

# Guía de Buenas Prácticas para la Prevención de Riesgos Laborales en el Sector Cementero Español



Esta Guía de Buenas Prácticas ha sido elaborada por la Comisión de Seguridad y Salud de la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España, que está formada por los siguientes miembros:

- |                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| • D. Carlos Alonso              | Cementos Portland Valderrivas |
| • D. Adolfo Borgoñó             | Cementos Molins               |
| • D. Carlos Carrasco            | Lafarge Cementos S.A          |
| • D. Alberto Carrillo           | Cementos Cosmos               |
| • D. Eric Cortijo               | Holcim España                 |
| • D. Jaime De Los Rios          | Cementos Lemona               |
| • D. Hervé De Saint Pierre      | Financiera Y Minera           |
| • D. Angel I. González          | Cementos Alfa                 |
| • D. Rafael Jurado              | Financiera y Minera           |
| • D. Serafín Lizárraga          | Cementos Portland Valderrivas |
| • D. Javier Mota                | Cemex España                  |
| • D. Andrés Núñez               | Cementos Balboa               |
| • D. Víctor Salvo               | Financiera Y Minera           |
| • D. Ricardo Sánchez            | Uniland Cementera             |
| • D. Francisco Zapata           | Tudeia Veguín                 |
| • D. Pedro Mora                 | Oficemen                      |
| • D. Aniceto Zaragoza           | Oficemen                      |
| • D <sup>a</sup> . Marina Romay | Oficemen                      |
| • D <sup>a</sup> . Sonia Silva  | Oficemen                      |
| • D. Sergio Cuadrado            | Oficemen                      |

Igualmente, la Comisión de Seguridad y Salud de la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España contó con la inestimable colaboración técnica de:

- |                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| • D. Gerardo García   | Oficemen                      |
| • D. Simón Arakistáin | Financiera y Minera           |
| • D. Jesús López      | Cementos Portland Valderrivas |
| • D. Ramón Ramió      | Cementos Molins               |
| • D. José A. Doñate   | Cemex España                  |

Desde la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España queremos mostrar nuestro agradecimiento y reconocimiento a todos aquellos que han participado en la preparación y elaboración de la presente Guía, quienes con gran espíritu de colaboración compartieron con nosotros sus percepciones, experiencia e información para que este trabajo fuera posible.



1ª Edición, Marzo 2008  
© Oficemen  
José Abascal, 53, 1º  
28003 Madrid

Diseño: Grafismo, S.L.  
Impresión: Julio Soto Impresor  
D.L. M-24829-2008

Esta permitida la reproducción de los contenidos de esta Guía siempre que se cite su procedencia.

# Presentación



**E**l sector cementero español continúa desarrollando su labor de liderazgo en los aspectos relacionados con la sostenibilidad, en esta ocasión mediante la elaboración de una Guía de sus Buenas Prácticas en Prevención de Riesgos Laborales, que sin duda se convertirá en todo un referente para la industria de nuestro país por su novedoso enfoque y profundidad de análisis. Nuestro sector ha querido elaborar un documento centrado en el principal activo de las fábricas: el equipo humano.

Este nuevo trabajo pretende dar un paso más en la prevención de riesgos laborales, hoy en día objetivo prioritario de la industria cementera. Conscientes de la importancia que tiene alcanzar un nivel de excelencia en Seguridad y Salud laboral, el sector no escatima esfuerzos en formación, información y motivación. El objetivo de esta iniciativa es aunar todas las voluntades y experiencias de la industria para que la prevención de riesgos sea no sólo una realidad sino un elemento de comunicación con la sociedad y un ejemplo para otros sectores.

Hemos considerado que la mejor manera de explicar las medidas de seguridad aplicadas por la industria cementera en el trabajo cotidiano es presentando casos reales que ilustran las actuaciones del sector y que muestran cómo se aplican métodos eficaces y prácticos en materia de seguridad. La aplicación de las alternativas y soluciones propuestas en este documento debe conducir a una mejora de la seguridad en nuestras fábricas para que, de este modo, se conviertan en lugares de trabajo plenamente seguros.

La Comisión de Seguridad y Salud de Oficemen, autora de este estudio, ha puesto una primera piedra, al compartir sus percepciones, conocimientos e información para que este trabajo fuera posible. Ahora todos los miembros de esta industria, debemos contribuir con nuestras experiencias y aportaciones para que esta herramienta de trabajo se convierta en un instrumento imprescindible en la Seguridad y Salud de nuestros trabajadores.

**Jean Martin-Saint-Léon**  
Presidente de Oficemen



# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. OBJETO DE LA GUÍA.</b>  | <b>13</b> |
| <b>2. INTRODUCCIÓN AL SECTOR CEMENTERO ESPAÑOL.</b>                               | <b>15</b> |
| <b>3. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO.</b>                                     | <b>23</b> |
| 3.1. Obtención de materias primas.  | 23        |
| 3.2. Fabricación del clínker.   | 24        |
| 3.2.1. Proceso de fabricación.  | 25        |
| 3.2.1.A. Proceso de vía seca.   | 26        |
| 3.2.1.B. Proceso de vía húmeda.   | 26        |
| 3.2.1.C. Procesos de vía semi-seca y semi-húmeda.                                 | 27        |
| 3.2.2. El horno de clínker.   | 27        |
| 3.2.2.A. Hornos rotativos largos.   | 28        |
| 3.2.2.B. Hornos rotativos equipados con precalentadores.                          | 28        |
| 3.2.2.C. Hornos rotativos con precalcinador.                                      | 30        |
| 3.2.3. Enfriamiento del clínker.  | 30        |
| 3.2.3.A. Enfriadores rotativos.   | 31        |
| 3.2.3.B. Enfriadores de parrilla.   | 32        |
| 3.3. Molienda de cemento.   | 33        |
| 3.4. Almacenamiento, ensacado y expediciones de cemento.                          | 34        |
| <b>4. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.</b>                | <b>37</b> |
| 4.1 El trabajo y la salud: los riesgos profesionales. Factores de riesgo.         | 37        |
| 4.1.1. Los riesgos comunes.   | 39        |
| 4.1.2. Factor de riesgo.  | 39        |
| 4.1.3. Tipos de prevención y Sistemas y técnicas preventivas.                     | 40        |
| 4.2 Daños derivados del trabajo. Los accidentes y las enfermedades profesionales. |           |
| Otras patologías.   | 42        |
| 4.2.1. El accidente laboral.  | 43        |
| 4.2.2. Las enfermedades profesionales.  | 44        |
| 4.2.3. La fatiga.   | 45        |
| 4.2.4. El estrés.   | 45        |
| 4.2.5. El envejecimiento prematuro.   | 46        |
| 4.2.6. La insatisfacción.   | 47        |
| 4.3 Marco normativo básico en materia de prevención de riesgos laborales.         |           |
| Derechos y deberes básicos.   | 48        |
| 4.3.1. Obligaciones de los empresarios.   | 48        |
| 4.3.2. Obligaciones de los trabajadores.  | 51        |
| 4.3.3. Los órganos de prevención.   | 52        |
| 4.3.4. La consulta y participación de los trabajadores.                           | 52        |
| 4.3.5. Responsabilidades y sanciones.   | 53        |
| 4.3.6. Otras normas.  | 54        |
| 4.3.7. La visita del inspector.   | 54        |
| 4.3.8. Las actitudes preventivas.   | 55        |
| <b>5. RIESGOS GENERALES Y SU PREVENCIÓN</b>                                       | <b>57</b> |
| 5.1 Riesgos de contacto dinámico.   | 57        |
| 5.1.1. Caída de personas a distinto nivel.  | 57        |
| 5.1.2. Caída de personas al mismo nivel.  | 59        |
| 5.1.3. Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.                            | 59        |
| 5.1.4. Caída de objetos en manipulación.  | 61        |
| 5.1.5. Caída de objetos desprendidos.   | 62        |
| 5.1.6. Pisadas sobre objetos.   | 63        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.1.7. Choques contra objetos inmóviles. ....  | 63        |
| 5.1.8. Choques contra objetos móviles. ....  | 64        |
| 5.1.9. Golpes, cortes y erosiones producidos por objetos y herramientas. ....            | 64        |
| 5.1.10. La proyección de fragmentos o partículas. ....                                   | 65        |
| 5.1.11. Atrapamientos por y entre objetos. ....  | 65        |
| 5.1.12. Atrapamientos por vuelco o caída de máquinas o vehículos. ....                   | 66        |
| 5.1.13. Atropellos o golpes con vehículos. ....  | 66        |
| 5.2 Otros riesgos de contacto. ....  | 67        |
| 5.2.1. Riesgos de contactos térmicos. ....   | 68        |
| 5.2.2. Contactos eléctricos directos e indirectos. ....                                  | 69        |
| 5.2.3. Explosiones. ....   | 71        |
| 5.2.4. Incendios. ....   | 72        |
| 5.3 Riesgos higiénicos. ....   | 73        |
| 5.3.1. Exposición a temperaturas ambientales extremas. ....                              | 73        |
| 5.3.2. Exposición a sustancias nocivas y/o tóxicas. ....                                 | 74        |
| 5.3.3. Los ruidos, las ondas aéreas. ....  | 75        |
| 5.3.4. Las vibraciones. ....   | 75        |
| 5.3.5. El polvo, el humo y los vapores. ....   | 76        |
| 5.4. Riesgos ergonómicos y psicosociales. ....   | 77        |
| 5.4.1. Los sobreesfuerzos. ....  | 77        |
| 5.4.2. El estrés térmico. ....   | 78        |
| 5.4.3. Las enfermedades profesionales músculo - esqueléticas. ....                       | 79        |
| 5.4.4. La fatiga física y mental. ....   | 79        |
| 5.5. Sistemas elementales de control de riesgos. Protección colectiva e individual. .... | 80        |
| 5.5.1. La higiene y salud. ....  | 80        |
| 5.5.2. El accidente y su auxilio. ....   | 82        |
| 5.5.2.A. Investigación de accidentes. ....   | 83        |
| 5.5.2.B. Conducta frente a un accidente. ....  | 84        |
| 5.5.2.C. Conducta frente a un incendio. ....   | 84        |
| 5.5.3. Señalización. ....  | 86        |
| 5.5.4. Controles técnicos. ....  | 88        |
| 5.5.5. Sistemas de prevención. ....  | 89        |
| 5.5.6. Reglamentaciones. ....  | 89        |
| 5.5.7. Protecciones colectivas. ....   | 91        |
| 5.5.8. Protección individual. ....   | 93        |
| <b>6. RIESGOS ESPECÍFICOS Y SU PREVENCIÓN EN EL SECTOR CEMENTERO. ....</b>               | <b>97</b> |
| 6.1. Instalaciones de producción. ....   | 97        |
| 6.1.1 Medidas de prevención en la cantera. ....  | 97        |
| 6.1.2. Medidas de prevención en los trabajos de trituración. ....                        | 99        |
| 6.1.3. Medidas de prevención en los molinos de crudo. ....                               | 100       |
| 6.1.4. Trabajos en silos de crudo. ....  | 101       |
| 6.1.5. Horno de clínker: prevención de riesgos. ....                                     | 102       |
| 6.1.6. Prevención durante la molienda de cemento. ....                                   | 103       |
| 6.1.7. Prevención de riesgos en los silos y expedición. ....                             | 104       |
| 6.2. Equipamientos comunes. ....   | 105       |
| 6.2.1. Instalaciones de almacenaje. ....   | 105       |
| 6.2.2. Transportadores de materias. ....   | 107       |
| 6.2.3. Instalaciones de depuración. ....   | 107       |
| 6.3. Combustibles. ....  | 108       |
| 6.3.1. Medidas de prevención. ....   | 108       |
| 6.3.2. Prevención específica de los combustibles. ....                                   | 109       |
| 6.4. Productos – fluidos – energías. ....  | 110       |
| 6.4.1. Energía. ....   | 110       |
| 6.4.2. Gas. ....   | 111       |
| 6.4.3. Aire comprimido. ....   | 111       |
| 6.4.4. Productos químicos. ....  | 112       |

|   |     |
|---|-----|
| <b>7. ELEMENTOS BÁSICOS DE GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS.</b>                             | 113 |
| 7.1. Documentación: Recogida, elaboración y archivo.  | 113 |
| 7.2 Organismos públicos relacionados con la Seguridad y Salud en el trabajo.                    | 113 |
| 7.3. Organización del trabajo preventivo: Rutina básica.  | 114 |
| 7.3.1. Identificación de los riesgos laborales de cada puesto de trabajo.                       | 115 |
| 7.3.2. Evaluación de los riesgos laborales.   | 116 |
| 7.3.2. Elección de medidas.   | 117 |
| 7.3.2.A. El cuadro de prevención.   | 117 |
| 7.3.2.B. Criterios para elegir la medida preventiva. Normas legales y relación coste/beneficio. | 118 |
| 7.3.2.A. Criterios para elegir la medida preventiva. Grado de control.                          | 118 |
| 7.3.3. La implantación de medidas preventivas.  | 118 |
| 7.3.3.A. Normas para poner en práctica las medidas preventivas.                                 | 119 |
| 7.3.3.B. Costes humanos y económicos que producen los daños laborales.                          | 120 |
| 7.3.4. Seguimiento y vigilancia.  | 120 |
| 7.3.4.A. La investigación de los accidentes. El método.   | 121 |
| 7.3.4.B. La investigación de los accidentes. Notificación y registro de los accidentes.         | 121 |
| <b>8. PRIMEROS AUXILIOS.</b>  | 123 |
| 8.1. Introducción.  | 123 |
| 8.2 Concepto y misión de la acción de primeros auxilios.  | 123 |
| 8.2.1. Pautas de actuación en primeros auxilios.  | 124 |
| 8.2.2. Prestar socorro.   | 125 |
| 8.2.3. El botiquín.   | 125 |
| 8.3 Daños y actuaciones.  | 126 |
| 8.3.1. Daños más comunes.   | 126 |
| 8.3.1.A. Contusiones.   | 127 |
| 8.3.1.B. Heridas.   | 127 |
| 8.3.1.C. Hemorragias.   | 128 |
| 8.3.1.D. Quemaduras.  | 129 |
| 8.3.1.E. Luxaciones.  | 130 |
| 8.3.1.F. Fracturas.   | 131 |
| 8.3.1.G. Lesiones producidas por temperaturas extremas.   | 133 |
| 8.3.1.H. Cuerpos extraños.  | 135 |
| 8.3.1.I. Pérdida de conocimiento.   | 135 |
| 8.3.1.J. Lipotimia.   | 136 |
| 8.3.1.K. Envenenamiento.  | 136 |
| 8.3.1.L. Electrocuciiones.  | 137 |
| 8.3.1.M. Asfixia.   | 138 |
| 8.4 El socorrista.  | 140 |
| <b>9. BASES ESTADÍSTICAS APLICADAS A LA PREVENCIÓN.</b>   | 141 |
| 9.1. Índice de frecuencia.  | 141 |
| 9.2. Índice de gravedad.  | 142 |
| 9.3. Índice de incidencia.  | 142 |
| 9.4.. Duración media de las bajas.  | 143 |
| 9.5. Otros índices.   | 143 |
| 9.5.1. Índice de Frecuencia de Accidentes Mortales.   | 143 |
| 9.5.2. Índice de Incidencia de Accidentes Mortales.   | 143 |
| 9.5.3. Porcentaje de horas perdidas por accidente.  | 143 |
| 9.5.4. Horas trabajadas por accidente.  | 144 |
| <b>10. METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA GUÍA.</b>   | 145 |
| 10.1. Metodología de desarrollo.  | 145 |
| 10.2. Estructura de los casos.  | 145 |
| 10.3. Casos analizados.   | 146 |
| <b>11. CASO 1: SEGURIDAD VIAL.</b>  | 151 |
| 11.1. Introducción al caso.   | 151 |

|   |            |
|---|------------|
| 11.1.1. Aspectos técnicos. ....                                       | 151        |
| 11.1.2. Consecuencias para la salud. ....                             | 152        |
| 11.1.3 Marco social. ....   | 153        |
| 11.1.4. Marco jurídico. ....  | 153        |
| 11.2. Riesgos teóricos asociados al caso. ....                        | 153        |
| 11.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Practicas. ....               | 153        |
| 11.3.1. Alternativas planteadas. ....                                 | 153        |
| 11.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. ....                            | 154        |
| 11.3.3. Valoración y seguimiento. ....                                | 157        |
| 11.4. Ficha Resumen. ....   | 159        |
| 11.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. ....    | 161        |
| <b>12. CASO 2: CARGUES DE CEMENTO A GRANEL</b> .....                  | <b>163</b> |
| 12.1. Introducción al caso. ....                                      | 163        |
| 12.1.1. Aspectos técnicos. ....                                       | 163        |
| 12.1.2. Consecuencias para la salud. ....                             | 165        |
| 12.1.3. Marco social. ....  | 165        |
| 12.1.4. Marco jurídico. ....  | 165        |
| 12.2. Riesgos teóricos asociados al caso. ....                        | 166        |
| 12.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. ....               | 166        |
| 12.3.1. Alternativas planteadas. ....                                 | 166        |
| 12.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. ....                            | 167        |
| 12.3.3. Valoración y seguimiento. ....                                | 169        |
| 12.4. Ficha Resumen. ....   | 171        |
| 12.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. ....    | 173        |
| <b>13. CASO 3: CARGA Y TRANSPORTE DE MATERIALES EN CANTERA.</b> ..... | <b>175</b> |
| 13.1. Introducción al caso. ....                                      | 175        |
| 13.1.1. Aspectos técnicos. ....                                       | 175        |
| 13.1.2. Consecuencias para la salud. ....                             | 177        |
| 13.1.3. Marco social. ....  | 178        |
| 13.1.4. Marco jurídico. ....  | 178        |
| 13.2. Riesgos teóricos asociados al caso. ....                        | 178        |
| 13.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. ....               | 178        |
| 13.3.1. Alternativas planteadas. ....                                 | 178        |
| 13.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. ....                            | 178        |
| 13.3.3. Valoración y seguimiento. ....                                | 181        |
| 13.4. Ficha Resumen. ....   | 185        |
| 13.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. ....    | 187        |
| <b>14.CASO 4: TRABAJOS EN ALTURA CON PLATAFORMA ELEVADORA.</b> .....  | <b>189</b> |
| 14.1. Introducción al caso. ....                                      | 189        |
| 14.1.1. Aspectos técnicos. ....                                       | 189        |
| 14.1.2. Consecuencias para la salud. ....                             | 191        |
| 14.1.3. Marco social. ....  | 192        |
| 14.1.4. Marco jurídico. ....  | 192        |
| 14.2. Riesgos teóricos asociados al caso. ....                        | 192        |
| 14.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. ....               | 192        |
| 14.3.1. Alternativas planteadas. ....                                 | 192        |
| 14.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. ....                            | 193        |
| 14.3.3. Valoración y seguimiento. ....                                | 194        |
| 14.4. Ficha Resumen. ....   | 195        |
| 14.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. ....    | 197        |
| <b>15. CASO 5: TRABAJOS CON ANDAMIOS.</b> .....                       | <b>199</b> |
| 15.1. Introducción al caso. ....                                      | 199        |
| 15.1.1. Aspectos técnicos. ....                                       | 199        |
| 15.1.2. Consecuencias para la salud. ....                             | 201        |

|   |             |
|---|-------------|
| 15.1.3. Marco social. . . . .   | .202        |
| 15.1.4. Marco jurídico. . . . .                                       | .202        |
| 15.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | .202        |
| 15.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | .203        |
| 15.3.1. Alternativas planteadas. . . . .                              | .203        |
| 15.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .                         | .203        |
| 15.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .                             | .206        |
| 15.4. Ficha Resumen. . . . .  | .207        |
| 15.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . . | .209        |
| <b>16. CASO 6: LIMPIEZA DE TORRE DE CICLONES. . . . .</b>             | <b>.211</b> |
| 16.1. Introducción al caso. . . . .                                   | .211        |
| 16.1.1. Aspectos técnicos. . . . .                                    | .211        |
| 16.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .                          | .213        |
| 16.1.3. Marco social. . . . .   | .213        |
| 16.1.4. Marco jurídico. . . . .                                       | .213        |
| 16.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | .214        |
| 16.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | .214        |
| 16.3.1. Alternativas planteadas. . . . .                              | .214        |
| 16.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .                         | .217        |
| 16.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .                             | .218        |
| 16.4. Ficha Resumen. . . . .  | .219        |
| 16.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . . | .221        |
| <b>17. CASO 7: REPARACIONES DE HORNOS Y ENFRIADORES. . . . .</b>      | <b>.223</b> |
| 17.1. Introducción al caso. . . . .                                   | .223        |
| 17.1.1. Aspectos técnicos. . . . .                                    | .223        |
| 17.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .                          | .225        |
| 17.1.3. Marco social. . . . .   | .225        |
| 17.1.4. Marco jurídico. . . . .                                       | .226        |
| 17.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | .226        |
| 17.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | .226        |
| 17.3.1. Alternativas planteadas. . . . .                              | .226        |
| 17.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .                         | .228        |
| 17.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .                             | .230        |
| 17.4. Ficha Resumen. . . . .  | .231        |
| 17.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . . | .233        |
| <b>18. CASO 8: SEGURIDAD DE MÁQUINAS. . . . .</b>                     | <b>.235</b> |
| 18.1. Introducción al caso. . . . .                                   | .235        |
| 18.1.1. Aspectos técnicos. . . . .                                    | .235        |
| 18.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .                          | .236        |
| 18.1.3. Marco social. . . . .   | .237        |
| 18.1.4. Marco Jurídico. . . . .                                       | .237        |
| 18.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | .237        |
| 18.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | .238        |
| 18.3.1. Alternativas planteadas. . . . .                              | .238        |
| 18.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .                         | .240        |
| 18.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .                             | .242        |
| 18.4. Ficha Resumen. . . . .  | .243        |
| 18.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . . | .245        |
| <b>19. CASO 9: TRABAJOS EN MOLINOS. . . . .</b>                       | <b>.247</b> |
| 19.1. Introducción al caso. . . . .                                   | .247        |
| 19.1.1. Aspectos técnicos. . . . .                                    | .247        |
| 19.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .                          | .249        |
| 19.1.3. Marco social. . . . .   | .249        |
| 19.1.4. Marco Jurídico. . . . .                                       | .249        |

|   |            |
|---|------------|
| 19.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | 250        |
| 19.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | 250        |
| 19.3.1. Alternativas planteadas. . . . .                              | 250        |
| 19.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .                         | 251        |
| 19.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .                             | 252        |
| 19.4. Ficha Resumen. . . . .  | 253        |
| 19.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . . | 255        |
| <b>20. CASO 10: ATASCOS EN MACHACADORAS. . . . .</b>                  | <b>257</b> |
| 20.1. Introducción al caso. . . . .                                   | 257        |
| 20.1.1. Aspectos técnicos. . . . .                                    | 257        |
| 20.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .                          | 259        |
| 20.1.3. Marco social. . . . .   | 259        |
| 20.1.4. Marco jurídico. . . . .                                       | 259        |
| 20.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | 260        |
| 20.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | 260        |
| 20.3.1. Alternativas planteadas. . . . .                              | 260        |
| 20.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .                         | 260        |
| 20.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .                             | 262        |
| 20.4. Ficha Resumen. . . . .  | 263        |
| 20.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . . | 267        |
| <b>21. CASO 11: TRABAJOS EN SILOS Y TOLVAS. . . . .</b>               | <b>269</b> |
| 21.1. Introducción al caso. . . . .                                   | 269        |
| 21.1.1. Aspectos técnicos. . . . .                                    | 269        |
| 21.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .                          | 270        |
| 21.1.3. Marco social. . . . .   | 271        |
| 21.1.4. Marco jurídico. . . . .                                       | 271        |
| 21.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | 271        |
| 21.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | 272        |
| 21.3.1. Alternativas planteadas. . . . .                              | 272        |
| 21.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .                         | 273        |
| 21.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .                             | 276        |
| 21.4. Ficha Resumen. . . . .  | 277        |
| 21.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . . | 279        |
| <b>22. CASO 12: CINTAS TRANSPORTADORAS. . . . .</b>                   | <b>281</b> |
| 22.1. Introducción al caso. . . . .                                   | 281        |
| 22.1.1. Aspectos técnicos. . . . .                                    | 281        |
| 22.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .                          | 283        |
| 22.1.3. Marco social. . . . .   | 283        |
| 22.1.4. Marco Jurídico. . . . .                                       | 284        |
| 22.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | 284        |
| 22.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | 284        |
| 22.3.1. Alternativas planteadas. . . . .                              | 284        |
| 22.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .                         | 284        |
| 22.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .                             | 288        |
| 22.4. Ficha Resumen. . . . .  | 289        |
| 22.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . . | 291        |
| <b>23. CASO 13: TRABAJOS ELÉCTRICOS. . . . .</b>                      | <b>293</b> |
| 23.1. Introducción al caso. . . . .                                   | 293        |
| 23.1.1. Aspectos técnicos. . . . .                                    | 293        |
| 23.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .                          | 294        |
| 23.1.3. Marco social. . . . .   | 295        |
| 23.1.4. Marco jurídico. . . . .                                       | 295        |
| 23.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .                     | 295        |
| 23.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .            | 296        |

|   |             |
|---|-------------|
| 23.3.1. Alternativas planteadas. . . . .  | .296        |
| 23.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .   | .296        |
| 23.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .   | .298        |
| 23.4. Ficha Resumen. . . . .  | .299        |
| 23.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . .   | .301        |
| <b>24. CASO 14: ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS. . . . .</b>   | <b>.303</b> |
| 24.1. Introducción al caso. . . . .   | .303        |
| 24.1.1. Aspectos técnicos. . . . .  | .303        |
| 24.1.2. Consecuencias para la salud. . . . .  | .306        |
| 24.1.3. Marco social. . . . .   | .306        |
| 24.1.4. Marco jurídico. . . . .   | .306        |
| 24.2. Riesgos teóricos asociados al caso. . . . .   | .307        |
| 24.3. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .  | .307        |
| 24.3.1. Alternativas planteadas. . . . .  | .307        |
| 24.3.2. Ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .   | .307        |
| 24.3.3. Valoración y seguimiento. . . . .   | .309        |
| 24.4. Ficha Resumen. . . . .  | .311        |
| 24.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . .   | .313        |
| <b>25. CASO 15: ORGANIZACIÓN DE LOS RECURSOS PREVENTIVOS. . . . .</b>   | <b>.315</b> |
| 25.1. Introducción al caso. . . . .   | .315        |
| 25.2. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .  | .317        |
| 25.3. Valoración. . . . .   | .319        |
| 25.4. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . .   | .321        |
| <b>26. CASO 16: COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES EMPRESARIALES. . . . .</b>  | <b>.323</b> |
| 26.1. Introducción al caso. . . . .   | .323        |
| 26.2. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .  | .328        |
| 26.3. Valoración de las medidas. . . . .  | .331        |
| 26.4. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . .   | .333        |
| <b>27. CASO 17: MOTIVACIÓN EN LA PRL. . . . .</b>   | <b>.335</b> |
| 27.1. Introducción al caso. . . . .   | .335        |
| 27.2. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .  | .337        |
| 27.2.1. Grand Prix: Campaña de concienciación en Prevención, Seguridad y<br>Salud Laboral (04-12-2001 al 17-05-2002). . . . . | .337        |
| 27.2.2. Campaña Preve Master PORTLAND (junio 2003 a mayo 2004). . . . .   | .339        |
| 27.2.3. Campaña 24 Horas de Prevención para toda la familia (octubre 2003 a mayo 2004). . . . .                               | .340        |
| 27.2.4. Campaña Canal PORTLAND Visión Preventiva (enero 2005 a abril 2006). . . . .   | .340        |
| 27.3. Valoración de las medidas. . . . .  | .342        |
| 27.4. Ficha Resumen. . . . .  | .343        |
| 27.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . .   | .345        |
| <b>28. CASO 18: OBSERVACIONES PREVENTIVAS DE SEGURIDAD. . . . .</b>   | <b>.347</b> |
| 28.1. Introducción al caso. . . . .   | .347        |
| 28.2. Alternativas y ejemplos de Buenas Prácticas. . . . .  | .348        |
| 28.3. Valoración y seguimiento. . . . .   | .352        |
| 28.4. Ficha Resumen. . . . .  | .355        |
| 28.5. Ficha de Adaptación de Contenidos al Centro de Trabajo. . . . .   | .357        |



## 1. Objeto de la Guía

La industria cementera es consciente de que los trabajadores son su principal activo, por lo que no escatima esfuerzos en su formación, información y motivación. Asimismo, se continúa realizando fuertes inversiones en los equipos, sistemas de protección e implantación de planes de prevención efectivos.

Fruto de dicha dinámica es esta GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN EL SECTOR CEMENTERO, desarrollada por Oficemen, en colaboración con todas las empresas cementeras que pertenecen a la Agrupación.

Con este documento, se pretende dar un paso más en el camino de cumplir el objetivo prioritario del sector: la Prevención de Riesgos Laborales.

La industria cementera es una actividad desconocida para la mayor parte de la sociedad. Por lo tanto, para el sector es vital mejorar los medios y los cauces de comunicación con todos sus interlocutores, públicos o privados, además de con la sociedad en general.

Uno de los objetivos principales de la presente Guía consiste en desempeñar un papel importante en el intercambio de información, intentando explicar las medidas de seguridad aplicadas por la industria cementera en el trabajo cotidiano. Para ello, presenta casos reales que ilustran un cierto número de “buenas prácticas” empleadas por el sector y que muestran cómo se utilizan métodos eficaces en materia de seguridad.

La aplicación de las alternativas y soluciones propuestas en este documento debe conducir a una mejora de la seguridad en las fábricas de cemento, convirtiéndolas en lugares de trabajo plenamente seguros. No obstante, el contenido de esta publicación no puede trasladarse directamente a cada centro de trabajo ni considerarse desde un punto de vista normativo.

Por el carácter didáctico de la Guía, cada organización debe considerar las pautas que se exponen en este texto para determinar sus procedimientos de control basándose en sus peculiaridades.

Hay que destacar que esta Guía de Buenas Prácticas no es un documento cerrado, sino que de su lectura y debate deben obtenerse, además de un mejor conocimiento de la industria cementera y de las medidas de seguridad en sus instalaciones, nuevas aportaciones que permitan un enriquecimiento de la misma, confiriéndole el dinamismo que la seguridad requiere.

El contenido de esta Guía de Buenas Prácticas no puede considerarse, en absoluto, desde el punto de vista normativo. Cada organización, a través de sus procesos de evaluación de riesgos, deberá determinar los procedimientos concretos de control de los mismos. La consideración apriorística de riesgo de esta Guía sólo será considerada desde el punto de vista teórico y no es aplicable de forma directa a ningún centro de trabajo. Es una herramienta para uso de los técnicos de seguridad.



## 2. Introducción al Sector Cementero Español

Los cementos son conglomerantes hidráulicos, esto es, materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral que, finamente molidos y convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y se endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes. Ello da lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como debajo del agua. Estas tres cualidades (moldeabilidad, resistencia, durabilidad) hacen que los productos derivados del cemento tengan una gran aplicación en la construcción de infraestructuras y otros elementos constructivos.

Los cementos son, por tanto, materiales granulares muy finos y estadísticamente homogéneos. Su aceptable grado de uniformidad de propiedades y de comportamiento sólo se puede conseguir mediante procesos constantes y continuados de fabricación, así como con controles de calidad periódicos y frecuentes. En este punto, juega un papel fundamental el autocontrol de los fabricantes, el personal cualificado experimentado y la maquinaria, equipos e instrumentos idóneos.



Figura 2.1. Arco de los Tilos

La inversión necesaria para la construcción de una fábrica integral de cemento equivale aproximadamente a 200 €/t instalada, lo que la convierte en una de las actividades industriales más intensivas en capital.

Los costes de fabricación más importantes son los relacionados con el consumo de energía (combustibles y electricidad), seguido muy de cerca por los costes de obtención de materias primas y de personal.

Desde 1998, el sector cementero español bate récords en producción de cemento. La inversión sostenida en infraestructuras y edificación ha consolidado a nuestro país como el primer productor y consumidor de cemento de la UE. Igualmente, el sector ha cumplido sus compromisos de abastecimiento pese al continuo crecimiento de la demanda.

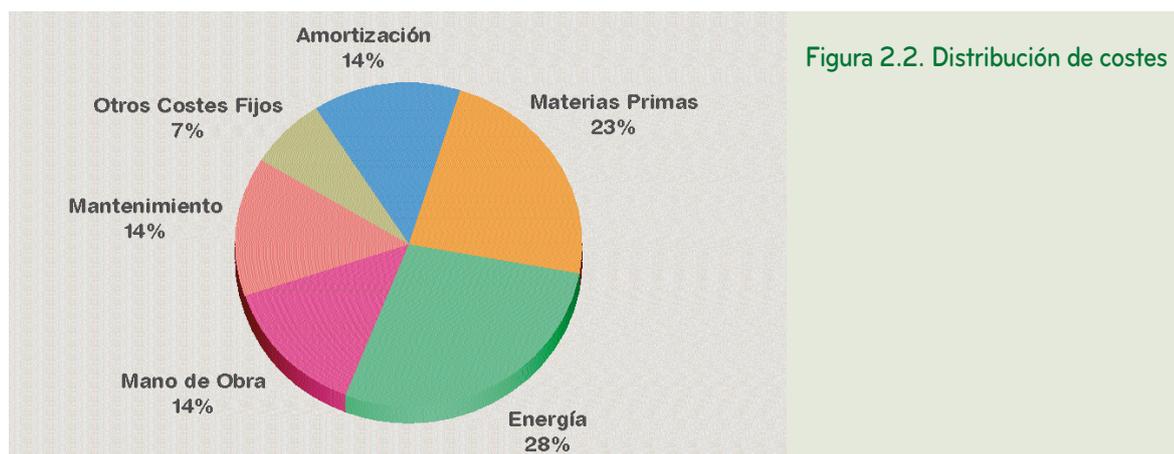


Figura 2.2. Distribución de costes

Tabla 2.1. Producción de cemento por tipos

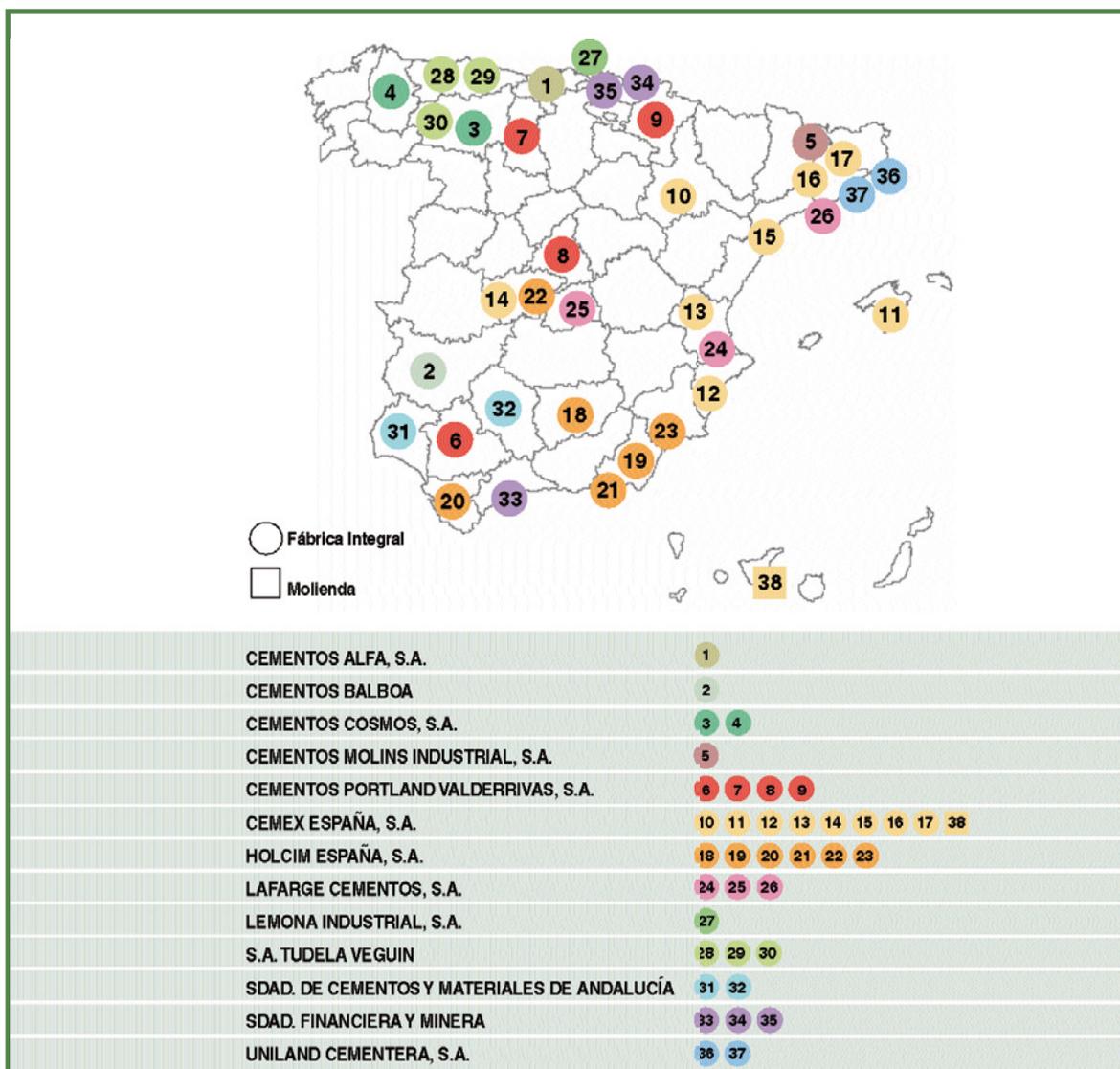
| TIPO DE CEMENTO      |   | PRODUCCION DE CEMENTO |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|----------------------|---|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                      | TIPO  | 2000                  | 2001              | 2002              | 2003              | 2004              | 2005              | 2006              |
| BLANCO               | TIPO I y OTROS                                  | 385.994               | 361.433           | 338.323           | 339.134           | 348.851           | 245.211           | 285.967           |
|                      | TIPO II   | 705.713               | 838.557           | 913.529           | 931.875           | 1.028.561         | 1.110.112         | 1.213.658         |
| <b>TOTAL BLANCO</b>  |   | <b>1.091.707</b>      | <b>1.199.990</b>  | <b>1.251.852</b>  | <b>1.271.009</b>  | <b>1.377.412</b>  | <b>1.355.323</b>  | <b>1.499.625</b>  |
| GRIS                 | TIPO I CEM I                                    | 10.218.578            | 9.288.900         | 9.416.301         | 10.067.155        | 9.431.419         | 9.612.908         | 10.008.823        |
|                      | TIPO II CEM II/A-M                              | 1.948.696             | 2.713.858         | 2.979.560         | 3.546.869         | 3.589.948         | 4.882.901         | 5.199.949         |
|                      | CEM II/B-M                                      | 3.988.062             | 3.856.334         | 4.207.069         | 4.634.542         | 5.628.598         | 6.966.853         | 7.250.861         |
|                      | CEM II/A-L y CEM II/A-LL                        | 6.825.703             | 6.780.647         | 6.158.728         | 5.150.491         | 2.612.618         | 1.969.952         | 3.143.516         |
|                      | CEM II/B-L y CEM II/B-LL                        |                       |                   | 208.479           | 926.752           | 1.318.977         | 1.688.082         | 1.653.809         |
|                      | CEM II/A-V                                      | 5.592.307             | 7.036.474         | 7.787.924         | 8.999.343         | 10.548.206        | 9.742.598         | 9.277.412         |
|                      | CEM II/B-V                                      | 1.966.903             | 2.568.245         | 2.904.871         | 2.352.371         | 1.911.665         | 1.726.042         | 1.510.514         |
|                      | CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-P y CEM II/B-P | 3.394.674             | 3.675.639         | 3.631.689         | 2.416.337         | 3.357.466         | 3.456.603         | 4.282.839         |
|                      | TIPO III  | 181.643               | 231.245           | 404.967           | 622.270           | 828.149           | 1.159.355         | 1.281.525         |
|                      | TIPO IV y V CEM IV/A, CEM IV/B y CEM V/A        | 1.811.095             | 1.814.084         | 1.596.106         | 2.087.259         | 2.440.447         | 2.388.503         | 2.267.975         |
| TIPO VI, CAC y OTROS | 84.868  | 62.826                | 62.648            | 42.915            | 104.332           | 98.038            | 91.122            |                   |
| <b>TOTAL GRIS</b>    |   | <b>36.012.529</b>     | <b>38.028.252</b> | <b>39.358.342</b> | <b>40.846.304</b> | <b>41.771.825</b> | <b>43.691.835</b> | <b>45.968.345</b> |
| <b>TOTAL</b>         |   | <b>37.104.236</b>     | <b>39.228.242</b> | <b>40.610.194</b> | <b>42.117.313</b> | <b>43.149.237</b> | <b>45.047.158</b> | <b>47.467.970</b> |

| TIPO DE CLINKER |  | PRODUCCION DE CLINKER |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-----------------|--|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                 |  | 2000                  | 2001              | 2002              | 2003              | 2004              | 2005              | 2006              |
| Blanco          |  | 920.144               | 995.151           | 1.017.055         | 1.043.210         | 1.091.050         | 1.137.977         | 1.149.895         |
| Gris            |  | 26.920.355            | 27.387.399        | 28.340.541        | 29.273.436        | 29.706.952        | 30.604.525        | 30.928.168        |
| <b>TOTAL</b>    |  | <b>27.840.499</b>     | <b>28.382.550</b> | <b>29.357.596</b> | <b>30.316.646</b> | <b>30.798.002</b> | <b>31.742.502</b> | <b>32.078.063</b> |



Figura 2.3. Panorámica fábrica de cemento

Los fabricantes de cemento de España han incrementado progresivamente la producción de cemento por hombre/año desde 0,619t en los años 1970 a 1,278t en 2006. Este incremento en la productividad es el resultado de la incorporación progresiva de equipos de producción de gran tamaño muy automatizados. Estas instalaciones continúan requiriendo gran cantidad de personal, pero más altamente cualificado.



El personal propio empleado por la industria española del cemento en 2005 alcanzó los 7.200 trabajadores, estimándose el empleo indirecto generado en unos 28.000 trabajadores.

El sector cementero es muy intensivo en energía debido a la naturaleza del producto fabricado. Durante el año 2006 se ha continuado con las inversiones en los equipos para disminuir el gasto energético, tanto eléctrico como térmico, del proceso de fabricación. Asociado al incremento de producción desde ese mismo año, se ha elevado el consumo eléctrico, que ha superado los 4.588 GWh. La mayor parte de estos consumos se producen en las operaciones de molienda de materias primas, combustibles y clínker.

Tabla 2.2. Consumo eléctrico de las fábricas de cemento de las empresas asociadas a Oficemen

| Año | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| GWh | 3.748 | 3.978 | 4.087 | 4.214 | 4.292 | 4.424 | 4.588 |

Las fábricas de cemento aportan al sistema eléctrico una importante capacidad de gestión de la demanda debida a tres características principales:

- 1) Las inversiones en sobrecapacidad de molienda y almacenamiento.
- 2) La gestión de la producción en noches, fines de semana y festivos, lo que permite suavizar la curva de carga diaria del sistema eléctrico, ahorrándole nuevas inversiones en generación y transporte.
- 3) Su condición de interrumpibles en momentos puntuales de difícil operación del sistema eléctrico.

En el proceso de formación del clínker es esencial mantener las temperaturas del material en el horno entre los 1400-1500°C, que se corresponden con unas temperaturas de llama del quemador principal de alrededor de los 2000°C. El consumo energético en la fabricación de clínker está relacionado con la humedad de las materias primas y con la dificultad para completar las reacciones químicas en la formación del clínker.

La mayor parte del consumo energético para la fabricación de cemento se concentra en la cocción de las materias primas en el horno. Esta operación emplea cerca del 90% de la energía total utilizada en la fábrica. Para ser más explícito, el sector cementero español ha consumido en 2006 unos 2.75 millones de toneladas equivalentes de petróleo (en adelante tep).

Una característica importante durante el año 2006 es que ha aumentado alrededor de 46.000 toneladas la cantidad de residuos empleados por el sector en sustitución de combustibles fósiles, consumiendo unas 296.000 t de residuos. La recuperación de estos recursos combustibles evitó el consumo de 155.559 toneladas de petróleo equivalente (tep) y su correspondiente transporte a España.

Las fábricas de cemento presentan grandes posibilidades para aprovechar parte de los residuos minerales generados por otros procesos industriales. Esto se debe a que éstos residuos tienen una composición similar a la de sus materias primas. En ese caso, éstos se emplean en la preparación inicial del crudo.

Otros residuos mejoran las prestaciones de los cementos y se pueden añadir como adiciones en la molienda del clínker junto con otros minerales para dar lugar al cemento.

De los 59,17 millones de toneladas de materias primas que se consumieron en el año 2006 para fabricar cemento, 5,83 millones procedían de residuos o subproductos industriales, con lo que se evitó el vertido de cerca de 90 estadios de fútbol llenos de residuos. En concreto se emplearon escorias, cascarilla de hierro, cenizas de pirita, lodos de papelera, arenas de fundición, etc., como componentes del crudo, y cenizas volantes y escoria de horno alto, como adiciones.

En la siguiente tabla de consumo de materias primas, se puede observar cual ha sido la evolución creciente del reciclado en el sector:

| Año                                   | 2000              | 2001              | 2002              | 2003              | 2004              | 2005              | 2006              |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>MATERIAS PRIMAS NATURALES (t)</b>  |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| MINERAL DE YESO Y ANHIDRITA           | 1.697.621         | 1.840.056         | 1.964.676         | 1.623.959         | 1.728.253         | 1.912.167         | 2.037.476         |
| ARCILLAS                              | 2.106.829         | 2.663.569         | 3.098.731         | 3.338.703         | 3.132.219         | 2.963.019         | 2.943.592         |
| ARENA                                 | 41.834            | 63.253            | 66.004            | 670.372           | 534.617           | 592.887           | 538.126           |
| ARENISCA                              | 803.881           | 636.793           | 783.795           | 237.455           | 187.242           | 202.128           | 283.271           |
| BAUXITA                               | 14.059            | 29.655            | 24.284            | 25.197            | 69.331            | 67.855            | 40.795            |
| CALIZA                                | 30.555.602        | 31.456.404        | 32.010.849        | 31.677.180        | 34.133.061        | 33.800.585        | 33.482.565        |
| CAOLIN Y ARCILLAS CAOLINICAS          | 153.504           | 145.660           | 149.756           | 370.500           | 736.316           | 290.620           | 230.808           |
| FILLER CALIZO                         | 33.299            | 26.459            | 13.697            | 1.211.214         | 1.099.113         | 1.080.429         | 1.319.512         |
| HIERRO                                | 12.181            | 23.034            | 39.753            | 77.831            | 61.437            | 59.956            | 73.872            |
| KIESELGURH                            | 7.700             | 202.260           | 246.567           | 213.543           | 240.450           | 297.384           | 285.363           |
| LIMONITA                              | 67.966            | 70.351            | 68.994            | 264.637           | 161.236           | 218.691           | 209.169           |
| MARGA                                 | 9.362.507         | 9.497.342         | 9.310.392         | 9.796.405         | 10.271.536        | 10.014.650        | 10.179.971        |
| PIRITAS                               | 319.069           | 326.071           | 288.901           | 234.660           | 206.338           | 206.405           | 169.522           |
| PIZARRAS                              | 390.670           | 365.869           | 407.485           | 502.143           | 391.872           | 334.015           | 489.358           |
| PUZOLANAS                             | 946.696           | 980.118           | 863.997           | 773.319           | 804.666           | 898.948           | 1.037.628         |
| SILICE                                | 116.766           | 7.843             | 6.223             | 1.071             | 3.072             | 6.050             |                   |
| OTRAS                                 | 30.633            | 28.110            | 44.066            | 28.293            | 8.225             | 5.652             |                   |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>46.660.817</b> | <b>48.362.847</b> | <b>49.388.170</b> | <b>51.046.482</b> | <b>53.768.984</b> | <b>52.951.441</b> | <b>53.333.246</b> |
| <b>MATERIAS PRIMAS RECICLADAS (t)</b> |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| BARROS CARBONATO                      | 30.851            | 42.472            | 44.008            | 28.471            | 28.805            | 46.096            | 40.795            |
| BORRA                                 | 20.320            | 25.290            | 25.374            | 23.527            | 21.212            | 22.122            |                   |
| CASCARILLA HIERRO                     | 75.072            | 37.375            | 63.771            | 81.296            | 69.365            | 68.608            | 74.315            |
| GENIZAS                               | 2.313.875         | 2.627.593         | 3.004.254         | 3.218.882         | 3.452.369         | 3.444.422         | 3.247.835         |
| ESCOMBRO                              |                   |                   |                   |                   | 962               | 24.625            | 6.761             |
| ESCORIAS                              | 522.494           | 448.651           | 351.220           | 489.971           | 831.273           | 1.725.689         | 1.851.258         |
| ESPUMA AZUC.                          | 27.250            | 7.490             | 78.605            | 114.179           | 98.468            | 52.971            | 40.320            |
| ESTERILES                             | 126.895           | 135.425           | 87.717            | 135.187           | 78.516            | 78.001            | 81.702            |
| POLVO DE MARMOL                       | 2.617             | 1.437             | 2.343             | 3.653             | 11.997            | 10.408            | 21.392            |
| POLVO RESIDUO                         | 11.388            | 21.126            | 22.303            | 22.773            | 21.429            | 19.653            | 32.596            |
| SULFATO FERROSO                       |                   |                   |                   | 106.530           | 24.239            | 41.340            | 45.811            |
| YESO ARTIFICIAL                       |                   |                   |                   | 282.753           | 309.594           | 291.044           | 274.379           |
| OTRAS                                 | 44.114            | 35.067            | 724.654           | 41.331            | 107.389           | 108.335           | 117.734           |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>3.174.876</b>  | <b>3.381.926</b>  | <b>4.404.249</b>  | <b>4.548.553</b>  | <b>5.055.618</b>  | <b>5.933.314</b>  | <b>5.834.898</b>  |

Este reciclaje evitó además la explotación de recursos naturales equivalente a más de cuatro años de explotación de una cantera tipo, y el consumo de más de 380.000 toneladas equivalentes de petróleo, ahorrando las emisiones de, entre otros gases, más de 4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

En las siguientes tablas aparecen reflejados los consumos de combustibles sólidos, líquidos así como la evolución del uso de combustibles alternativos.

| LÍQUIDOS                                       | 2000          | 2001          | 2002          | 2003          | 2004          | 2005          | 2006          |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>LÍQUIDOS FÓSILES</b>                        |               |               |               |               |               |               |               |
| FUEL OIL (t)                                   | 65.725        | 67.325        | 52.725        | 44.286        | 47.058        | 52.603        | 53.814        |
| GAS NATURAL (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )  | 5.516.866     | 6.656.852     | 6.343.945     | 5.156.295     | 5.852.328     | 6.676.051     | 5.209.795     |
| GASÓLEO (l)                                    | 5.800.925     | 5.996.356     | 5.677.627     | 6.043.521     | 5.524.274     | 4.286.104     | 4.311.515     |
| <b>LÍQUIDOS ALTERNATIVOS</b>                   |               |               |               |               |               |               |               |
| ACEITES USADOS Y ASIMILABLES (t)               | 8.825         | 4.574         | 4.216         | 15.329        | 31.623        | 29.853        | 26.019        |
| DISOLVENTES, BARNICES, PINTURAS Y SIMILARES(t) | 10.415        | 9.428         | 8.987         | 19.185        | 19.954        | 32.730        | 32.676        |
| GRASAS ANIMALES (t)                            |               |               | 380           | 2.227         |               | 1.990         | 112           |
| LÍQUIDOS ALTERNATIVOS (t)                      | 10.415        | 9.428         | 8.987         |               |               |               |               |
| OTROS (t)                                      |               |               |               | 4.992         | 1.554         | 224           | 4.449         |
| RESIDUOS INDUSTRIALES PETRÓLEO (t)             |               |               |               | 744           |               | 5.951         | 9.334         |
| <b>TOTAL (t)</b>                               | <b>19.240</b> | <b>14.002</b> | <b>13.583</b> | <b>42.477</b> | <b>53.131</b> | <b>70.748</b> | <b>72.590</b> |

| LÍQUIDOS   | 2000             | 2001             | 2002             | 2003             | 2004             | 2005             | 2006             |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>SÓLIDOS FÓSILES</b>                           |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| ANTRACITA (t)                                    | 10.192           |                  | 2.759            | 8.069            |                  |                  |                  |
| COQUE (t)  | 2.778.767        | 2.908.115        | 3.070.990        | 3.219.765        | 3.272.082        | 3.214.747        | 3.144.065        |
| HULLA (t)  | 299.654          | 298.583          | 243.329          | 221.255          | 162.733          | 175.499          | 219.504          |
| <b>TOTAL (t)</b>                                 | <b>3.088.613</b> | <b>3.206.698</b> | <b>3.317.078</b> | <b>3.449.089</b> | <b>3.434.815</b> | <b>3.390.246</b> | <b>3.363.569</b> |
| <b>SÓLIDOS ALTERNATIVOS</b>                      |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| LODOS DEPURADORA (t)                             |                  |                  |                  | 67               | 5.584            | 21.531           | 9.647            |
| CELULOSA (t)                                     |                  | 737              | 711              | 763              | 732              | 10.425           | 16.459           |
| HARINAS CÁRNICAS (t)                             |                  | 9.052            | 21.551           | 41.222           | 56.630           | 66.849           | 88.796           |
| MADERA -ASTILLAS (t)                             | 1.832            | 2.428            | 1.494            | 1.115            | 5                | 7.816            | 11.097           |
| NEUMÁTICOS (t)                                   | 12.900           | 16.777           | 30.019           | 35.475           | 39.643           | 48.447           | 42.006           |
| OTROS COMBUSTIBLES (t)<br>(cook tradebe y otros) |                  | 100              |                  | 17.103           | 136              | 4.089            | 14.226           |
| PLÁSTICOS (t)                                    |                  |                  |                  | 169              | 1.459            | 2.862            | 5.141            |
| SERRÍN (t)                                       | 5.367            | 3.029            | 2.339            | 3.326            | 13.402           | 23.228           | 35.644           |
| <b>TOTAL (t)</b>                                 | <b>20.099</b>    | <b>32.123</b>    | <b>56.114</b>    | <b>99.240</b>    | <b>117.591</b>   | <b>185.247</b>   | <b>223.016</b>   |

En lo referente a las emisiones, las principales fuentes de partículas por chimenea (fuentes localizadas o puntuales) son los hornos, los molinos de crudo, los enfriadores de clínker y los molinos de cemento. En todos estos procesos circulan grandes volúmenes de gases cargados de partículas que deben ser desempolvados. El diseño y la fiabilidad de los precipitadores electrostáticos modernos y de los filtros de mangas aseguran que las partículas emitidas se puedan reducir a niveles no significativos. Incluso se ha podido lograr en algunas instalaciones niveles de emisiones en el entorno de 10mg/m<sup>3</sup>.

En el proceso de fabricación de cemento se generan cantidades reducidas de residuos. Los generados durante la fabricación del clínker consisten básicamente en materiales fuera de especificaciones y partículas provenientes del by-pass o del filtro, que no pueden ser recirculados al proceso.

Además de los residuos propiamente asociados a la fabricación de clínker y cemento, se generan pequeñas cantidades de residuos provenientes de la operación y mantenimiento de equipos mecánicos y eléctricos:

- Aceites usados y grasas de lubricación.
- Líquidos dieléctricos de transformadores eléctricos.
- Otros líquidos.

Los residuos peligrosos (RP's) deben ser convenientemente recogidos, almacenados, etiquetados, y entregados a los denominados gestores autorizados de residuos peligrosos.

Las líneas básicas para una gestión adecuada de los residuos generados en las fábricas de cemento deben comprender las siguientes prácticas:

Caracterización de los residuos para determinar su peligrosidad.

Estudio del origen de los residuos y de las posibilidades de evitar o reducir su generación.

Selección y segregación en origen de los residuos.

Fomento del reciclado y la reutilización de los residuos no peligrosos en la propia fábrica o entregarlos a gestores que realicen estas prácticas.

Protección de los sistemas de almacenamiento y manipulación de residuos peligrosos, de forma que se minimice el riesgo de contaminación accidental de suelos y aguas.

En el proceso de fabricación del cemento no se producen efluentes líquidos salvo en operaciones de mantenimiento por cambio de fluidos. Dichos fluidos son almacenados convenientemente para su posterior eliminación de acuerdo con la legislación medioambiental existente.



## 3. Proceso de Fabricación del Cemento

La fabricación del cemento es una actividad industrial de procesamiento de minerales que se divide en cuatro etapas básicas:

1. Obtención de materias primas.
2. Fabricación del clínker.
3. Molienda de cemento.
4. Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento.

### 3.1. Obtención de materias primas.

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada de óxidos metálicos para la producción de clínker.



Figura 3.1. Frente de cantera



Figura 3.2. Carga de caliza



Figura 3.3. Instalación primaria



Figura 3.4. Machacadora

La extracción se realiza, generalmente, en bancos y frentes de 10 a 20 metros de altura, diseñados de tal manera que permitan un acceso fácil a los equipos de carga, a los camiones volquete o la instalación de cintas transportadoras. Las masas rocosas son fragmentadas mediante diversas técnicas, entre las que destacan la perforación y voladura controlada. Posteriormente, se retira del frente de extracción el material arrancado.

En algunos casos la roca es sometida a un proceso de trituración y clasificación mediante cribado en la propia explotación. La industria extractiva ha adquirido un alto grado de capacidad técnica para obtener áridos con características determinadas, en función de su tamaño, forma o pureza, lo que es importante para obtener productos de calidad.

El clínker se compone de los siguientes óxidos (datos en %).

Tabla 3.1. Composición del clínker

| ÓXIDO   | PORCENTAJE (%) |
|---|----------------|
| Óxido de Calcio "cal" (CaO)                                   | 60 - 69        |
| Óxido de Silicio "sílice" (SiO <sub>2</sub> )                 | 18 - 24        |
| Óxido de Aluminio "alúmina" (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 4 - 8          |
| Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )             | 1 - 8          |

La obtención de la proporción adecuada de los distintos óxidos se realiza mediante la dosificación de los minerales de partida:

- Caliza y marga para el aporte de CaO.
- Arcilla y pizarras para el aporte del resto de óxidos.
- Otros: barros, carbonato, cascarilla de hierro, escombros, estériles, polvo de mármol ...

Las materias primas son transportadas a la fábrica de cemento bien mediante un sistema de cintas, bien mediante camiones, donde son descargadas para su almacenamiento.

La prehomogenización, realizada mediante diseños adecuados del apilamiento y la extracción de los materiales en el proceso de almacenaje, reduce la variabilidad del crudo. Los estudios de composición de los materiales en las distintas zonas de cantera y los análisis que se realizan en la fábrica permiten dosificar la mezcla de materias primas para obtener la composición deseada.



Figura 3.5. Parque de homogeneización

### 3.2. Fabricación del clínker.

Para lograr un crudo de composición química homogénea es de gran importancia que las materias primas que alimentan el molino se pesen, analicen y dosifiquen con la mayor exactitud posible. Esto es esencial para conseguir un buen funcionamiento del horno y para obtener un clínker de alta calidad. La medición y dosificación también son factores importantes de cara a la eficiencia energética del sistema de molienda.

El equipo más común de pesaje y dosificación usado en la alimentación de materias primas a los molinos consta de:

- Tolvas intermedias por producto, llenadas desde el parque de materias primas o por alimentación exterior.
- Básculas dosificadoras para la extracción de las tolvas.
- Un alimentador de banda para introducir el material al molino.

Las materias primas, en proporciones controladas, se muelen y posteriormente se combinan para formar una mezcla homogénea con la composición química requerida. Para los sistemas de horno seco y semiseco, los componentes de las materias primas se muelen y se secan hasta lograr un polvo fino, haciendo uso principalmente de los gases calientes de salida del horno y/o del aire de salida del enfria-

dor de clínker. Para las materias primas con alto contenido de humedad, y en los procesos de arranque, puede necesitarse un hogar auxiliar para proporcionar calor adicional.

Los sistemas más usuales de molienda en seco son:

- Molino de bolas con descarga central.
- Molino de bolas barrido por aire.
- Molino vertical de rodillos.
- Molino horizontal de rodillos (en pocas instalaciones hasta ahora).

Otros sistemas de molienda, menos empleados son:

- Molino de bolas con descarga final en circuito cerrado.
- Molino en circuito abierto.
- Prensa de rodillos, con o sin secador triturador.

La finura y la distribución granulométrica de las partículas de crudo que salen del sistema de molienda son vitales para el proceso de calcinación. El patrón fijado para estos parámetros se alcanza mediante el ajuste del separador empleado para la clasificación del producto que sale del molino. En la molienda de vía seca se emplean separadores de aire.



Figura 3.6.  
Molino de bolas

En los hornos de vía húmeda o semihúmeda los componentes de las materias primas se muelen junto con agua añadida formando una pasta. Para lograr la finura requerida que cumpla con las demandas de calidad suelen utilizarse los sistemas de molienda en circuito cerrado.

La pasta que sale del proceso de molienda requiere posteriormente una mezcla y homogeneización para conseguir la óptima composición del crudo, antes de ser enviado al horno. La pasta se almacena en balsas, tanques o silos.

### 3.2.1. Proceso de fabricación

En función de cómo se procesa el material antes de su entrada en el horno de clínker, se distinguen cuatro tipos de proceso de fabricación:

- Vía seca.
- Vía húmeda.
- Vía semi-seca y vía semi-húmeda.

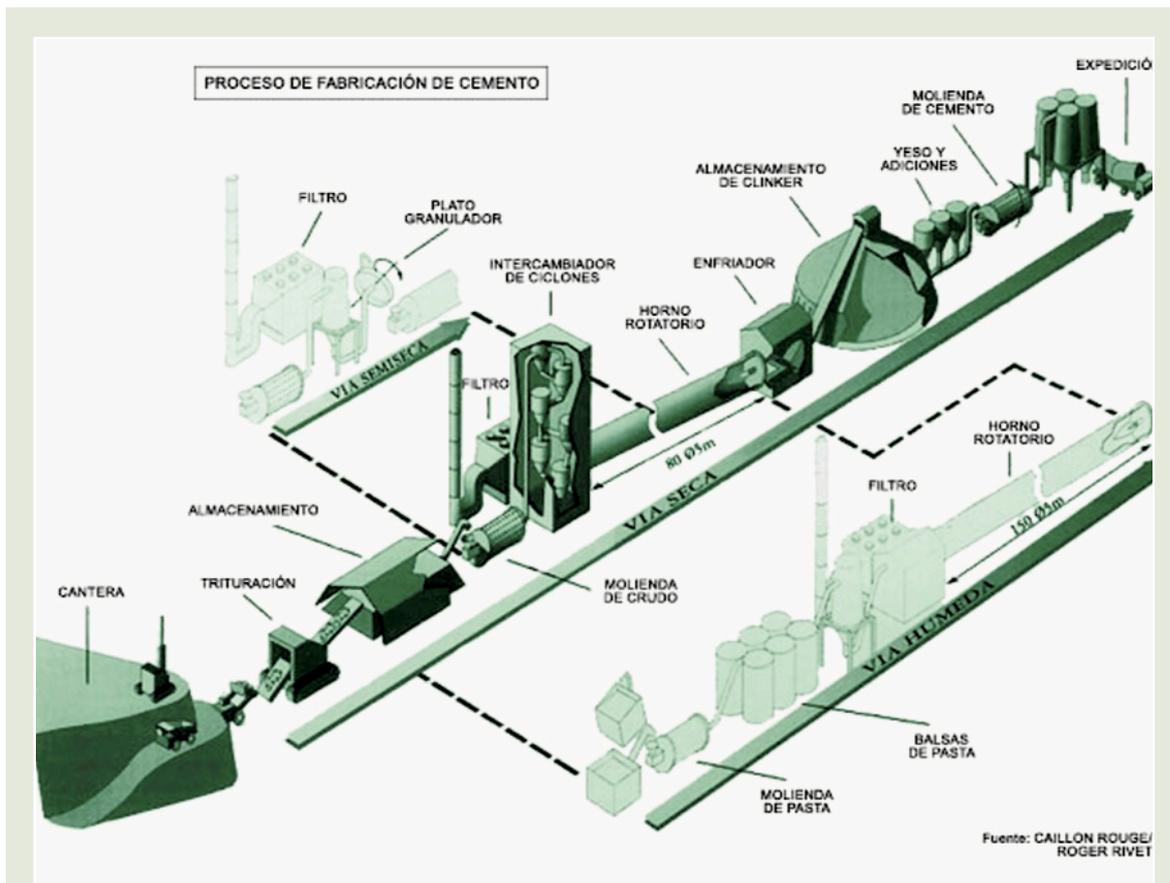


Figura 3.7. Proceso de fabricación del cemento

La tecnología que se aplica depende, fundamentalmente, del origen de las materias primas. El tipo de caliza y de arcilla y el contenido en agua (desde el 3% para calizas duras hasta el 20 % para algunas margas) son los factores decisivos.

En la actualidad, en torno al 97% de la producción de cemento de España se realiza en hornos de vía seca, cerca del 2,5% en hornos de vía semi-seca y sólo un 0,5% de la producción se realiza mediante vía húmeda.

### 3.2.1.A. Proceso de vía seca

La materia prima se introduce en el horno en forma seca y pulverulenta.

El sistema del horno comprende una torre de ciclones para intercambio de calor en la que se precalienta el material en contacto con los gases procedentes del horno.

El proceso de descarbonatación de la caliza (calcinación) puede estar casi completado antes de la entrada del material en el horno si se instala una cámara de combustión a la que se añade parte del combustible (precalcinador).



Figura 3.8. Horno y torre de ciclones

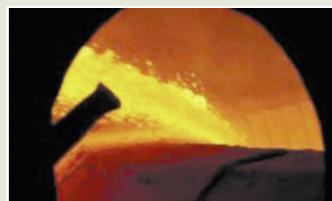


Figura 3.9. Vista interior de horno

### 3.2.1.B. Proceso de vía húmeda

Este proceso es utilizado normalmente para materias primas de alto contenido en humedad.

El material de alimentación se prepara mediante molienda conjunta con agua, resultando una pasta con contenido de agua de un 30-40%. En algunos casos los materiales pasan previamente por un desecador. Este proceso utiliza aproximadamente un 40% más de energía que el seco.

### 3.2.1.C Procesos de vía semi-seca y semi-húmeda

El material de alimentación se consigue añadiendo o eliminando agua al material obtenido en la molienda de crudo, respectivamente.

Se obtienen "pellets" o gránulos con un 15-20% de humedad que son depositados en parrillas móviles a través de las cuales se hacen circular gases calientes provenientes del horno. Cuando el material alcanza la entrada del horno, el agua se ha evaporado y la cocción ha comenzado.

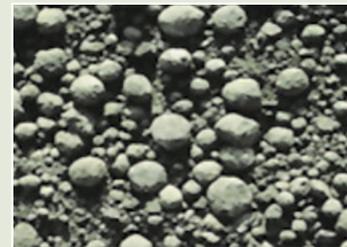
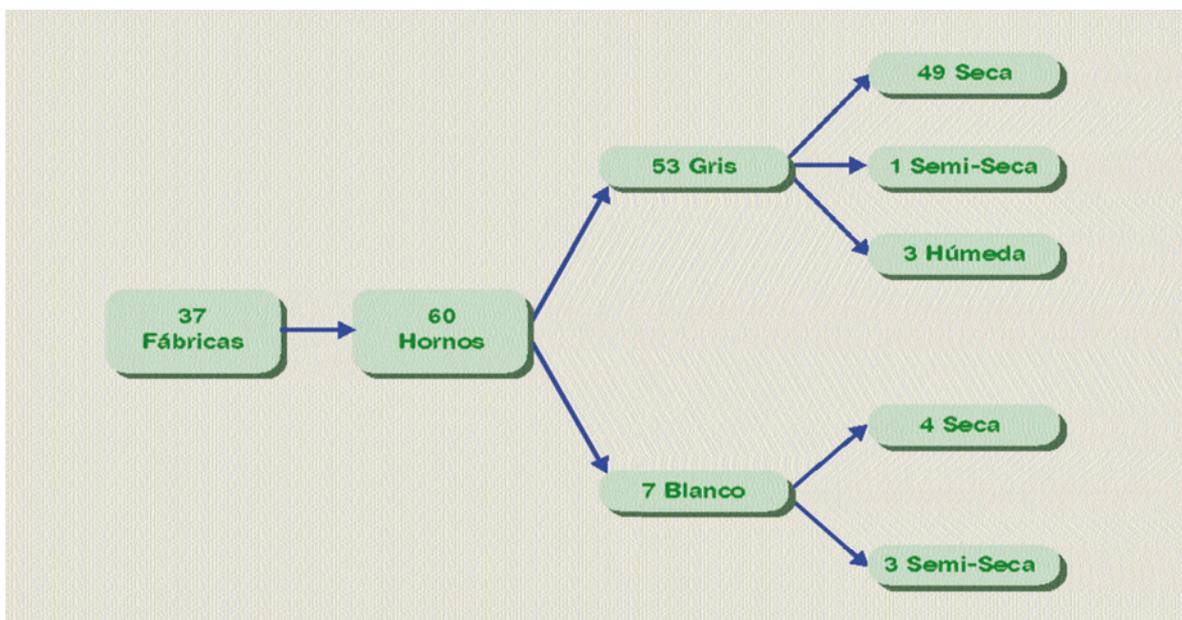


Figura 3.10. Pellets

En este gráfico aparece la distribución de las fábricas integrales de cemento que existen en España, con sus respectivos hornos y la tecnología que emplean.



### 3.2.2. El horno de clínker

En el proceso de formación del clínker (también llamado clinkerización o sinterización) es esencial mantener las temperaturas del material en el horno entre 1.400-1.500°C, que se corresponden con unas temperaturas de llama de cerca de 2.000°C.

La reacción de clinkerización se realiza bajo condiciones oxidantes. Por lo tanto, se requiere un exceso de aire en la zona de sinterización del horno. La fabricación de clínker blanco presenta excepciones a las dos características anteriormente mencionadas. Por una parte, las materias primas no contienen fundentes, ya que éstos podrían aportar coloración al producto final. Esto hace que las temperaturas estén en torno a los 1.600 °C, lo que exige un calor de llama mayor a los 2.000 °C. Por otra parte, en algunos casos es necesario trabajar en condiciones reductoras, lo que incrementa el consumo energético.

Desde su introducción, alrededor de 1895, el horno rotatorio ha llegado a ser la parte central de todas las instalaciones modernas de producción. El horno vertical se emplea todavía para la producción de cal, pero sólo en muy pocos países está en uso para la producción de clínker de cemento y, en estos casos, en plantas de pequeña escala.

El horno rotativo consta de un tubo de acero con una relación de longitud a diámetro de entre 10:1 y 38:1. El tubo es soportado por dos a siete estaciones de apoyo, tiene una inclinación de 2,5 a 4,5% y una velocidad de rotación de 0,5 a 4,5 revoluciones por minuto. La combinación de la inclinación del tubo y la rotación causa que el material discurra lentamente a lo largo de él. Para proteger la chapa de las altas temperaturas, el horno rotativo se forra completamente con ladrillos refractarios. Los hornos largos de vía húmeda están equipados con aditamentos internos como las cadenas, para mejorar la transferencia térmica.

Puede haber obstrucciones transitorias de material alrededor de la superficie interior del horno, dependiendo del proceso y de las materias primas. Estas obstrucciones se conocen como anillos y pueden darse en la zona de entrada del material al horno, cerca del área de clinkerización, o en la franja de salida del clínker. Los últimos dos tipos pueden romperse de repente y causar una avalancha de material mal cocido, que normalmente puede ser reprocesado. Los ciclones de las torres de precalentamiento y las parrillas de los hornos con precalentador pueden estar sujetos también a obstrucciones de material que pueden dar lugar a taponamientos.

El combustible introducido a través del quemador principal produce la llama principal con unas temperaturas de alrededor de 2.000°C. Por razones de optimización del proceso, la llama tiene que ajustarse dentro de ciertos límites. En los quemadores modernos, el tamaño de la llama se regula el calibrado del aire primario (10-15% del total del aire de combustión) y secundario.

Los puntos potenciales de alimentación de combustible al horno son:

- ▲ Quemador principal, situado en el extremo de salida del horno rotativo.
- ▲ Quemadores secundarios en el conducto de entrada al horno.
- ▲ Quemadores del precalcinador en hornos con precalcinador.
- ▲ Tolva de alimentación al precalcinador (para combustible no pulverizado).
- ▲ Válvula de alimentación situada en la mitad del horno en el caso de hornos largos (para combustibles no pulverizados).

### 3.2.2.A. Hornos rotativos largos

Los hornos rotativos largos se pueden alimentar con pasta, tortas de filtrado molidas, nódulos o crudo seco y, por ello, son aptos para todos los tipos de proceso. Los hornos largos más grandes tienen una relación longitud a diámetro de 38:1 y pueden tener más de 200 metros de longitud. Estas enormes unidades producen alrededor de 3.600 toneladas/día empleando el proceso húmedo (Bélgica, USA, países del Este de Europa). Los hornos rotativos largos están diseñados para secar, precalentar, calcinar y clinkerizar, de tal manera que sólo se completan con el sistema de alimentación y el enfriador. La primera parte de los hornos largos va equipada con pantallas de cadenas para mejorar la transferencia térmica.

Los hornos de proceso húmedo, empleados desde 1895, son los tipos más antiguos de hornos rotativos empleados en la producción de clínker de cemento. Este tipo de hornos se empleó inicialmente con materias primas húmedas, más fáciles de homogeneizar en dilución con agua. La alimentación típica del horno húmedo contiene de 32 a 40% de agua, necesaria para mantener su fluidez. Este agua tiene que ser evaporada en la zona de secado, diseñada especialmente en la sección de entrada del horno, en donde se consume una porción significativa de calor consumido en el horno. Esta tecnología tiene un consumo específico de calor superior a la vía seca, lo que conlleva a una mayor emisión de gases de combustión y de vapor de agua.

### 3.2.2.B. Hornos rotativos equipados con precalentadores

Los hornos rotativos equipados con precalentadores tienen una relación típica de longitud a diámetro de entre 10:1 y 17:1. Hay tres tipos de precalentadores: de parrilla, de suspensión y de cuatro etapas de ciclones.

#### ● Precalentador de parrilla

La tecnología del precalentador de parrilla, mejor conocido como horno Lepol, se inventó en 1928. Representa la primera instalación en que parte del proceso de cocción (la calcinación) tiene lugar en una instalación estacionaria fuera del horno. Permite que el horno rotativo sea más corto y reducir así la pérdida de calor e incrementar la eficiencia energética del total de la instalación.

En el precalentador de parrilla los gránulos hechos con harina cruda y agua en un plato granulador (proceso semiseco) o las tortas filtradas de lechada húmeda en un extrusor (proceso semihúmedo) se alimentan a una parrilla horizontal móvil que se desplaza a través de un túnel cerrado. Las placas de la parrilla permiten el paso de aire a través de las mismas. El túnel se divide en una cámara de gas caliente y una cámara de secado separadas por un tabique atravesado por la parrilla.

El gas de salida del horno rotativo, aspirado por un ventilador, pasa primeramente a través de las capas de gránulos en la cámara de gas caliente y luego a través de los ciclones del colector intermedio de polvo. En estos ciclones se eliminan las partículas grandes de polvo, que causarían desgastes en el ventilador. Un segundo ventilador dirige el gas a la parte superior de la cámara de secado, atravesando las capas húmedas de gránulos, y finalmente lo lleva al colector de polvo. Para conseguir una óptima eficacia térmica, los precalentadores de parrilla semihúmedos pueden equiparse con sistemas de triple paso de gas. El tamaño máximo de sistema de horno semihúmedo construido es de 3.300 toneladas/día.

El gas de salida del horno rotativo entra en el precalentador con una temperatura de 1.000-1.100°C. Mientras que fluye a través de las capas de material en la cámara de gas caliente, el gas de salida se enfría a 250 - 300°C, y sale de la cámara de secado a 90 - 150°C. El material al calentarse alcanza una temperatura de alrededor de 150°C en la cámara de secado y de 700-800°C en la cámara de calentamiento.

#### ● Precalentador de suspensión

La invención del precalentador de suspensión o intercambiador de calor de ciclones en los comienzos de los años 30 fue una gran innovación en el proceso cementero. El precalentamiento e incluso la calcinación parcial del crudo seco (procesos seco y semihúmedo) tiene lugar por el mantenimiento de la harina cruda en suspensión con los gases calientes de salida del horno rotativo.

Se pueden aplicar diversos sistemas de precalentador en suspensión. Generalmente tienen entre cuatro y seis etapas de ciclones, los cuales se colocan uno sobre otro en una torre de 50-120 metros de altura. La etapa mas alta puede llevar dos ciclones paralelos para separar mejor el polvo. Los gases de salida del horno rotativo fluyen a través de las etapas de ciclones desde la parte inferior a la superior. La mezcla de materias primas pulverulentas secas se añade al gas de salida antes de la última etapa superior de ciclones. Se separa del gas en los ciclones y se alimenta antes de la siguiente etapa de ciclones. Este procedimiento se repite en todas las etapas hasta que finalmente el material se descarga desde la última etapa en el horno rotativo. Esta alternancia de mezclado, separación y nuevo mezclado cada vez a temperaturas más altas permite la óptima transferencia térmica entre el calor de los gases de salida y la harina cruda.

Existen problemas con los precalentadores de suspensión en los casos en que las materias primas y/o el combustible contienen cantidades elevadas de materiales como cloruros, sulfatos y álcalis. Los ciclos altamente enriquecidos de estos elementos conducen a pegaduras en las paredes de los ciclones y conductos, que frecuentemente causan taponamientos con las consiguientes paradas del horno durante bastantes días. El desvío del gas del horno, es decir, la extracción de parte de la corriente de

gas que sale del horno, purgando con ello las corrientes circulantes de esos materiales es la solución empleada más frecuentemente para resolver el problema. Este gas desviado se enfría para condensar los álcalis y luego se trata en un colector de polvo antes de emitirlo a la atmósfera.

#### ● Precalentador de cuatro etapas de ciclones

El sistema de horno de precalentador de cuatro etapas de ciclones fue la tecnología estándar desde los años 70, época en que se construyeron gran número de plantas con un rango de 1.000 a 3.000 toneladas/día (en España existen muchas fábricas que datan de esa época).

El gas de salida después de la torre de ciclones, que tiene una temperatura de alrededor de 330 °C, se emplea generalmente para el secado de las materias primas y del combustible.

Cuando el crudo entra al horno rotativo, ya se ha completado alrededor del 30% de la calcinación.

Casi todos los precalentadores de suspensión de cuatro etapas trabajan adosados a hornos rotativos con tres apoyos. Los hornos, con diámetros de 3,5 a 6 metros, tienen relaciones de longitud a diámetro del rango de 13:1 a 16:1. Estos hornos, mecánicamente más sencillos que los hornos largos secos y húmedos, son los más empleados hoy día.

#### 3.2.2.C. Hornos rotativos con precalcinador

La técnica de la precalcación ha sido empleada en la industria del cemento desde 1970. En este procedimiento la quema del combustible se realiza en dos puntos.

La combustión primaria ocurre en la zona de salida del horno. La combustión secundaria tiene lugar en una cámara especial situada entre el horno rotativo y el precalentador. En esta cámara denominada calcinador o precalcinador se puede quemar hasta el 60% del combustible total del horno. Esta energía se emplea básicamente para calcinar la harina cruda, la cual está casi completamente calcinada cuando entra al horno. El aire caliente (opcional) para la combustión en el calcinador procede del enfriador. El material sale del calcinador a unos 870 °C.

El principio de la precalcación se puede aplicar en cierta medida a hornos con precalentador de parrilla, pero no se puede colocar un precalcinador en este tipo de hornos.

Para un tamaño determinado de horno rotativo la precalcación incrementa la capacidad de producción de clínker.

Cuando la humedad de las materias primas es baja, se pueden instalar torres de ciclones de seis etapas.

Actualmente, el sistema de horno de ciclones y precalcinador se considera la mejor tecnología disponible para las plantas con vía seca. En ellas el número de etapas del intercambiador de ciclones dependerá de la humedad de las materias primas, oscilando entre cuatro y seis.

Las plantas nuevas europeas, en las que se montan estos tipos de horno con precalentador de suspensión y precalcinador, suelen tener capacidades de entre 3.000 y 5.000 t/día, aunque excepcionalmente puede haber unidades de mayor capacidad (existe algún ejemplo en Polonia de 8.500 t/día y en Asia de 10.000 t/día).

#### 3.2.3. Enfriamiento del clínker

El enfriador de clínker es una parte integral del sistema del horno y tiene una decisiva influencia en el desarrollo y economía del rendimiento energético de la planta. El enfriador tiene dos tareas: recuperar el calor del clínker caliente tanto como sea posible (el clínker sale del horno con una temperatura de alrededor de los 1.450 °C) para devolverlo al proceso; y reducir la temperatura del clínker para consolidar sus propiedades mineralógicas.

El calor se recupera por el precalentamiento del aire empleado para la combustión en el quemador principal, tan cerca como sea posible del límite termodinámico. Sin embargo, esta recuperación se obstaculiza por circunstancias tales como las altas temperaturas, la extrema abrasividad del clínker y su amplio rango granulométrico.

Los enfriamientos rápidos son beneficiosos para el clínker, mejorando su molturabilidad y optimizando la reactividad del cemento.

Los problemas típicos de los enfriadores de clínker son: la expansión térmica, desgaste, flujos incorrectos de aire y el bajo rendimiento.

Hay dos tipos principales de enfriadores: rotativos y de parrilla. Existen otros enfriadores, como en el caso del clínker blanco, que difieren de los habituales por la necesidad de mantener las condiciones reductoras hasta los 600° para mantener el color del producto final.

### 3.2.3.A. Enfriadores rotativos

#### ● Enfriador tubular

El enfriador tubular emplea el mismo principio que el horno rotativo, pero con un intercambio de calor inverso. Se ubica a la salida del horno, a menudo en configuración invertida, es decir, debajo del horno se instala un segundo tubo rotativo con su propio accionamiento. Por ello, cuando sale del horno, el clínker pasa a una tolva de transición antes de entrar en el enfriador, que va equipado con placas volteadoras para dispersar el clínker en el flujo de aire.

El caudal del flujo de aire de enfriamiento se determina en función del aire requerido para la combustión del combustible. En el rendimiento del enfriador intervienen la velocidad de paso y el diseño interno del mismo. El diseño de los volteadores debe tener en cuenta el intercambio de calor y controlar el ciclo de retorno del polvo hacia el horno.

#### ● El enfriador planetario (o de satélites)

El enfriador planetario (o de satélites) es un tipo especial de enfriador rotativo. Consta de varios tubos, típicamente de 9 a 11, fijados al horno rotativo en el extremo de descarga. Los enfriadores van unidos al tubo del horno a lo largo de una circunferencia perimetral y el material pasa a ellos a través de aberturas situadas en el horno. La cantidad de aire de enfriamiento se determina por el oxígeno requerido para la combustión. Éste entra en cada uno de los tubos desde el extremo de la descarga, permitiendo el intercambio de calor a contracorriente. Al igual que en el enfriador tubular, los dispositivos internos

Figura 3.11. Enfriador de satélites



para el volteo y dispersión del clinker son esenciales. Este tipo de enfriador no presenta ningún parámetro operativo variable. El alto desgaste y el choque térmico, en conjunción con los ciclos de polvo dentro de los tubos, origina que el clinker salga con altas temperaturas por lo que el ratio de recuperación de calor es bajo. La temperatura de salida del clinker sólo puede reducirse por inyección de agua dentro de los tubos del enfriador o sobre la carcasa de los mismos.

Dado que es prácticamente imposible extraer aire terciario, el enfriador planetario no es apto para implantar una precalcinación. Sin embargo, es posible instalar un quemador auxiliar en la parte de entrada al horno, en la parte baja de la torre de precalentamiento. En este quemador secundario se puede llegar a quemar hasta un 25% del combustible (lo más normal es alrededor del 10%).

### 3.2.3.B. Enfriadores de parrilla

El intercambio en los enfriadores de parrilla se realiza por el paso de una corriente de aire ascendente a través de una capa de clinker (lecho de clinker) depositado sobre una parrilla permeable al aire. Los enfriadores se clasifican en función de la forma del transporte del clinker a lo largo de los mismos en: parrilla de movimiento deslizante y parrilla de vaivén.

El aire que no se utiliza en la combustión se emplea para propósitos de secado de, por ejemplo, materias primas, aditivos de cemento o carbón. Si no se usa para el secado, este aire tiene que ser desempolvado antes de emitirse a la atmósfera.

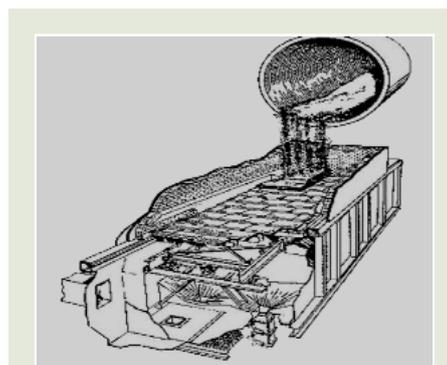


Figura 3.12. Enfriador de parrilla

#### ● Enfriadores de parrilla de movimiento deslizante

En este tipo de enfriadores el clinker se transporta a lo largo de una parrilla en movimiento. Esta parrilla tiene las mismas características de diseño que la parrilla del precalentador (Lepol). El aire de enfriamiento se insufla en compartimentos debajo de la parrilla, por medio de ventiladores. Las ventajas de este diseño son: una capa homogénea de clinker (sin escalones) y la posibilidad de cambiar placas sin parar el horno. Este diseño se dejó de emplear en las nuevas instalaciones a partir de 1980. Su complejidad mecánica y pobre recuperación debida al limitado espesor del lecho, generado por un cierre inefectivo entre la parrilla y las paredes, motivaron el desuso.

#### ● Enfriadores de parrilla de vaivén

**Convencional.** El transporte del clinker en el enfriador de parrilla de vaivén se efectúa por el empuje progresivo de los bordes de ataque de las filas de placas alternadas sobre el lecho del material. El movimiento relativo de los bordes de ataque se genera mediante accionamientos hidráulicos o mecánicos (cigüeñal) conectados a cada segunda fila. El clinker se desplaza desde el final de alimentación al final de descarga, pero la parrilla es fija.

Las placas de la parrilla se fabrican en acero moldeado resistente al calor. Son básicamente de 300 mm de ancho y van taladradas para permitir el paso del aire a través de ellas.

El aire de enfriamiento se insufla a través de compartimentos situados debajo de la parrilla por medio de ventiladores de 300 - 1.000 mm de presión de columna de agua. Estos compartimentos están separados unos de otros por tabiques para mantener el perfil de presión. Se pueden distinguir dos zonas de enfriamiento:

- La zona de recuperación. El aire de enfriamiento caliente producido en esa área se emplea para la combustión en el quemador principal (aire secundario) y en el precalcinador (aire terciario);
- La zona de enfriamiento posterior. El aire de enfriamiento adicional reduce el calor del clinker hasta temperaturas más bajas.

Las unidades más grandes en funcionamiento tienen una superficie activa de unos 280 m<sup>2</sup> y capacidad de enfriamiento de 10.000 t/día de clínker. Los problemas característicos de estos enfriadores son la segregación y distribución desigual del clínker, conduciendo al desequilibrio aire-clínker, fluidificación del clínker fino (río rojo) y también pegaduras (muñecos de nieve) y una baja duración de las placas.

**Modernos.** La introducción y desarrollo de la tecnología moderna de los enfriadores de parrilla de vaivén empezó alrededor de 1983. El diseño proponía eliminar los problemas de los enfriadores convencionales obteniendo un intercambio térmico más cercano al óptimo y también enfriadores más compactos, empleando menos aire de enfriamiento y sistemas de desempolvado más pequeños. Las características claves de la tecnología del enfriador moderno son (dependiendo del suministrador):

- Nuevos diseños de placas, fijas o móviles, con menor pérdida de carga, permeables al aire pero no al clínker.
- Aireación forzada de las placas.
- Zonas de aireación regulables individualmente.
- Entrada fija.
- Menor número de parrillas y más anchas.
- Machacadora de rodillos.
- Pantallas térmicas.

### 3.3. Molienda de cemento.

El proceso de fabricación de cemento termina con la molienda conjunta de clínker, yeso y otros materiales denominados "adiciones".

Los materiales utilizados, que están normalizados como adiciones, son entre otros:

- Yeso.
- Anhidrita.
- Escorias de horno alto.
- Humo de sílice.
- Puzolanas naturales.
- Cenizas volantes.
- Caliza.

En función de la composición, la resistencia y otras características adicionales, el cemento es clasificado en distintos tipos y clases. En ese sentido, tiene relevancia la molturabilidad, la humedad y la abrasión de sus componentes.

La exactitud y fiabilidad en el pesaje y dosificación de los componentes alimentados en el molino, es de gran importancia para conseguir y mantener una alta eficiencia energética de la molienda. Los equipos de pesaje y dosificación más utilizados son las básculas pesadoras de banda.

La molienda de cemento se realiza en equipos mecánicos en las que la mezcla de materiales es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas. Debido a la variedad de tipos de cemento requeridos por el mercado, predominan los sistemas de molienda de última generación equipados con separador dinámico de aire. Los sistemas de molienda más empleados son:

- Molino de bolas en circuito cerrado (el porcentaje de adiciones es bastante limitado, si no son secas o presecadas).
- Molino vertical de rodillos (mejor adaptado para porcentajes de adición más altos, debido a su capacidad de secado, y para la molienda separada de las adiciones).
- Prensa de rodillos (el porcentaje de adiciones es bastante limitado si no son secas o presecadas).



Figura 3.13. Molino vertical de rodillos



Figura 3.14. Molino de bolas cerrado

Otros sistemas de molienda son:

- Molino de bolas en circuito abierto.
- Molino de bolas en circuito cerrado con separador mecánico de aire o separador de aire de ciclones de antiguas generaciones.
- Molino horizontal de rodillo.

El principio de trabajo de los **molinos verticales** de rodillos se basa en la acción de 2 a 4 rodillos molidores, soportados en brazos articulados y montados sobre una mesa horizontal de molienda o pista de rodadura. Está especialmente indicado para el molido y secado simultáneo de materias primas para cemento o escoria, debido a que los molinos verticales de rodillos pueden manejar contenidos relativamente altos de humedad. El tiempo de permanencia del material en el molino es bastante corto para prevenir la prehidratación del clinker, por ejemplo en el caso de molienda de cemento con escorias.

La **prensa de rodillos** de alta presión requiere un alto grado de mantenimiento. Las prensas horizontales de rodillos se emplean muy a menudo en serie con los molinos de bolas. Un desarrollo más reciente de la molienda de cemento es el molino de rodillo horizontal. Éste consta de una carcasa anular de gran diámetro y corta longitud soportado sobre rodamientos hidrostáticos o hidrodinámicos. El anillo cilíndrico gira, accionado por medio de un engranaje circunferencial. Dentro del anillo hay un rodillo horizontal que gira libremente y puede ser presionado hidráulicamente contra el cuerpo cilíndrico. El material a moler se alimenta por uno o dos accesos sobre el rodillo, y se tritura entre el rodillo y el cuerpo cilíndrico. El material resultante se lleva a un separador y la fracción gruesa se retorna al molino.



Figura 3.15. Silos de cemento



Figura 3.16. Cemento ensacado

### 3.4. Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento.

Para transportar el cemento a los silos de almacenamiento se pueden emplear sistemas mecánicos y neumáticos. Los sistemas mecánicos normalmente tienen un coste de inversión más alto, aunque su gasto por operación es menor que el neumático. El sistema utilizado más habitualmente es una combinación de transportadores fluidificados o de rosca, y elevadores de cangilones.

Generalmente se requieren varios silos para almacenar distintos cementos. Sin embargo, los nuevos diseños permiten guardar más de un tipo de cemento en el mismo silo. Las configuraciones más corrientes son:

- Silo de celda única con tolva de descarga.
- Silo de celda única con cono central.
- Silo multicelular.
- Silo domo con cono central.

Para iniciar y mantener el proceso de descarga del cemento se emplea aire comprimido que se inyecta en el silo a través de unidades de aireación situadas en el fondo del mismo.

La expedición del cemento se realiza directamente a granel mediante cisternas por carretera, ferrocarril, barco, o bien ensacado. Las operaciones de ensacado y paletizado se realizan en una línea automatizada.