabilizadores).

Sílica sol, también conocido como hidrosol de sílice, es una solución coloidal de alta hidratación molecular de partículas de sílice dispersas en agua. Es inodoro, insípido y no tóxico. Su función es servir como desecante, agente de vínculo, adhesivo y dispersante.

La sílice entre un 0.5 % y un 10 % del peso de la resina, deberá de utilizarse para que una vez fraguado, la sílice utilizada proporcione una mayor resistencia y dureza al concreto.

La estructura de este concreto permite hasta un 70% el paso de la luz, haciéndolo ideal para el ahorro de luz eléctrica y el uso de materiales de acabado como yeso y pintura logrando así una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero. El producto podría ser valioso en la construcción de edificios ecológicos, ya que posibilitaría la moderación e incluso mitigación del paso de calor.

Las cualidades del concreto translúcido son poder introducir objetos, luminarias e imágenes ya que tiene la virtud de ser translúcido hasta los dos metros de grosor, sin distorsión evidente.

El aditivo "ilum" le confiere al concreto 15 veces más resistencia, alrededor de 450 MPa con nula absorción de agua, tiene un peso volumétrico 30 % inferior al concreto convencional y puede ser colado bajo el agua.

Este tipo de concreto presenta un fraguado inicial de 70 min y un fraguado final de 3 h.

La preparación de los concretos no requiere equipo especial, se realiza con la maquinaria convencional. El curado también es tradicional, igual al que se usa en obra, sin requerir de tratamientos térmicos o de laboratorio especiales. Sin embargo, la diferencia de precio es aproximadamente del 15 % o 20% por ciento más costoso que los concretos comerciales de alta resistencia. Además de lo estético, permite un ahorro notable de luz eléctrica al facilitar el paso de 70% de la luz natural.

Una de las desventajas es que por su alto grado de transparencia, las estructuras internas de la construcción quedan a la vista, pero se está buscando la forma de que con un buen acabado, el acero y otros materiales de relleno, puedan ser agradables para la vista al grado de obtener una apariencia natural y muy orgánica. Otra desventaja es que al ser por el momento un concreto no normado como concreto estructural pese a su alta resistencia a la compresión y otras propiedades físicas su uso es exclusivo como elemento arquitectónico, o como divisor de ambientes donde se requiera mayor cantidad de luz.

En el Cuadro 2.43 se muestran los usos, así como ventajas y desventajas que presenta el concreto translúcido.

**Cuadro 2.43.** Concreto traslúcido. Usos, ventajas y desventajas

| Usos   | Ventajas   | Desventajas  |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• En estructuras ornamentales y arquitectónicas</li> <li>• Elementos prefabricados</li> <li>• Enchapes</li> <li>• Usado en todo tipo de obras tanto interiores como exteriores, por su alta resistencia mecánica a la compresión tiene los mismos usos estructurales que el cemento gris</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite el ahorro de luz eléctrica</li> <li>• Fácil de pigmentar</li> <li>• Es compatible con aditivos para concreto convencional</li> <li>• Ligero</li> <li>• Impermeable y resistente al fuego</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor costo que el concreto convencional</li> <li>• Estructuras internas de construcción quedan a la vista</li> </ul> |

**Fuente:** Torres

**2.10.2. Tipos de concreto con investigación en laboratorios de Costa Rica**

En Costa Rica se han investigado y realizado análisis en laboratorio para concretos. En el Cuadro 2.44 se indican los diferentes estudios que se han llevado a cabo son su respectiva referencia en Centros de Documentación.

**Cuadro 2.44.** Investigaciones sobre diferentes tipos de concreto

| Tipo de concreto | Autor               | Año  | Propósito   | Título del trabajo  | Ubicación |                                      |
|------------------|---------------------|------|---|---|-----------|--------------------------------------|
|                  |                     |      |   |   | Sigla     | Centro de documentación              |
| Convencional     | Sergio Aragón Masis | 2004 | Obtener de manera experimental los módulos de elasticidad de concretos de resistencias normales y de alto desempeño, así como su relación con la resistencia a la compresión par ámbito normal. | Determinación del módulo de elasticidad de concretos normales y de alto desempeño en Costa Rica | TFG 24697 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |

**Fuente:** Torres

**Cuadro 2.44.** Investigaciones sobre diferentes tipos de concreto (continuación)

| Tipo de concreto | Autor                   | Año  | Propósito   | Título del trabajo   | Ubicación |                                      |
|------------------|-------------------------|------|---|--|-----------|--------------------------------------|
|                  |                         |      |   |  | Sigla     | Centro de documentación              |
| Con fibras       | Justina León Wong       | 1977 | Tratar de establecer el grado de mejoramiento que adquiere el concreto con la adición de fibras cortas de acero a la mezcla.  | Concreto reforzado con fibras cortas   | TFG 5075  | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
|                  | Albert Sánchez González | 1985 | Determinar mediante un estudio comparativo de laboratorio, el efecto en el comportamiento mecánico de mezclas de concreto con diferentes proporciones de fibras de vidrio                               | Diseño experimental de un concreto reforzado con fibras de vidrio para uso en losas de pavimentos                                      | TFG 8325  | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
|                  | José Luis Rojas Juárez  | 2009 | Elaborar una guía metodológica para el diseño estructural de una losa apoyada en suelo, para uso industrial, utilizando concreto reforzado con fibras metálicas   | Guía metodológica para el diseño de una losa apoyada en suelo; para uso industrial, utilizando concreto reforzado con fibras metálicas | TFG 30079 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
| Con polímeros    | Bernardo Torres Salazar | 2000 | Realizar un estudio comparativo de la influencia en la resistencia a la flexión y la resistencia a la tensión, mediante la utilización de polímeros como aditivos en las mezclas de concreto y mortero. | Concretos y morteros modificados con polímeros   | TFG 19741 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
| Con puzolanas    | Erwin Ocampos Pinel     | 1969 | Verificar la efectividad que la inclusión de una Puzolana puede causar en un concreto.  | Diseño de mezclas de concreto con cemento y puzolana nacionales  | TFG 2229  | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
| Alta resistencia | Rodolfo Molina Cruz     | 1982 | Examinar la posibilidad de obtención en Costa Rica de concretos de alta resistencia.  | Lineamientos generales para la producción de concretos de alta resistencia   | TFG 6745  | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |

Fuente: Torres



**Cuadro 2.44.** Investigaciones sobre diferentes tipos de concreto (continuación)

| Tipo de concreto | Autor                       | Año  | Propósito   | Título del trabajo  | Ubicación |                                      |
|------------------|-----------------------------|------|---|---|-----------|--------------------------------------|
|                  |                             |      |   |   | Sigla     | Centro de documentación              |
| Alta resistencia | Álvaro Camacho de Pass      | 1985 | Demostrar que la producción de CAR en Costa Rica es técnicamente posible, utilizando materiales y métodos de producción convencionales.   | Producción de concreto de alta resistencia en Costa Rica  | TFG 10675 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
|                  | Douglas Sáenz Montero       | 1987 | Conocer más acerca de la influencia de los aditivos superplastificantes en la producción de Car.  | Influencia de los aditivos superplastificantes en la producción de concreto de alta resistencia | TFG 10710 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
|                  | Oswaldo Villalobos Pereira  | 2007 | Determinar a partir de un estudio experimental bajo condiciones controladas en laboratorio la influencia de dos tipos de microsilica en la obtención de concretos de alta resistencia cuando se varía el nivel de concentración y la relación a/c | Influencia de la microsilica en la obtención de concretos de alta resistencia en Costa Rica     | TFG 27863 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
|                  | Jesús Emilio Zamora Hidalgo | 2009 | Elaborar una guía técnica para la colocación y curado en obra de concreto premezclados de 70 MPa, que muestre las especificaciones correspondientes a estos procesos para alcanzar condiciones idóneas de resistencia, acabado y desempeño        | Pautas para la colocación y curado de concretos premezclados de 70 MPa                          | TFG 30081 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
| Ligero           | Gilbert Alvarado Ching      | 1983 | Determinar parte de las características o propiedades mecánico – físicas, del concreto celular con espuma preformada  | Concreto con espuma preformada  | TFG 7343  | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |

Fuente: Torres

**Cuadro 2.44.** Investigaciones sobre diferentes tipos de concreto (continuación)

| Tipo de concreto                        | Autor                     | Año  | Propósito   | Título del trabajo  | Ubicación |                                      |
|---|---------------------------|------|---|---|-----------|--------------------------------------|
|   |                           |      |   |   | Sigla     | Centro de documentación              |
| Permeable                               | Roberto Fernández Arrieta | 2008 | Estudio y medición de las propiedades de diferentes mezclas de concretos permeable  | Concreto permeable: diseño de mezclas para evaluar su resistencia a compresión uniaxial y su permeabilidad  | TFG 29452 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
| Resistente a la penetración de cloruros | Fernando Sánchez Campos   | 2008 | Analizar el comportamiento de dos diseños de mezcla con capacidad a la compresión simple de 280 kg/cm <sup>2</sup> y 350 kg/cm <sup>2</sup> , de manera convencional y con microsílíce, al ser sometidas a una prueba de permeabilidad al agua simple y con una solución de agua con NaCl al 3 % en proporción por peso, con el fin de evaluar su desempeño como concretos durables para estructuras en zonas costeras o con influencia del ambiente marino en la región Pacífico Central | Concretos durables con resistencia a la penetración de cloruros para estructuras en zonas costeras o con influencia del ambiente marino en la región Pacífico Central | TFG 29278 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
| Con materiales reciclados               | Gabriel Madrigal González | 2004 | Estudiar la viabilidad técnica y económica de un posible proceso de reciclado de los materiales de desecho del concreto premezclado en estado fresco, que permita su reutilización en una nueva mezcla de concreto  | Estudio para determinar la viabilidad de aprovechar los residuos de concreto premezclado en estado fresco, para la producción de nuevos concretos                     | TFG 24642 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |

Fuente: Torres

**Cuadro 2.44.** Investigaciones sobre diferentes tipos de concreto (continuación)

| Tipo de concreto   | Autor                   | Año  | Propósito  | Título del trabajo  | Ubicación |                                      |
|--|-------------------------|------|--|---|-----------|--------------------------------------|
|  |                         |      |  |   | Sigla     | Centro de documentación              |
| Con materiales reciclados  | Juan Pablo Barboza Mora | 2006 | Determinar la relación existente entre la incorporación de agua aclarada a una mezcla de concreto premezclado y su efecto en la resistencia final; así como inferir sobre la rentabilidad del proceso de reciclaje de concreto | Estudio técnico experimental y viabilidad económica en la producción de concretos nuevos a partir de concretos de desecho     | TFG 27322 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
|  | Mario Poveda Quirós     | 2008 | Determinar la prefactibilidad técnica y financiera del reciclado de los residuos de bloques de mampostería como agregado grueso para la fabricación de concreto  | Evaluación de la prefactibilidad técnica y financiera de reutilizar los residuos de construcción como agregados para concreto | TFG 29535 | Biblioteca Luis Demetrio Tinoco, UCR |
| <p><b>Notas:</b><br/>                     TFG: Trabajo Final de Graduación.<br/>                     UCR: Universidad de Costa Rica.</p> |                         |      |  |   |           |                                      |

**Fuente:** Torres

En el Cuadro 2.45. se incluye un resumen de los resultados obtenidos en cada uno de los estudios citados en el Cuadro 2.44.

**Cuadro 2.45.** Cuadro comparativo de diferentes t

| Concreto                    | Descripción   | Resistencia a la compresión a los 28 d probable o teórica (MPa) | Resistencia a la compresión a los 28 d en laboratorio en CR (MPa)  | Usos   |
|-----------------------------|---|---|--|--|
| <b>Convencional</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Es una mezcla de cemento, arena, agregado, agua y aditivo que posee la cualidad de endurecer con el tiempo, adquiriendo características que lo hacen de uso común en la construcción.</li> <li>En estado fresco posee un suficiente tiempo de manejabilidad y excelente cohesividad en estado endurecido.</li> </ul> | Entre 7 y 42  | <ul style="list-style-type: none"> <li>23.8, 30.3, 39.1 en el TFG 24697, con base en 10, 14 y 6 especímenes, relación a/c de 0.62 piedra cuartilla de Cerro Minas, arena industrial de Guápiles, cemento Portland tipo I MP, relación a/c de 0.52 piedra cuartilla de Cerro Minas, arena industrial de Guápiles, cemento Portland tipo I MP y relación a/c de 0.43 Piedra quinta de Guápiles, arena industrial de Guápiles, cemento Portland tipo I MP, respectivamente.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Placas</li> <li>Muros de contención</li> <li>Paredes de mampolenas</li> <li>Pisos</li> <li>Tanques</li> <li>Gradas</li> <li>Columnas</li> <li>Vigas</li> <li>Losas</li> <li>Elementos prefabricados</li> </ul>          |
| <b>Reforzado con fibras</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>En las mezclas de concreto se incluyen elementos fibrosos con la finalidad de aumentar su resistencia a la tensión, reduciendo el agrietamiento por contracción o pérdida de agua.</li> <li>Dentro de éstos elementos se han usado agujas de acero, vidrio y fibras minerales o sintéticas.</li> </ul>               | Entre 17,5 y 35   | <ul style="list-style-type: none"> <li>36.3, 24.3, 17.4 en el TFG 8325, con base en 102 especímenes, con 0.5%, 1.5 y 2% de contenido de fibras. Agregados del tajo Hermanos Zamora en San Antonio de Belén, cemento Portland tipo I de la fábrica Cementos del Valle y fibras de vidrio tipo Euromat (en tela).</li> <li>28.4, 31.6 y 29.1 en el TFG 30079, con base en 36 especímenes para densidades de 115 kg/m<sup>3</sup>, 20 kg/m<sup>3</sup>, 25 kg/m<sup>3</sup> y 40 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, una relación a/c de 0.55 y con piedra y arena de Cerro Minas y fibras de acero de Wirand.</li> <li>21.9 y 22.3 en el TFG 5075, con base en 54 especímenes, con 1% y 1.5% de contenido de fibras respectivamente. Tamaño máximo de agregado de 9.53 mm cemento tipo I y fibras de acero USS FIBERCON.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Losas apoyadas e</li> <li>Losas de techo</li> <li>Contrapisos de us</li> <li>Parqueos</li> <li>Manufactura de concreto</li> <li>Pistas de aeropue</li> <li>Productos prefabricados</li> <li>Paredes de tanqu</li> </ul> |

**Cuadro 2.45.** Cuadro comparativo de diferentes tipos de

| Concreto                | Descripción   | Resistencia a la compresión a los 28 d probable o teórica (MPa) | Resistencia a la compresión a los 28 d obtenida en laboratorio en C.R. (MPa)   | U   |
|-------------------------|---|---|--|---|
| <b>Alta resistencia</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Para que el proporcionamiento de una mezcla cumpla con los requerimientos específicos de trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad y costo de una obra determinada, es necesario emplear materiales de más alta calidad que los necesarios para producir concreto de resistencia menor.</li> </ul> | Entre 40 y 80   | <ul style="list-style-type: none"> <li>70 en el TFG 30081, con base en 6 muestras tomadas por cada camión de 6 m<sup>3</sup> que llegaba a la obra (aproximadamente 276 especímenes), una relación a/c de 0.28. Cemento Portland UG-AR y aditivo Eucon MR450, Plastol 5000 y Viscrol.</li> <li>30.8 y 40.5 en el TFG 10675, con base en 46 mezclas de concreto, con cemento normal y extra fino respectivamente, relación a/c de 0.28. Piedra del río Barranca del quebrador Polamar Ltda, del río Cañas y del río Reventazón del quebrador Quebradores Unidos S.A, arena de los ríos Cañas, Reventazón y Urraca en Guanacaste y de mar de Caldera.</li> <li>Entre 60 y 67.5 en el TFG 6745, con base en 8 mezclas, una relación a/c entre 0.25 y 0.40. Piedra andesita de origen volcánico, arena de mar, cemento Portland tipo I y aditivo superplastificante.</li> <li>Entre 34 y 77.2 en el TFG 10710, con base en 63 especímenes y una relación a/c entre 0.21 y 0.29. Piedra quebrada del río Reventazón, arena de río Reventazón y de mar en Caldera, cemento Portland tipo I extra fino y aditivos superplastificantes como Melment L10, Rheobuild 1000, WR-77 y Sikamennt.</li> <li>70 en el TFG 27863, con el uso de microsilica, una relación a/c entre 0.25 y 0.42 y 480 especímenes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Edificios de</li> <li>En puentes</li> <li>Represas de</li> <li>Pilotes para</li> </ul> |

**Cuadro 2.45.** Cuadro comparativo de diferentes tipos de

| Concreto                                | Descripción   | Resistencia a la compresión a los 28 d probable o teórica (MPa) | Resistencia a la compresión a los 28 d obtenida en laboratorio en C.R. (MPa)   |  |
|---|---|---|--|--|
| Resistente a la penetración de cloruros | <ul style="list-style-type: none"> <li>El deterioro se puede presentar por la entrada de los iones cloruro a la matriz de concreto, luego de lo cual éstos pueden llegar a alcanzar el acero de refuerzo e iniciar el proceso de corrosión.</li> </ul>            | Entre los 25 y 40   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 27.4 y 30.3 en el TFG 29278, con base en 20 cilindros, una relación a/c de 0.44 y 0.55. Piedra y arena de Los Cenizaros, Mendive, cemento Portland tipo I UG y MP-AR, de Cemex y los aditivos RHEOMAC SF100, POLYHEED 7535 Y POLYHEED 755.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Estructuras mar</li> <li>Estructuras concentradas corrosivos</li> </ul> |
| Concretos con áridos reciclados         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se denomina concreto reciclado al que se fabrica con un árido reciclado o con mezcla de árido reciclado y árido natural.</li> <li>El agregado reciclado puede provenir de escombros o de desechos del concreto.</li> </ul> | Similar al concreto convencional                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 24.9 y 39.5 en el TFG 24642, con base en 18 cilindros, cambiando en 5 %, 7 % y 9 %, la cantidad de lodo cementoso y en un 25 %, 50 % y 200 % el agua potable por agua aclarada. La relación a/c entre 0,54 y 0,64 y un revenimiento entre 10 cm y 12 cm. Las dosificaciones fueron de de 1:1,6:2,1:2,7 y 1:1,6:2,1:2,8 (cemento ecolem : arena : piedra : agua). La mezcla para los ensayos se realizó con cemento portland tipo I, arena con un MF de 3,2 y 3,3, piedra cuartilla con MF de 6,9 y aditivo MR-4502.</li> <li>Entre 28.2 y 30.7, en el TFG 27322 con base en 4 diseños de mezcla en los cuales varía el porcentaje de agua aclarada en un 15 %, 30 % y 45 %. Con una relación a/c de 0,63, revenimientos entre 8,5 cm</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vigas</li> <li>Columnas</li> <li>Pisos</li> <li>Losas</li> </ul>        |

### **Capítulo 3. Métodos de diseño de mezcla**

El proporcionamiento de la mezcla se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, para que se logren las características especificadas. Un concreto adecuadamente proporcionado debe presentar las cualidades siguientes:

- **Trabajabilidad aceptable del concreto fresco**
- **Durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto endurecido**
- **Economía**

El diseño de las mezclas de concreto involucra el establecimiento de características específicas y la elección de proporciones de los materiales disponibles para la producción del concreto con las propiedades requeridas y la mayor economía.

Los métodos de proporcionamiento evolucionaron desde el método volumétrico arbitrario (1: 2: 3 – cemento: arena: piedra) a principios del siglo XX, hasta los métodos actuales de masa y volumen absoluto, descritos en el ACI 211, Práctica Estándar de Elección de las Proporciones para el Concreto Normal, de Densidad Elevada y Masivo (ACI 211.1).

Los métodos de proporcionamiento con base en la masa son bastante sencillos y rápidos para estimar las proporciones de la mezcla; se emplea una masa supuesta o conocida de concreto por unidad de volumen.

El método del volumen absoluto es más preciso y contempla el uso de las densidades relativas (gravedad específica) de todos los ingredientes para calcular el volumen absoluto que cada uno de ellos ocupará en una unidad de volumen de concreto.

La elaboración de los diferentes diseños de mezcla permite conocer no sólo las dosis precisas de los componentes del concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla.

Algunos métodos de diseño de mezcla son:

### **3.1. El método del Instituto Americano del Cemento y del Concreto (ACI por sus siglas en inglés: ACI-211.1)**

El método del ACI se basa datos determinados experimentales en laboratorio, mediante los cuales se determinan los diferentes componentes de la mezcla y partiendo de supuestos como:

- Se diseña para un metro cúbico de concreto
- Se utiliza cemento Portland tipo I
- Los agregados están en condición saturada superficie seca (SSS).
- Los agregados fino y grueso, cumplen especificaciones.

Además, en la descripción del procedimiento de cálculo se indican consideraciones adicionales que debe tener en cuenta el diseñador.

Este método toma en cuenta aspectos como:

- Revenimiento
- Tamaño máximo del agregado
- contenido de aire (arrastrado o incluido)
- Resistencia de diseño especificada
- Existencia de requisitos históricos sobre el comportamiento de la resistencia
- Si se va a dosificar por masa o por volumen
- Tipos de equipo y control
- Ajustes en las mezclas de prueba

En el cuadro 3.1 se resume la metodología del diseño de mezcla del ACI.



**Cuadro 3.1.** Resumen del método de diseño de mezcla del ACI 211

**Método del ACI 211**

Paso 1: Selección del revenimiento:

- ✓ Es aplicable cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto.
- ✓ Muestra revenimientos máximos y mínimos según tipo de construcción.

Paso 2: Selección del tamaño máximo de agregado:

- ✓ El tamaño máximo de agregado es aquel que sea económicamente factible y adecuado en las dimensiones de la estructura.
- ✓ Relaciona el tamaño del agregado con las dimensiones de la estructura y con la separación mínima que puede tener el acero de refuerzo.

Paso 3: Estimación del agua de diseño y contenido de aire

- ✓ La cantidad de agua requerida, por unidad de volumen del concreto, para producir el revenimiento deseado, depende del tamaño máximo y la forma de las partículas (más bien de tipo redondeado según este método).

Paso 4: Selección de la relación agua/cemento (a/c).

- ✓ Se determina por los requisitos de resistencia y durabilidad.

Paso 5: Cálculo del contenido de cemento.

- ✓ Se relaciona con la cantidad de agua de diseño y la relación a/c.

Paso 6: Estimación del contenido de agregado grueso.

- ✓ El volumen de agregado grueso en un volumen unitario de concreto depende únicamente de su tamaño (directamente relacionado con su granulometría), y del módulo de finura del agregado fino (sinónimo de granulometría y trabajabilidad).

Este volumen es envarillado pues refleja la condición que tendría en la masa de concreto (se incorpora suelto pero en la mezcla representa un volumen compactado).

Paso 7: Estimación del contenido de agregado fino.

- ✓ Se estima por masa o por volumen absoluto. Al final del método de diseño es la única incógnita del volumen del concreto obtenido como:

$$V_c = V_s + V_{Ba} + V_{Bp} + V_w + V_{aire}$$

Donde:

$V_c$  = Volumen de concreto

$V_s$  = Volumen de cemento

$V_{Ba}$  = Volumen bruto de arena

$V_{Bp}$  = Volumen bruto de piedra

$V_w$  = Volumen de agua de diseño

$V_{aire}$  = Volumen de aire atrapado

Paso 8: Ajuste por humedad del agregado:

- ✓ El agua de mezclado si los agregados no estuvieran en condición SSS, debería reducirse en igual cantidad al agua aportada por estos, o bien incrementarse para que alcancen la condición de absorción máxima.

Paso 9: Ajustes en las mezclas de prueba:

- ✓ Verificación de la mezcla por medio de la norma ASTM C 192 o con mezclas reales tomadas en campo.

**Fuente:** Torres

Seguidamente, el detalle del método:

1. Selección del revenimiento, cuando este no se especifica el método del ACI incluye el Cuadro A.1 del Anexo 1, en la que se recomiendan diferentes valores de asentamientos de acuerdo con el tipo de construcción.

2. La elección del tamaño máximo del agregado, debe considerar la separación de los costados de la formaleta, espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada.

3. El método presenta el Cuadro A.2 del Anexo1, con los contenidos de agua recomendados en función del asentamiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto con y sin aire incluido.

4. Para el cálculo de la resistencia, se proporciona el Cuadro A.3.a y A.3.b del Anexo 1 con los valores de la relación agua-cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 d que se requiera, esta debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos.

5. El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua determinada en el paso tres y la relación agua-cemento obtenida en el paso cuatro.

$$V_c = \frac{V_{agua}}{a/c}$$

6. El método ACI presenta el Cuadro A.4 del anexo 1 con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, depende del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena.

7. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por masa o por volumen absoluto.

$$V_{BA} = 1 - V_S - V_{BP} - V_W - V_{AIRE}$$

8. Luego se deben ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir humedad total menos absorción.

9. El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el asentamiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado.

La cantidad estimada de agua de mezclado para producir el mismo revenimiento que el de la mezcla de prueba, sería igual a la cantidad neta de agua de mezclado empleada, dividida por la influencia de la mezcla de prueba en  $m^3$ . Si el revenimiento de la mezcla de prueba no es el correcto, increméntese o redúzcase el contenido nuevamente estimado de agua a 2 kg por metro cúbico de concreto para cada centímetro de incremento o reducción de revenimiento.

Si no se obtiene el contenido de aire deseado (para concreto con aire incluido), debe emplearse de nuevo el contenido requerido de aditivo para lograr el contenido apropiado de aire, y reducirse o incrementarse el contenido de agua de mezclado que se indica en el párrafo anterior, en 3 kg por cada 1% en que debe reducirse o incrementarse el contenido de aire respecto al de la mezcla de prueba previa.

El peso unitario de concreto fresco estimado nuevamente para el ajuste de las proporciones de la mezcla de prueba, es igual al peso unitario en  $kg/m^3$  medido en la mezcla de prueba, reducido o incrementado por el porcentaje de incremento o reducción del contenido de aire de la mezcla ajustada a la primera mezcla de prueba.

Deben calcularse nuevos pesos de mezcla, comenzando en el cuarto paso; si es necesario se modificará el volumen de agregado grueso para obtener una trabajabilidad adecuada.

### 3.2. Método Mironof

El método de diseño de mezclas del Dr. S.A. Mironof, es utilizado especialmente en casos en los que se utilizan combinaciones de agregado grueso y fino sin separar.

El método parte de la importancia de la resistencia a la compresión de un concreto, el cual se determina en función de la relación a/c. Se basa en:

- Conocer la granulometría de los agregados
- Establecer la relación a/c
- Determinar la cantidad de cemento a utilizar
- Hacer ajustes hasta lograr el revenimiento deseado

En el Cuadro 3.2 se resume este método:

**Cuadro 3.2.** Resumen del diseño de mezcla de concreto hidráulico con el método de Mironof

| <b>Método de Mironof</b>                             |  |
|--|--|
| Paso 1: Conocer la granulometría de los agregados    | ✓ Se determina para el caso de los obtenidos directamente en canteras, estableciendo la relación de finos a gruesos. |
| Paso 2: Establecer la relación a/c                   | ✓ Relaciona la resistencia del cemento, con el tipo de agregado y la resistencia del concreto.                       |
| Paso 3: Determinar la cantidad de cemento a utilizar | ✓ Se determina la cantidad de cemento en masa necesaria para producir una pasta que llene los vacíos del agregado.   |

**Fuente:** Torres

Se muestra a continuación, el detalle del método:

1. La granulometría de los agregados se determina para el caso de los obtenidos directamente en canteras, estableciendo la relación de finos a gruesos, el % permisible va del 30- 42 para los finos (óptimo 30 al 32%).

Cuando la mezcla de agregados naturales no llena las proporciones establecidas, se procede a añadir el agregado que se encuentra en proporción deficiente. En el caso de utilizarse el método Mironof, con agregados diferenciados, se adopta cualquier método de diseño de granulometría, con miras a obtener la mayor compacidad.

2. La relación agua-cemento necesaria para la resistencia que deseamos, se determina por medio de:

$$\frac{a}{c} = \frac{\text{Resistencia del cemento}}{K * \text{Resistencia del concreto} + 0.5 \text{ Resistencia del cemento}}$$

El coeficiente K, varía según el tipo de agregado, siendo de 2,5 para la grava y de 2 para canto rodado.

3. Establecida la relación agua-cemento requerida para la resistencia deseada, se determina la cantidad de cemento en peso necesaria para producir una pasta que llene los vacíos del agregado por la relación siguiente:

$$\text{Cemento en kg} = \frac{\text{Volumen de vacíos; } 1/\text{m}^3 \text{ de pasta}}{\text{Cantidad de pasta; } 1/\text{kg} \text{ de cemento}}$$

La cantidad de pasta se deduce experimentalmente, con los valores que se muestran en el Cuadro A.5 del Anexo 1.

Las mezclas experimentales son realizadas a fin de comprobar su viscosidad y revenimiento, por lo que se ha establecido una relación empírica de acuerdo a las características de las obras, como se muestra en el Cuadro A.6 del Anexo 1.

Cuando la mezcla no coincide con las especificaciones, se realizan los ajustes necesarios en su granulometría o relación agua-cemento, que den el asentamiento adecuado.

### **3.3. Método del Dr. Vitervo O`Reille (MVO)**

El procedimiento propuesto por el Dr. **Vitervo O`Reilly**, de nacionalidad cubana, recomienda la combinación agregado grueso / agregado fino que proporcione el menor contenido de vacíos; es decir, la mayor compacidad y un menor consumo de cemento. El contenido del cemento y del agua se determinan mediante factores que dependen de la relación agua-cemento y de la consistencia deseada en la mezcla.

Como se procura tener la mayor compacidad posible de la mezcla de agregados grueso y fino, se debe buscar el empleo de agregados más bien de tipo redondeado, sin que esto signifique una pérdida considerable en la adherencia pasta / agregado.

El método establece el cumplimiento de los pasos que se indican a continuación:

- Determinar el peso de la arena y de la piedra
- Determinar el porcentaje de vacíos
- Determinar la forma y el tamaño del agregado
- Determinar de relación a/c
- Determinar la cantidad de cemento
- Estimar del contenido de agregado grueso
- Estimar del contenido de agregado fino

El procedimiento se resume en el Cuadro 3.3.

**Cuadro 3.3.** Resumen del diseño de mezcla con el método del Dr. Vitervo O´Reilly (MVO)

| <b>Método de MVO</b>                                      |   |
|---|---|
| Paso 1: Determinar los pesos específicos de los agregados | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se determina por medio de fórmulas el peso de los agregados secados al horno y compactados.</li> </ul>   |
| Paso 2: Cálculo del % de vacíos                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Basándose en los resultados de la mezcla en el paso anterior, se obtiene la mezcla óptima de agregados, con el menor % de vacíos.</li> </ul>   |
| Paso 3: Determinar la forma y el tamaño del agregado      | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Por el método práctico, se utilizan los resultados de los pasos anteriores y la resistencia a compresión del concreto y del cemento a los 28 días.</li> <li>✓ Por el método físico matemático, que se basa en la evaluación de las características de forma y tamaño del agregado a utilizar, como son la esfericidad estereométrica y la redondez de de cada una de ellas, determinando el coeficiente de alargamiento y de angulosidad.</li> </ul> |
| Paso 4: Determinar de relación a/c                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Relaciona las características obtenidas en el paso anterior sobre el agregado grueso, la resistencia que se quiere obtener de la mezcla y la resistencia del cemento.</li> </ul>   |
| Paso 5: Determinar la cantidad de cemento                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se relaciona con la cantidad de agua requerida y la relación a/c.</li> </ul>   |
| Paso 6: Estimación del contenido de agregados             | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se calcula para 1m<sup>3</sup> el volumen de los agregados, tomando en cuenta la cantidad de agua y de cemento necesarias para obtener la resistencia deseada.</li> </ul>  |

**Fuente:** Torres

El detalle del método, se muestra a continuación:

1. Determinar los pesos específicos y unitarios del agregado fino y del agregado grueso secados en horno.
2. Determinar el peso unitario compactado de las mezclas secas de arena y piedra de las proporciones.
3. Determinar el peso de cada una de las mezclas anteriores.

$$PEC_m = [(PEC_a * \% A) + (PEC_g * \% G)] / 100$$

donde:

PEC<sub>m</sub> = peso (suelto) de la mezcla de los agregados.

PEC<sub>a</sub> = peso específico corriente o aparente de la arena.

$PEC_g$  = peso específico corriente o aparente del agregado grueso.

% AF = porcentaje del agregado fino en la mezcla.

% AG = porcentaje del agregado grueso en la mezcla.

4. Se calcula el % de vacíos de cada mezcla anterior:

$$\% V = [(PEC_m - PUC_m) / PEC_m] * 100$$

5. Con la mezcla óptima de agregados (menor % de vacíos), se realiza un concreto con la consistencia y resistencia deseada, utilizando la cantidad de cemento y agua acostumbrada (experiencia) y con ello:

- Se determina la cantidad de agua por tanteo para un  $A_s$  requerido.
- Se obtiene la resistencia a compresión (28 d) del concreto elaborado.

**6. La determinación de la característica "A" del agregado grueso se realizó por los dos métodos (práctico y físico matemático), para el primero se utilizan los resultados de los ensayos realizados (numerales anteriores), la resistencia a compresión del concreto y del cemento (obtenida en laboratorio) a los 28 días. Para el segundo se indica la metodología más adelante.**

$$A = R_h / [R_c * (M_1 * V + M_2)]$$

donde:

A= característica del agregado grueso (método práctico).

$R_h$  = resistencia promedio a compresión del concreto a los 28 días.

$R_c$  = resistencia a compresión del cemento utilizado a los 28 días (de laboratorio).

$M_1, M_2$  = valores dependientes de la consistencia del concreto (de cuadro A.8).

V = valor dependiente de la relación agua-cemento (de cuadro A.9).

**7. Con la característica "A" de la grava, la resistencia de concreto y cemento a los 28 días, se determina el valor de "v", que refiere un valor de relación a-c, "w" (de cuadro A.9).**

$$V = [((R_h) / (R_c * A))] - M_2 / M_1$$

donde:

$R_h$  = Resistencia a compresión del concreto que queremos obtener, MPa.

$R_c$  = Resistencia a compresión del cemento, MPa.

$M_1, M_2$  = valores dependientes de la consistencia del concreto (de cuadro A.8).

A = Característica del agregado grueso (práctica y físico matemática).



8. Determinados los valores de  $v$  y  $w$  (numeral anterior), se puede calcular la cantidad de cemento realmente necesaria:

$$c = a / w$$

donde:

$c$  = cantidad de cemento real para la mezcla final.

$a$  = agua requerida para el  $A_s$  requerido.

$w$  = valor determinado en el numeral anterior.

**9. Conociendo la característica "A", la cantidad de agua y cemento necesarias, para obtener la resistencia del concreto deseado, se puede calcular la cantidad de agregados para 1 m<sup>3</sup> (1000 L) de concreto, como se sabe que:**

$$V_c + V_{ag} + V_{ar} + V_{vacíos} = 1000 \text{ L}$$

$$V_{ar} = 1000 - [(C/Y_c) + V_{ag} + V_{vacíos}]$$

donde:

$C$  = Cantidad de cemento en masa.

$Y_c$  = Peso específico del cemento (3.12 g/cm<sup>3</sup>).

$V_{ar}$  = Volumen de los agregados (fino y grueso).

$V_{ag}$  = Volumen del agua.

$V_{vacíos}$  = Volumen de poros en litros, se supone que para concretos normales, los poros constituyen el 2 %, por el aire atrapado en el mezclado y manejo.

10. Se determina la cantidad de agregado fino y grueso de acuerdo a la proporción de la mezcla óptima. (1 m<sup>3</sup> tiene ± 2-3 % aire atrapado)

$$[(\% A * P_{af}) / Y_{af} + (\% G * P_{ag}) / Y_{ag}] = V_{ar}$$

donde:

% A = porcentaje de agregado fino en la mezcla

% G = porcentaje de agregado grueso en la mezcla

$Y_{af}$  = peso específico agregado fino

$Y_{ag}$  = peso específico agregado grueso

$V_{ar}$  = volumen de agregados

$P_{ar}$  = peso total de los agregados

$$PEC_m = [(PEC_a * \% AF) + (PEC_g * \% AG)] / 100$$

donde:

$PEC_m$  = peso específico corriente o aparente (suelto) de la mezcla de los agregados.

$PEC_a$  = peso específico corriente o aparente de la arena.

$PEC_g$  = peso específico corriente o aparente del agregado grueso.

% AF = porcentaje del agregado fino en la mezcla.

% AG = porcentaje del agregado grueso en la mezcla.

### **3.4. Método Walker**

El denominado método Walker se desarrolla debido a la preocupación del profesor norteamericano Stanton Walker en relación con el hecho de que, sea cual fuera la resistencia de diseño del concreto y por tanto su relación agua/cemento, contenido de cemento y características del agregado fino, la cantidad de agregado grueso era la misma.

Considerando que la relación fino-grueso debería variar en función del contenido de la pasta en la mezcla, así como el tamaño máximo nominal del agregado grueso, y que otro factor que debería ser considerado era la mayor o menor fineza del agregado fino, el profesor Walker desarrolló una serie de tablas en donde consideró esto último, clasificando al agregado fino como fino, mediano y grueso. Igualmente se considera si el agregado grueso es de perfil redondeado o angular y, para cada uno de los dos casos, se considera cuatro alternativas de factor cemento. Todo ello permite encontrar un porcentaje de agregado fino que se considera como el más conveniente en relación al volumen absoluto total de agregado.

Una vez definida la resistencia del concreto y el tipo de cemento a utilizar, se continúa con:

- Determinar el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Determinar el revenimiento.
- Determinar la cantidad de agua de mezclado.
- Determinar el contenido de aire.
- Determinar la relación a/c.

- Cálculo del factor cemento, FC.
- Cálculo de volúmenes absolutos (cemento, agua, aire).
- Cálculo de volumen absoluto del agregado global.
- Cálculo del grado de incidencia del agregado fino en el agregado global.
- Cálculo del grado de incidencia del agregado grueso en el agregado global.
- Cálculo del peso seco de los agregados.
- Determinación de los valores de diseño.

En el siguiente cuadro se expone la metodología del diseño por el método Walter.

**Cuadro 3.4.** Diseño de mezcla con el método Walter**Método Walter**

Metodología para el diseño de mezcla del concreto:

Paso 1: Determinar el tamaño máximo nominal del agregado grueso

- ✓ Relaciona el tamaño del agregado con las dimensiones de la estructura y con la separación mínima que puede tener el acero de refuerzo.

Paso 2: Determinar el revenimiento

- ✓ Se relaciona con el tamaño máximo del agregado grueso, el contenido de aire atrapado o incorporado.

Paso 3: Determinar la cantidad de agua de mezclado

- ✓ Depende del tamaño máximo del agregado, de la forma de las partículas y gradación de los agregados y de la cantidad de aire incluido.

Paso 4: Determinar el contenido de aire

- ✓ Depende del tamaño máximo del agregado.

Paso 5: Determinar la relación a/c

- ✓ Se determina por los requisitos de resistencia aire incorporado o aire atrapado.
- ✓ Esta relación se obtiene con el método del ACI 211.

Paso 6: Cálculo del contenido de cemento, FC

- ✓ Relaciona la cantidad de agua de la mezcla con la cantidad de a/c.

Paso 7: Cálculo de volúmenes absolutos (cemento, agua, aire)

- ✓ Se obtiene por medio de la suma de todos los materiales sin incluir agregados (cemento, agua y aire).

Paso 8: Cálculo de volumen del agregado total

- ✓ Se obtiene por medio de la diferencia del resultado anterior con  $1 \text{ m}^3$ .

Paso 9: Cálculo del % de agregado fino

- ✓ Permite determinar el porcentaje aproximado de agregado fino en relación al volumen total de agregados, en función del módulo de fineza del agregado fino, el tamaño máximo nominal del agregado grueso, el perfil del mismo y el contenido de cemento en la unidad cúbica de concreto.

Paso 10: Cálculo del volumen del agregado grueso

- ✓ Determina el porcentaje de agregado grueso, por medio del volumen total y del % de agregado fino.

Paso 11: Cálculo del peso seco de los agregados

- ✓ A partir de los pesos específicos de los agregados y del volumen de fino y grueso.

Paso 12: Ajuste por humedad de los agregados

- ✓ Se determina el peso húmedo de los agregados.
- ✓ Se determina la humedad superficial de los agregados.
- ✓ Se calcula el aporte de agua por humedad superficial de los agregados.

**Fuente:** Torres

### **3.5. Método del módulo de fineza**

Este método considera el módulo de fineza de la mejor combinación de agregados (fino y grueso).

En éste método luego de conocer las características de los materiales y seleccionar la resistencia requerida, se debe:

- Seleccionar el tamaño máximo del agregado
- Seleccionar el revenimiento
- Seleccionar el contenido de agua
- Seleccionar el contenido de aire atrapado
- Seleccionar la relación a/c, por resistencia, por compresión o por durabilidad
- Se calcula el contenido de cemento
- Se calcula la suma de los volúmenes absolutos de los componentes
- Cálculo del módulo de fineza de la combinación de agregados
- Cálculo del porcentaje de agregado fino
- Cálculo de los pesos secos de los agregados
- Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados

Esta metodología se expone en el siguiente cuadro.

**Cuadro 3.5.** Diseño de mezcla con el método del módulo de fineza

| <b>Método del módulo de fineza</b>   |
|--|
| Metodología para el diseño de mezcla del concreto:   |
| Paso 1: Determinar el tamaño máximo nominal del agregado grueso <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Relaciona el tamaño del agregado con las dimensiones de la estructura y con la separación mínima que puede tener el acero de refuerzo.</li></ul>   |
| Paso 2: Determinar el revenimiento <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Se relaciona con el tamaño máximo del agregado grueso, el contenido de aire atrapado o incorporado.</li></ul>   |
| Paso 3: Determinar la cantidad de agua de mezclado <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Depende del tamaño máximo del agregado, el revenimiento y de la cantidad de aire incluido o atrapado.</li><li>✓ Misma metodología del ACI.</li></ul>  |
| Paso 4: Determinar el contenido de aire <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Depende del tamaño máximo del agregado.</li></ul>  |
| Paso 5: Determinar la relación a/c <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Se determina por los requisitos de resistencia, aire incorporado o aire atrapado.</li><li>✓ Esta relación se obtiene con el método del ACI 211.</li></ul>   |
| Paso 6: Cálculo del contenido de cemento <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Relaciona la cantidad de agua de la mezcla con la cantidad de a/c.</li></ul>  |
| Paso 7: Cálculo de volúmenes absolutos (cemento, agua, aire) <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Se obtiene por medio de la suma de todos los materiales sin incluir agregados (cemento, agua y aire).</li><li>✓ El volumen del agregado total se obtiene por medio de la diferencia del resultado anterior con 1 m<sup>3</sup>.</li></ul> |
| Paso 8: Cálculo del módulo de fineza de los agregados <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Relaciona el TMN del agregado grueso con el módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/m<sup>3</sup>.</li></ul>                                    |
| Paso 9: Cálculo del % de agregado fino <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Relaciona el módulo de fineza de la combinación, del agregado grueso y del agregado fino.</li></ul>   |
| Paso 10: Cálculo del peso seco de los agregados <ul style="list-style-type: none"><li>✓ A partir de los pesos específicos de los agregados y del volumen de fino y grueso.</li></ul>   |
| Paso 11: Ajuste por humedad de los agregados <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Se determina el peso húmedo de los agregados.</li><li>✓ Se determina la humedad superficial de los agregados.</li><li>✓ Se calcula el aporte de agua por humedad superficial de los agregados.</li></ul>  |

**Fuente:** Torres

### Conclusiones

Durante la investigación se encontró que en Costa Rica hay muy poca información disponible sobre los diferentes tipos de concretos, a pesar de ser un material del cual se tienen indicios de su uso desde el 7000 a.C.

Para el uso del concreto como material de construcción (como para cualquier material), debe valorarse la idoneidad de su uso, planificar e investigar las condiciones en las cuales será aplicado, tomando en cuenta aspectos como el clima, disponibilidad de materiales, acarreo, entre otros.

En condiciones distintas de aplicación o donde intervengan más factores que puedan ser contraproducentes para la aplicación de algún tipo de aditivo, se deben realizar ensayos de laboratorio, los cuales ayuden a visualizar el comportamiento del concreto.

La elección de cualquier tipo de concreto debe ir acompañada de un excelente modo de aplicación, no se debe olvidar que la temperatura facilita la pérdida de agua por evaporación y puede ocasionar grietas o fisuras. Además se debe dar un adecuado curado, con el cual se debe tener cuidado de que el agua de curado no esté más fría de 11 °C, ya que los cambios de temperatura también pueden causar agrietamiento.

Conocer el proceso constructivo de cada tipo de concreto de manera general es un aspecto muy importante para el ingeniero a cargo de un proyecto, para el maestro de obras y hasta para el ingeniero inspector.

En Costa Rica, no existe una norma o guía para el diseño de mezcla, sino que se realiza por medio de una **modificación de la norma ACI 211, mediante "prueba y error"**, donde se van modificando cantidades hasta llegar a los resultados esperados.

Con la información recopilada en este trabajo de investigación se espera proveer información actualizada para direccionar estudios tendentes a reproducir en laboratorio nuevos concretos o concretos modificados que empleen materia prima nacional y que sean factibles de elaborar y aplicar atendiendo a nuestras limitantes tecnológicas.

## **Recomendaciones**

El centrarse en el estudio de un tema tan específico como éste, permite afianzar criterios para recomendar la ejecución de nuevos proyectos.

Realizar estudios de laboratorio a los concretos investigados y así mantener actualizada la información recopilada

Otro punto importante es que las empresas constructoras deben de dar a conocer los resultados, implicaciones y cuidados que llegan a tener en el momento de utilizar el concreto en sus obras de construcción.

Finalmente, como se ha mencionado en este trabajo, en Costa Rica no existe una norma para el diseño de mezcla del concreto, por lo que se recomienda que se realice una homologación por parte de El Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) a la norma ACI 211.1.



## **Bibliografía**

### **1. Trabajos finales de graduación**

1. Alfaro, B. (1984). Influencia del agregado grueso en la producción de concretos de mediana resistencia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

2. Alvarado, G. (1983). Concreto celular con espuma preformada. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

3. Álvarez, V. (2009). Análisis comparativo teórico y económico entre losas de concreto apoyadas sobre suelos utilizando refuerzo tradicional y fibras de acero. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

4. Aragón, S. (2004). Determinación del módulo de elasticidad de concretos normales y de alto desempeño en Costa Rica. . Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

5. Azofeifa, G. (2007). Concreto hidráulico de baja contracción para aplicar en losas para piso de naves industriales. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

6. Barboza, J. (2006). Estudio técnico experimental y viabilidad económica en la producción de concretos nuevos a partir de concretos de desecho. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

7. Camacho de Pass, A. (1985). Producción de concreto de alta resistencia en Costa Rica. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
8. Carvajal, M. (1986). Estudio paramétrico del comportamiento estructural del concreto de alta resistencia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
9. Fernández, R. (2008). Concreto permeable: diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
11. Hernández, B. (2001). Uso de un aditivo antideslave en una mezcla para un concreto sumergido. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
12. Ingianna, C.; Perez, V. y Torrentes, G. (2002). Concretos livianos a base de desechos. Proyecto de graduación, Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
13. Jenkins, M. (1986). Resistencia y ductilidad de secciones de concreto de alta resistencia . Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
14. Koss, I. (2001). Concreto reforzado con fibras de polipropileno. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
15. León, J. (1977). Concreto reforzado con fibras cortas. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

16. López, K. (2002). Concreto de alto desempeño autonivelante para columnas prefabricadas. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

17. Madrigal, G. (2004). Estudio para determinar la viabilidad de aprovechar los residuos de concreto premezclado en estado fresco, para la producción de nuevos concretos. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

18. Meseguer, L. (1987). Producción de concretos de mediana resistencia en Costa Rica. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

19. Molina, R. (1982) . Lineamientos generales para la producción de concretos de alta resistencia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

20. Nieto, M. (1985). Flexión en miembros preesforzados de concreto de alta resistencia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

21. Ocampos, E. (1969). Diseño de mezclas de concreto con cemento y puzolana nacionales. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

22. Poveda, M. (2008). Evaluación de la prefactibilidad técnica y financiera de reutilizar los residuos de construcción como agregados para concreto. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

23. Rojas, J. (2009). Guía metodológica para el diseño de una losa apoyada en suelo; para uso industrial, utilizando concreto reforzado con fibras metálicas. Proyecto de

graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

24. Sáenz, D. (1987). Influencia de los aditivos super plastificantes en la producción de concreto de alta resistencia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

25. Sánchez, A. (1985). Diseño experimental de un concreto reforzado con fibras de vidrio para uso en losas de pavimentos. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

26. Sánchez, F. (2008). Concretos durables con resistencia a la penetración de cloruros para estructuras en zonas costeras o con influencia del ambiente marino en la Región Pacífico Central. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

27. Solano, S. (1980). Concreto expansivo en losas de puentes. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

28. Talavera, J. (2004). Efecto de aditivos acelerantes en concretos convencionales. Estudio comparativo del comportamiento estructural del concreto de alta resistencia. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

29. Torres, B. (2000). Concretos y morteros modificados con polímeros. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

30. Vargas, J. (1953). Estudio de los principios del concreto pre fatigado. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

31. Villalobos, O. (2007). Influencia de la microsílca en la obtención de concretos de alta resistencia en Costa Rica. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

32. Villalobos, O. (1977). Concretos con cemento Portland: normal y puzolánico. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

33. Zamora, J. (2009). Pautas para la colocación y curado de concretos premezclados de 70 MPa. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

## 2. Libros

1. ACI Capítulo de Costa Rica. (1997). Aditivos para concreto. Publicación especial No. 28. Costa Rica: ACI.

2. Aitcin, P. (2008). Concreto de alto desempeño. San José, C.R.: Jiménez & Tanzi.

3. Fernández, J; Burón, M. (2005). Guía práctica para la utilización del hormigón autocompactante. Madrid, España: Instituto Español del cemento y sus aplicaciones (IECA).

4. Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. (s.f). Manual de consejos prácticos sobre el concreto. San José, Costa Rica: ICCYC.

5. Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. (s.f). Manual de elaboración de concreto en obra. San José, Costa Rica: ICCYC.

6. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1999). Bombeo de concreto ACI 304. México: IMCYC.
7. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1990). Colocación del concreto por métodos de bombeo (reporte preparado por el comité ACI 304). México: IMCYC.
8. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1993). Guía práctica para la colocación del concreto. México: IMCYC.
9. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1986). Práctica recomendable para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto (ACI 304). México: IMCYC.
10. Matallana, R. (2006). Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Medellín: Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC).
11. Muñoz, F. (1998 y 2012). Notas del curso IC- 0604 Materiales de construcción. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
12. Ryan, T. (1976). Concreto lanzado. México: IMCYC.
13. Sánchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá, Colombia: Bhandar editores Ltda.
14. Short, A; Kinniburgh, W. (1980). Concreto ligero: cálculo, fabricación, diseño y aplicaciones. México: Editorial Limusa.

### 3. Internet

1. Agregados Livianos C.A. (2011). Concreto para edificaciones. Tomado de [http://www.aliven.com.ve/aliven/aplicaciones\\_concreliv\\_concre\\_edificaciones.html](http://www.aliven.com.ve/aliven/aplicaciones_concreliv_concre_edificaciones.html)
2. Agroshintun S.A. (s.f.). Trabajos en concreto. Tomado de <http://www.scribd.com/doc/65575899/4/Concreto-Masivo>

3. Álvarez, I. (2011). Durabilidad del concreto en zonas costeras y obras portuarias. En 360° en concreto. Tomado de <http://www.360gradosblog.com/post/2011/11/28/Durabilidad-del-concreto-en-obras-portuarias.aspx>
4. Álvarez, J. (s.f.). Diseño de mezclas. Tomado de [http://issuu.com/bertoni\\_salazar/docs/dise\\_o\\_de\\_mezclas\\_def](http://issuu.com/bertoni_salazar/docs/dise_o_de_mezclas_def)
5. American Concrete Institute. (s.f.). Curado del concreto: Comité ACI-318. Tomado de <http://www.scribd.com/doc/81829926/ACI-308-Curado-del-hormigon>
6. Ayala, C. (2006). Concreto modificado a base de desperdicio industrial. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de Las Américas, Puebla, México. Tomado de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/ayala\\_e\\_c/index.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ayala_e_c/index.html)
7. Barréndez, C. (s.f.). La tecnología del concreto masivo en las grandes presas. Tomado de [http://www.bibliotecadigital.uson.mx/bdg\\_tesisIndice.aspx?tesis=7282](http://www.bibliotecadigital.uson.mx/bdg_tesisIndice.aspx?tesis=7282)
8. BASF The Chemical Company. (s.f.). Hormigón de baja permeabilidad. Tomado de <http://www.ingenieria-arquitectura-basfcc.es/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/2bf211c8-f91e-4697-8e71-e79ca9e7647f/hormigon-baja-permeabilidad.pdf?guest=true>
9. Bedoya, C. (2003). El concreto con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles. Trabajo presentado para optar por el título de Magister en Hábitat, Escuela de Hábitat, Facultad de Arquitectura, Medellín, Colombia. Tomado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3477/1/98589947-2003.pdf>
10. Branco, R. (2011). Aplicações do concreto polímero na construção. Tomado de <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4430-aplicacoes-do-concreto-polimero-na-construcao/>
11. Burón, M. (2007). El uso de nuevos concretos estructurales. En Tecnología. Tomado de <http://www.imcyc.com/ct2007/may07/tecnologia.htm>

12. Cemex. (2012). Concreto. Tomado de [http://www.cemexcostarica.com/co/co\\_pr.html](http://www.cemexcostarica.com/co/co_pr.html)
13. Cemex Costa Rica. (2012). Historia del concreto. Tomado de [http://www.cemexcostarica.com/co/co\\_pp\\_hc.html](http://www.cemexcostarica.com/co/co_pp_hc.html)
14. Concrete Zen. (2010). VCAS – The pozzolan of concrete Zen`s mixture. Tomado de <http://concrete-zen.com/blog/2010/03/23/vcas-the-pozzolan-of-concrete-zens-mixture/>
15. Cooperativa Cruz Azul, S.C.L. Tipos de concreto. Tomado de <http://www.cruzazul.com.mx/2008/producto/tiposConcreto.aspx>
16. Construdata. (2010). ¿Concreto reciclado con escombros?. Tomado de [http://www.construdata.com/BancoConocimiento/C/concreto\\_reciclado\\_con\\_escombros/concreto\\_reciclado\\_con\\_escombros.asp](http://www.construdata.com/BancoConocimiento/C/concreto_reciclado_con_escombros/concreto_reciclado_con_escombros.asp)
17. Cruz, J. y Velázquez, R. (2004). Concreto reciclado. Trabajo presentado para optar por el título de Ingeniero Civil, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, México, DF. Tomado de [http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4860/1/284\\_CONCRETO%20RECICLADO.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4860/1/284_CONCRETO%20RECICLADO.pdf)
18. Díaz, F. (2005). Análisis experimental de la contracción por secado en mezclas de concreto hidráulico. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de Las Américas, Puebla, México. Tomado de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales\\_/documentos/lic/diaz\\_m\\_f/portada.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales_/documentos/lic/diaz_m_f/portada.html)
19. Donza, H. y Trezza, M. (s.f). Estudio comparativo del comportamiento de aditivos superfluidificantes. Tomado de [http://www.efn\\_uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/superflu.pdf](http://www.efn_uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/superflu.pdf)
20. Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado. (2009). El Hormigón. Tomado de <http://www.hormigonfihp.org/>



21. Gómez, J.; Agulló, L. y Vázquez, E. (s.f.). Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto: Aplicación en concretos. Tomado de <http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/2270/1/ARTICULO%20concreto%20y%20tecnolog%C3%ADa.pdf>
22. González, M. (s.f.). Método Mironof de diseño de mezclas. Tomado de [http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f\\_doc/concreto/MGC8\\_metodo\\_mezclas.pdf](http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/concreto/MGC8_metodo_mezclas.pdf)
23. Holcim Costa Rica. (2012). Tipos de concreto. Tomado de <http://www.Holcim.cr/es/productos-y-servicios/concreto-premezclado.html>
24. Hormigones Industriales C x A. (2001). Concreto de fraguado retardado. Tomado de <http://www.hormigonesindustriales.com/ConcretodeFraguadoRetardado.html>
25. Hormigones Vicente. (s.f.). Hormigón autocompactable. Tomado de <http://www.hormigonesvicente.com/productos/hormigon/hormigon-autocompactable/>
26. Huerta, R. (2009). Concretos ligeros. En tecnología. Tomado de <http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/tecnologia.htm>
27. Hujal Concretos. (2010). Tipos de concretos. Tomado de <http://hujalconcretos.com/bombeable.php>
28. Instituto Colombiano de Productores de Cemento (2012). La historia del cemento, el concreto y el concreto reforzado. En Documentos ICPC, serie 5, No. 223. Tomado de <http://es.scribd.com/doc/31634667/La-Historia-Del-Cemento-El-Concreto-y-El-Concreto-Reforzado>
29. Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. (s.f.). Tipos de cement y sus usos. Tomado de <http://www.iccyc.com/pagecreator/paginas/ TIPOS%20DE%20CEMENTO %20Y%20SUS%20USOS.pdf>

30. Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. (2009). Reciclado de áridos para concreto. En Bases Solidas, boletín No.4. Mayo: Especial Congreso. Tomado de <http://boletin-iccyc.com/index.php?docId=23&secId=77>
31. Instituto Mexicano del cemento y del Concreto. (2009). El concreto. Tomado de <http://www.imcyc.com/concretohistoria/index.htm>
32. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. (2006). Cemento y concretos resistentes a sulfatos. Tomado de <http://www.imcyc.com/revistact06/oct06/PROBLEMAS.pdf>
33. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2006). El concreto en la obra problemas, causas y soluciones: Contracción por secado. Tomado de <http://www.imcyc.com/revistact06/ago06/PROBLEMAS.pdf>
34. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2006). El concreto en la obra problemas, causas y soluciones: Grietas en el concreto debido a contracción plástica y asentamiento plástico. Tomado de <http://www.imcyc.com/revistact06/sept06/PROBLEMAS.pdf>
35. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1998). Demolición y reciclaje del concreto y la mampostería. Tomado de <http://www.imcyc.com/revista/1998/junio/rilem.htm>
36. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2009). Concreto bombeado en la construcción. En Construcción y Tecnología. Tomado de <http://www.imcyc.com/revistacyt/Oct09/tecnologia.htm>
37. Khan, A; Rasheeduszzafar. (1984). Recycled Concrete—A Source for New Aggregate. Journal ASTM, Vol. 6. Resumen tomado de [http://www.astm.org/DIGITAL\\_LIBRARY/JOURNALS/CEMENT/PAGES/CCA10349J.htm](http://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/JOURNALS/CEMENT/PAGES/CCA10349J.htm)
38. Laura, S. (2006). Diseño de mezclas de concreto. Tomado de <http://www.scribd.com/doc/52219263/Diseno-de-mezclas-de-concreto>

39. Martínez, I y Mendoza, C. (2006). Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. Tomado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140577432006000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140577432006000300002&script=sci_arttext)
40. Martínez, R. (2011). Concreto ligero. Tomado de <http://civilgeeks.com/2011/09/22/concreto-ligero/>
41. Mayorga, C y Bernal, V. (2009). Concreto celular. Proyecto de graduación, Escuela de Superior Politécnica del Litoral, Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales, Ecuador. Tomado de <http://www.slideshare.net/guestefcf62a8/concreto-celular>
42. Montenegro, J. (2011). El concreto pesado y sus aplicaciones: reactor del centro nuclear de Huarangal (Perú). Tomado de <http://civilgeeks.com/2011/09/25/el-concreto-pesado-y-sus-aplicaciones-reactor-del-centro-nuclear-de-huarangal-peru/>
- s.a. (2006). Concreto translúcido. Tomado de [http:// mundocivil. blogspot. Com /2006/05/concreto-translcido.html](http://mundocivil.blogspot.Com/2006/05/concreto-translcido.html)
43. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (s.f.). CIP 11 - Curado del concreto en el lugar. En El concreto en la práctica ¿qué, por qué y cómo?. Tomado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP11es.pdf>
44. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (s.f.). CIP 33 – Concreto de alta resistencia. En El concreto en la práctica ¿qué, por qué y cómo?. Tomado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP33es.pdf>
45. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (s.f.). CIP 37 – Concreto autocompactante (CAC). En El concreto en la práctica ¿qué, por qué y cómo?. Tomado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP37es.pdf>
46. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (s.f.). CIP 36 – Concreto estructural de peso liviano. En El concreto en la práctica ¿qué, por qué y cómo?. Tomado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP36es.pdf>

47. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (s.f.). CIP 38 – Concreto permeable. En El concreto en la práctica ¿qué, por qué y cómo?. Tomado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP38es.pdf>
48. Neville, A y Aitcin, P. (s.f.). Concreto de alto desempeño. Tomado de <http://www.imcyc.com/revista/1999/dic99/concreto1.htm>
49. Ordóñez, A. (2009). Comportamiento del hormigón simple mezclado con polvo reactivo. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Universidad Politécnica del Litoral, Ecuador. Tomado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6661/1/D-39078.pdf>
50. Portugal, P. (2007). Tecnología del concreto de alto desempeño: *High performance concrete*. Tomado de <http://www.scribd.com/doc/42540958/Tecnologia-Del-Concreto-de-Alto-Desempeno>
51. Ramírez, J. (1999). La múltiple identidad del concreto. Tomado de <http://www.imcyc.com/revista/1999/nov99/multiple1.htm>
52. Reichhold. (s.f.). Uso de polímeros en concreto. Tomado de <http://www.proquirsa.com/pdf/introduccion.pdf>
53. Reyes, A. (2002). Concreto lanzado. En Ciencia y Tecnología. Tomado de <http://www.imcyc.com/cyt/abril02/conclanzado.htm>
54. Roncero, J. y Magarotto, R. (2008). Los aditivos para el concreto. Tomado de <http://boletin-iccy.com/files/files/260.pdf>
55. Santamaría, N; Yamín, L y Arcila, C. (2006). Resistencia a los cloruros en el concreto adicionado con escoria de alto horno. Tomado de <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rv23-6.pdf>
56. Time rime. (2010). La historia del concreto. Tomado de [http:// timerime.com/ es / linea de tiempo/748691/La+historia+del+concreto/](http://timerime.com/es/linea_de_tiempo/748691/La+historia+del+concreto/)

57. Torre, A. (2002). Dosificación del concreto. Tomado de <http://www.scribd.com/doc/25317035/DOSIFICACION-DISENO-DE-MEZCLAS-DE-CONCRETO-HORMIGON>
58. Torres, M. (2006). Criterios básicos para el diseño y construcción de pisos de concreto, para cuartos de refrigeración. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Tomado de <http://www.scribd.com/doc/79676097/16/Concreto-con-aire-incluido>
59. Warner, J. (1998). Aplicaciones estructurales del concreto lanzado. Tomado de <http://www.imcyc.com/revista/1998/nov/aplicaciones.htm>
60. Wikipedia. (s.a). Hormigón. Tomado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>
61. Yoc, E. (2007). Evaluación de concretos elaborados de acuerdo a los métodos de diseño "Viterco O`Reilly y práctica estándar de selección de proporciones de concreto de masa normal y pesada (ACI 211.1). Tomado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_7871.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7871.pdf)
62. s.a. (2005). Concreto lanzado. Tomado de <http://www.quiminet.com/articulos/concreto-lanzado-1388.htm>
63. s.a. (2007). Curado del concreto. Tomado de <http://civilgeeks.com/2011/12/07/curado-del-concreto/>
64. s.a. (2008). Concreto ligero, resistente y translúcido. Tomado de <http://lasnius.Wordpress.com/2008/07/28/concreto-ligero-resistente-y-translucido/>
65. s.a. (2009). El concreto. Tomado de <http://elconcreto.blogspot.com/2009/01/componentes-del-concreto.html>

66. s.a. (2010). Historia del cemento y del concreto. En 360° en concreto. Tomado de <http://www.360gradosblog.com/file.axd?file=2010%2F9%2FHistoria+del+cemento+y+de+l+concreto.pdf>

67. s.a. (2011). Diseño de mezclas de concreto: Método Walker. Tomado de [http://ingenieriacivil21.blogspot.com/2011/02/disenio-de-mezclas-de-concreto-me\\_todo.html](http://ingenieriacivil21.blogspot.com/2011/02/disenio-de-mezclas-de-concreto-me_todo.html)

68. s.a. (s.f.). Historia del cemento. Tomado de <http://www.lemona.biz/EL%20CEMENTO-1/historia%20del%20CEMENTO.pdf>

69. s.a. (s.f.). Concretos para la edificación. Tomado de <http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/concretos-para-la-edificacion/>

De Icaza, J. (s.f.). Historia del concreto. Tomado de <http://www.monografias.com/trabajos/histoconcreto/histoconcreto.shtml>

70. s.a. (s.f.). Concreto Reciclado. Tomado de [http://www.ingenieria.peru-v.com/documentos/Concreto\\_reciclado.pdf](http://www.ingenieria.peru-v.com/documentos/Concreto_reciclado.pdf)

71. s.a. (s.f.). La adición de partículas de neumáticos reciclados en el concreto. Tomado de <http://www.asocem.org.pe/web/actual/neumaticos.pdf>

72. s.a. (s.f.). Aditivos del concreto. Tomado de <http://ebookbrowse.com/mgc19-aditivos-concreto-pdf-d331715621>

## **Apéndices**

## Apéndice 1

### Línea de tiempo: Evolución histórica del concreto hidráulico

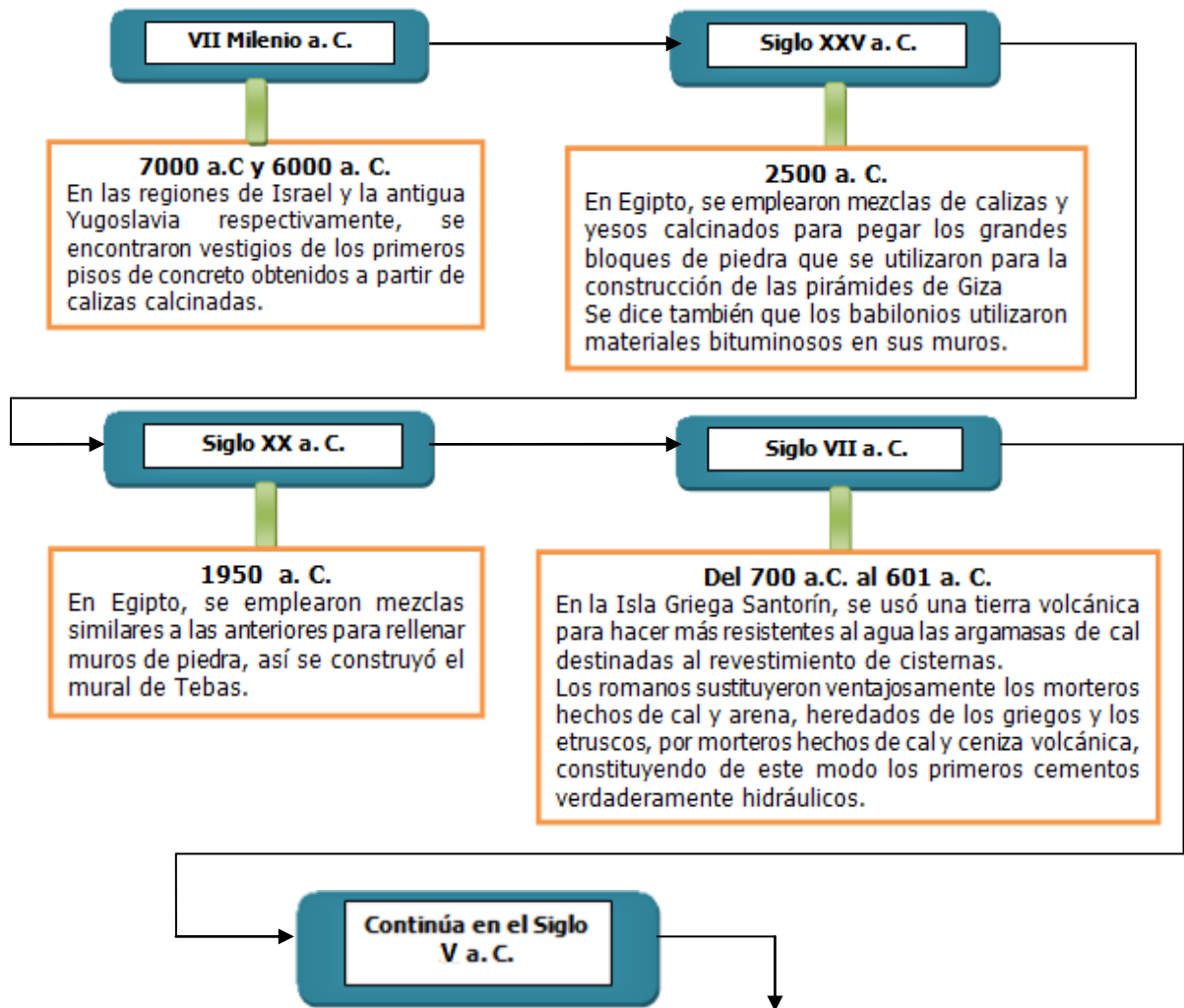


Figura Ap.1. Línea de tiempo de la evolución del concreto

Fuente: Muñoz y Torres



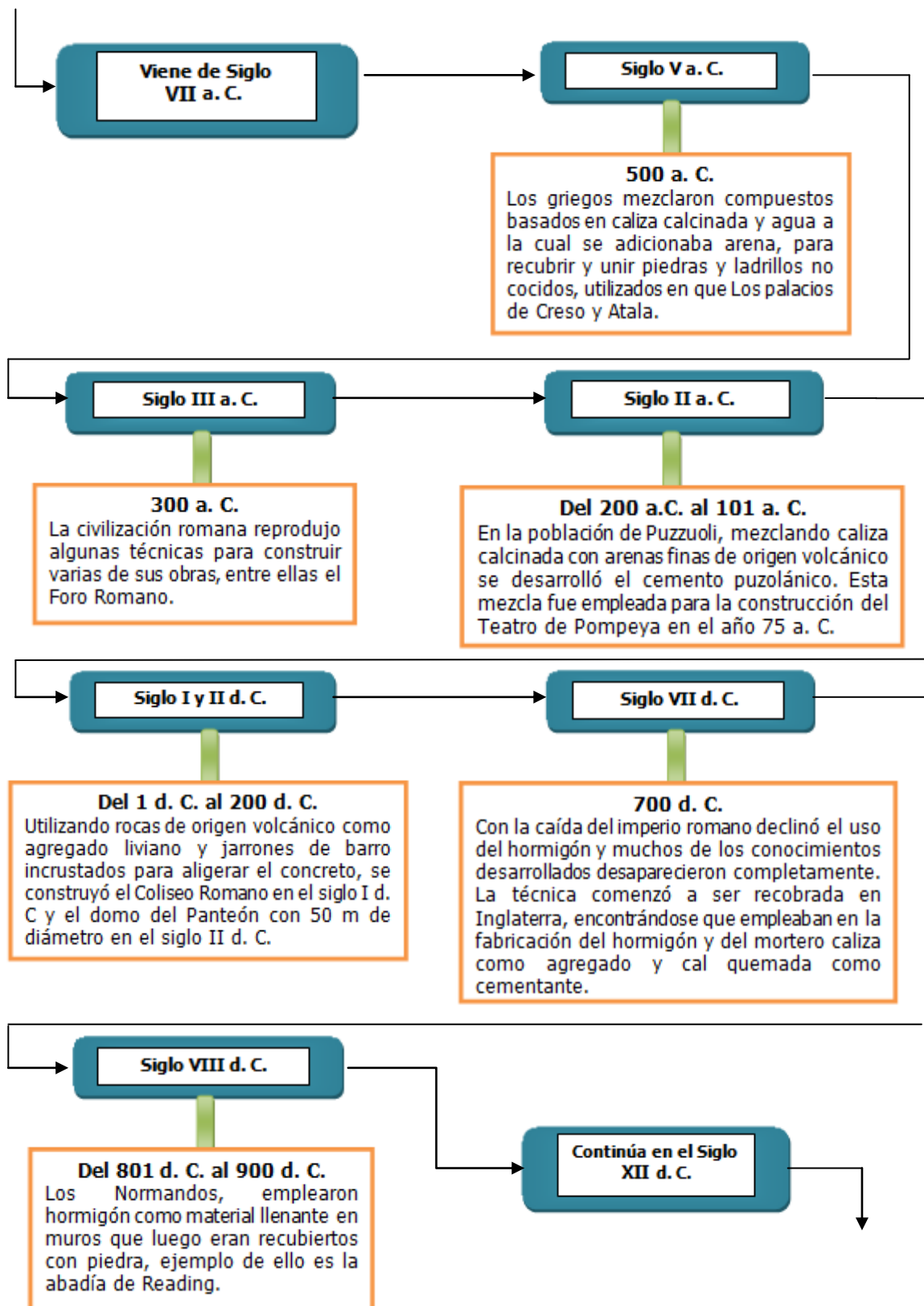


Figura Ap.1. Línea de tiempo de la evolución del concreto (continuación)

Fuente: Muñoz y Torres

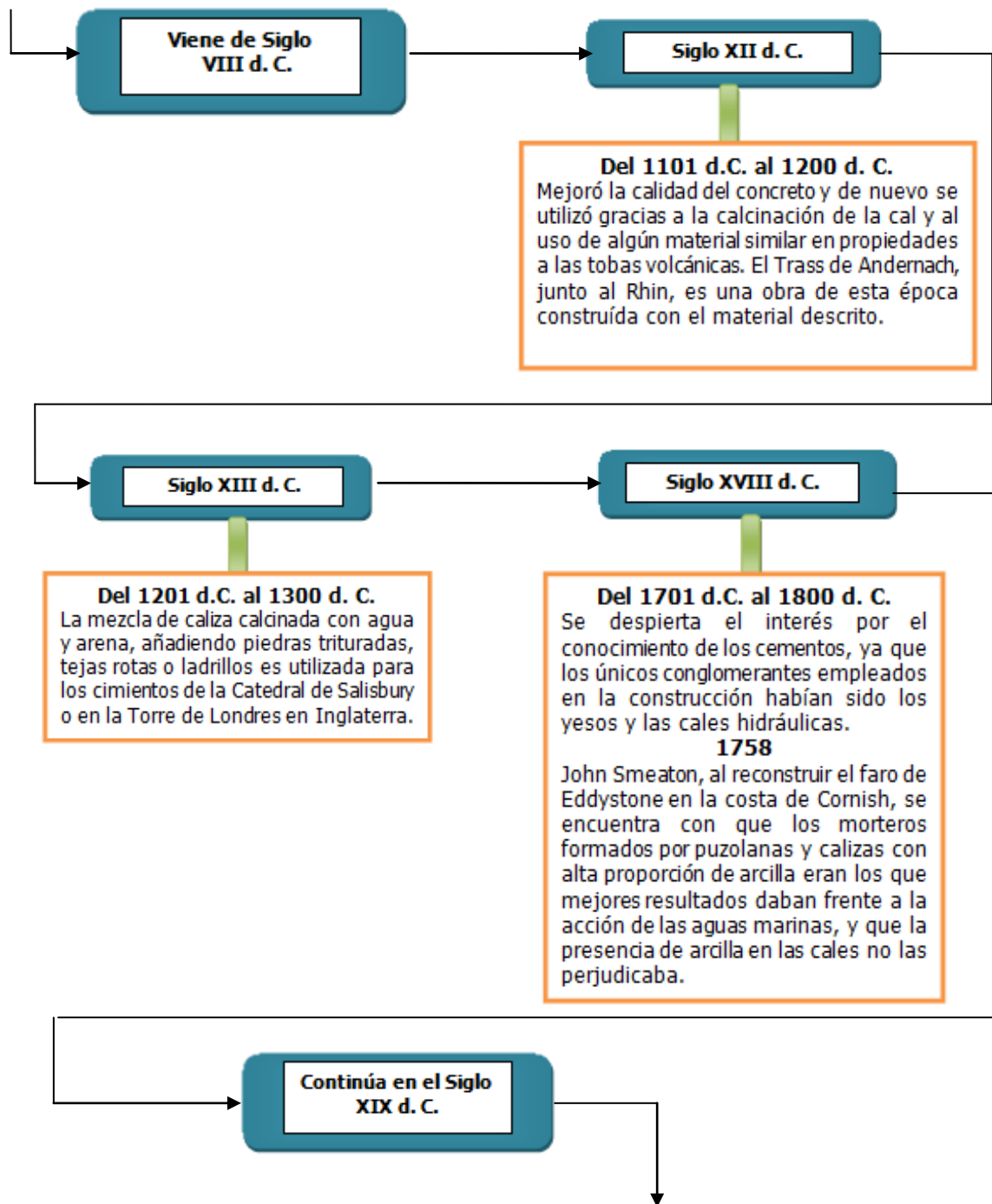


Figura Ap.1. Línea de tiempo de la evolución del concreto (continuación)

Fuente: Muñoz y Torres

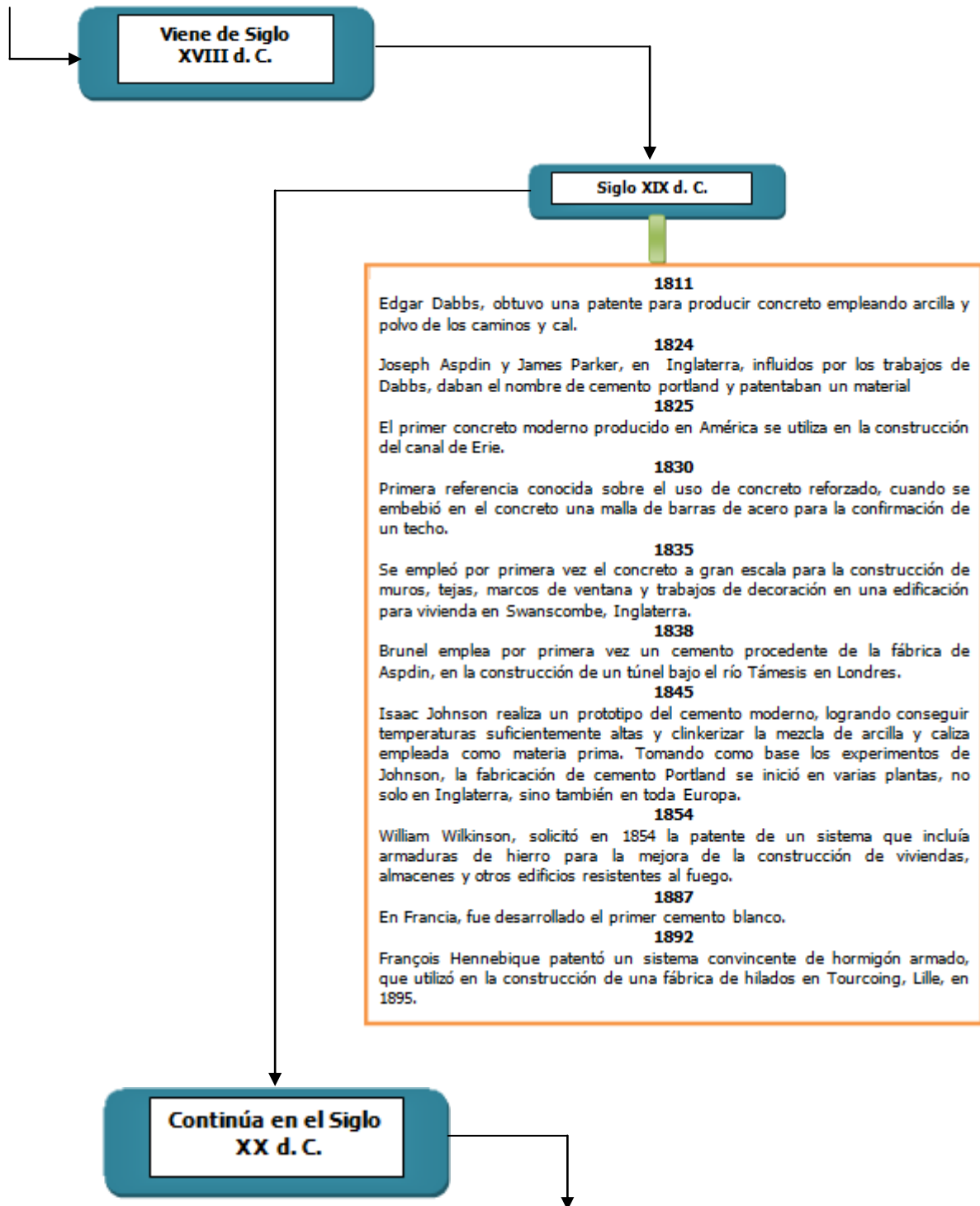


Figura Ap.1. Línea de tiempo de la evolución del concreto (continuación)

Fuente: Muñoz y Torres

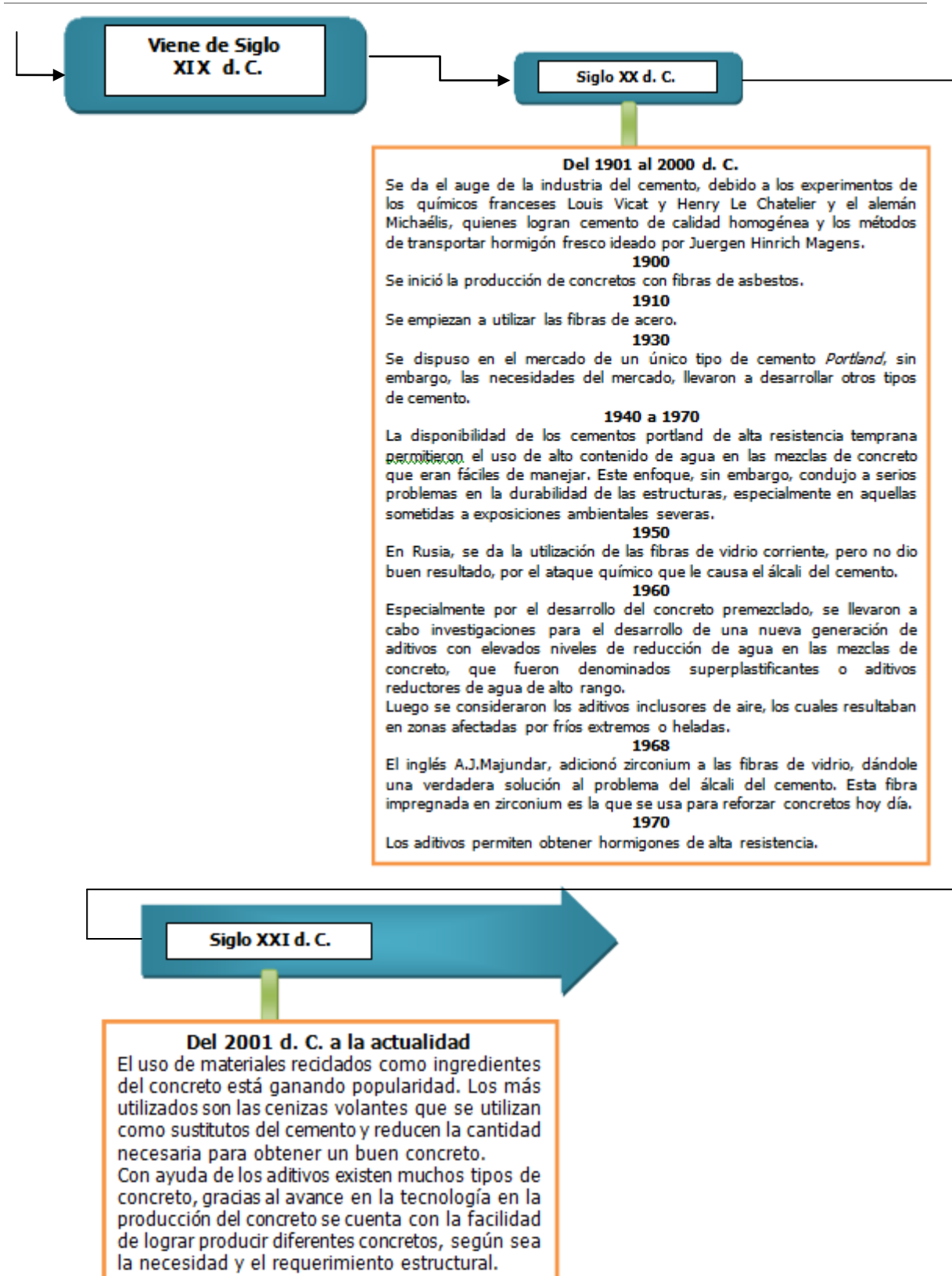


Figura Ap.1. Línea de tiempo de la evolución del concreto (continuación)

Fuente: Muñoz y Torres

## Apéndice 2

### Manual de usuario de la matriz para la escogencia del tipo de concreto

A partir de la información recopilada en esta investigación, se elaboró una hoja electrónica que ayuda a agilizar la selección del tipo de concreto a utilizar en una obra determinada.

Esta matriz parte de características que no se logran homogenizar para todos los tipos de concretos estudiados, por lo que pueden haber "celdas o casillas" que no contienen información.

Para una mejor comprensión de la matriz, se presenta el siguiente Manual de usuario, que facilita su uso.

#### Manual de usuario

1. Al abrir la hoja electrónica usted verá la siguiente pantalla:

**Concreto hidráulico: Usos y aplicaciones**

El concreto es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena y piedra y en algunos casos aditivos. Es un material durable, resistente y dado que se trabaja en forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular.

Gracias al avance en la tecnología en la producción del concreto, es que hoy se cuenta con la facilidad de lograr producir diferentes concretos, siendo el diseñador el responsable de brindar las proporciones adecuadas de cada uno de los componentes para alcanzar la resistencia especificada.

En la actualidad existen entonces gran variedad de concretos, según sea la necesidad y el requerimiento estructural; desde el concreto pobre para un sello que soportará una cimentación sencilla; hasta el concreto de alta resistencia usado por ejemplo en represas, puentes, etc.


Para dar una ayuda en la escogencia del tipo de concreto a utilizar, se prepara la siguiente matriz; en la cual se establecen algunas características como:

**Resistencia:** Se le da un valor del 1 al 5, donde 1 representa una resistencia baja y 5 la más alta.

**Tiempo de fraguado:** Representa el tiempo en el cual el concreto es trabajable, sin que llegue a su fraguado.

**Curado:** Menciona los días que hay que curar el concreto para su buen funcionamiento y desempeño.

**Aplicaciones:** Señala los usos que se le pueden dar al concreto seleccionado.

Para ir al programa vaya a la pestaña "Programa" o presione 

En esa página se pueden observar las características antes mencionadas con la información de los diferentes tipos de concretos investigados.

Al elegir una de las características para realizar la búsqueda deseada, marque  para que le despliegue las opciones de búsqueda.

Al hacer esta selección, se le desplegarán los tipos de concretos que tienen la característica buscada.

Para obtener más información del tipo de concreto, puede pulsar el nombre del concreto elegido y se le abrirá una ficha técnica con los datos del mismo.

2. Para acceder a la matriz, en la hoja del paso anterior, se debe dar clic en la hoja electrónica llamada "Programa" o en la imagen que aparece de concreto elaborado en un carrito.

**Concreto hidráulico: Usos y aplicaciones**

El concreto es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena y piedra y en algunas cosas aditivos. Es un material durable, resistente y dado que se trabaja en forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal para que sea un material de construcción tan popular.

Gracias al avance en la tecnología en la producción del concreto, se le ha dado cuenta con la facilidad de lograr producir diferentes concretos, siendo el diseñador el responsable de brindar las proporciones adecuadas de cada una de las componentes para alcanzar la resistencia especificada.

En la actualidad existen entonces gran variedad de concretos, según sea la necesidad y el requerimiento estructural; desde el concreto pobre para una zanja que apartará una cimentación sencilla; hasta el concreto de alta resistencia usado por ejemplo en reparar, puentes, etc.

Para dar una ayuda en la selección del tipo de concreto a utilizar, se prepara la siguiente matriz; en la cual se establecen algunas características como:

**Resistencia:** Solo da un valor del 1 al 5, dando 1 representa una resistencia baja y 5 la más alta.

**Tiempo de fraguado:** Representa el tiempo en el cual el concreto es trabajable, sin que lo que se fraguado.

**Curado:** Menciona los días que hay que curar el concreto para su buen funcionamiento y desempeño.

**Aplicaciones:** Señalar usar que se le pueden dar al concreto seleccionado.

Para ir al programa vaya al portafolio "Programa" a presione para ir al programa.

En esta página se pueden observar las características antes mencionadas con la información de los diferentes tipos de concreto investigados.

Al elegir una de las características para realizar la búsqueda deseada, marque para que se despliegue la opción de búsqueda.

Al hacer esta selección, se le desplegarán los tipos de concreto que tienen la característica buscada.


Para obtener más información del tipo de concreto, puede pulsar el nombre del concreto elegida y se le abrirá una ficha técnica con los datos del mismo.

3. La página que se desplegará será la siguiente:

| Concreto hidráulico: Usos y aplicaciones |             |                                    |  |  |
|--|-------------|------------------------------------|--|--|
| Tipo de concreto                         | Resistencia | Tiempo de fraguado                 | Curado                                 | Aplicaciones   |
| Convencional                             | 2           | Inicial de: 2.5 h<br>Final de: 4 h | 7 días                                 | Placas<br>Muros de contención<br>Paredes de mampostería<br>Pisos<br>Tanques<br>Gradas<br>Columnas<br>Vigas<br>Losas<br>Elementos prefabricados   |
| Aislante                                 | 1           |                                    | Mayor a 3 días                         | Aislamiento térmico y acústico<br>Rellenar la parte superior de las cubiertas de techo<br>Relleno de sub bases de losas sobre el terreno<br>En algunos casos para aislar estructuras de acero contra el fuego<br>Se recomienda principalmente como aislante de segunda capa para el recubrimiento de exteriores, en acabados sobre calderas, hornos, aislamientos térmicos<br>Accesorios de tuberías como válvulas, bridas, codos, tees, etc, utilizando una membrana metálica como refuerzo<br>Capas de nivelación de pisos y cubiertas |
| Concreto de alto desempeño (CAD)         | 4           |                                    | Mayor a 3 días y suficiente con 7 días | Puentes<br>Edificios de gran altura<br>Elementos prefabricados<br>Elementos pre-esforzados<br>Elementos que requieran habilitarse en menos de 24 h de colado el concreto   |
|  |             |                                    | Inmediatamente después de desmontar el | Edificios de gran altura<br>En puentes de grandes luces  |

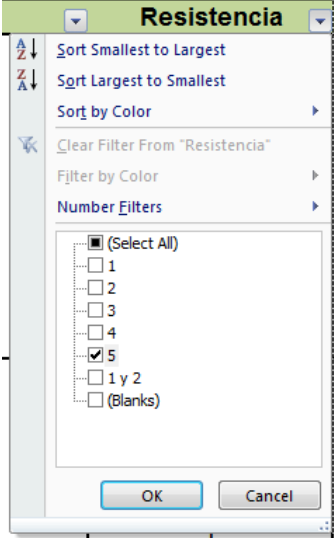
Las características que se presentan son:

- **Resistencia:** Se le da un valor del 1 al 5, donde 1 representa una resistencia baja y 5 la más alta.
- **Tiempo de fraguado:** Representa el tiempo en el cual el concreto es trabajable, sin que llegue a su fraguado.
- **Curado:** Menciona los días que hay que curar el concreto para su buen funcionamiento y desempeño.
- **Aplicaciones:** Señala los usos que se le pueden dar al concreto seleccionado.

4. Al elegir una de las características para realizar la búsqueda deseada, marque  para que le despliegue las opciones de búsqueda. Por ejemplo si se desea obtener un concreto con resistencia muy alta, o sea de 5:

- Vaya a la celda de resistencia 

- Se desplegarán las opciones 

- Deje el  "check" sólo en la opción deseada, en éste caso, en el número 5 

- Al hacer esta selección se le desplegarán los tipos de concreto que tienen en común ser de alta resistencia

ATRÁS

Concreto hidráulico: Usos y aplicaciones

| Tipo de concreto                                 | Resistencia | Tiempo de fraguado | Curado | Aplicaciones                          |
|--|-------------|--------------------|--------|---------------------------------------|
| <a href="#">Concreto con polímeros</a>           | 5           |                    |        | Reparación de estructuras de concreto |
| <a href="#">Concreto de polvo reactivo (CPB)</a> | 5           |                    |        | Puentes peatonales                    |

5. Para obtener más información del tipo de concreto, puede pulsar el nombre del concreto elegido y se le abrirá una ficha técnica con los datos del mismo.

6. Si desea regresar a la página de introducción, puede pulsar la celda con la opción de "ATRÁS" que se ubica en el extremo superior izquierdo.

ATRÁS

Las fichas técnicas mencionadas en el paso 5, son las siguientes:



Concreto convencional

Definición

El concreto convencional o normal, es una mezcla de cemento, arena, agregado y agua, que en estado fresco, posee suficiente tiempo de manejabilidad, y excelente cohesividad en estado endurecido.

Componentes / Descripción

Se produce con:

- Cemento Portland tipo I,
- Grava y cuarta como agregado grueso y
- Arena industrial como agregado fino

Resistencias esperadas

Su resistencia varía entre los 7 MPa y los 42 MPa y es especificado para obtenerla a los 28 días.

Dosificación típica

En los siguientes cuadros se muestra la dosificación típica para este tipo de concreto

| Cemento |                | Arena   |                 | Agregado grueso |                 | Agua        |
|---------|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Tipo    | 1 saco (50 kg) | Tipo    | Cant. (cajones) | Tipo            | Cant. (cajones) | Cubeta 19 L |
| UG      | 1              | Río     | 3               | 19 mm río       | 2 ½             | 1 ½         |
| UG      | 1              | Río     | 2 ½             | 16 mm río       | 3               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Tajo    | 1 ½             | 25 mm cantera   | 2               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Río     | 2               | 25 mm cantera   | 2               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Cantera | 2               | 25 mm cantera   | 2               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Cantera | 1 ¾             | 12 mm cantera   | 2               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Tajo    | 2               | 25 mm tajo      | 2               | 1 ½         |

Notas:

- Cemento UG: cemento de uso general
- Para el agregado grueso se indica el tamaño máximo
- En caso de necesitarse un poco más de agua, puede adicionarse hasta media cubeta, para un máximo de 2 cubetas de 19 L (5 galones)

| Cemento |                | Arena   |                 | Agregado grueso |                 | Agua        |
|---------|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Tipo    | 1 saco (50 kg) | Tipo    | Cant. (cubetas) | Tipo            | Cant. (cubetas) | Cubeta 19 L |
| UG      | 1              | Río     | 6               | 19 mm río       | 5               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Río     | 5               | 16 mm río       | 6               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Tajo    | 3               | 25 mm cantera   | 4               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Río     | 4               | 25 mm cantera   | 4               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Cantera | 4               | 25 mm cantera   | 4               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Cantera | 3 ½             | 12 mm cantera   | 4               | 1 ½         |
| UG      | 1              | Tajo    | 4               | 25 mm tajo      | 4               | 1 ½         |

Notas:

- Cemento UG: cemento de uso general
- Para el agregado grueso se indica el tamaño máximo
- En caso de necesitarse un poco más de agua, puede adicionarse hasta media cubeta, para un máximo de 2 cubetas de 19 L (5 galones)

Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,40 y 0,80
- El revenimiento esperado para la relación a/c antes mencionada es de 8 cm a 10 cm
- El contenido de aire es de aproximadamente el 3 %

- Fraguado inicial de 2,5 horas
- Fraguado final de 4 horas

### Curado

Se debe empezar a realizar el curado cuando la superficie empiece a perder su brillo y durante los primeros 7 días por lo menos para alcanzar un desarrollo óptimo de las propiedades del concreto.

### Fabricación

Puede ser fabricado en obra mediante el uso de una batidora a la cual se le agregan los agregados y ésta los revuelve o en carretillos donde se revuelve manualmente con la ayuda de palas, o bien puede ser prefabricado, es decir, fabricado en una planta de producción y trasladado en chompipas.

### Usos

- Placas
- Muros de contención
- Paredes de mampostería
- Pisos
- Tanques
- Columnas
- Vigas
- Losas
- Elementos prefabricados

### Ventajas

- Puede ser fabricado por los peones en la obra como en una planta (premezclado)
- No necesita aditivos para lograr la resistencia a los 28 d
- Presenta buena trabajabilidad
- En iguales condiciones (geográficas, tiempo, clima) es menos costoso que otros tipos de concretos

### Desventajas

Las desventajas están asociadas al peso de los elementos que se requieren en las edificaciones, como ejemplo si las edificaciones tienen luces grandes o voladizos grandes las vigas y losas tendrían dimensiones grandes, esto llevaría a generar mayor peso de la edificación.

**Concreto aislante**

**Definición**

El concreto aislante es un concreto ligero con densidad seca en el horno (peso volumétrico seco en el horno) de no más que 80 kg/m<sup>3</sup>.

**Componentes / Descripción**

Se produce con materiales cementantes como cemento Portland Tipo I, agua, aire y aditivos químicos.

La norma ASTM C 332-99 establece dos grupos de agregados ligeros:

- Grupo I: agregados producto de la expansión, como la perlita o vermiculita (estos agregados generalmente producen concretos de densidades de 240 kg/m<sup>3</sup> a 800 kg/m<sup>3</sup>).
- Grupo II: agregados obtenidos por expansión, calcinación, o sintetización, como escoria de alto horno, arcilla, diatomita, cenizas volantes, esquisto o pizarra, y, agregados preparados por el procesamiento de materiales naturales como piedra pómez, escoria o toba (estos agregados generalmente producen concretos de densidades de 720 kg/m<sup>3</sup> a 1440 kg/m<sup>3</sup>).

**Resistencias esperadas**

Concreto de resistencias muy bajas, alrededor de 7 MPa para obtenerla a los 28 días.

**Dosificación típica**

En el siguiente cuadro se muestra la dosificación típica para este tipo de concreto

| Tipo de concreto            | Relación cemento Portland/agregado en volumen | Densidad seca al horno (kg/m <sup>3</sup> ) | Cemento Portland ASTM tipo I (kg/m <sup>3</sup> ) | Relación a/c en masa | Resistencia a compresión a los 28 d (kg/m <sup>2</sup> ) en cilindros de 15 x 30 cm |
|-----------------------------|---|---|---|----------------------|---|
| Perlita                     | 1:4   | 480 a 608                                   | 362   | 0.94                 | 28.1  |
|                             | 1:5   | 416 a 576                                   | 306   | 1.12                 | 22.9  |
|                             | 1:6   | 352 a 545                                   | 245   | 1.24                 | 15.5  |
|                             | 1:8   | 320 a 512                                   | 234   | 1.72                 | 14.1  |
| Vermiculita                 | 1:4   | 496 a 593                                   | 380   | 0.98                 | 21.1  |
|                             | 1:5   | 448 a 496                                   | 295   | 1.30                 | 12.0  |
|                             | 1:6   | 368 a 464                                   | 245   | 1.30                 | 9.1   |
|                             | 1:8   | 320 a 336                                   | 178   | 2.08                 | 5.6   |
| Poliestireno (de arena)     | 0 kg/m <sup>3</sup>                           | 545   | 445   | 0.40                 | 22.9  |
|                             | 73 kg/m <sup>3</sup>                          | 625   | 445   | 0.40                 | 28.1  |
|                             | 154 kg/m <sup>3</sup>                         | 725   | 445   | 0.40                 | 33.4  |
|                             | 200 kg/m <sup>3</sup>                         | 769   | 474   | 0.40                 | 38.7  |
| Celular (cemento sin arena) | -   | 625   | 524   | 0.57                 | 24.6  |
|                             | -   | 545   | 468   | 0.56                 | 14.8  |
|                             | -   | 448   | 396   | 0.57                 | 9.1   |
|                             | -   | 368   | 317   | 0.65                 | 3.5   |
| Celular (arenoso)           | 1:1   | 929   | 429   | 0.40                 | 32.3  |
|                             | 1:2   | 1250  | 373   | 0.41                 | 57.7  |
|                             | 1:3   | 1602  | 360   | 0.51                 | 154.0   |

**Datos técnicos**

- La relación a/c debería variar entre 0,40 y 2,08

### **Curado**

La superficie del concreto aislante, en la que se alcanza un peso seco unitario de 800 kg/m<sup>3</sup> o menos, se debe mantener húmeda durante un periodo no menor de 3 días, empleando cualquiera de los procedimientos enumerados en el capítulo 2. Después, se debe evitar que el concreto aislante se seque al aire antes de aplicar recubrimiento complementario. No es conveniente aplicar curado por anegamiento o exceso de agua, puesto que el concreto puede absorber una cantidad de agua considerablemente mayor que la requerida para la hidratación del cemento.

### **Usos**

- Aislamiento térmico y acústico
- Rellenar la parte superior de las cubiertas de techo
- Relleno de sub bases de losas sobre el terreno
- En algunos casos para aislar estructuras de acero contra el fuego
- Se recomienda principalmente como aislante de segunda capa para el recubrimiento de exteriores, en acabados sobre calderas, hornos, aislamientos térmicos
- Accesorios de tuberías como válvulas, bridas, codos, tees, entre otros, utilizando una membrana metálica como refuerzo
- Capas de nivelación de pisos y cubiertas

### **Ventajas**

- Baja capacidad de transmisión del calor
- Baja densidad
- Peso ligero

### **Desventajas**

- No puede ser usado como elemento estructural principal

### **Otras consideraciones**

Se debe evitar una cantidad excesiva de agua en el concreto aislante usado para relleno de cubiertas de techo, ya que puede causar elevada contracción (retracción) por secado y agrietamiento (fisuración), pudiendo dañar las membranas de impermeabilización que se coloca sobre el concreto. Además, no se deben utilizar aceleradores que contengan cloruro de calcio donde el hierro galvanizado de las cubiertas vaya a permanecer en contacto permanente con el concreto, debido a posibles problemas de corrosión.

## Concreto de alto desempeño

### Definición

El concreto de alto desempeño (CAD), es aquel concreto que alcanza ciertos requerimientos de rendimiento para una aplicación específica, que de otra manera no podrían ser obtenidos en un concreto normal.

### Componentes / Descripción

En la mezcla del CAD se emplea:

- Cemento del tipo I, pero si se requiere alta resistencia temprana, puede utilizarse el cemento tipo III. El CAD con frecuencia contiene humo de sílice, y (no siempre), contiene ceniza volante o escoria de alto horno granulada y molida.
- El agregado fino debe tener el mayor grosor permitido, lo que corresponde a un módulo de finura de 2,7 a 3,0. El uso de una arena gruesa se sustenta en que todas las mezclas de alta resistencia tienen una cantidad suficiente de partículas finas debido al alto contenido de cemento y cementantes, por lo que no es necesario usar una arena fina desde el punto de vista de la trabajabilidad y la segregación.
- La selección del agregado grueso se vuelve más importante conforme aumenta la resistencia a la compresión. Las rocas duras y densas trituradas como la caliza, dolomita y rocas ígneas (granito, sienita, diorita, grabo y diabasa), se han utilizado con éxito como agregado grueso en aplicaciones de CAD. Con respecto a la forma se deben generar partículas cúbicas en vez de alargadas y planas. Se puede producir entonces concreto de alto desempeño con agregados de tamaño de 25 mm, sin embargo con la mayoría de los agregados naturales es más seguro utilizar entre 10 mm y 12 mm de MSA, pero esto no significa que no puede usarse un agregado de 20 mm.
- La dosis del superfluidificador es aproximadamente de 5 l/m<sup>3</sup> a 15 l/m<sup>3</sup> de concreto. Esta dosis permite una reducción del contenido de agua de 75 l/m<sup>3</sup> a 45 l/m<sup>3</sup> de concreto.

### Resistencias esperadas

Su resistencia varía entre los 40 MPa y los 125 MPa y es especificado para obtenerla a los 28 días.

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,20 y 0,40
- El colapso del cono de concreto es progresivo y, a veces, es difícil decidir cuándo tomar la altura del cono que colapsa lentamente.

### Fabricación / Transporte

Para transportar este tipo de concreto, se pueden utilizar camiones mezcladores o camiones estacionarios con o sin agitadores. Se suele colocar mediante bombeo, grúas, y bandas transportadoras.

### Curado

La hidratación del cemento en el concreto de alto desempeño es muy rápida y, si se le permite que continúe ininterrumpidamente por medio de un constante suministro de agua de curado, no habrá contracción autógena, por lo menos cerca de la fuente externa de agua, es decir, la zona expuesta de la superficie del miembro de concreto.

El concreto de alto desempeño debe ser curado con agua lo más pronto posible, el curado tardío prácticamente no tiene valor, aunque es mejor que ningún curado; la contracción total puede reducirse drásticamente con un apropiado y oportuno curado con agua.

La mejor manera de curar el concreto de alto desempeño para protegerlo contra la contracción plástica, es mediante una membrana de curado o una neblina de agua. Cuanto más dure el curado mejor, pero siete días parece ser un período lo suficientemente largo para reducir en forma drástica la contracción del CAD, y en ningún caso debe realizarse por menos de 3d.

### Usos

- Puentes
- Edificios de gran altura
- Elementos prefabricados
- Elementos pre-esforzados
- Elementos que requieran habilitarse en menos de 24 h de colado el concreto

### Ventajas

- Mayor rigidez de las estructuras
- Aumento del área neta con reducción de secciones en elementos estructurales
- Reducción del peso propio de las estructuras
- Mayor módulo de elasticidad
- Mejor comportamiento al ataque químico
- Alto módulo de elasticidad
- Alta resistencia a abrasión

### Desventajas

- Se debe llevar un seguimiento y control de obra más intenso, así como una planificación bien establecida para la solicitud de los camiones transportadores.
- El proceso de curado debe ser riguroso para evitar la contracción y así ofrecer un rendimiento alto

## Concreto de alta resistencia

### Definición

El concreto normal de alta resistencia (CAR) es aquel concreto de peso normal cuya resistencia a la compresión es de 420 MPa o mayor.

### Componentes / Descripción

La producción de CAR es posible sin emplear materiales especiales. Sin embargo, para que el proporcionamiento de una mezcla cumpla con los requerimientos específicos de trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad y costo de una obra determinada, es necesario emplear materiales de más alta calidad que los necesarios para producir concreto de resistencia menor. Para producirlo se requiere:

- Altos contenidos de cemento, así el tipo, la composición química y la finura del cemento son factores que tienen más influencia en la resistencia mecánica de las mezclas de CAR que en la de mezclas de concreto de resistencia normal.
- El tamaño máximo nominal de 9.5 mm a 12.5 mm, resulta en resistencias más elevadas y recomienda la combinación de tamaños de agregado para producir la granulometría requerida.
- La arena con módulo de finura cerca de 3.0 se ha mostrado satisfactoria para producir una buena trabajabilidad y alta resistencia a compresión.
- Necesario el uso de aditivos químicos, tales como reductores de agua, retardadores o superplastificantes.
- Otros aditivos o materiales cementantes que ayudan a controlar la elevación de la temperatura a edades tempranas y pueden reducir la demanda de agua para una trabajabilidad dada son la ceniza volante, la escoria de alto horno molida y el humo de sílice o microsilica.

### Resistencias esperadas

La resistencia esperada a los 28 d es de 42 MPa o mayor.

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,20 y 0,50
- El revenimiento esperado es de 18 cm a 25 cm
- El contenido de aire varía entre 1,5 % y 2,5 %
- Fraguado de alrededor de 0,75 h

### Curado

El curado deberá comenzar tan pronto como la superficie del concreto esté suficientemente endurecida y no sufra daños una vez encofrado. Los concretos de alta resistencia secan con relativa rapidez, por lo que es importante realizar ésta actividad inmediatamente después de desmontar el encofrado, el cual puede ser por 7 d. Después de 7 d, generalmente habrá alcanzado cerca del 75 % de su fuerza, eliminando la posibilidad de formación de grietas debido a sequedad propia del concreto.

### **Fabricación / Transporte**

El CAR puede provenir de una planta central de mezclado o de camiones mezcladores. Para la primera opción, el concreto se mezcla por completo en una mezcladora estacionaria y luego se transfiere a una unidad. Al utilizarse un camión mezclador o agitados para el concreto mezclado en planta, el ASTM C 94 limita el volumen del concreto cargado a 80 % del volumen del tambor. Con la segunda opción de mezclado, es un proceso en el cual los materiales se cargan, previamente dosificados, en un camión de mezclado para el mezclado y entrega en el sitio de la construcción; a fin de obtener un mezclado completo, el volumen de los ingredientes no debe exceder el 63 % del volumen del tambor según la misma norma ASTM.

### **Usos**

- Edificios de gran altura
- En puentes de grandes luces
- Represas de arco muy delgadas
- Pilotes para fundaciones

### **Ventajas**

- Permite cubrir grandes luces
- La baja permeabilidad del concreto endurecido, lo hace recomendable para piezas atacadas por el medio ambiente
- Permite mayor rotación de encofrados y menos tiempo de uso
- Se pueden diseñar menores secciones estructurales, con ahorro en áreas de construcción
- Reduce en el peso y costo de la estructura
- Logra un mejor comportamiento ante sismos

### **Desventajas**

- Necesidad de muy buenos materiales para su fabricación
- Puede ser difícil de colocar
- Puede presentar mayor contracción por secado que otros concretos
- La baja relación a/c hace necesario el uso de aditivos
- Lapsos de manipulación del concreto fresco muy cortos
- Se debe llevar un seguimiento y control de obra más intenso, así como una planificación bien establecida para la solicitud de los camiones transportadores

### **Otras consideraciones**

Se debe vibrar el concreto lo más rápido posible después de su colocación ya que los concretos de alta resistencia resultan ser pegajosos y son más cohesivos que el concreto convencional, por lo que tienden a atrapar burbujas de aire que deben ser eliminadas por vibración. Los vibradores de alta frecuencia deben ser suficientemente pequeños para permitir espacio suficiente entre la cabeza de vibración y el acero del refuerzo. La vibración excesiva de concretos generalmente resulta en segregación, pérdida de aire incluido o ambos.



### Concreto autocompactante

#### Definición

El concreto autocompactante (CAC), es un concreto fluido, diseñado para que se coloque sin necesidad de vibradores en cualquier tipo de elemento, también es conocido como concreto autoconsolidante.

#### Componentes / Descripción

Está constituido fundamentalmente por:

- Pasta de cemento
- El tamaño máximo de agregado, debe favorecer el paso del concreto por todas las zonas del elemento, tomando como recomendación que debe ser menor a 2/3 de la separación entre varillas o 3/4 del recubrimiento mínimo. Esto implica no usar tamaños máximos superiores a 20 mm, siendo habituales los tamaños comprendidos entre 12 mm y 16 mm.
- Con respecto al agregado fino, éste debe pasar por el tamiz 0,125 mm; el módulo de finura de la arena no debe tener variaciones superiores a  $\pm 0,20$  para garantizar la estabilidad de las propiedades de producción. En cualquier caso es conveniente que el 70 % del filler pase por el tamiz 0,063 mm.
- En cuanto a los aditivos, es obligatorio utilizar aditivos superfluidificantes. Pueden incorporarse otros aditivos para modificar la viscosidad, incorporadores de aire incluido, retardadores de fraguado, entre otros. los modificadores de viscosidad son productos que mejoran la cohesión de la masa en estado fresco, impidiendo la segregación y limitando la pérdida de agua por exudación. Aunque su empleo no es imprescindible, utilizados de forma conjunta con los superfluidificantes permiten obtener concretos autocompactantes estables y de gran fluidez.

#### Resistencias esperadas

Su resistencia varía entre los 28 MPa y los 40 MPa.

#### Dosificación típica

| Material  | Peso (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---|---------------------------|
| Polvo (cemento + filler + adiciones)  | 380 – 600                 |
| Pasta (cemento + filler + adiciones + agua)   | 530 – 810                 |
| Agua  | 150 – 210                 |
| Agregado grueso   | 650 – 900                 |
| Agregado fino   | *                         |
| * Para ajustar la dosificación. Normalmente se supone del 48 % al 55 % del peso total del agregado grueso más el agregado fino. |                           |

#### Datos técnicos

- La relación a/c es de alrededor del 0,45
- El revenimiento esperado para la relación a/c antes mencionada es de 50 cm a 70 cm
- El contenido de aire es de aproximadamente el 2 %

## Usos

- En estructuras de alta concentración de armadura
- Donde el acceso de un vibrador es difícil
- Muros y columnas de gran altura
- Elementos prefabricados, presforzados o postensados
- Bombeos a grandes distancias horizontales o verticales
- Pisos industriales
- Losas de entrepiso y contrapiso

## Ventajas

- Aumenta productividad, al dar mayor velocidad en la construcción
- Reduce costos de mano de obra
- Disminuye tiempos de colocación y plazos de construcción
- Elimina el vibrado y por ende disminuye la contaminación sónica

## Desventajas

- La producción del CAC es más cara que el concreto convencional
- Es difícil de mantener la consistencia deseada por un largo periodo
- Puede presentar más fisuración por retracción plástica que el concreto convencional, sin el curado requerido

## Otras consideraciones

- El CAC puede colocarse sin vibración mecánica y con menos allanado
- Sin el curado apropiado, el CAC tiende a presentar más fisuración por retracción plástica que el concreto convencional

## Concreto de baja permeabilidad

### Definición

El concreto de baja permeabilidad contrarresta la ascensión por capilaridad del agua en contacto con el concreto en muros y cimentaciones, ayudando a mitigar los ataques por agentes químicos agresivos para el concreto tales como sulfatos y bióxido de carbono disueltos en agua.

### Componentes / Descripción

- La cantidad mínima de cemento a utilizar en este tipo de concreto no debe ser menor a  $350 \text{ kg/m}^3$ , para garantizar un buen aporte de finos para una adecuada compacidad. Esta cantidad puede ser modificada al usar microsilíce, que aumenta la permeabilidad del concreto, tiene un elevado poder puzolánico e incrementa otras propiedades como la resistencia mecánica, la resistencia al ataque por sulfatos, resistencia al hielo, entre otras. La adición de microsilíce suele oscilar entre el 5 % y el 10 % sobre el peso del cemento.
- El tamaño máximo de agregado grueso es de  $1/3$  de la dimensión de la armadura.
- Pueden usarse aditivos basados en éter policarboxílico, que permiten fuertes reducciones de agua que implican menor permeabilidad o un aditivo propiamente impermeabilizante al crear la interrupción de la red capilar mediante la inclusión de burbujas de aire.

### Resistencias esperadas

Desde los 7 MPa y hasta los 42 MPa.

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,40 y 0,55
- El revenimiento esperado para la relación a/c antes mencionada es de 10 cm a 15 cm
- El contenido de aire está entre 2 % y 4 %
- Fraguado inicial de 2,5 horas
- Fraguado final de 4 horas

### Curado

El curado debe darse desde el momento en que se coloca el concreto y prolongarse como mínimo 7 d.

### Usos

- Tanques
- Muros de contención
- Viga – canales
- Aquellas estructuras expuestas al agua
- Cubiertas

### Otras consideraciones

- Este tipo de concreto se debe vibrar

## Concreto bombeable

### Definición

Es un concreto conducido por presión a través de un tubo rígido o de una manguera flexible y vaciado directamente en el área de trabajo.

### Componentes / Descripción

- El tamaño máximo del agregado está limitado a un tercio del diámetro interior más pequeño de la bomba. Para agregados bien redondeados el tamaño máximo deberá limitarse a dos quintos de éste diámetro, sin embargo se debe cumplir con los requerimientos de ASTM C 33, la cual asigna un número de tamaño de la abertura más pequeña del tamiz a través del cual pasará casi toso el agregado menor.
- La granulometría del agregado fino deberá cumplir con la norma ASCT C 33. Al menos el 15 % al 30 % deberá pasar la malla 50 y del 5 % al 10 % la malla 100.
- Los aditivos frecuentemente usados en mezclas para bombeo suelen proveer efectos deseables tales como lubricación adicional, reducción de la segregación y disminución del sangrado, y son los reductores de agua o retardantes, los inclusores de aire y los aditivos minerales.

### Resistencias esperadas

Con el concreto bombeable se pueden obtener resistencias a la compresión entre los 7 MPa y los 42 MPa.

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,48 y 0,73
- El revenimiento esperado para la relación a/c antes mencionada es de 15 cm a 20 cm
- El contenido de aire es del 3 % al 5 %
- Fraguado inicial de 2,5 horas
- Fraguado final de 4 horas

### Usos

- Estructuras esbeltas como columnas o muros de retención
- Cimentaciones
- Losas
- Estructuras con difícil acceso y espacios limitados
- Todos aquellos elementos en donde no es posible la colocación del concreto directamente del camión

### Ventajas

- Evita la segregación del agregado grueso
- El uso de equipo de bombeo aumenta los rendimientos en la obra
- La mayor manejabilidad permite mejores acabados
- Permite la colocación del concreto en lugares difíciles
- Excelente manejabilidad y trabajabilidad

### Desventajas

- Depende de un equipo de bombeo para poder utilizarlo el cual debe tener una ubicación óptima
- La presión del bombeo puede dañar las formaletes si no están suficientemente rígidas y soportadas
- Si el bombeado no es el correcto puede provocar segregación

### Otras consideraciones

- La mezcla no debe ser demasiado cohesiva; debe presentar una consistencia que permita una buena trabajabilidad en el lugar de suministro
- Si las cantidades de aire son superiores al 6 % o 7 %, el concreto se vuelve demasiado compresible, imposibilitando el bombeo
- Si estas mezclas contienen un elevado porcentaje de finos (más de 180 l/m<sup>3</sup>), la resistencia a la fricción es elevada y se dificultará el proceso de bombeo

## Concreto con aire incluido

### Definición

Consiste en introducirle a la mezcla en estado fresco, pequeñas burbujas de aire para darle propiedades especiales, en particular la de disminuir la permeabilidad y en hacer estructuras más durables.

### Componentes / Descripción

Se produce utilizando:

- Un cemento inclusor como el de tipo IA, IIA o IIIA,
- O con la adición de un aditivo inclusor de aire durante el mezclado, estos aditivos están compuestos de sales y resinas de madera, detergentes sintéticos, sales de lignina sulfonada, sales de ácidos del petróleo o grasas y aceites de origen animal y vegetal y sus ácidos grasos o algunas sales orgánicas de hidrocarburos sulfonados
- Las burbujas de aire intencionalmente incluidas son extremadamente pequeñas y tienen un diámetro de entre 10 micras y 1000 micras disminuyendo la tensión superficial del agua de mezclado
- Hay poco cambio en el contenido de aire cuando en tamaño máximo del agregado es mayor a 38,1 mm. Para tamaños de agregados más pequeños el contenido de aire se incrementa bruscamente, debido a que el volumen de mortero se aumenta
- Las partículas de agregado fino que más incorporan aire en la mezcla son las que pasan el tamiz No. 30 (595  $\mu\text{m}$ ) y las que quedan retenidas en el tamiz No. 100 (149  $\mu\text{m}$ )

### Usos

- Pisos de cuartos de congelación
- Estructuras sujetas al proceso de hielo-deshielo
- Elementos prefabricados
- Pavimentos

### Ventajas

- Mayor resistencia al hielo-deshielo, ya que los vacíos de aire incluido actúan como cámaras huecas en la pasta, donde el agua congelada y el agua emigrante pueden entrar, aliviando la presión y previniendo daños al concreto
- Resistencia del concreto a los sulfatos
- Reduce la falla por expansión provocada por la reactividad álcali-sílice
- El aire incluido mejora la trabajabilidad del concreto, particularmente en las mezclas con bajo contenido de cemento

## Concreto con polímeros

### Definición

El concreto con polímeros es un material compuesto de distintos tipos de áridos ligados mediante resinas de poliéster. El concreto modificado con polímeros se logra adicionando la resina en el mezclado de cemento y agregados, con lo que la matriz ligante queda constituida por cemento y polímero.

### Componentes / Descripción

El concreto polimérico es en esencia, una mezcla constituida por dos fases:

- Una continua, que es la resina, y
- Otra dispersa, que es el agregado
- Los polímeros empleados son variados, dependiendo del tipo de concreto, pero, las resinas más utilizadas son las epoxi, las de poliéster insaturado y las de metacrilato. Los látex termoplásticos y elastoméricos son los polímeros más comúnmente usados.

### Resistencias esperadas

La resistencia a la compresión varía entre los 100 MPa y 150 MPa.

### Usos

- Reparación de estructuras de concreto
- Prefabricados
- Tuberías
- Piscinas
- Paredes y pisos

### Ventajas

- Resistente a agentes corrosivos
- Resiste ciclos de hielos – deshielo
- Buena durabilidad ante agentes químicos agresivos
- Prácticamente nula la absorción de agua
- Resistente a la abrasión

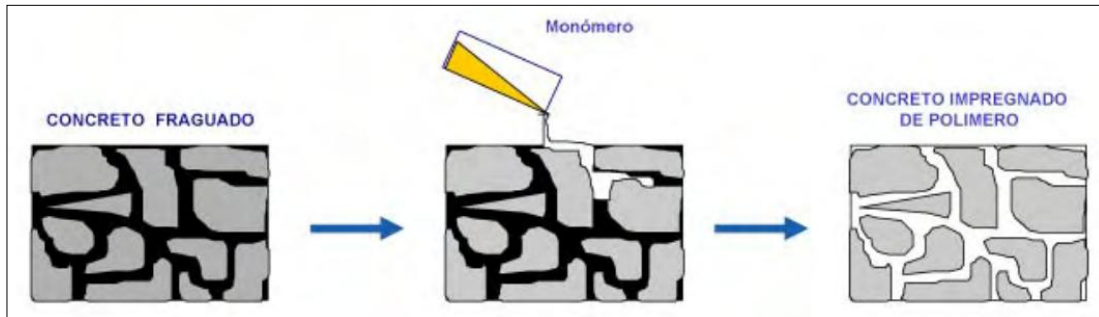
### Desventajas

- Rotura a niveles tensionales menores que la carga de rotura
- Bebe estudiarse previamente el tiempo de polimerización que permita la colocación
- Los polímeros pueden tener un alto grado de toxicidad, volatilidad y la facilidad de combustión.

**Otras consideraciones**

Según el ACI 548, se puede dar la siguiente clasificación:

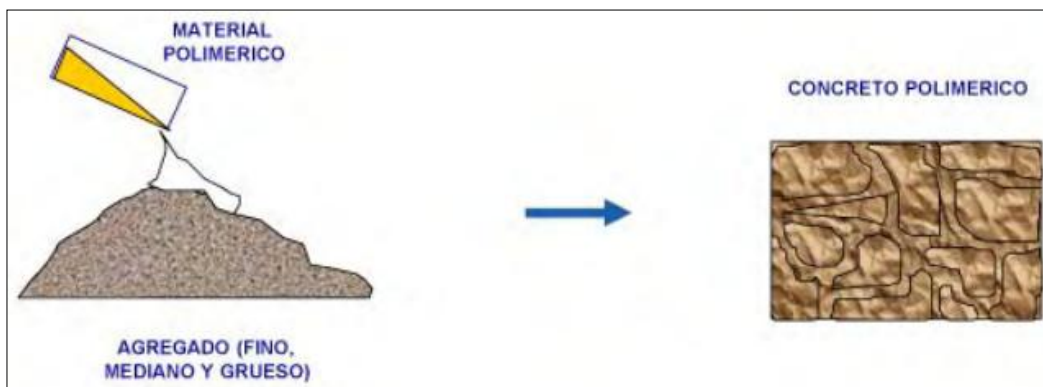
- Concreto impregnado con polímero: consiste en un concreto de cemento Portland ya fraguado, que posteriormente es impregnado con monómero que polimeriza en sitio.



- Concreto modificado con polímeros: consiste en un material compuesto por cemento Portland y agregados, combinados en el momento del mezclado con polímeros orgánicos dispersos en agua.



- Concreto polimérico: es un material compuesto en el que los agregados se encuentran dentro de una matriz cementante de polímero.





## Concreto con puzolanas

### Definición

Las puzolanas se definen como materiales silíceos y aluminosos, que en sí poseen poco o ningún valor cementante, pero que, puede formar compuestos cementantes de baja solubilidad.

### Componentes / Descripción

El cemento Portland modificado con puzolana Tipo I (MP), tienen hasta 5% de caliza y hasta 15% de puzolana; el cemento Portland puzolánico Tipo P, contiene hasta 5% de caliza y hasta 40% de puzolana

### Resistencias esperadas

Con el concreto con puzolanas se obtienen resistencias a la compresión entre 13 MPA y los 21 MPa.

### Curado

Las secciones elaboradas con cemento adicionado con puzolana, se recomienda mantener el proceso de curado por tres semanas

### Usos

- En la preparación de morteros, combinando puzolana con cal.
- En la fabricación de cementos puzolánicos, ya sea moliendo conjuntamente la puzolana con el clinker o bien, mezclando cemento con puzolana molidos separadamente.
- En la fabricación de morteros o concretos con Cemento Portland, usando una puzolana como material incluido a la revoltura en el momento de la mezcla.

### Ventajas

- Mejora la trabajabilidad
- Reduce la exudación y la segregación
- Disminuye el calor de hidratación
- Disminuye la permeabilidad
- Disminuye la expansión álcali-agregados
- Incremento de la resistencia a los agentes químicos y a las aguas y suelos agresivos

### Desventajas

- Las condiciones de deformación elástica del concreto son ligeramente disminuidas por los cementos puzolánicos
- Las obras de concreto puzolánicos exigen mayor control y curado

## Concreto reforzado con fibras

### Definición

El concreto reforzado con fibras es un material compuesto, hecho con cemento hidráulico, agregado fino y grueso y una dispersión aleatoria de fibras pequeñas, las cuales le brindan características físico-mecánicas distintas a los elementos de concreto normal.

### Componentes / Descripción

Pueden ser elaborados con:

- Agregado grueso de tamaño nominal de 12,5 mm a 25 mm
- Cementos de tipo general
- Se pueden encontrar las fibras de bajo módulo de elasticidad y alta elongación a la ruptura tales como nylon, polipropileno y polietileno, capaces de absolver mucha energía y que imparten tenacidad tanto del impacto como a cargas explosivas. Las fibras de polímero como nylon y polipropileno de alto módulo y alta elongación, presentan estabilidad química dentro de la pasta y no son atacados por ácidos ni álcalis y son repelentes al agua. Fibras de alta resistencia y módulo como acero, vidrio, asbesto y carbón producen compuestos de características muy buenas de resistencia y rigidez y en cierto grado, mejoran las propiedades dinámicas del compuesto. Sin embargo, las fibras de asbesto son perjudiciales para la salud.
- Los diámetros de las fibras sintéticas (poliéster, polipropileno, vidrio entre otras) oscilan entre 0,5 mm a 0,6 mm, las fibras minerales (metálicas, asbestos, entre otras), de 0,5 mm y las orgánicas (grafito, yute, algodón, entre otras), entre 0,2 mm y 0,4 mm.
- Las fibras se adicionan al concreto normalmente en menos del 2 %

### Resistencias esperadas

La resistencia a la compresión varía entre los 17,5 MPa y los 35 MPa.

### Datos técnicos

- El revenimiento esperado es de 10 cm a 12,5 cm
- El contenido de aire máximo es del 3 %
- El tiempo de fraguado es de aproximadamente de 2,5 horas
- Manejable durante un periodo de 1,5 horas

### Usos

- Losas apoyadas en suelo
- Losas de techo
- Contrapisos de uso industrial
- Parqueos
- Manufactura de tubos de concreto
- Pistas de aeropuertos

- Productos prefabricados
- Paredes de tanques

### Ventajas

- Alta resistencia
- Alto módulo de elasticidad en fibras de vidrio y acero
- Bajo módulo de elasticidad en fibras sintéticas
- Proporciona rigidez
- Capacidad alta de absorción de energía
- Proporciona tenacidad ante cargas de impacto y estabilidad química dentro de la pasta
- Reduce las contracciones en el estado plástico y/o endurecido
- Permite mayores espaciamientos de juntas en pisos

### Desventajas

- Las fibras se distribuyen aleatoriamente por la sección transversal del concreto. Por lo tanto, muchas fibras se localizan inadecuadamente con relación a la resistencia y a las tensiones resultantes de las cargas aplicadas
- Muchas fibras cruzan las fisuras con ángulos diferentes de  $90^\circ$  o pueden tener una longitud embebida (anclaje) menor que la necesaria para el desarrollo de una unión fibra-matriz adecuada. Así, apenas un pequeño porcentaje del contenido de fibras puede resistir eficientemente a las tensiones de tracción (esfuerzo de tensión) o flexión
- No previenen fisuras ocasionadas por fuerzas externas

### Otras consideraciones

Al usar fibras, se debe tener cuidado con el tamaño de ésta, ya que si es muy larga puede causar grumos, si la fibra usada es de acero y quedan fibras expuestas se llegan a corroer fácilmente y dañar el acero de los elementos, además puede llegar a disminuir el revenimiento, lo que puede causar el aumento del agua en la mezcla para obtener mayor trabajabilidad.

## Concreto expansivo

### Definición

Es aquel que aumenta de volumen aparente tan pronto como endurezca y sin dejar de ser estable puede desarrollar una resistencia comparable con la de concretos normales.

### Componentes / Descripción

Para su fabricación se utilizan:

- Cementos expansivos que son cementos hidráulicos de características semejantes a los cementos Portland
- Utiliza agregado grueso de tamaño máximo nominal entre 25 mm y 38 mm

### Resistencias esperadas

El concreto de contracción pesada tiene una resistencia a la compresión de entre 35 MPa a 100 MPa, mientras que el concreto autoesforzante permite alcanzar resistencias de compresión de alrededor de 15 MPa.

### Dosificación típica

Otro cemento expansivo, llamado expansivo de alta energía, se elabora mediante escoria de cemento Portland, clinker de cemento aluminoso y yeso, aproximadamente en la proporción de 65:20:15.

### Datos técnicos

- El revenimiento esperado para la relación a/c antes mencionada es de 10 cm a 25 cm

### Usos

- Losas de puentes
- Pavimentos

### Ventajas

- Reduce contracción por secado, por lo que reduce fisuración

### Desventajas

- Debe elaborarse bajo condiciones de control muy rigurosos

## Concreto de fraguado acelerado

### Definición

Son concretos especialmente diseñados que presentan un proceso de fraguado más rápido que lo normal y con una curva de evolución de resistencias similar a la de un concreto convencional.

### Componentes / Descripción

El tamaño máximo de agregado varía entre 12,7 mm y 25 mm.

### Resistencias esperadas

Resistencia a la compresión entre 8 MPa y 42 MPa.

### Datos técnicos

- El revenimiento es de 10 cm
- El contenido de aire máximo es de 3 %
- Fragua en un periodo de 1 hora en clima frío y hasta 30 min en clima cálido

### Usos

- Sistemas constructivos que demandan acabados rápidos
- En la fabricación de productos prefabricados
- Pavimentos

### Ventajas

- Es un concreto que permite rápido acabado
- Permite mayor rotación de formaleta
- Disminuye el tiempo en obra

### Desventajas

- Se tiene mejor tiempo de manejabilidad, por lo que debe tenerse cuidado con las demoras

## Concreto de fraguado retardado

### Definición

Es un concreto que en estado fresco posee mayores tiempos de manejabilidad y un proceso de fraguado más lento que el concreto convencional.

### Componentes / Descripción

El tamaño máximo de agregado varía entre 12,5 mm y 25 mm.

### Resistencias esperadas

El concreto de fraguado retardado puede alcanzar una resistencia a la compresión de entre 7 MPa y 42 MPa.

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,48 y 0,73
- El revenimiento esperado es de aproximadamente 15 cm
- El contenido de aire es de máximo 3 %
- Fraguado inicial de 3 horas
- Fraguado final de 6 horas
- Tiempo de manejabilidad de 3 h a 4 h

### Usos

- Casos constructivos especiales donde deben evitarse las juntas frías
- Donde por ductilidad, se requieran mayores tiempos de manejabilidad
- Donde es conveniente reducir la temperatura generada por calor
- En lugares de temperaturas altas

### Ventajas

- Mayor tiempo de manejabilidad que permite una adecuada colocación del concreto
- Reduce la posibilidad de juntas frías

### Desventajas

- Cualquier factor que retrase el fraguado incrementa la posibilidad del agrietamiento por contracción plástica

## Concreto de resistencia acelerada / alta resistencia inicial

### Definición

También llamado de concreto de alta resistencia en edad temprana o fast track, logra su resistencia especificada más rápido que el concreto convencional.

### Componentes / Descripción

Se fabrica con:

- Alto contenido de cemento (400 a 600 kg/m<sup>3</sup>), cemento de uso general o de alta resistencia inicial
- Agregado grueso de tamaño máximo nominal entre 12,5 mm a 25 mm
- Aditivos químicos o humo de sílice (u otro material cementante suplementario)

### Resistencias esperadas

Tiene resistencias a la compresión entre 7 MPa y 42 MPa para edades entre 1 d y 14 d.

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,20 y 0,45
- El revenimiento esperado para la relación a/c antes mencionada es de 12 cm a 18 cm

### Curado

Cuando se utiliza cemento normal, algunas especificaciones exigen que el curado del concreto se mantenga como mínimo 7 d; mientras que otros requieren que sea de 14 d o más.

Cuando los cementos utilizados son de tipo III (alta resistencia inicial), los períodos de curado pueden ser reducidos a la mitad. La Norma Sismo Resistente NSR-98 establece que tanto la temperatura como la humedad relacionadas, se deben asegurar por lo menos durante tres días.

El concreto de alta resistencia inicial debe mantenerse por encima de 10° C y en condiciones de humedad por lo menos los 3 primeros días, excepto cuando se cure por medio de curado acelerado.

### Usos

- Casos en que se requiera poner el servicio de la estructura antes del plazo presupuestado
- Cualquier elemento estructural puede ser construido con estos concretos a excepción de concretos masivos
- En elementos pretensado y prefabricado, para la rápida producción de elementos.
- En clima frío
- En el reparo de pavimentos para su rápida habilitación al tránsito

### Ventajas

- Se desarrollan altas resistencias iniciales y finales
- Se requiere menor tiempo para quitar encofrados

- Se puede dar función estructural al elemento en corto tiempo
- Se reduce el tiempo general de la obra
- Se disminuyen los tiempos para dar afinado y acabado
- El personal puede ser utilizado en otras funciones
- Se incrementan las resistencias a compresión, flexión, impermeabilidad

### Desventajas

- No se debe utilizar resistencias entre 7 MPa 35 MPa en obras masivas
- Requieren un proceso de curado especial en las primeras horas y días

### Otras consideraciones

No debe confundirse el término resistencia acelerada con fraguado acelerado. En el fraguado acelerado no se incrementan las resistencias iniciales.



## Concreto lanzado

### Definición

El ACI define el concreto lanzado como un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. Se le conoce también como concreto proyectado o concreto neumático.

### Componentes / Descripción

Para la fabricación de este concreto se pueden usar:

- Agregados de hasta 19 mm, sin embargo, la mayoría de las mezclas contienen agregados de hasta 9.5 mm y en las mezclas húmedas, se utilizan normalmente del 25% al 30% de grava.
- Materiales cementantes suplementarios, tales como ceniza volante y humo de sílice en el concreto lanzado. Estos materiales mejoran la trabajabilidad, la resistencia química y la durabilidad.
- Requiere una mayor cantidad de cemento, entre 300 kg/m<sup>3</sup> a 500 kg/m<sup>3</sup>

### Resistencias esperadas

Su resistencia varía entre los 8 MPa y los 42 MPa.

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,30 y 0,50 para los concretos colocados por vía seca y entre 0,40 y 0,55 para los concretos colocados por vía húmeda
- El revenimiento esperado para la relación a/c antes mencionada es de 8 cm a 17 cm
- El contenido de aire es de aproximadamente el 3 %
- Tiempo de fraguado de 5 min

### Curado

Las superficies de concreto lanzado deben mantenerse mojadas continuamente por lo menos durante 7 días, el curado líquido con membrana es satisfactorio cuando no se va a aplicar más concreto lanzado o pintura, y cuando el aspecto es aceptable.

Debido a la superficie áspera, el compuesto líquido para formar la membrana se debe poner en cantidades mayores que las ya puestas en superficies ordinarias de concreto; es decir, a razón de 0,40 l/m<sup>2</sup> por regla general, como lo recomienda ACI 506.

### Usos

- Estructuras con secciones curvas o alabeadas
- Recubrimiento de túneles
- Recubrimiento de mampostería para protección o acabados
- Refuerzos de estructuras de concreto
- Reparación de estructura de concreto

- Estabilización de taludes
- Protección del acero estructural
- Tanques de agua
- Estructuras tipo domo

### Ventajas

- Facilita la colocación de la mezcla
- Los desperdicios del rebote son mínimos
- No se necesita vibrador ni compactador
- Permite dar el acabado deseado
- Reduce costos de encofrado
- Permite altos rendimientos en mano de obra
- Disminuye tiempos de ejecución
- Baja permeabilidad
- Alta densidad y durabilidad

### Desventajas

- En terrenos poco firmes, la contención debe tener acero
- El concreto lanzado por el método seco, requiere de la manipulación cuidadosa de la boquilla por parte del operador para mezclar completamente el material cuando sale de ésta.
- La mezcla con el método húmedo da un mayor revenimiento debido a la cantidad excesiva de agua que debe incluirse para obtener bombeabilidad
- Requiere de equipo especial para su colocación

### Otras consideraciones

Cuando la mezcla de concreto lanzado choca con la superficie, parte del agregado grueso rebota de la superficie, hasta que haya suficiente cantidad de pasta donde el agregado pueda pegarse. Para disminuir el rociado (mortero que se fija en las superficies próximas) y el rebote (agregados que rebotan de la superficie), la boquilla se debe sostener en un ángulo de 90° con la superficie. La distancia apropiada entre la boquilla y la superficie es normalmente entre 0.5 m y 1.5 m, dependiendo de la velocidad de proyección.

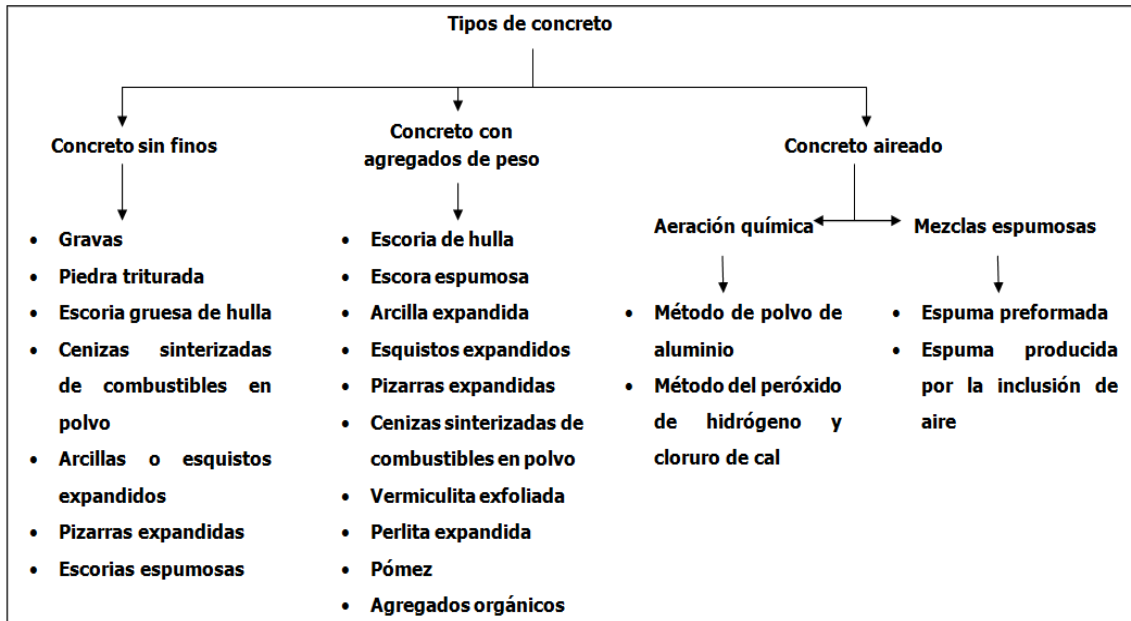
## Concreto ligero

### Definición

Es aquel cuya densidad es inferior a la del concreto convencional y usualmente varía entre  $400 \text{ kg/cm}^3$  y  $2000 \text{ kg/cm}^3$ .

### Componentes / Descripción

Se obtiene sustituyendo el agregado grueso convencional por agregado grueso ligero (usualmente arcilla expandida).



Además el tamaño máximo de agregado para los diferentes concretos ligeros son:

- Concreto sin finos: 19 mm
- Concreto parcialmente compactado con agregados ligeros: material grueso y fino de 5 mm o menos, combinados
- Concreto estructural con agregados ligeros, completamente compactados: desde 13 mm a 19 mm; hasta polvo con un número de finos de 5 mm
- Concreto aireado: finos de 0,125 mm, aunque en algunas ocasiones se les añade agregado fino menor a 5 mm.

### Resistencias esperadas

La resistencia a compresión típica varía entre 21 MPa y 35 MPa.

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 1,6 y 1,10
- El revenimiento esperado para la relación a/c antes mencionada es de alrededor de 25 mm

**Dosificación típica**

| Agregado   | Cemento : agregado en vol | Resistencia a los 28 d (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--|---------------------------|--|
| <b>Escoria de la hulla quemada</b>   |                           |  |
| Escoria de hulla cruda (57 % de combustible)                                       | 1:6                       | 53,8   |
| Escoria de hulla quemada (3 % de combustible)                                      | 1:6                       | 72,0   |
| <b>Con escoria espumosa</b>  |                           |  |
| 1:4  | 232                       | 1:4  |
| 1:5  | 176                       | 1:5  |
| 1:6  | 113                       | 1:6  |
| 1:8  | 78                        | 1:8  |
| <b>Mezclas semisecas de concreto con arcilla expandida</b>                         |                           |  |
| Agregado ligero de arcilla   | 1:6                       | 24,6   |
| Agregado de esquistos expandidos   | 1:6                       | 137,1  |
|  | 1:9                       | 65,2   |
| <b>Concreto hecho con agregado de cenizas sinterizadas de combustible en polvo</b> |                           |  |
| 1:4  | 193,3                     | 1:4  |
| 1:5  | 130,1                     | 1:5  |
| 1:6  | 105,5                     | 1:6  |
| <b>Concreto hecho con agregado de cenizas de combustible pulverizados</b>          |                           |  |
| 1:1,4: 3,3   | 302,3                     | 1:1,4: 3,3                                   |
| 1:1,7:3,3  | 337,5                     | 1:1,7:3,3                                    |
| 1:1,2:2,4  | 421,9                     | 1:1,2:2,4                                    |
| <b>Concreto con pizarras expandidas</b>  |                           |  |
| 1:2,8  | 281                       | 1:2,8  |
| 1:3,7  | 242                       | 1:3,7  |
| 1:5,2  | 162                       | 1:5,2  |
| 1:9,0  | 92                        | 1:9,0  |
| <b>Con piedra pómez</b>  |                           |  |
| 1:3  | 104                       | 1:3  |
| 1:4,5  | 140                       | 1:4,5  |
| <b>Con diatomita</b>   |                           |  |
| 1:9  | 22                        | 1:9  |
| 1:6  | 46                        | 1:6  |
| 1:3,7  | 85                        | 1:3,7  |
| 1:2,4  | 115                       | 1:2,4  |
| <b>Con aserrín</b>   |                           |  |
| 1:1  | 352                       | 1:1  |
| 1:2  | 123                       | 1:2  |
| 1:3  | 49                        | 1:3  |
| 1:4  | 18                        | 1:4  |

**Curado**

El curado en el concreto ligero puede ser el de almacenamiento en condiciones húmedas, tratamiento a baja presión de vapor o curado a alta presión de vapor en autoclave. Esta última proporciona muy alta resistencia en un periodo muy corto y en algunos casos da una resistencia más alta que la que podría haberse alcanzado con un curado al aire, además, la contracción por secado se reduce. El curado a baja presión de vapor no afecta a la contracción por secado, pero proporciona rápidamente una alta resistencia, aunque ésta sea generalmente menor que la que se obtiene con un curado al aire en un ambiente húmedo.

### Usos

- En losas y muros
- Capas de nivelación
- Relleno de nivelación
- Como aislante

### Ventajas

- Reducción de cargas muertas
- Aislamiento térmico y acústico

### Desventajas

- Los agregados livianos requieren ser humedecidos antes de usarse a fin de lograr un alto grado de saturación
- Excesivas cantidades de agua o excesivo revenimiento, hacen que el agregado liviano se segregue del mortero
- Debido al mayor contenido de humedad, requiere más tiempo para secarse

## Concreto permeable

### Definición

El concreto permeable es un tipo especial de concreto con una alta porosidad, que permite el paso a través de él de agua. También es llamado concreto sin finos o concreto poroso.

### Componentes / Descripción

Es una mezcla de:

- Agregado grueso, agua y cemento.
- En algunas ocasiones se ha utilizado un contenido bajo de agregado fino (no mayor al 30% por peso con respecto al agregado grueso)
- Aditivos que permiten reducir el contenido de agua, aumentar el tiempo de fragua y aumentar su trabajabilidad
- Se utiliza tamaño máximo de agregado entre 6" y 16" de forma redondeada

### Resistencias esperadas

Resistencia a la compresión entre 11 MPa y hasta 28 MPa

### Datos técnicos

- La relación a/c debería variar entre 0,35 y 0,45
- El contenido de vacíos entre 15 % y 25 %

### Usos

- Parqueos
- Aceras
- Rutas de carros de golf
- Restauración de mantos acuíferos
- Cubierta laterales de piscinas
- Muros de contención
- Invernaderos
- Áreas de poco tráfico

### Ventajas

- Reduce la escorrentía superficial en áreas pavimentadas
- Filtra el agua de lluvia
- Permite la transferencia de agua y aire a los sistemas de raíces, dejando que los árboles florezcan incluso en las áreas altamente desarrolladas
- Disminuye focos de infección por contaminación de aguas
- Ayuda a la restauración de mantos acuíferos
- Permite la eliminación de drenajes pluviales

### Desventajas

- El tiempo de fraguado se reduce en el concreto permeable, por lo que en algunos casos se deben usar aditivos químicos para permitir la adecuada colocación

## Concreto pesado / de densidad elevada

### Definición

Este tipo de concreto posee una densidad superior a la habitualmente conocida, es capaz de alcanzar una densidad de hasta  $6400 \text{ kg/m}^3$ .

### Componentes / Descripción

Una manera para lograrlo es utilizar:

- Agregado grueso pesado, dentro de los que se encuentran minerales como la barita, la limonita, la magnetita, la ilmenita, la hematita y las esferas de hierro, ferrofósforo, goetita, punzonado de acero sin grasa y perdigones de acero se usan para producir concreto de densidad elevada
- Para que se logre una buena trabajabilidad, la densidad máxima y economía, los agregados deben tener una forma aproximadamente cúbica y deben estar libres de partículas excesivamente planas o alargadas

### Resistencias esperadas

El concreto pesado tiene una resistencia a la compresión de entre 7 MPa y 42 MPa.

### Usos

- En estructuras de protección contra radiaciones
- En paredes de bóvedas y cajas fuertes
- En pisos industriales
- En elementos de sirvan como lastre

### Ventajas

- Absorben energía de radiación
- Ganancia de espacio, donde el espacio sea limitado, el concreto de gran peso va a permitir reducciones en el espesor del blindaje sin afectar su eficiencia

### Desventajas

- Elevado peso volumétrico, lo que hace estructuras más pesadas

### Otras consideraciones

Adiciones de boro, como colemanita, fritas de boro y borocalcita, se usan a veces para mejorar las propiedades del concreto de blindaje contra los neutrones. Sin embargo, pueden afectar adversamente el fraguado y la resistencia temprana, por lo tanto, se deben realizar mezclas de prueba con la adición, bajo las condiciones de obra, para determinar su conveniencia. Los aditivos, tales como cal hidratada bajo presión, se pueden usar con tamaño de arena gruesa, para minimizar cualquier efecto retardante.

## **Concreto resistente a la penetración de cloruros**

### **Definición**

Es un concreto que protege a la armadura embutida de la corrosión, debido a su alta alcalinidad.

### **Componentes / Descripción**

Una de las formas para lograr un concreto con la capacidad de resistir la penetración de fluidos, es disminuyendo la porosidad de la pasta de cemento con adiciones como la microsilíce o escoria de alto horno o aditivos reductores de alto rango, para evitar en alguna medida el paso de los iones cloruro.

### **Resistencias esperadas**

Se obtienen resistencias a la compresión de entre 25 MPa a 40 MPa.

### **Datos técnicos**

- La relación a/c es de 0,50 o menores

### **Usos**

- Estructuras en contacto con el mar
- Estructuras expuestas a alta concentración de agentes corrosivos

### **Ventajas**

- Estructuras más durables
- Estructuras más resistentes al ataque de agentes corrosivos
- Tiene propiedades en estado fresco y endurecido, similares a las del concreto convencional



## Concreto resistente al ataque de sulfatos

### Definición

El ataque de sulfatos al concreto tiene lugar cuando la solución de sulfato penetra en el concreto y reacciona químicamente con sus constituyentes, principalmente con la matriz de cemento. Así pues, los factores que afectan la resistencia a sulfatos del concreto no son solamente aquellos que influyen en la reacción química con la matriz de cemento, sino también aquellos que influyen en la permeabilidad y la calidad total del concreto.

### Componentes / Descripción

Normalmente se utiliza:

- Cemento tipo II o V, dependiendo del grado de ataque
- Siendo todos los otros factores iguales, la resistencia a sulfatos del concreto se incrementa al disminuir su relación agua-cemento

### Resistencias esperadas

La resistencia a la compresión esperada es de 20 MPa a 60 MPa.

### Usos

- Tuberías
- Canales

### Ventajas

- Estructuras más durables
- Estructuras más resistentes al ataque químico
- Tiene propiedades en estado fresco y endurecido, similares a las del concreto convencional

### Desventajas

- Se requiere de compactación adecuada y curado apropiado para producir concreto denso con capilares discontinuos (baja permeabilidad)

## Concreto de polvo reactivo

### Definición

Son concretos de alto desempeño que se caracterizan por su alta resistencia y baja porosidad, las cuales se logran con la mejoría del empaquetamiento de las partículas (al no contener agregado grueso) y el bajo contenido de agua.

### Componentes / Descripción

Por medio de:

- Eliminación de los agregados gruesos; sólo se emplean partículas muy finas, tales como arena, cuarzo **triturado y humo de sílice, todos con tamaño de partícula entre 0.02  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$**
- Uso de superplastificantes para disminuir la relación agua-cemento, normalmente menor que 0.2 – mientras que mejora la reología de la pasta
- Se puede emplear cementos tipo I y III
- Se debe cumplir con la norma ASTM C 33, y el tamaño de las partículas de arena es limitado a 600  $\mu\text{m}$ , pero no menor a 150  $\mu\text{m}$
- Son preferibles las partículas con formas esféricas, lo anterior debido a que se requiere menos cantidad de agua
- Se puede añadir también humo de sílice entre 5 % y 15 % del peso del cemento

### Resistencias esperadas

La resistencia a compresión del concreto de polvo reactivo es normalmente cerca de 200 MPa, pero se lo puede producir con resistencia a compresión de hasta 830 MPa.

### Usos

- Puentes peatonales
- Adecuado para el almacenamiento de desechos nucleares, debido a su baja porosidad
- Elementos prefabricados

### Ventajas

- Debido a que tiene propiedades autocompactantes disminuye el tiempo de vibrado
- Por poseer solo agregados finos, disminuye su porosidad y a la vez la impermeabilidad
- Alcanza alta resistencia en poco tiempo lo que conlleva a un fraguado más rápido u reutilización de formaleta
- Excelente resistencia a impactos, debido a la fibra metálica

## Concreto masivo

### Definición

El ACI 116 define el concreto masivo como siendo cualquier gran volumen de concreto colado en la obra, con dimensiones suficientemente grandes que requieran medidas para enfrentar la generación de calor y para controlar los cambios de volumen, a fin de minimizar el agrietamiento.

### Componentes / Descripción

Este concreto incluye los concretos de bajo contenido de cemento que se utiliza en presas y en otras estructuras masivas, además de concretos con un contenido de cemento de moderado a alto, usados en miembros estructurales que requieren de la adopción de consideraciones especiales para manejar el calor de hidratación y el aumento de temperatura.

Los principales aditivos son reductores de agua o inclusores de aire que permiten reducir la cantidad de cemento.

Además:

- Bajo contenido de cemento (120 kg/m<sup>3</sup> a 270 kg/m<sup>3</sup>)
- Agregados grandes (75 a 150 mm)
- Alto contenido de agregado grueso (hasta 80% del contenido total de agregados)
- Cemento de bajo calor de hidratación, tipo IV o tipo II
- Puzolanas, el calor de hidratación de la puzolana puede ser del 25% al 75% del cemento

### Usos

- Puentes
- Cimentaciones
- Plantas de energía
- Elementos de gran dimensión

### Ventajas

- Requiere tomar medidas para contrarrestar la generación de calor
- Utiliza formaletas de acero

### Otras consideraciones

- El colado de concreto masivo requiere consideraciones especiales para reducir el calor de hidratación y el aumento de temperatura resultante, a fin de evitarse daños del concreto por las altas temperaturas y por las diferencias de temperatura que pueden resultar en fisuración térmica
- Enfriamiento del concreto, a través de la inserción de tubería de enfriamiento
- Encofrados de acero para la disipación rápida del calor

## Concreto con materiales reciclados

### Definición

Se denomina concreto reciclado al que se fabrica con un árido reciclado o con mezcla de árido reciclado y árido natural.

### Componentes / Descripción

Se usa como agregado grueso el procedente del proceso de reciclaje al que se someten los escombros de concreto. De este proceso se obtiene, como agregado grueso, el agregado natural recubierto de mortero o "agregado grueso reciclado".

Se puede dar también fabricación de concreto a partir de los desechos de una planta fabricadora de concreto premezclado.

Por otro lado, los lodos pueden ser tratados mediante la utilización de un tanque aclarador, que permite que la mezcla sedimente para poder obtener agua lista para su reúso.

El agua aclarada es el producto del tratamiento en piletas de decantación del agua utilizada para el lavado de los camiones. Estas aguas pueden presentar una cantidad considerable de sólidos disueltos (hidróxido de sodio y potasio) y suspendidos (carbonato de calcio), alta alcalinidad y calor residual.

Los lodos cementosos, son una mezcla de partículas finas de cemento Portland diluidas en agua, por lo que se pueden caracterizar como sólidos suspendidos. Los principales componentes son calcio (28,5 %), sílice (53,1 %), sulfatos (0,82 %) (Madrigal, 2004).

Dicho agregado grueso reciclado deberá tener un diámetro mínimo de 4 mm y una absorción de agua máxima de 7%.

Cuando se sustituya el agregado grueso en su totalidad por agregado reciclado, la cantidad de cemento aumenta más del 5 %. Si se sustituye el agregado grueso y el fino, dicha cantidad aumenta hasta un valor superior al 15 %.

### Usos

- Vigas
- Columnas
- Pisos
- Losas
- Placas
- Elementos prefabricados

## Ventajas

- Beneficio ambiental al reciclar escombros

## Desventajas

- Mayor porosidad
- Mayor absorción
- Mayor permeabilidad
- Poca resistencia al hielo
- Mayor retracción por secado
- El proceso de separación de los agregados es costoso
- Se necesitan por lo menos dos plantas fabricadoras de concreto premezclado para obtener la cantidad necesaria de agregado reciclado

## Otras consideraciones

Para procesar los escombros, se debe contar con maquinaria de trituración como la que se usa en tajos o quebradores. Se debe tener en cuenta que para este procesamiento, el material debe estar limpio de impurezas como aceites y tierra y que se haya removido por completo cualquier refuerzo metálico

## Concreto translúcido

### Definición

El concreto translúcido es un concreto polimérico diseñado bajo patente. Los estudiantes de ingeniería civil Joel Sosa Gutiérrez de 26 años y Sergio Omar Galván Cáceres de 25 años, de procedencia mexicana, crearon en el 2005 el concreto translúcido.

Se trata de un nuevo compuesto con la resistencia del hormigón, pero complementado por fibras ópticas embebidas a través de las cuales pasa la luz, permitiendo distinguir las siluetas al otro lado del muro.

### Componentes / Descripción

Es una mezcla a base de:

- Vidrio y plástico
- Cemento combinado con fibra óptica,
- Refuerzo transparente a base de plástico
- Agregados finos, agregados gruesos, agua
- Aditivo cuya fórmula aún no se ha dado a conocer (ya que está en proceso de ser patentada), llamado "Illum"
- El cemento blanco es una variedad de cemento que se fabrica a partir de materias primas cuidadosamente seleccionadas de modo que prácticamente no contengan hierro u otros materiales que le den color. Sus ingredientes básicos son la piedra caliza, base de todos los cementos, el caolín (una arcilla blanca que contiene mucha alúmina) y yeso
- La matriz o aglutinante epoxidico utilizado para la formulación de este concreto, es el éter diglicidílico del bisfenol A, que es deshidratado a vacío a 80° C durante 8 horas antes de su empleo
- El endurecedor utilizado es la dietilentriamina, que debe ser deshidratada sobre tamices moleculares antes de su empleo.
- Se utilizan fibras de vidrio, de hilos cortados, fibras molidas de longitudes mayores a los 0.02 mm., con la función de mejorar las resistencias a la compresión, flexión, tensión y torsión del concreto
- Las fibras ópticas utilizadas en la formulación de este concreto, básicamente son un fino hilo de vidrio ó plástico que guía la luz
- Como aditivos se usan pigmentos; agentes antiestáticos para eliminar la electricidad estática; agentes de puente para favorecer la unión a la matriz, dar resistencia y protección contra el envejecimiento; agentes lubricantes para dar protección superficial y agentes fumógenos colantes para dar integridad, rigidez, protección e impregnación, sales metálicas, agentes tixotrópicos (hojuelas de materiales inorgánicos, microesferas de vidrio, carbonates de calcio, dióxido de silicio, entre otros.), agentes retardadores de llama (elementos que contienen cloro, bromo, fosforo, entre otros. ), y agentes de protección UV (estabilizadores)
- Sílica sol, también conocido como hidrosol de sílice, es una solución coloidal de alta hidratación molecular de partículas de sílice dispersas en agua. Es inodoro, insípido y no tóxico. Su función es servir como desecante, agente de vínculo, adhesivo y dispersante

- La sílice entre un 0.5 % y un 10 % del peso de la resina, deberá de utilizarse para que una vez fraguado, la sílice utilizada proporcione una mayor resistencia y dureza al concreto

### Datos técnicos

- Fraguado inicial de 70 min
- Fraguado final de 3 horas

### Usos

- En estructuras ornamentales y arquitectónicas
- Elementos prefabricados
- Enchapes
- Usado en todo tipo de obras tanto interiores como exteriores, por su alta resistencia mecánica a la compresión tiene los mismos usos estructurales que el cemento gris

### Ventajas

- Permite el ahorro de luz eléctrica
- Fácil de pigmentar
- Es compatible con aditivos para concreto convencional
- Ligero
- Impermeable y resistente al fuego

### Desventajas

- Mayor costo que el concreto convencional
- Estructuras internas de construcción quedan a la vista

### Otras consideraciones

La estructura de este concreto permite hasta un 70% el paso de la luz, haciéndolo ideal para el ahorro de luz eléctrica y el uso de materiales de acabado como yeso y pintura logrando así una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero

## **Anexos**



**Cuadro A.1.** Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN                                     | REVENIMIENTO (cm) |             |
|--|-------------------|-------------|
|  | MÁXIMO (cm) *     | MÍNIMO (cm) |
| Zapatas y muros de cimentación reforzados.               | 7.5               | 2.5         |
| Zapatas, cajones y muros de subestructura no reforzadas. | 7.5               | 2.5         |
| Vigas y muros reforzados.                                | 10                | 2.5         |
| Columnas de edificios (pilotes).                         | 10                | 2.5         |
| Losas y pavimentos (pisos y aceras).                     | 7.5               | 2.5         |
| Concreto en masa (presas).                               | 5                 | 2.0         |

\* Se puede incrementar en 2.5 cm cuando se utilicen métodos de consolidación diferentes de la vibración.

**Cuadro A.2.** Requisitos aproximados de agua de la mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado

| AGUA POR METRO CÚBICO DE CONCRETO PARA LOS TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS INDICADOS |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Revenimiento (cm)   | 10 mm | 13 mm | 20 mm | 25 mm | 40 mm | 50 mm | 75 mm |
| Concreto sin aire incluido  |       |       |       |       |       |       |       |
| 2.5 a 5   | 205   | 200   | 185   | 180   | 160   | 155   | 145   |
| 7.5 a 10  | 225   | 215   | 200   | 195   | 175   | 170   | 160   |
| 15 a 18   | 240   | 230   | 210   | 205   | 185   | 180   | 170   |
| Contenido de aire (%) arrastrado.   | 3     | 2.5   | 2     | 1.5   | 1     | 0.5   | 0.3   |
| Concreto con aire incluido  |       |       |       |       |       |       |       |
| 2.5 a 5   | 180   | 175   | 165   | 160   | 145   | 140   | 135   |
| 7.5 a 10  | 200   | 190   | 180   | 175   | 165   | 155   | 150   |
| 15 a 18   | 215   | 205   | 190   | 185   | 170   | 165   | 160   |
| Contenido de aire (%) arrastrado.   | 8     | 7     | 6     | 5     | 4.5   | 4     | 3.5   |

**Cuadro A.3.a.** Correspondencia entre la relación a/c y la resistencia del concreto a la compresión.

| Resistencia a la compresión a 28 días, kg/cm <sup>2</sup> * | Relación agua / cemento en peso |                            |
|---|---------------------------------|----------------------------|
|   | Concreto sin aire incluido      | Concreto con aire incluido |
| 450   | 0.38                            | 0.28                       |
| 400   | 0.43                            | 4.33                       |
| 350   | 0.48                            | 0.40                       |
| 300   | 0.55                            | 0.46                       |
| 250   | 0.62                            | 0.53                       |
| 200   | 0.70                            | 0.61                       |
| 150   | 0.80                            | 0.71                       |

\* Las cifras indican resistencias promedio estimadas para concretos que contienen aire en porcentajes no menores que los mostrados en la tabla 2. para una relación agua / cemento constante la resistencia del concreto se reduce a medida que el contenido de aire se incrementa.

**Cuadro A.3.b.** Relación a/c y la resistencia máximas permisibles para concreto bajo condiciones de exposición severas \*.

| Tipo de estructura   | Estructura continua o frecuentemente húmeda y expuesta a congelación y deshielo ** | Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos |
|--|--|---|
| Secciones delgadas (parapetos, guarniciones umbrales, escalones, obras ornamentales) y secciones con menos de 3 cm de recubrimiento. | 0.45   | 0.40  |
| Todas las otras estructuras.   | 0.50   | 0.45  |

\* Basado en el informe del comité ACI 201. "Durability of Concrete in Service".

\*\* El concreto también debe tener aire incluido.

**Cuadro A.4.** Factores de corrección

| Condiciones de mezclado y colocación  | Control   | Desviación (kg/cm <sup>2</sup> ) | $\Delta \int_{C^{28}_{DISEÑO}} (kg/cm^2)$ | V %     |
|---|-----------|----------------------------------|---|---------|
| I. Proporción por peso<br>Equipo electrónico<br>Planta<br>Control de humedad<br>Vibradores de alta frecuencia | Excelente | $\sigma \leq 20$                 | 30  | < 10    |
| II. Proporción por peso<br>Control de laboratorio<br>Control de humedad<br>Vibradores de alta frecuencia      | Bueno     | $20 \leq \sigma \leq 30$         | 40  | 10 a 5  |
| III. Proporción por peso<br>Sin control de laboratorio<br>Sin control de humedad                              | Malo      | $30 \leq \sigma \leq 35$         | 50  | 15 a 20 |
| IV. Dosificación volumétrica  | Malo      | $35 \leq \sigma \leq 40$         | 65  | > 20    |

**Cuadro A.5.** Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

| Agregado, mm<br>tamaño máximo de | Volumen masivo de agregado grueso *, seco y compactado con varilla por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena. |      |      |      |
|----------------------------------|--|------|------|------|
|                                  | 2.40   | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 10                               | 0.50   | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 13                               | 0.59   | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 20                               | 0.66   | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25                               | 0.71   | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 40                               | 0.75   | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 50                               | 0.78   | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 75                               | 0.81   | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 150                              | 0.87   | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

\* Los volúmenes están basados en agregados incondición "seca y compactado con varilla como se describe en ASTM C29", "Peso Unitario de Agregados".

**Cuadro A.6.** Cantidad de pasta según a/c

| Relación a/c | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| Pasta por kg | 0.63 | 0.93 | 0.83 | 0.93 | 1.03 | 1.13 |

Fuente: González, s.f.

**Cuadro A.7.** Revenimiento según tipo de obra

|  | Vibración<br>Revenimiento, mm |
|--|-------------------------------|
| Fundaciones, lozas, calzadas                                       | 10 - 20                       |
| Concreto ciclópeo  | 20 - 40                       |
| Concreto armado  | 40 - 60                       |
| Concreto armado en estructuras especiales de gran cuantía de acero | 60 - 80                       |
| Concreto armado de armadura especial                               | 80 - 120                      |
| Concreto bajo agua   | 120 - 180                     |

Fuente: González, s.f.