

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN SOPORTE PARA LA CLASE DE
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**JHONNATHAN ROA PORRAS
LUXHELENA SUÁREZ NAVARRO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2009

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN SOPORTE PARA LA CLASE DE
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

JHONNATHAN ROA PORRAS

LUXHELENA SUÁREZ NAVARRO



DIRECTOR:

EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN

Ing. Civil MSN en vías terrestres

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2009

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Director de proyecto, Ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón por su orientación profesional y comprometida, en el desarrollo de la Documentación soporte para la clase de Materiales de Construcción.

A Cristina, estudiante de Maestría de Ingeniería Civil, por su colaboración para el progreso del trabajo de grado.

A todo el cuerpo de docentes de la Escuela de Ingeniería de Civil, por sus enseñanzas profesionales y humanas.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos la posibilidad de desarrollarnos como persona.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme sabiduría y bendiciones, necesarias para desarrollar este trabajo de grado.

A mis padres Ana Navarro Santamaría y Miguel Arturo Suárez, por su infinito amor, comprensión y palabras de apoyo y sacrificio que causan en mí admiración y orgullo de ser su hija.

A mi hermano Miguel Ángel, quien con su amistad siempre fue mi motivo y mis ganas.

A mi abuelita Elena que desde el cielo me acompaña, a mi primo John Jairo por su apoyo incondicional y a toda mi familia por brindarme su afecto.

A mi compañero de proyecto Jhonnathan por su tolerancia y simpatía, y todos mis amigos, quienes con su alegría hicieron agradable mi estadía en la Universidad.

Luxhelena Suárez Navarro

A Dios por su bondad e infinitas bendiciones

*A mis padres Juan de Jesús Roa Rodríguez, Esperanza Porras y mi
hermana Juliany Daniela por su apoyo, comprensión y amor
incondicional.*

*A Rosi Paola Botello Caballero, por escucharme, entenderme y por su
inmenso y sincero amor.*

*A todos mi familiares porque sin duda ellos serán los que siempre estarán
junto a mí en cada etapa de mi vida.*

*A mi compañeros de carrera por su amistad durante el transcurrir
universitario, a mi compañera de proyecto de grado Luxhelena, por su
paciencia y alegría.*

Jhonnathan Roa Porras

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. AGREGADOS PÉTREOS.....	2
1.1 Caracterización de los Agregados Pétreos	3
1.1.1 Densidad.....	3
1.1.2 Granulometría	4
1.1.3 Resistencia al desgaste	8
1.1.4 Durabilidad.....	9
1.1.5 Limpieza y pureza	10
1.1.6 Rozamiento interno	10
1.2 Producción de agregados	11
1.2.1 Clasificación de las rocas.....	11
1.2.2 Extracción	12
1.2.2.1 Trabajos Preparatorios.....	12
1.2.2.2 Extracción Propiamente Dicha.....	13
1.2.2.3 Pruebas para determinar las características de una roca	14
1.2.2.4 Proceso de producción de agregados	15
1.2.3 Equipo de trituración	16
1.2.3.1 Efectos mecánicos.....	17
1.2.3.2 Índice de reducción.....	18
1.2.4 Proceso de trituración de agregados	19
1.2.4.1 Trituración primaria	19
1.2.4.1.1 Quebradoras de quijadas.....	20
1.2.4.1.2 Quebradoras giratorias	22
1.2.4.2 Trituración secundaria.....	24
1.2.4.2.1 Trituradoras de rodillos	24
1.2.4.2.2 Trituradoras de impacto y de martillo	26

1.2.4.2.3 Trituradora de cono.....	29
1.2.4.3 Trituración terciaria	30
1.2.5 Selección del equipo de trituración	32
1.3 MEZCLA DE AGREGADOS.....	36
1.3.1 Ejemplo N° 1	36
1.3.2 Ejemplo N° 2	41
1.3.3 Ejemplo N° 3	47
1.3.4 Ejemplo N° 4	49
2. AGLOMERANTES HIDRÁULICOS.....	54
2.1 EL YESO	54
2.1.1 Propiedades físicas y químicas.....	55
2.1.2 Proceso de fabricación del yeso	56
2.1.2.1 Fabricación del yeso	57
2.1.2.2 Endurecimiento del yeso.....	57
2.1.3 Caracterización del yeso.....	58
2.1.3.1 Grado de finura	59
2.1.3.2 La cantidad de agua absorbida.....	59
2.1.3.3 Tiempo de fraguado y calor desarrollado.....	59
2.1.3.4 Pruebas de resistencia.....	60
2.1.4 Hormigones de yeso	61
2.1.5 Tipos y Usos	61
2.2 CAL	62
2.2.1 Propiedades físicas y químicas.....	63
2.2.2 Fraguado y endurecimiento	63
2.2.3 Fabricación de cal viva	63
2.2.3.1 Proceso de fabricación de la cal viva.....	63
2.2.4 Tipos y usos.....	66
2.2.4.1 Uso de la cal viva:.....	66
2.2.4.2 Uso de cales hidratadas:.....	67

2.2.4.3 Otros usos en construcción.....	68
2.3 CEMENTO PORTLAND	69
2.3.1 Invención del Cemento Portland	69
2.3.2 Propiedades físicas y químicas.....	70
2.3.3 Elementos constitutivos del cemento Portland.....	70
2.3.3.1 Materias primas	71
2.3.3.2 Composiciones de los compuestos.....	72
2.3.4 Proceso de fabricación del cemento	73
2.3.4.1 Obtención de la materia prima	74
2.3.4.2 Preparación de las materias primas (Homogeneización).....	75
2.3.4.3 Molienda del crudo.....	75
2.3.4.4 Cocción en el horno rotativo	76
2.3.4.5 Molienda de cemento.....	77
2.3.4.6 Almacenamiento	78
2.3.5 Fraguado o hidratación del cemento Portland	78
2.3.5.1 Reacciones indeseables	81
2.3.6 Adiciones minerales.....	82
2.3.6.1 Escoria granulada de alto horno	84
2.3.6.2 Puzolanas	85
2.3.6.3 Filler Calcáreo.....	85
2.3.7 Tipos y usos.....	87
2.3.7.1 Cemento portland	87
2.3.7.2 Usos de los cementos Portland en construcción	90
2.3.7.3 Otros cementos.....	90
2.3.7.4 Recomendaciones para la selección de cemento.....	93
2.3.8 Producción comercial.....	94
2.3.9 Requisitos comerciales	95
2.3.10 Empaquetado y etiquetado	96
CUESTIONARIO.....	97

3. LIGANTES BITUMINOSOS	99
3.1 ASFALTO	100
3.1.1 Composición del Asfalto.....	100
3.1.2. Obtención de Asfaltos en refinerías	102
3.1.2.1 Destilación primaria	104
3.1.2.2 Destilación al vacío	105
3.1.2.3 Desasfaltización con propano o butano	105
3.1.3 Tipos de Asfaltos	106
3.1.3.1 Asfaltos oxidados o soplados.....	106
3.1.3.2 Asfaltos sólidos o duros	107
3.1.3.3 Asfaltos Rebajados o Cut-Backs.....	107
3.1.3.4 Cemento Asfáltico.....	109
3.1.3.5 Emulsiones Asfálticas	112
3.1.3.5.1 Ventajas de las Emulsiones Asfálticas.....	117
3.1.3.5.2 Recomendaciones para el uso de las Emulsiones Asfálticas	118
3.1.3.5.3 Fabricación de Emulsiones Asfálticas.....	119
3.1.3.6 Asfaltos Naturales.....	120
3.2 PROPIEDADES DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS.....	124
3.2.1 Susceptibilidad térmica	124
3.2.2 Poder aglomerante	124
3.2.3 Agente estabilizante.....	125
3.2.4 Agente impermeabilizante.....	125
3.2.5 Manejabilidad.....	125
3.2.6 Durabilidad.....	125
3.2.7 Ductilidad	126
3.2.8 Consistencia	126
3.2.9 Volatilidad	127
3.2.10 Cohesión.....	128
3.2.11 Adherencia.....	128

3.2.12 Envejecimiento.....	128
CUESTIONARIO.....	129
4. MATERIALES COMPUESTOS	131
4.1 CONCRETO HIDRÁULICO.....	131
4.1.1 Definición y descripción del Concreto Hidráulico	131
4.1.2 Generalidades.....	132
4.1.2.1 Propiedades del Concreto Hidráulico.....	132
4.1.2.2 Características de los componentes	135
4.1.2.2.1 Cemento	136
4.1.2.2.2 Agregado fino.....	136
4.1.2.2.3 Agregado grueso	138
4.1.2.2.4 Agregado ciclópeo	140
4.1.2.3 Formulación de mezclas de concreto	141
4.1.2.3.1 Tipo de cemento, de agregados y de aditivo en relación con las mezclas	147
4.1.2.3.2 Clases de concreto	151
4.1.2.4 Temperatura	151
4.1.2.5 Vibrado.....	152
4.1.2.6 Caracterización del concreto.....	153
4.1.2.7 Segregación de la mezcla.....	153
4.1.2.8 Proceso de fraguado.....	154
4.1.2.9 Proceso de curado.....	155
4.1.2.10 Concreto con aire atrapado.....	156
4.1.2.11 Tipos generales y usos	157
4.1.3 Dosificación de mezclas de hormigón hidráulico	158
4.1.3.1 Método del American Concrete Institute (ACI).....	158
4.1.3.2 Primer Ejercicio de dosificación de mezclas de concreto hidráulico por el método propuesto por American Concrete Institute (ACI)	164

4.1.3.3 Segundo Ejercicio de dosificación de mezclas de concreto hidráulico por el método propuesto por American Concrete Institute (ACI).	173
4.2 CONCRETO ASFÁLTICO	180
4.2.1 Definición y descripción del Concreto Asfáltico.....	180
4.2.2 Generalidades.....	181
4.2.2.1 Propiedades físicas y químicas.....	181
4.2.2.1.1 Densidad porcentual máxima, porcentaje de huecos y huecos de los agregados.....	181
4.2.2.2 El hormigón asfáltico mezclado y colocado en frío	183
4.2.2.3 Características de los componentes	184
4.2.2.3.1 Agregados pétreos y llenante mineral.....	184
4.2.2.3.2 Material bituminoso	187
4.2.2.4 Equipo.....	188
4.2.2.4.1 Planta mezcladora	188
4.2.2.4.2 Equipo de compactación.....	190
4.2.2.5 Recomendaciones para el diseño de la mezcla de concreto asfáltico	191
4.2.2.5.1 Probetas compactadas	194
4.2.3 Análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente.....	194
4.2.4.1 Ejercicio de dosificación de una mezcla asfáltica compactada en caliente	199
5. MADERA.....	205
5.1 MACRO-ESTRUCTURA DE LA MADERA	205
5.1.1 Capas en la sección transversal de un tronco en un árbol	206
5.1.2 Maderas blandas y duras.....	207
5.1.3 Crecimiento de los árboles.....	207
5.1.3.1 Anillos de crecimiento anual.	208
5.1.3.2 Ejes de Simetría de la Madera.....	210
5.2 MICRO-ESTRUCTURA DE LAS MADERAS BLANDAS	212
5.3 MICRO-ESTRUCTURA DE LAS MADERAS DURAS.....	213

5.4 PROPIEDADES DE LA MADERA	214
5.4.1 Contenido de humedad.....	215
5.4.2 Densidad de la madera	217
5.4.3 Contracción y expansión de la madera	217
5.4.4 Propiedades acústicas	219
5.4.5 Propiedades Térmicas	219
5.5 NORMAS DE ENSAYOS	220
5.6 CURACIÓN O DESECACIÓN	220
5.6.1 Secado al aire	222
5.6.2 Secado convencional en horno.....	222
5.7 DEFECTOS DE LA MADERA.....	223
5.7.1 Resquebrajamiento.....	223
5.7.2 Contrafibra	224
5.7.3 Nudos.....	224
5.7.4 Bolsas de Resina	225
5.7.5 Venteaduras y Rodaduras	225
5.7.6 Alabeo.....	225
5.8 PRESERVACIÓN DE LA MADERA.....	226
5.8.1 Hongos.....	226
5.8.2 Insectos.....	227
5.8.3 Termitas Subterráneas.....	227
5.8.4 Termitas de Madera Seca.....	228
5.8.5 Tiñuela	228
5.9 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	229
5.10 USOS Y APLICACIONES.....	230
CUESTIONARIO.....	232
6. MATERIALES METÁLICOS.....	234
6.1 GENERALIDADES.....	234
6.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	235

6.3 ENLACE METÁLICO	236
6.4 ESTRUCTURA DE LOS METALES Y ALEACIONES	236
6.4.1 Estructura cristalina	237
6.5 EL PROCESO DE METALES Y ALEACIONES.....	239
6.5.1 La fundición de metales y aleaciones	239
6.5.2 Laminación en caliente y en frío de metales y aleaciones	240
6.5.4 Laminación en caliente de lingotes de sección rectangular	241
6.5.5 Laminación en frío de chapas metálicas	242
6.5.6 Extrusión de metales y aleaciones.....	242
6.5.7 Forja.....	244
6.5.8 Otros procesos de conformado de metales	245
6.6 DEFORMACIÓN Y TENSIÓN DE LOS METALES	246
6.6.1 Deformación plástica y elástica.....	246
6.6.2 Coeficiente de Poisson	246
6.6.3. El ensayo de tracción y el diagrama tensión-deformación convencional. .	247
6.7 ALEACIONES HIERRO-CARBONO	248
6.7.1 Composición de las aleaciones hierro-carbono	248
6.7.2 Clasificación de acuerdo con el contenido de carbono	249
6.7.3 Propiedades de los aceros.....	249
6.7.4 Aceros inoxidables	251
6.7.4.1 “Ferríticos.....	251
6.7.4.2 Austeníticos	251
6.7.4.3 Martensíticos.....	251
6.7.4.4 Acero corten.....	252
6.7.4.5 Aceros al carbono	252
6.7.4.6 Aceros aleados	253
6.7.5 Productos comerciales del acero.....	253
6.7.5.1 Productos laminados básicos	253
6.7.5.2 Perfiles estructurales laminados en caliente	254

6.8 USOS DE LOS METALES.....	254
CUESTIONARIO.....	255
7. MATERIALES CERÁMICOS.....	256
7.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	256
7.2 GENERALIDADES	257
7.3 ESTRUCTURA CRISTALINA DE MATERIALES CERÁMICOS SENCILLOS	257
7.3.1 Enlaces iónicos y covalentes en compuestos cerámicos sencillos	257
7.3.2 Ordenaciones iónicas sencillas encontradas en sólidos con enlace iónico.....	258
7.4 PROCESAMIENTO DE LOS MATERIALES CERÁMICOS	259
7.4.1 Moldeado seguido por horneado	260
7.4.2 Prensado con polvo seco.....	261
7.5 PRODUCTOS CERÁMICOS.....	262
7.5.1 Ladrillo y baldo.....	262
7.5.2 Loza de barro, loza de piedra, loza china, loza de hornear y porcelana	263
7.5.3 Materiales cerámicos para uso eléctrico	265
7.6 LADRILLO.....	267
7.6.1 Proceso constructivo del ladrillo.....	267
7.6.2 Tipos de ladrillo.....	271
7.7 USOS Y APLICACIONES	272
CUESTIONARIO.....	274
CONCLUSIONES	275
BIBLIOGRAFÍA.....	275

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Aberturas específicas de los diferentes tamices para Agregado Fino	6
Tabla 2: Escala de Dureza de Mohs para diferentes Rocas	15
Tabla 3: Métodos mecánicos de reducción	18
Tabla 4: Índice de Reducción para cada tipo de Trituradora	19
Tabla 5: Reconocimiento del Equipo Idóneo de acuerdo a las Características del Material	33
Tabla 6: Resistencia del yeso	61
Tabla 7: Composición química de las principales materias primas del cemento	71
Tabla 8: Composición de los compuestos esenciales del cemento	72
Tabla 9: Composición de los compuestos para diferentes tipos de Cemento Portland	87
Tabla 10: Límites químicos en la fabricación del cemento Portland	95
Tabla 11: Modelo de composición del Asfalto	102
Tabla 12: Clasificación de los Asfaltos Rebajados según la volatilidad del solvente y su viscosidad	109
Tabla 13: Listado de los Yacimientos de Asfalto Natural en Colombia.	123
Tabla 14: Límites de sustancias perjudiciales para los agregados finos	136
Tabla 15: Límites para la granulometría del agregado fino	137
Tabla 16: Límites de sustancias perjudiciales para los agregados gruesos	139
Tabla 17: Límites para la granulometría del agregado grueso	140
Tabla 18: Resistencia del concreto	142
Tabla 19: Absorción de agua en diferentes tipos de agregado	143
Tabla 20: Cantidad de agua en diferentes tipos de agregado	143
Tabla 21: Asentamiento en diferentes tipos de concreto	143
Tabla 22: Tamaño máximo de agregado para diversos tipos de producción de concreto	145

Tabla 23: Módulo de finura en la arena _____	145
Tabla 24: Datos para una mezcla típica de concreto _____	146
Tabla 25: Ajustes de los valores para el concreto _____	146
Tabla 26: Proporciones de cemento, agregados fino y grueso, respecto al tamaño máximo del agregado _____	147
Tabla 27: Tipos de cemento portland para determinados usos _____	148
Tabla 28: Porcentaje Tipo de cemento Portland _____	149
Tabla 29: Características y proceso de producción para tipos de agregado ____	149
Tabla 30: Contenido de aire según el tamaño máximo de agregado _____	150
Tabla 31: Clases de concreto _____	151
Tabla 32: Requisitos de temperatura mínima para tipos de concreto _____	152
Tabla 33: Contenido de aire _____	157
Tabla 34: Relación Agua/Cemento _____	159
Tabla 35: Tamaño máximo del agregado por dimensiones estructurales _____	161
Tabla 36: Asentamientos por tipo de construcción _____	161
Tabla 37: Cantidad de agua por asentamiento o slump _____	162
Tabla 38: Volumen de grava por módulo de finura _____	162
Tabla 39: Tipo de control de calidad por desviación estándar _____	163
Tabla 40: Selección del tipo de control de calidad _____	164
Tabla 41: Contenido de agua _____	165
Tabla 42: Volumen aparente del agregado grueso _____	169
Tabla 43: Agua y aire atrapado _____	175
Tabla 44: Gradaciones para los agregados gruesos y finos y llenante mineral _	186
Tabla 45: Empleo de cemento asfáltico según las características de la región _	187
Tabla 46: Requisitos de calidad del cemento asfáltico _____	187
Tabla 47: Criterios para mezclas densas en caliente _____	193
Tabla 48: Temperatura media anual _____	193
Tabla 49: Denominación de la Madera según su Contenido de Humedad _____	215

Tabla 50: Porcentaje de contracción de la madera de acuerdo al método de secado	218
Tabla 51: Efectos de la Contracción Según el Tipo de Corte.	219
Tabla 52: Valores de Poisson para diferentes metales y aleaciones	247
Tabla 53: Composición química del acero corten	252
Tabla 54: Características mecánicas del acero corten	252
Tabla 55: Punto de fusión de los compuestos cerámicos	257
Tabla 56: Carácter iónico y covalente de los compuestos cerámicos	258
Tabla 57: Tipos de ladrillos estructurales	271
Tabla 58: Tipos de ladrillos estructurales	272

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Agregados Pétreos	2
Figura 2: Gráfico normalizado de Granulometría o Curva de potencia	5
Figura 3: Tamices Utilizados para la determinación de la Granulometría.....	7
Figura 4: Máquina de los Ángeles.....	9
Figura 5: Angulo de Reposo para diferentes tipos de Agregados.....	11
Figura 6: Equipo de Extracción y Transporte de los Agregados Pétreos.....	13
Figura 7: Extracción de Agregados Pétreos por medio de Explosivos.....	14
Figura 8: Proceso para la producción de agregados	15
Figura 9: Tipos de equipo de trituración.....	16
Figura 10: Equipo complementario de trituración.....	17
Figura 11: Trituradora de quijada.....	20
Figura 12: Elementos de la trituradora de quijadas.....	21
Figura 13: Corte esquemático de la trituradora giratoria.....	23
Figura 14: Trituradora de Rodillos.....	24
Figura 15: Vista exterior de la trituradora de impacto	26
Figura 16: Vista interior de la trituradora de impacto	27
Figura 17: Corte esquemático de la trituradora de impacto	27
Figura 18: Vista exterior de la trituradora de martillo	28
Figura 19: Trituradoras de cono.....	29
Figura 20: Cámara de trituración secundaria “S” o Estándar	31
Figura 21: Cámara de trituración terciaria, “FC” o Cabeza Corta.....	31
Figura 22: Cámara de trituración cuaternaria “VFC” o “Gyradisc”	32
Figura 23: Equipo de trituración móvil.....	34
Figura 24: Equipo móvil de Trituración Dual	34
Figura 25: Esquema general de una Planta de Trituración Primaria y Secundaria	35
Figura 26: Ábaco para el diseño de mezcla con dos tipos de agregado.....	38

Figura 27: Ábaco para el diseño de mezcla con dos tipos de agregado.....	39
Figura 28: Ilustración de los porcentajes de agregado en la mezcla	40
Figura 29: Ubicación de los porcentajes “pasa” de los agregados.....	44
Figura 30: Ilustración de los rangos permitidos para la mezcla	45
Figura 31: Ilustración de la región común para los porcentajes de los agregados	46
Figura 32: Abaco Triangular ilustrando tres puntos, correspondientes a cada agregado.....	50
Figura 33: Abaco Triangular ilustrando la región correspondiente a la especificación.	51
Figura 34: Abaco Triangular ilustrando los puntos E y M, dentro del área de especificación.	52
Figura 35: Aglomerantes hidráulicos.....	54
Figura 36: Yeso y su estructura cristalina	55
Figura 37: Proceso de fabricación del yeso	56
Figura 38: Principales ensayos que se le realizan al yeso.....	58
Figura 39: Máquina Michaelis	60
Figura 40: Cal viva	62
Figura 41: Explotación de la piedra caliza	64
Figura 42: Calcinación de la caliza	65
Figura 43: Ciclo de la cal	66
Figura 44: Obtención de la materia prima	74
Figura 45: Homogeneización de las materias primas	75
Figura 46: Molienda del crudo.....	76
Figura 47: Cocción en el horno rotativo	77
Figura 48: Molienda del cemento.....	77
Figura 49: Almacenamiento del cemento.....	78
Figura 50: Progreso de la hidratación de una partícula de cemento.....	79
Figura 51: Influencia de la relación a/c sobre la resistencia de la pasta (cemento+agua).....	81

Figura 52: Composición de la pasta de cemento, en estado fresco y endurecido para diferentes relaciones a/c.....	82
Figura 53: Clasificación de las adiciones minerales.....	83
Figura 54: Influencia de las adiciones sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón.....	86
Figura 55: Ligantes Bituminosos.....	99
Figura 56: Composición del asfalto (Modelo Micelar).....	101
Figura 57: Proceso de Destilación del Petróleo.....	104
Figura 58: Esquema de obtención de asfaltos por Desasfaltización.....	105
Figura 59: Manufactura de Asfaltos Oxidados.....	106
Figura 60: Composición de los Asfaltos Rebajados.....	108
Figura 61: Ensayo de Penetración.....	110
Figura 62: Ensayo de Viscosidad Cinemática.....	112
Figura 63: Diagrama Esquemático de una Emulsión.....	113
Figura 64: Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica.....	114
Figura 65: Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un material Pétreo.....	115
Figura 66: Esquema para la fabricación de Emulsión Asfáltica.....	120
Figura 67: Yacimientos de Asfalto Natural en Colombia.....	122
Figura 68: Materiales Compuestos.....	131
Figura 69: Concreto en estado fresco.....	132
Figura 70: Cono de Abrahms.....	134
Figura 71: Fisuras en el hormigón.....	135
Figura 72: Prueba de asentamiento (“slump”) con el cono de Abrahms.....	144
Figura 73: Ensayo de cilindro de concreto.....	153
Figura 74: Relación Agua/Cemento.....	160
Figura 75: Representación del contenido de agua y aire.....	166
Figura 76: Relación Agua/Cemento para una resistencia media de 390 Kg/cm ²	167

Figura 77: Representación del contenido de agua, aire y el volumen de cemento	168
Figura 78: Representación del contenido de agua, aire y los pesos de cemento y agregado grueso.....	170
Figura 79: Ilustración del contenido de los componentes de la mezcla sin el agregado fino	171
Figura 80: Ilustración del contenido de los componentes de la mezcla	172
Figura 81: Ilustración de la cantidad de los componentes del diseño de la mezcla de concreto	173
Figura 82: Relación agua-cemento	176
Figura 83: Relación tamaño máximo del agregado, modulo de finura con el volumen del agregado grueso.....	176
Figura 84: Representación de los contenidos de cada material de la mezcla (seco)	178
Figura 85: ilustración del contenido de la mezcla	179
Figura 86: Concreto Asfáltico.....	180
Figura 87: Prensa Marshall.....	194
Figura 88: Componentes de una mezcla de concreto bituminoso	200
Figura 89: Contenido de masa y volumen de la probeta.....	201
Figura 90: Ilustración del contenido de asfalto en la mezcla.....	202
Figura 91: Contenido de la agregado mineral y de asfalto en la mezcla de concreto bituminoso	203
Figura 92: Sección Transversal de un Árbol	206
Figura 93: Anillo de crecimiento anual en la sección transversal de madera blanda	208
Figura 94: Madera Temprana y Tardía en la Madera Blanda	209
Figura 95: Vista detallada de la Madera temprana y Madera tardía.	209
Figura 96: Eje paralelo al tronco (Longitudinal).....	210
Figura 97: Eje perpendicular al anillo de crecimiento (Radial)	211

Figura 98: Eje paralelo al anillo de crecimiento (Tangencial).....	211
Figura 99: Micro-estructura de un Bloque de Madera Blanda.....	212
Figura 100: Micro-estructura de un bloque de madera dura de anillo-poroso.....	213
Figura 101: Micro-estructura de un bloque de madera dura de porosa-difusa	214
Figura 102: Curvas de Humedad de Equilibrio de la Madera en porcentaje.....	216
Figura 103: Contracción de la Madera.....	218
Figura 104: Método de Secado de la Madera al Aire.....	222
Figura 105: Método de Secado de la Madera al Horno.....	223
Figura 106: Resquebrajamiento.....	224
Figura 107: Bolsas de Resina.....	225
Figura 108: Alabeo.....	226
Figura 109: Termitas Subterráneas.....	228
Figura 110: Comportamiento de la Madera frente a la acción del Fuego.....	229
Figura 111: Distribución de volumen de madera utilizado en viviendas de construcción tradicional.....	231
Figura 112: Acero laminado.....	234
Figura 113: Enlace metálico del cobre.....	236
Figura 114: Red cúbica centrada en las caras.....	237
Figura 115: Red hexagonal compacta.....	238
Figura 116: Formas de procesamiento de metales y aleaciones.....	239
Figura 117: Fundición de metales y aleaciones.....	239
Figura 118: Proceso de laminación en caliente.....	241
Figura 119: Esquema de la extrusión directa.....	242
Figura 120: Diseño de extrusiones con rigidez mejorada.....	243
Figura 121: Tipos de forjado.....	245
Figura 122: Diagrama tensión-deformación.....	247
Figura 123: Gráfica tensión -deformación.....	250
Figura 124: Métodos de procesamiento de Materiales Cerámicos.....	259
Figura 125: Proceso de los materiales cerámicos.....	260

Figura 126: Obtención de la materia prima	267
Figura 127: Homogeneización de la materia prima.....	268
Figura 128: Moldeado del ladrillo	269
Figura 129: Secado del ladrillo.....	269
Figura 130: Cocción del ladrillo.....	270
Figura 131: Despacho del ladrillo.....	270
Figura 132: Características comunes de los Materiales Cerámico	274

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN SOPORTE PARA LA CLASE DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTORES:

ROA PORRAS, Jhonnathan; SUÁREZ NAVARRO, Luxhelena**

PALABRAS CLAVES:

Materiales de construcción, Agregados pétreos, Yeso, Cal, Cemento, Ligantes bituminosos, Concreto hidráulico, Concreto asfáltico, Maderas, Metales, Cerámicos.

DESCRIPCIÓN

Por medio de éste trabajo de grado que consistió en la elaboración de un material de consulta y estudio para los estudiantes de la asignatura Materiales de Construcción del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, se planteó un apoyo de consulta entendible e ilustrativo acerca de los temas principales a tratar en la asignatura.

El libro consta de siete capítulos: AGREGADOS PÉTROS, LIGANTES HIDRÁULICOS, LIGANTES BITUMINOSOS, MATERIALES COMPUESTOS, MADERAS, MATERIALES METÁLICOS Y MATERIALES CERÁMICOS. Cada capítulo consta de una descripción inicial del material, sus características y propiedades, su producción descrita en diferentes pasos con ilustraciones, un marco teórico y por último su usos y aplicaciones en la industria de la construcción; además de las normas colombianas e internacionales (ICONTEC, INVIAS, ACI, ASTM) dispuestas para una adecuada elaboración y empleo de los diferentes materiales tratados en el libro. En los capítulos de Agregados Pétreos y Materiales Compuestos se desarrollan ejercicios ilustrativos, paso a paso y próximos a situaciones de la realidad, para que facilite su comprensión al estudiante. Y en los demás capítulos del libro se planteó un cuestionario con preguntas claves para que complemente y diagnostique el conocimiento de los estudiantes.

No se desea con éste texto igualar ni reemplazar los textos existentes sobre éstos temas.

Los objetivos planteados para éste libro se cumplirán con la ayuda del docente y con el interés propio de cada estudiante.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ciencias Físico - mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Eduardo Castañeda.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND DEVELOPMENT OF SUPPORTING DOCUMENTATION FOR THE CLASS OF CONSTRUCTION MATERIALS IN THE CIVIL ENGINEERING PROGRAM OF THE UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTHORS:

ROA PORRAS, Jhonnathan; SUÁREZ NAVARRO, Luxhelena**

KEY WORDS:

Construction materials, stony Attachés, Plaster, Lime, Cement, bituminous Ligantes, I Sum up hydraulic, I Sum up asphaltic, Wood, Metals, Ceramic.

DESCRIPTION:

Through this grade work, that was the development of a reference material for students of the subject of Construction Materials for Civil Engineering from the Universidad Industrial de Santander, was supported by an understandable and informative consultation on of the main topics to be covered in the course.

The book contains seven chapters: ADDED PETROS, hydraulic binders, bituminous binders, COMPOSITE MATERIALS, TIMBER, METALS AND CERAMICS MATERIALS. Each chapter consists of an initial description of the material, its characteristics and properties described in different production steps with illustrations, a theoretical framework and, ultimately, their uses and applications in the construction industry, as well as Colombian and international standards (ICONTEC, INVIAS, ACI, ASTM) arranged for proper development and use of different materials treated in the book. In the chapters of rock aggregates and composites are developed illustrative exercises, step by step closer to reality situations, to facilitate student understanding. And in other chapters of the book raised a questionnaire to supplement key and diagnose the students' knowledge.

Do not want this text to match or replace existing texts on these topics.

The objectives for this book will be fulfilled with the help of teachers and the interests of each student.

* Degree project

** Faculty of Sciences Physical - mechanical. School of Civil Engineering. Director Eduardo Albe Castañeda.

INTRODUCCIÓN

Materiales de Construcción, es la asignatura, en donde el Ingeniero Civil, plasma su conocimiento, es decir tiene el contacto físico y el roce permanente con los elementos que requiere para la consolidación de su proyecto u obra, por lo tanto, el presente documento en cada uno de sus capítulos nos lleva a tener éste contacto, al menos de carácter virtual, reconociendo su origen, su composición, sus cualidades y calidades, permitiendo el momento y el sitio adecuados para utilizarlos.

El presente documento, busca dar al estudiante y/o investigador, un elemento de fácil acceso a las teorías, que sobre *Materiales de Construcción*, se han expuesto a lo largo y ancho de la literatura de la ingeniería, explicándolos en un lenguaje propio del medio y con espíritu didáctico, fundamentado en las diferentes citas bibliográficas que lo sustentan.

Mediante ésta propuesta de grado, se desarrolló un material escrito basado en el programa de la asignatura, Materiales de Construcción, propuesto por la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, donde se plantearon 7 capítulos: *Agregados Pétreos, Ligantes Hidráulicos, Ligantes Bituminosos, Materiales Compuestos, Maderas, Materiales Metálicos y Materiales Cerámicos*. Se seleccionó de varias fuentes la documentación necesaria que abarca la asignatura respecto de éstos materiales: La información que aporta las diferentes referencias bibliográficas científicas y las especificaciones y normas generales de diseño en el mundo y en nuestro país. Igualmente se proporciona de una manera muy comprensible, tipos de ejercicio específicos, como también un cuestionario donde se despierte la capacidad de razonamiento del estudiante.

1. AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pétreos son un conjunto de partículas de roca con ciertas propiedades físicas y químicas, que forman parte de la mayoría de la materia prima para las obras civiles en general.

Una de estas materias primas es el concreto, donde la trabajabilidad, el comportamiento en estado endurecido y su vida útil, están influidas por dichas propiedades de los agregados, que a su vez deben ser meticulosamente determinadas y sometidas a control de calidad en las diferentes obras ya que pueden sufrir variaciones durante los procesos de explotación, manejo y transporte.

Fuente: Los Autores



Figura 1: Agregados Pétreos

1.1 Caracterización de los Agregados Pétreos

En la caracterización de los agregados pétreos se determinan propiedades como:

- Densidad
- Granulometría
- Resistencia al desgaste
- Durabilidad
- Limpieza y pureza
- Fricción interna

1.1.1 Densidad

La densidad es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del mineral.

Las partículas de agregado tienen poros tanto saturables como no saturables y dependiendo de su permeabilidad interna pueden estar vacíos, parcialmente saturados o totalmente llenos de agua generando una serie de estados de humedad a los que corresponde el mismo número de tipos de densidad.

El valor de la densidad de la roca madre varía entre 2.48 y 2.8 g/cm³. El procedimiento para determinarla se encuentra en la Norma Técnica Colombiana (NTC 176) para los agregados gruesos y en la Norma técnica Colombiana (NTC 327) para los agregados finos.

Los tipos de densidades presentes en los agregados son:

- **Densidad Nominal.** Es la relación entre la masa y el volumen de agregado, sin incluir los poros saturables.
- **Densidad Aparente.** Es la relación entre la masa y el volumen de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables.

- **Densidad Real.** Es la relación entre la masa y el volumen de agregado, sin incluir ningún tipo de poro.
- **Densidad SSS** (Saturado Superficialmente Seco). Es la relación entre la masa y el volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas).

1.1.2 Granulometría

La granulometría de un conjunto de agregados pétreos indica la distribución de este en tamaños. La forma de determinarla consiste en hacer pasar el material a través de tamices de abertura sucesivamente decreciente, posteriormente pesando el material retenido en cada uno de ellos y finalmente sacando el porcentaje del material que pasa por cada tamiz.

Los tamices de mayor tamaño normalmente empleados son: $2\frac{1}{2}$ " , 2" , $1\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " , $\frac{5}{8}$ " , $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ". Los tamices de abertura menor son los números 4, 10, 20, 40, 80 y 200. Sin embargo hay cierta tendencia hacia el empleo de otros tamices de menor abertura que el número 4 para casos en especial como es el diseño de pavimentos asfálticos donde los tamices de mínima abertura aceptados por la ASTM, Instituto de asfalto y varios departamentos de carreteras, son los números 8, 16, 30, 50 y 200. La conversión de tamices de una serie a los de otra puede obtenerse por interpolación después de representar la granulometría en un gráfico normalizado.

Fuente: Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Civil, Eduardo Castañeda

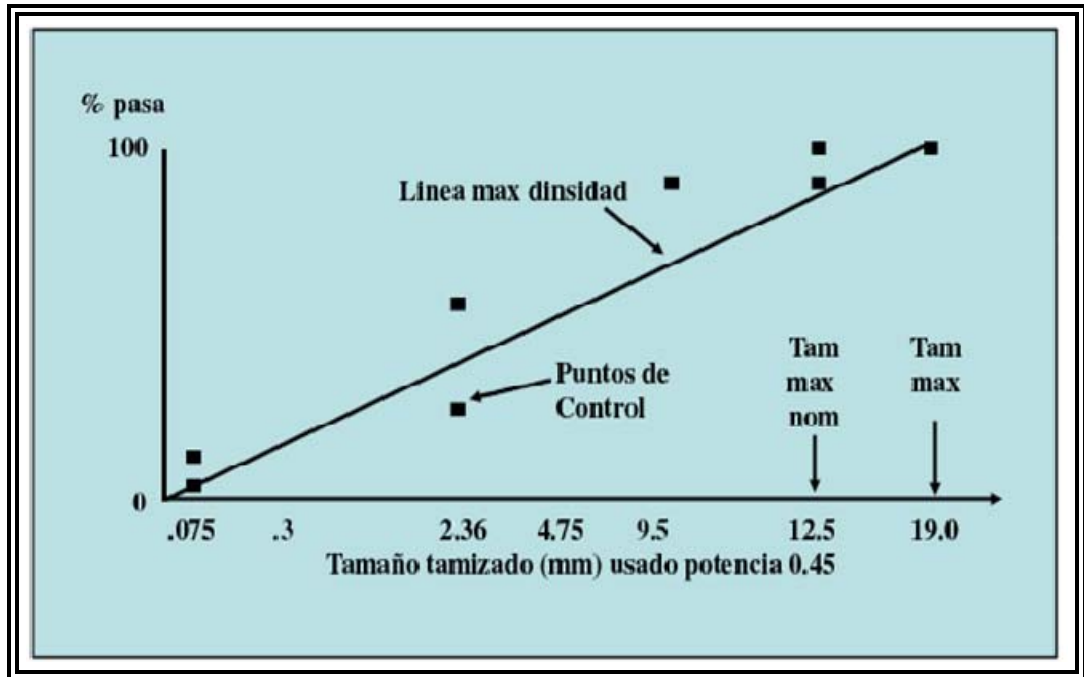


Figura 2: Gráfico normalizado de Granulometría o Curva de potencia

El diámetro máximo de una partícula alargada que pasa por un tamiz de determinada abertura es mayor que el correspondiente a otra que pase por una criba de orificios redondos de la misma designación. Por este motivo, la granulometría de un material dado no es la misma empleando tamices o cribas. La mayoría de las especificaciones utilizan tamices de malla cuadrada y todas las granulometrías están determinadas con ellos. Los números que designan los tamices de menor cobertura (4 a 200) indican el número de orificios por pulgada contenido en el tamiz. Hay dos sistemas generales para designar el tamaño de los tamices: La serie U.S. (prescrita por el U.S. Bureau of Standards) y la serie Tyler. A continuación se dan las aberturas de los tamices de las series U.S. que se emplean con mayor frecuencia:

Tabla 1: Aberturas específicas de los diferentes tamices para Agregado Fino

Número del tamiz	Abertura específica del tamiz	
	Pulgadas	mm
4	0,187	4,76
8	0,0937	2,38
10	0,0787	2
12	0,0661	1,68
16	0,0469	1,19
20	0,0331	0,84
30	0,0232	0,59
40	0,0165	0,42
50	0,0117	0,297
80	0,007	0,177
100	0,0059	0,149
200	0,0029	0,074

Fuente: Pavimentos Asfálticos.

Al hablar de granulometría de los agregados pétreos se debe tener en cuenta las siguientes expresiones:

- **Agregado Grueso:** Todo material retenido en el tamiz número 4.
- **Agregado Fino:** Es el material que pasa por el tamiz numero 4.
- **Filler:** Es el material muy fino cuya mayor parte pasa por el tamiz número 200.
- **Agregados Bien Gradados:** Una amplia distribución de tamaños, de los más gruesos a los más finos, siendo el tamaño mayor mucho más grande que el pequeño. Estos agregados tienen estabilidad muy alta.
- **El Tamaño Máximo de un Agregado:** Es el correspondiente al menor tamiz a través del cual pasa la totalidad del material.

Existen tres formas de representar la granulometría de los agregados:

- 1) Porcentaje acumulativo o total retenido.
- 2) Porcentaje total que pasa.
- 3) Porcentaje retenido de cada tamiz.

Dichas formas se especifican dependiendo del tipo de diseño de mezcla que se requiera. En agregados bien gradados, comúnmente se emplean tamices con los siguientes tamaños, expresados en pulgadas: $2\frac{1}{2}$, 2, $1\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{8}$; y los números 4, 10, 20, 40, 80 y 200. En muchos casos se suprimen los tamices de $\frac{5}{8}$ y $\frac{3}{8}$ de pulgada.

En los gráficos granulométricos sólo pueden representarse granulometrías expresadas en porcentajes totales retenidos o que pasan.

Fuente: www.turfdiag.com



Figura 3: Tamices Utilizados para la determinación de la Granulometría.

1.1.3 Resistencia al Desgaste

Para que los agregados gruesos se comporten de modo satisfactorio es necesario que tengan suficiente resistencia al momento de estar sometidos a la acción de determinados esfuerzos sin romperse.

El ensayo que suele practicarse para determinar el porcentaje de desgaste es el ensayo de la Maquina de Los Ángeles (AASHTO T-96 o ASTM C – 117). La prueba evalúa la resistencia, el desgaste por efecto de la abrasión a partir del incremento del material fino que se produce al golpear los agregados con esferas de acero dentro de un recipiente.

El procedimiento del ensayo se lleva a cabo de la siguiente manera: Se colocan 5000 gr de agregado (A) en el interior de un tambor metálico de 28 pulgadas (711 mm) de diámetro y 20 pulgadas (508 mm) de longitud, con cierta cantidad de bolas de acero de 1 $\frac{7}{8}$ pulgadas (48 mm) de diámetro, y se hace dar al tambor 500 vueltas a la velocidad de 32 r.p.m. El interior del tambor está provisto de unos angulares longitudinales, lo que obliga a las piedras y a las esferas caer con un fuerte golpe en cada giro, fracturando así las partículas de piedras en otras más pequeñas. Al final del ensayo se retira el material (B) y se criba por el tamiz número 12 (0,0661 mm), denominándose “coeficiente Los Ángeles” a la cantidad que pasa por el tamiz (B), expresada en porcentaje de la carga total (A). Esta magnitud se llama también porcentaje de desgaste.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{A - B}{A} * 100$$

Las rocas muy duras tienen un desgaste del 20% o inferior, y las piedras más blandas, tales como una piedra caliza, dan un 50% o más. Los agregados que tienen un coeficiente de desgaste superior al 50% no son, en general, aceptables para fines constructivos.

Fuente : www.accrotechscientific.com



Figura 4: Máquina de los Ángeles

1.1.4 Durabilidad

Los agregados que se disgregan en proporción importante bajo la acción de los agentes atmosféricos se llaman inestables. La pizarra es un material inestable típico porque el agua entra en él y se hiela, causando disgregación. Las piedras inestables resultan evidentemente insatisfactorias como agregados en general.

El ensayo de durabilidad (AASHTO T-104 o ASTM C-88) se realiza sumergiendo el material en una solución saturada de sodio o de magnesio hasta saturación total y secándola en estufa alternativamente; este proceso de saturación y secado forma un ciclo. Una piedra inestable se desintegra, se divide en trozos, se agrieta o desprende escamas después de muy pocos ciclos, debido a que estos ciclos estimulan la formación de unos cristales en los poros, simulando la acción del hielo.

1.1.5 Limpieza y Pureza

La limpieza y pureza de los agregados suele determinarse por observación visual, pero mediante un tamizado por vía húmeda proporciona en todos los casos mejores resultados para la limpieza de los agregados. Estas impurezas incluyen partes de vegetación, partículas blandas, masas de arcilla adheridas, entre otros. El ensayo de equivalente de arena es muy utilizado como medio de identificar el exceso de arcilla en los agregados. En efecto, este ensayo es un medio rápido para separar las partículas más finas arcillosas de los granos más gruesos o arena. Las proporciones relativas de los dos tipos de material se comparan volumétricamente de un modo arbitrario por un procedimiento que tiende a ampliar el volumen de arcilla en proporción a sus efectos perjudiciales.

1.1.6 Rozamiento Interno

El rozamiento interno de los agregados es la propiedad que tiende a impedir el movimiento relativo de los áridos bajo la acción de la carga. Esta resistencia se debe al entrecruzamiento y fricción superficial entre las partículas adyacentes. Así, por ejemplo, la escoria de alto horno y la piedra caliza con su superficie áspera e irregular, tienen un coeficiente de fricción interno muy elevado porque se produce un alto grado de entrecruzamiento y la fricción superficial entre las partículas, es muy intensa. Por el contrario, el rozamiento interno de las gravas, redondas y de superficie suave, es relativamente muy bajo, dado que es imposible el entrecruzamiento de las partículas y porque la fricción superficial entre estas es muy baja. El rozamiento interno de los agregados no se comprueba por ensayo directo, sin embargo se puede determinar a simple vista que el material tiene un buen comportamiento de rozamiento interno observando la angularidad de las partículas o también se puede determinar midiendo su ángulo de reposo, este aumenta en cuanto aumenta el rozamiento interno entre las partículas.

Fuente: Universidad Industrial de Santander. Ingeniería Civil. Presentación de agregados.pdf.

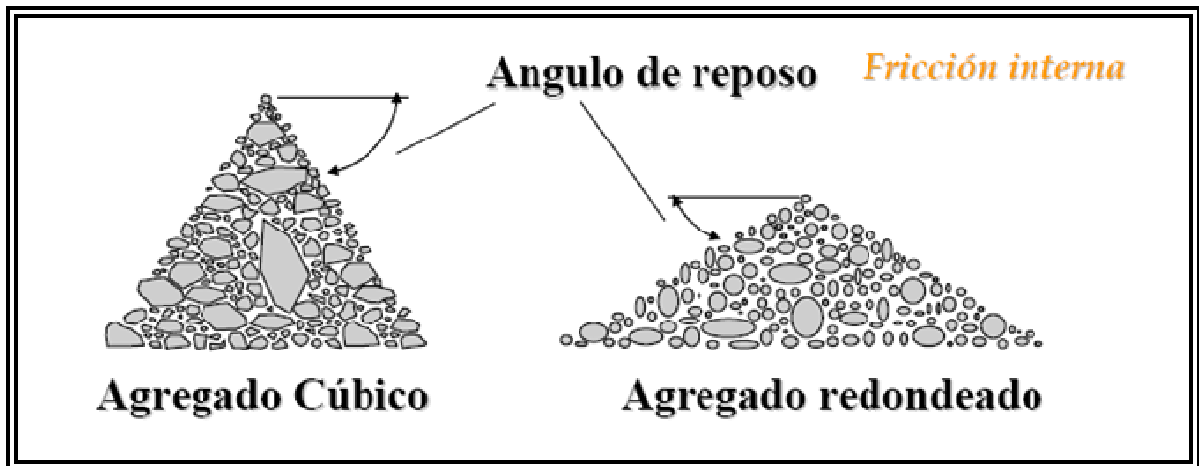


Figura 5: Ángulo de Reposo para diferentes tipos de Agregados

1.2 Producción de Agregados

El material pétreo se encuentra de manera natural en las canteras, bancos de roca, yacimientos de agregados naturales de río, depósitos de aluvión, conglomerados, etc. Sin embargo también se puede encontrar en menor proporción en residuos de escorias de alto horno.

Antes de obtener los agregados debemos conocer las características de la materia prima que generalmente es la roca.

1.2.1 Clasificación de las Rocas

Si se tiene en cuenta cómo se originan, las rocas se clasifican en tres grandes categorías geológicas:

a) Rocas ígneas (basaltos, granitos, riolitas, andesitas)

Son aquellas que se originan por el enfriamiento del magma proveniente del interior de la tierra. Este enfriamiento puede ocurrir de una manera lenta dentro de

la corteza terrestre, dando origen a rocas de granos gruesos conocidas como intrusivas (el granito es un ejemplo de ellas) o bien, de una forma rápida en contacto con la atmósfera, lo que da lugar a rocas de grano fino conocidas con el nombre de rocas extrusivas (como es el caso del basalto).

Por lo general las rocas ígneas son muy duras y abrasivas, ya que tienen un gran contenido de sílice (SiO_2).

b) Rocas sedimentarias (caliza, arenisca, dolomita)

Son aquellas que provienen del arrastre y colisión de fragmentos de rocas ígneas ocasionados por las acciones de los elementos naturales como viento, lluvia, glaciares, etc.

c) Rocas metamórficas (esquistos, gneiss, mármol)

Son rocas que por altas temperaturas y presiones cambiaron su textura y propiedades físicas, conservando sus propiedades químicas.

1.2.2 Extracción

La extracción de las rocas a cielo abierto, tiene dos series de operaciones:

1.2.2.1 Trabajos Preparatorios

Antes de proceder a la extracción del material, es necesario retirar los terrenos construidos en tierra vegetal, limos y arcillas, etc., realizando las operaciones de despalme y desenraice con tractores, arados, etc., hasta dejar la roca expuesta con su frente de ataque en uno o varios pisos, con las terrazas respectivas para permitir la evolución de las maquinas de perforación, del equipo de carga y del equipo de evaluación del material extraído.

Fuente:www.oamarushingle.co.nz



Figura 6: Equipo de Extracción y Transporte de los Agregados Pétreos.

1.2.2.2 Extracción Propiamente Dicha

La extracción puede realizarse manualmente (cada vez menos usado este método), por medios mecánicos y por explosivos.

Los materiales suaves (pizarra, calizas blandas, lignito, etc.) se extraen por medio de equipos análogos a los empleados para las operaciones de despalle.

El caso más general, es la extracción por medio de explosivos, con los cuales se fracturan los bancos de roca y se obtiene una fragmentación en bloques de un tamaño tal, que se permite su manejo con los medios de carga y de transporte disponible, así como su entrada a la boca de la quebradora primaria.

En muchas ocasiones, a pesar de las precauciones tomadas en las voladuras masivas de los bancos de roca, un porcentaje medio del 20% al 30% de bloques, son demasiado grandes para manejarse con los medios que se dispone. Es necesario una reducción secundaria de dichos bloques por medio de dinamita o por medios mecánicos.

Fuente: www.ahorainfo.com.ar



Figura 7: Extracción de Agregados Pétreos por medio de Explosivos

La carga se realiza por cargadores frontales sobre neumáticos o sobre orugas y por palas mecánicas y el transporte a la planta de trituración, por camiones de diversas capacidades. Cuando la distancia de acarreo no es muy larga, el cargador frontal sobre neumáticos puede satisfactoriamente realizar la operación de transporte a la planta de trituración.

1.2.2.3 Pruebas para determinar las Características de una Roca

En el proceso de producción de agregados es fundamental conocer las características y propiedades de la roca ya que afectan al equipo de trituración. Para seleccionar adecuadamente el equipo de trituración se deben conocer dos de las propiedades más importantes de las rocas que son: **El grado de dureza** generalmente dado por la escala de Mohs, ver tabla 2, y **El grado de abrasividad** medido por el porcentaje de sílice. Si se contiene más del 6% la roca es abrasiva y por esto puede ser perjudicial para cierto tipo de equipo. Seguido a esto es

necesario hacer otras pruebas como son: Esfuerzo de compresión, gravedad específica, absorción, y desgaste en la Máquina de los Ángeles, siendo esta la más usual.

Tabla 2: Escala de Dureza de Mohs para diferentes Rocas

ESCALA DE MOHS		
Dureza		Ejemplo
1	-----	Talco, bauxita, grafito
2	-----	Yeso, mica, caolinita
3	-----	Calcita, mármol, pizarra
4	-----	Fluorita, granito, areniscas
5	-----	Apatita, esquistos, hematita
6	-----	Olivino, feldespato, calcedonia
7	-----	Cuarzo, basalto
8	-----	Topacio, circón
9	-----	Corindón, serpentina, rubí
10	-----	Diamante

Fuente: Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.

1.2.2.4 Proceso de Producción de Agregados

El proceso para la producción de agregados es el siguiente:

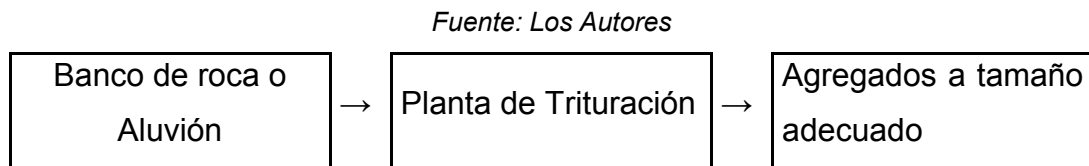


Figura 8: Proceso para la producción de agregados

Los objetivos centrales en la producción de agregados son:

- ✓ Cumplir las normas de tamaño y calidad.
- ✓ Producir el agregado al costo mínimo posible.

1.2.3 Equipo de Trituración

La preparación de los agregados tiene como objetivo principal transformar el material extraído de las canteras, el cual está compuesto de elementos de todas las dimensiones, desde grandes bloques hasta elementos finos e impurezas de arcilla y limo, en materiales limpios; y clasificarlos en las categorías granulométricas requeridas.

Para realizar dichas operaciones, se cuenta con un equipo de trituración y un equipo complementario, es decir, aquellas máquinas que sin participar directamente en las operaciones de trituración, son indispensables para realizar los procesos necesarios en la transformación del material natural, a materia útil dicha transformación se deberá realizar en varios pasos o etapas de acuerdo con el material natural disponible y con las especificaciones que deban cumplirse.

Se describen los siguientes tipos de equipos:

Fuente: Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.

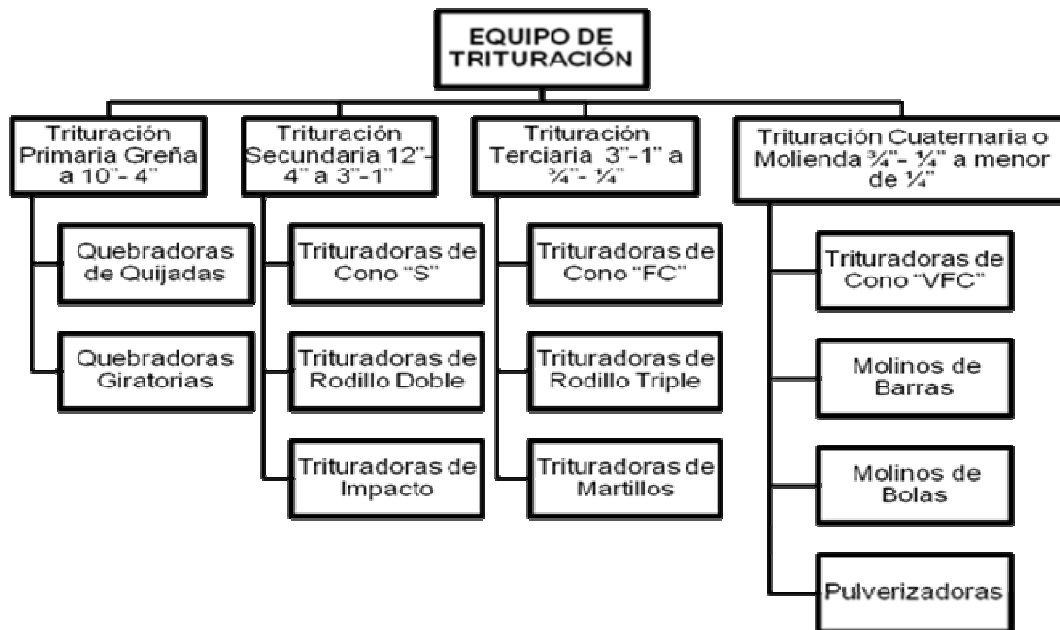


Figura 9: Tipos de equipo de trituración

Fuente: *Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.*

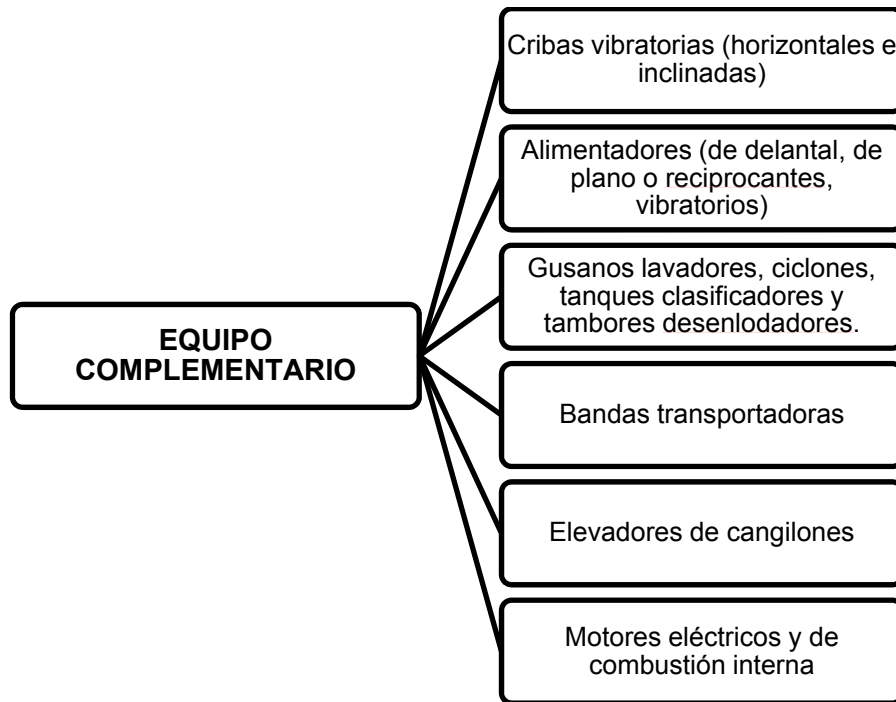


Figura 10: Equipo complementario de trituración

1.2.3.1 Efectos Mecánicos

Todas las máquinas de trituración tienen como propósito la reducción de tamaño de un material pétreo, para ello se le aplican esfuerzos a la roca hasta provocar su ruptura o falla a través de efectos mecánicos como: Impacto, desgaste, corte y compresión.

Las máquinas de trituración más utilizadas en las obras civiles emplean los métodos mecánicos de reducción indicados en el siguiente cuadro.

Tabla 3: Métodos mecánicos de reducción

QUEBRADORA	MODO DE REDUCCIÓN			
	IMPACTO	DESGASTE	CORTE	COMPRESIÓN
IMPACTO			
PULVERIZADOR			
MARTILLOS	
RODILLOS		
GIRATORIAS
QUIJADAS
CONO

Fuente: Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.

Para decidir cuál es el equipo de trituración apropiado para resolver un determinado problema de producción de agregados, es necesario tener en consideración tanto la naturaleza de la materia prima a procesar, como el trabajo idóneo para cada tipo de trituradora.

Dos de los conceptos básicos que definen el comportamiento y campo de aplicación de los diferentes tipos de quebradoras son: *Índice de reducción* y *Coefficiente de forma*.

1.2.3.2 Índice de Reducción

“Se define el índice de reducción de una máquina de trituración, a la relación:

$$I_R = \frac{D}{d}$$

Entre el tamaño “D” del fragmento de roca a la entrada de la máquina y el tamaño “d” del producto de la trituración a la salida. Dicho índice de reducción varía con

cada tipo de trituradora, de acuerdo con la mecánica de su construcción y con los métodos de reducción por ella utilizados.”³

Tabla 4: Índice de Reducción para cada tipo de Trituradora

TIPO DE TRITURADORA	INDICE DE REDUCCIÓN
Quijada	8 a 1
Giratoria	8 a 1
Cono secundario	10 a 1
Rodillo doble	3 a 1
Impacto	30 a 1
Cono FC terciario	10 a 1
Rodillo Triple	6 a 1
Martillos	20 a 1
VFC (cono cuaternario)	6 a 1
Molino de barras	15 a 1
Molino de bolas	30 a 1

Fuente: Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.

1.2.4 Proceso de trituración de Agregados

Para poder realizar una eficiente trituración del material es necesario conocer a fondo el orden del proceso de trituración y las características del equipo que se va a utilizar en cada etapa.

1.2.4.1 Trituración primaria

Es la primera etapa de reducción de los materiales pétreos, en ella se convierte el material producto de la explotación del banco de roca, a fragmentos entre 12” y 4”.

³ BENITEZ ESPARZA, PEDRO LUIS. “Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos”. FUNDEC A.C. 1986

Existen varios tipos de máquinas capaces de realizar esta reducción, las más importantes son las quebradoras de quijadas giratorias.

1.2.4.1.1 Quebradoras de Quijadas

La quebradora de quijadas de simple Togle con excéntrico superiores es la más utilizada en la primera etapa de reducción de los materiales pétreos. Es muy común en las plantas móviles y en instalaciones fijas de producción de agregados pétreos para la industria de la construcción.

Fuente: www.stone-crusher.cn



Figura 11: Trituradora de quijada

“Las trituradoras de quijadas se designan por el ancho y la longitud expresada en pulgadas del rectángulo que constituye la boca de admisión, las más comunes son 10”X16”, 10”X21”, 10”X30”, 12”X36”, 15”X24”, 20”X36”, 25”X40”, 30”X42”, 36”x46”, 44”X48”, 50”X60”, 66”X84”.”⁴

Equipo de mecánica simple. *“Se utiliza en las plantas portátiles, en tamaño que va desde 12”X48”, con pesos de 5300 Kg hasta 48000 Kg y producciones desde 18 ton/hora hasta 480 ton/hora, de acuerdo con el tamaño de la máquina, abertura*

⁴ BENITEZ ESPARZA, PEDRO LUIS. “Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos”. Capítulo 2. FUNDEC A.C. 1986

de salida y naturaleza geológica del material, alcanzando índices de reducción promedio de 8 a 1.⁵

El trabajo de estas trituradoras se basa principalmente en los efectos de impacto y de compresión.

Fuente: www.shibang-china.com

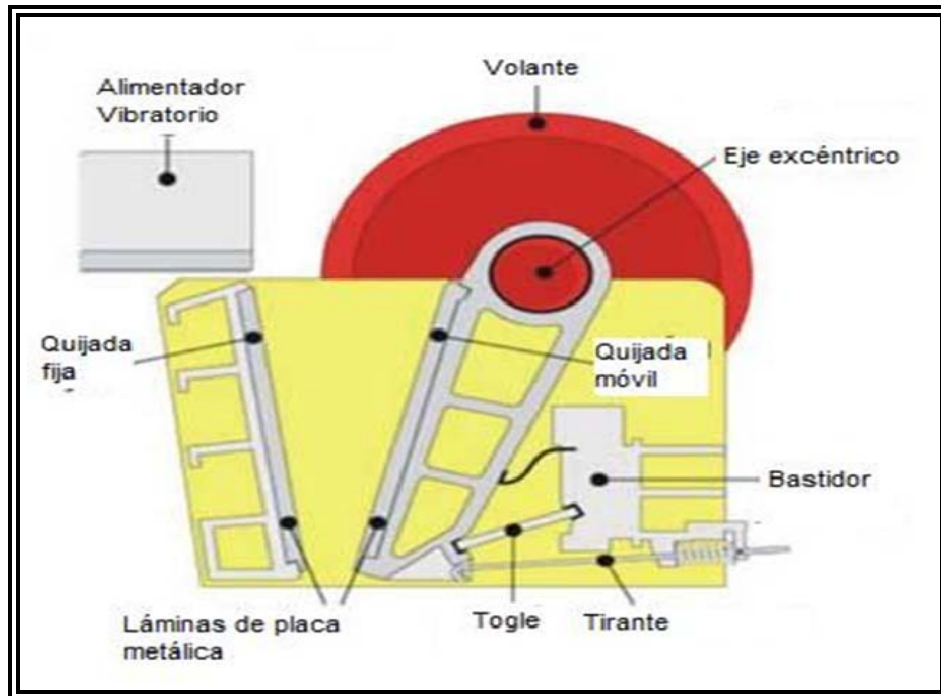


Figura 12: Elementos de la trituradora de quijadas

La quebradora de quijadas consta de un bastidor, construido de placas de acero electrosoldadas, en el cual está apoyada una flecha elaborada de acero de alta resistencia al impacto con aleaciones de níquel, cromo y molibdeno. Del eje excéntrico cuelga la quijada móvil. En la parte inferior está articulada a través de un elemento llamado togle o trampilla de articulación que cumple una doble función, además de articular la quijada móvil, sirve como fusible en el caso que por accidente se introduzca a la máquina un fragmento de material no triturable como

⁵ BENITEZ ESPARZA, PEDRO LUIS. "Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos". Capítulo 2. FUNDEC A.C. 1986.

puede ser la cabeza de un martillo o el diente de un cucharón. En este momento, el togle se rompe y permite el libre paso del fragmento sin ocasionar daños mayores a la máquina.

Tanto la quijada móvil como la fija, están revestidas por las muelas que son piezas de desgaste intercambiables fabricadas de acero altamente resistente a los efectos de la abrasión.

En la parte inferior de la quijada móvil existe un tirante a base de una varilla que en su parte de apoyo al bastidor tiene un resorte para asegurar el retroceso adecuado de la máquina.

En la parte superior se encuentra la boca de entrada del material y eje excéntrico que describe un movimiento de rotación, el cual provoca que el extremo superior de la biela sufra un movimiento circular, mientras que el extremo inferior describe también un arco de círculo, haciendo que la quijada tome de esta forma un movimiento complejo. El material es triturado por la compresión y el impacto que las quijadas le aplican hasta llegar al tamaño de salida.

1.2.4.1.2 Quebradoras Giratorias

Este tipo de máquinas se utilizan generalmente en obras de ingeniería donde se necesiten altas producciones.

En las trituradoras giratorias, la reducción del material se obtiene por la presión entre un bastidor anular fijo (1) en forma de cono llamado anillo cóncavo y un pilón o cabeza (2) también en forma troncocónica, pero en sentido inverso el cual está apoyado en una flecha (3) que cuelga de una araña (4), localizada en la parte superior sostenida por un travesaño a través de la abertura de entrada (5).

El apoyo inferior de la flecha está alojado en un mecanismo excéntrico (6), que al accionarse a través de la polea ranurada (7), flecha horizontal (8), piñón (9) y corona dentada produce un movimiento de campaneó que provoca a la roca alimentada por la parte superior de los efectos de impacto y compresión,

evacuándola por la parte inferior de acuerdo a un tamaño que dependerá de la abertura de salida (10).

Fuente: *Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.*

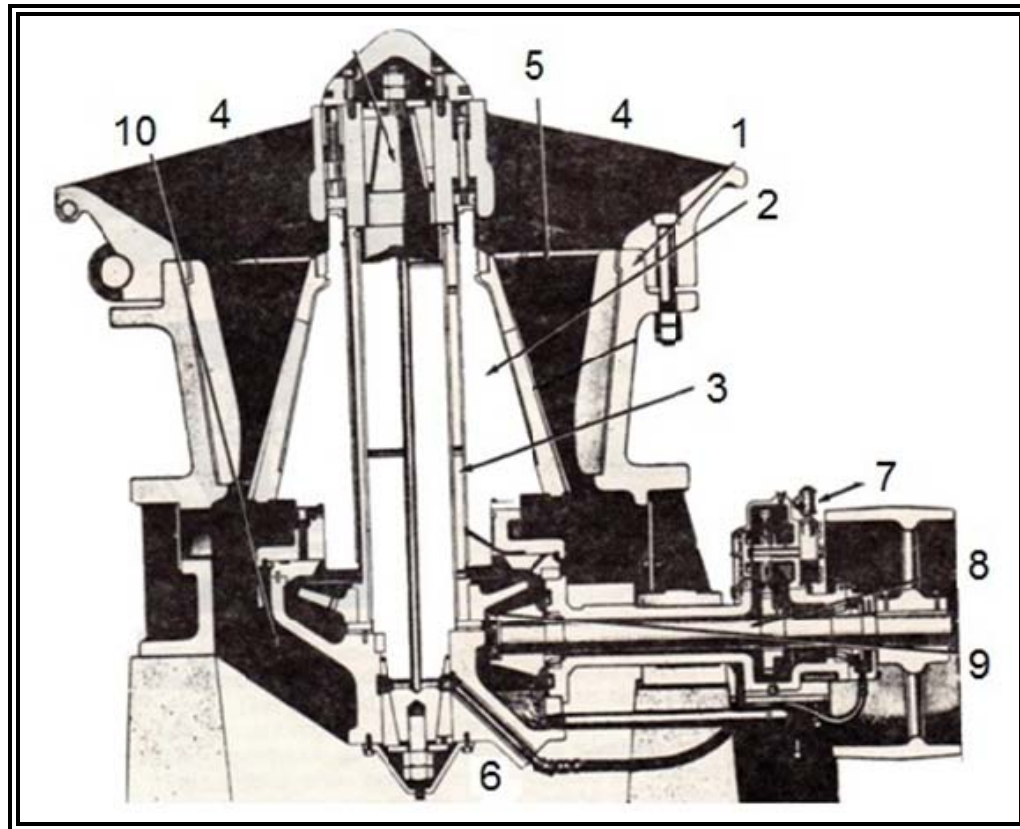


Figura 13: Corte esquemático de la trituradora giratoria.

Estas máquinas tienen una gran capacidad de producción, pero a su vez son muy pesadas, muy costosas y con dimensiones en su altura superiores a los 5 metros, lo que las hace poco prácticas para instalarse en grupos móviles o plantas portátiles.

*“El tamaño de este tipo de trituradoras se designa por el diámetro de admisión en pulgadas, siendo las más comunes de 8, 10, 13, 16, 20, 25, 30, 36, 42, 48, 54, y 60 pulgadas.”*⁶

⁶ BENITEZ ESPARZA, PEDRO LUIS. *Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.* Capítulo 2. FUNDEC A.C. 1986

1.2.4.2 Trituración Secundaria

El material producto de una trituración primaria puede ya usarse en la elaboración de concretos hidráulicos en el cual se utiliza grava # 4, sin embargo, para otras obras civiles es necesario reducirlo aún más de tamaño.

En la etapa de trituración secundaria, se reduce el material a fragmentos entre 3" a 1", que bien podrían ser material útil como grava para concreto, material de sub-base, etc. Las máquinas comúnmente utilizadas para realizar esta etapa son las trituradoras de cono, impacto, martillo y de rodillos.

1.2.4.2.1 Trituradoras de rodillos

Este tipo de trituradoras mecánica simple, utiliza los efectos de compresión y corte para efectuar la reducción del tamaño del agregado pétreo.

Fuente: www.crusherinchina.es

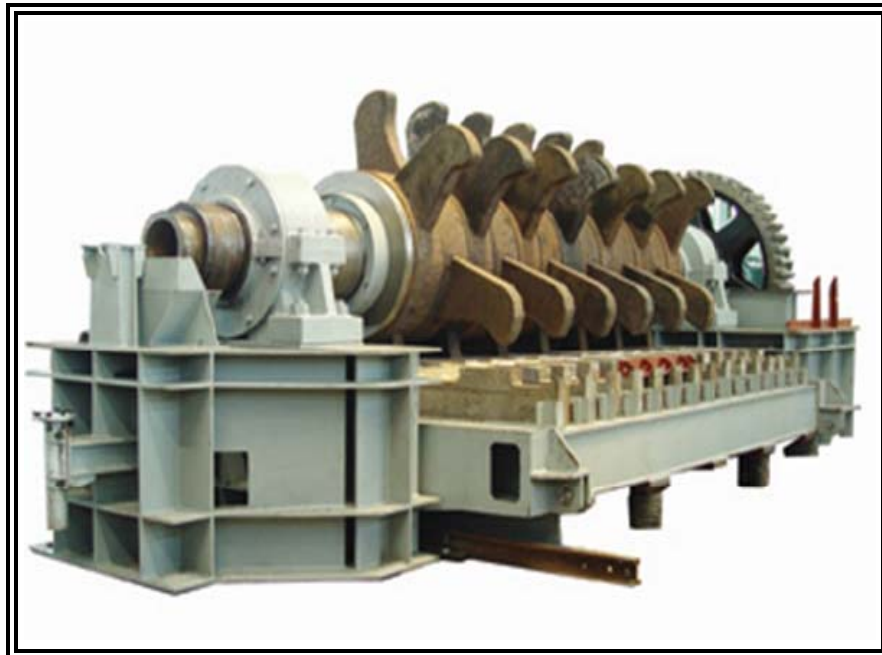


Figura 14: Trituradora de Rodillos

Este equipo es muy utilizado para tratamiento de materiales suaves y poco abrasivos como son caliza, carbón y yeso debido a que con rocas altamente abrasivas, el desgaste que se presenta en forma de surcos profundos de la superficie cilíndrica de los rodillos hace que se tengan altos costos de mantenimiento, presentándose también las siguientes limitaciones:

1. *“El diámetro de los rodillos debe ser de 20 a 30 veces mayor al tamaño de los fragmentos en la alimentación para que pueda aprisionarlos y triturarlos.*
2. *La producción es directamente proporcional al ancho de los rodillos sin embargo un ancho demasiado grande, provoca desgaste irregular y rápido más fuerte en el centro que en los extremos.”⁷*

El índice de reducción que se logra con estas máquinas es relativamente bajo 3 a 1 como máximo, debido fundamentalmente a las limitaciones que se tienen en los tamaños de los alimentadores. Se ha procurado disminuir un poco este inconveniente, introduciendo un tercer rodillo, obteniéndose así una máquina que puede trabajar con mayores índices de reducción, aún cuando más costosa en inversión inicial y en operación.

Para disminuir los problemas de alto costo de mantenimiento en dinero y tiempo, en el rectificado de los surcos de desgaste, se han diseñado máquinas de soldadura automática que mitigan un poco de estos inconvenientes.

El coeficiente de forma del material triturado en los rodillos es por regla general bajo, con una gran tendencia a formar muchas lajas en cierto tipo de rocas.

“El tamaño de estas maquinas se designa por dos cifras, diámetros del rodillo por ancho del mismo, generalmente en pulgadas. Los más usuales son 24 X 16, 40 X 30, 30 X 26 en rodillo doble y 24 X 30, 24 X 40, 24 X 50, 24 X 60, 30 X 40, 30 X 50, 30 X 60, 30 X 72 en rodillo triple.”⁸

⁷ BENITEZ ESPARZA, PEDRO LUIS. “Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos”. Capítulo 2. FUNDEC A.C. 1986

⁸Ibid.

1.2.4.2.2 Trituradoras de Impacto y de Martillo

Tanto las trituradoras de impacto como las de martillo, utilizan básicamente el efecto de fuertes impactos de la roca contra las placas del bastidor, impulsadas por uno o dos rotores que están girando a elevadas revoluciones por minuto. En las trituradoras de martillo con rejilla que funciona como controlador del tamaño máximo del producto, existen también los efectos secundarios de corte y desgaste de la roca entre el martillo y la rejilla.

Fuente: www.made-in-china.com



Figura 15: Vista exterior de la trituradora de impacto

Fuente: www.crusherspareparts.com

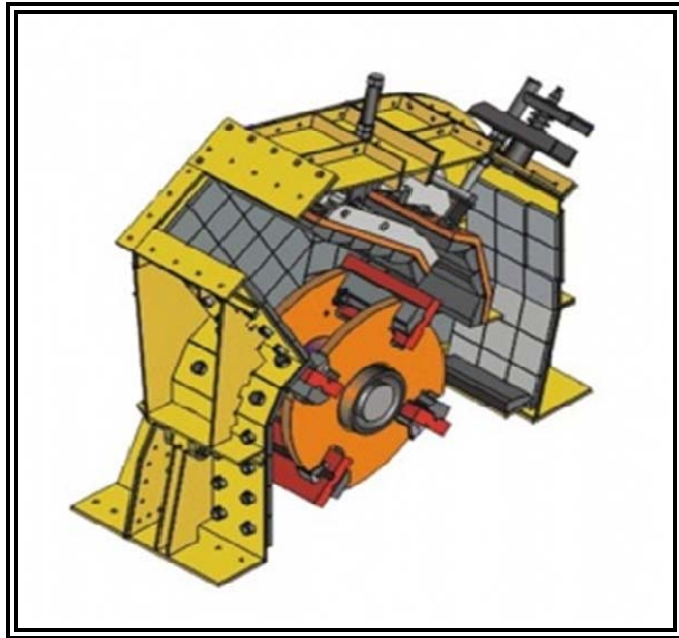


Figura 16: Vista interior de la trituradora de impacto

Fuente: www.impact-crushers.com

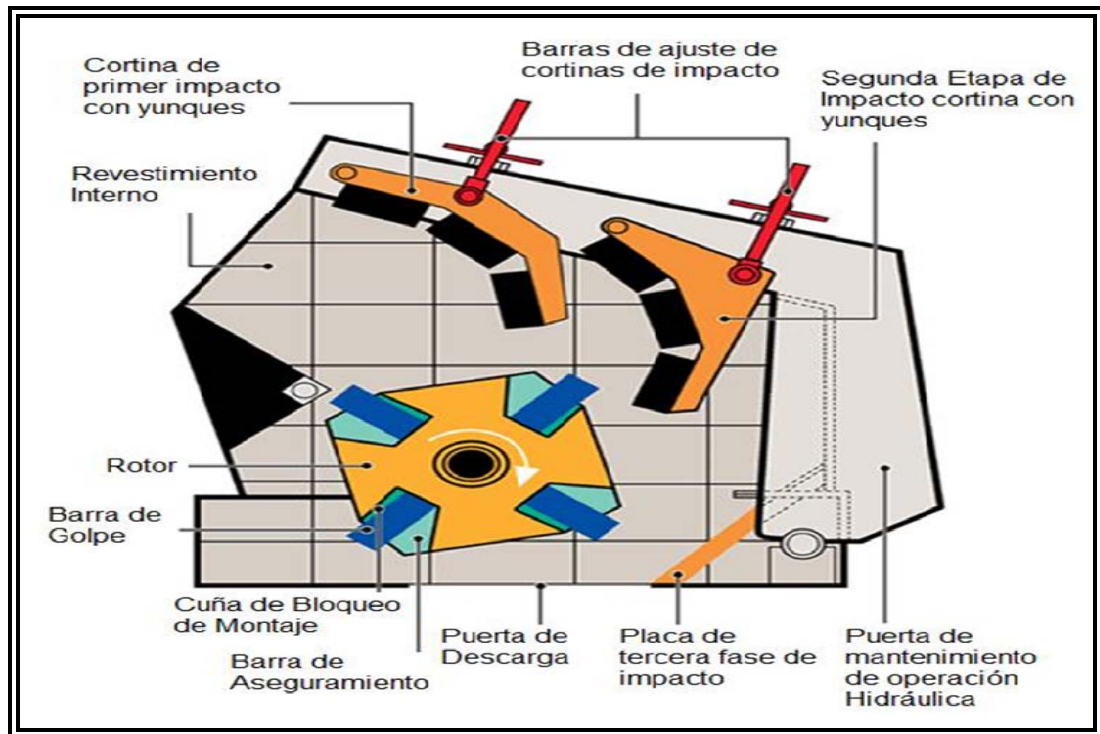


Figura 17: Corte esquemático de la trituradora de impacto

Fuente: www.directindustry.es

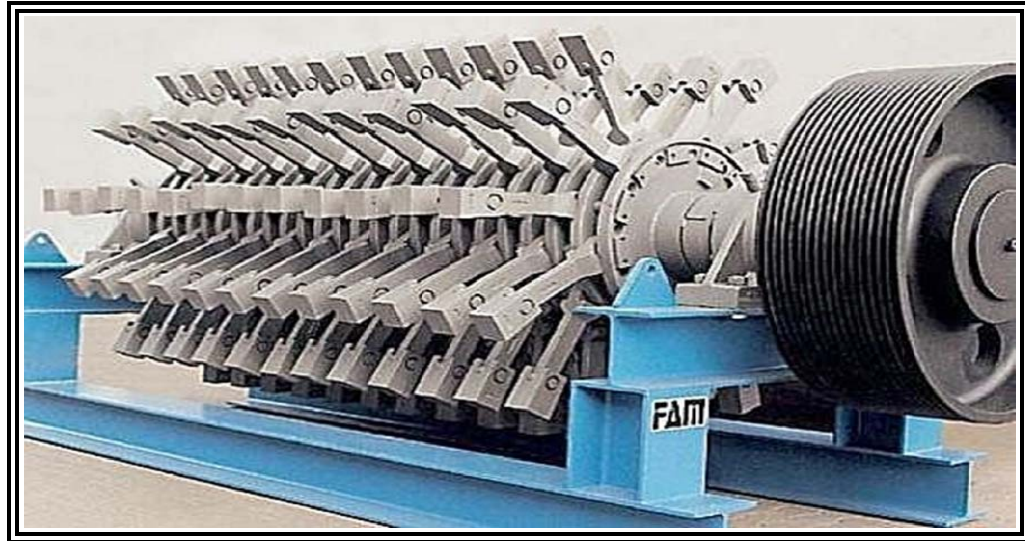


Figura 18: Vista exterior de la trituradora de martillo

Con este tipo de máquinas se obtiene material de elevado coeficiente de forma, con índices de reducción de 20 a 1 y en ocasiones de 30 a 1. Lamentablemente estas máquinas no son adecuadas para procesar rocas con más del 6% del contenido de sílice (SiO_2), por el fuerte desgaste que sufren sus martillos y barras de impacto con los materiales pétreos abrasivos, siendo aconsejable su empleo para tratar calizas, dolomitas, yesos, asbestos y en general todo tipo de minerales no abrasivos, pues de lo contrario se eleva mucho sus costos de mantenimiento.

El tamaño de estas trituradoras se designa con el diámetro del rotor por el ancho del mismo en pulgadas habitualmente, indicando si es de simple o de doble rotor y si cuenta o no con rejilla de clasificación.

Generalmente las barras de impacto así como las cabezas de martillo se fabrican con aleaciones de acero resistentes a la abrasión ya que es necesario cambiarlas frecuentemente de acuerdo con el desgaste que les ocasiona el proceso de trituración.

1.2.4.2.3 Trituradora de Cono

Las trituradoras de cono son las más utilizadas en lo que respecta a la trituración secundaria. Su fabricación y la construcción de sus principales componentes son semejantes a los de las quebradoras giratorias ya descritas.

Fuente: www.shibang-china.com



Figura 19: Trituradoras de cono

La principal diferencia es que la flecha en que se apoya el pilón o cabeza no cuelga, sino está sostenida en la parte inferior, donde se localiza el mecanismo excéntrico que se acciona a través de una flecha horizontal que trae la energía del motor y a base de un piñón y corona dentada produce un movimiento de campaneo para realizar los efectos de empaque y compresión.

En esas máquinas se puede apreciar que tanto el bastidor como el cono cabeza están contruidos de acero fundido. Son piezas de desgaste que deberán sustituirse periódicamente de acuerdo con la abrasividad del material.

El dispositivo de seguridad contra los productos no triturables está constituido por una serie de resortes perimetrales

“Este tipo de máquinas son muy eficientes ya que tiene un alto índice de reducción que puede llegar hasta 10 a 1; sus dimensiones son compactas lo cual las hace prácticas para su instalación en grupos móviles de trituración y sus costos de mantenimiento muy bajos, por la elevada duración de sus piezas de desgaste.

La regulación del tamaño se logra subiendo o bajando el anillo cóncavo y generalmente puede procesar cualquier tipo de material por duro y abrasivo que sea.

*La designación de este tipo es según el diámetro inferior del pilón expresando en pulgadas, siendo las más comunes 24”, 36”, 48”, y 66”.*⁹

1.2.4.3 Trituración Terciaria

El material producto de la trituración secundaria puede ser utilizado como agregado para la construcción de concretos hidráulicos y en la construcción de bases y sub-bases para vías, sin embargo en muchas ocasiones, como en el caso de la producción del concreto asfáltico y material de sello para carpetas, es necesaria la presencia de material más fino, para ello es necesaria la trituración terciaria que se encarga de reducir el material de 1½” a ¾” producto de la trituración secundaria a tamaños de ¾” a ¼”, para esta etapa se usan las mismas máquinas descritas anteriormente en la secundaria, es decir las trituradoras de cono, de rodillos y de impacto.

Las trituradoras de cono se fabrican en modelos especiales para cumplir las etapas secundaria y terciaria de reducción, modelos que si bien desde el exterior

⁹ BENITEZ ESPARZA, PEDRO LUIS. “Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos”. Capítulo 2. FUNDEC A.C. 1986.

presentan prácticamente el mismo aspecto, la geometría de sus cámaras de trituración tiene grandes diferencias, según se trate de una trituradora secundaria o terciaria siendo lógicamente las máquinas que se pueden cerrar a menor dimensión para producir material más pequeño, las que admiten menor tamaño de piedra a la entrada. “Para la trituración terciaria estas máquinas se designan por Telsmith como FC (Fine Crushing) y en la Symmons como Short Head (cabeza corta).”¹⁰

Fuente: *Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.*

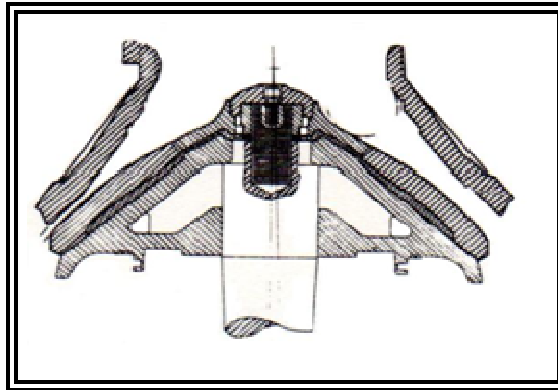


Figura 20: Cámara de trituración secundaria “S” o Estándar

Fuente: *Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.*

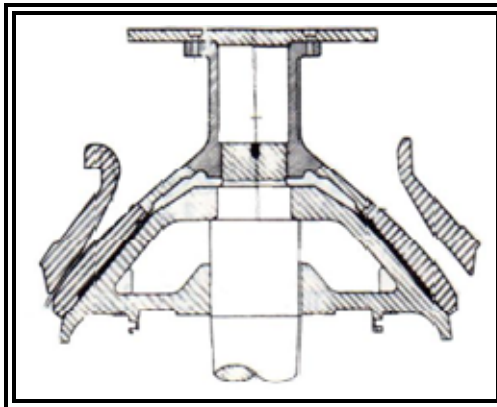


Figura 21: Cámara de trituración terciaria, “FC” o Cabeza Corta

¹⁰ BENITEZ ESPARZA, PEDRO LUIS. “Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos”. Capítulo 2. FUNDEC A.C. 1986

Fuente: Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.

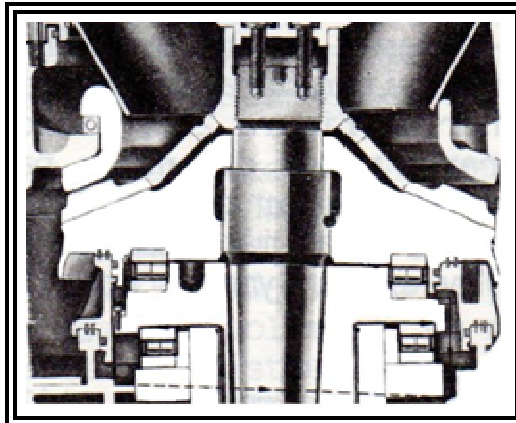


Figura 22: Cámara de trituración cuaternaria “VFC” o “Gyradisc”

En lo que respecta a las otras trituradoras generalmente se utiliza la de rodillo triple, las de impacto y de martillo conservan las mismas características que en la trituración secundaria pero con menores dimensiones tanto en la abertura de admisión así como en el rotor.

En algunos casos de producción de arenas calibradas, tanto para la elaboración de concretos hidráulicos, como para corregir las curvas granulométricas de los materiales producto de las trituradoras secundarias y terciarias debido a que causan déficit de partículas de 0 a 2 mm para cumplir con las especificaciones de materiales de base y carpeta asfáltica para la construcción de vías, es necesario efectuar una cuarta etapa en la reducción de los materiales pétreos, para lo cual utilizan básicamente la trituradora de conos VFC (Very Fine Crushing) anteriormente descrita y los molinos de barras y de bolas.

1.2.5 Selección del Equipo de Trituración

Las características de los agregados están ligadas al uso que se les va a dar, es decir, el diseño del concreto hidráulico requiere agregados pétreos completamente distintos a los que se necesitan en la construcción de una carretera. Por esta

razón el equipo que necesite cada uno de estos productos, tendrá características peculiares de acuerdo con el tipo de agregados a producir.

Se había visto, que en lo que respecta a la trituración primaria, el equipo ideal, lo constituyen las quebradoras de quijadas y sabemos que las quebradoras secundarias producen materiales en el rango de 1" a 3" de tamaño, las terciarias con cámaras finas materiales en el rango de ½" a ¾" y las cuaternarias materiales en el rango de ¼" a 3/8" de tamaño máximo, en términos generales. Se puede resumir lo expresado anteriormente, en cuadro siguiente:

Tabla 5: Reconocimiento del Equipo Idóneo de acuerdo a las Características del Material

Tipo de Trituradora	Índice de Reducción	Coef. De forma del producto	Grado de abrasividad recomendado de la roca	Consumo específico de energía
Rodillos	Bajo: 3 - 1	Bajo: Muchas lascas	Poco abrasivo	Normal
Martillos e impacto	Muy alto: 30 - 1	Muy bueno	No abrasivo	Muy alto
Conos	Alto: 10 - 1	Bueno	Todo tipo de rocas	Normal

Fuente: Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos.

Del análisis de la tabla anterior, se deduce que el tipo de trituradora más versátil, capaz de triturar eficiente y económicamente todo tipo de rocas, son las trituradoras de cono, que cuentan además con un elevado índice de reducción y dan productos con un buen coeficiente de forma teniendo consumos específicos de energía muy razonables.

Por tal razón este tipo de trituradora o quebradora es la más utilizada en los grupos móviles de trituración o plantas portátiles. Dichas grupos móviles disponen las maquinas de trituración sobre unos chasis-remolque que es movilizad por un camión siendo esencialmente útil en la construcción de vías.

Fuente: www.trituradoras.net

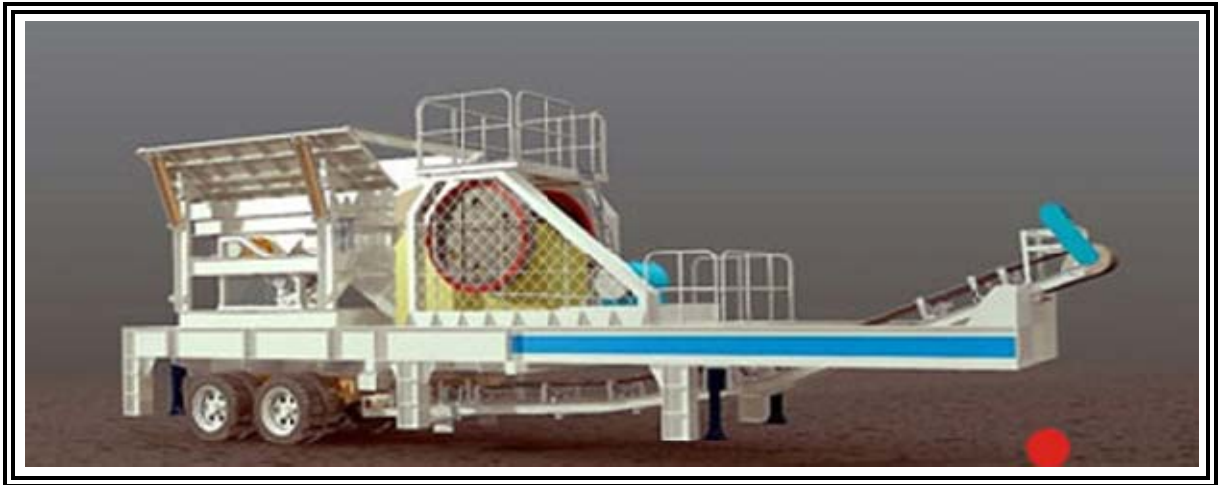


Figura 23: Equipo de trituración móvil

El sistema “dual”, consiste en instalar al mismo chasis-remolque, la quebradora primaria de quijadas, la trituradora secundaria de rodillos, la criba vibratoria, la rueda de cangilones de elevación, las bardas de evacuación y recirculación, etc.

Fuente: www.tradekey.com



Figura 24: Equipo móvil de Trituración Dual

Debido a que dicho dispositivo de arreglo daba unidades de grandes dimensiones muy pesadas, de difícil mantenimiento y operación, en los últimos años se ha adoptado el sistema de grupos móviles “unitarios”.

Para la integración de dichos grupos móviles “unitarios”, la experiencia ha indicado que la quebradora de quijadas es la máquina más adecuada para realizar la etapa primaria de trituración mientras que las trituradoras de cono en sus versiones de cabeza estándar y corta, son las máquinas apropiadas para realizar las etapas secundarias y terciarias de reducción de materiales pétreos.

En casos de unidades de muy elevada producción, se prefiere poner los alimentadores y cribas en remolques por separados, con el objeto de no tener unidades de pesos exagerados que hagan muy difíciles su transporte por las carreteras ordinarias.

Se procurará trabajar la última etapa de trituración siempre en circuito cerrado, con el objeto de tener control de tamaño máximo del producto, así como la mezcla con la fracción triturada con la natural para tener un agregado homogéneo.

Fuente: www.sbmchina.com

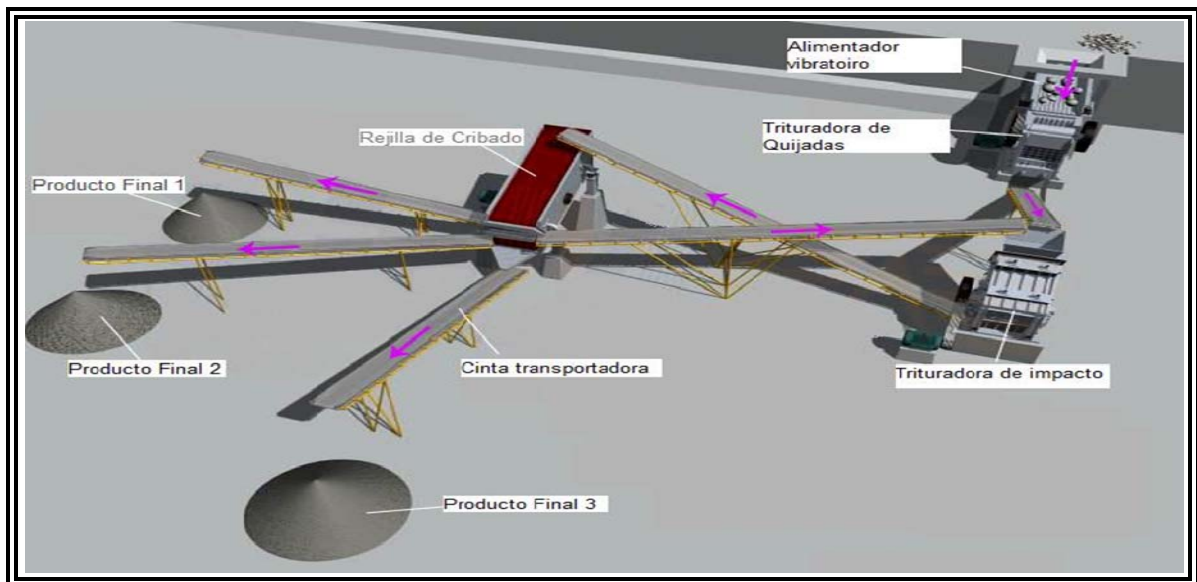


Figura 25: Esquema general de una Planta de Trituración Primaria y Secundaria

1.3 Mezcla de Agregados

En la fabricación de materiales es necesario con frecuencia mezclar varios agregados para producir una granulometría determinada. Las bases de agregados estabilizados y hormigones asfálticos son ejemplos usuales de tales combinaciones de agregados. Para producir la granulometría deseada pueden ser necesarias de dos a cinco materiales diferentes, de acuerdo con las disponibilidades. Después de obtener la granulometría de los materiales, se calcula el porcentaje que se precisa de cada uno para conseguir una granulometría especificada.

1.3.1 Ejemplo N° 1

Se tiene dos tipos de agregados (A y B), y se requiere el diseño de una mezcla para utilizar en un concreto hidráulico para cierta obra, que cumpla las especificaciones indicadas.

Agregado A		Agregado B	
Grava		Arena	
Tamiz	% Pasa	Tamiz	% Pasa
N° 4 (4.75mm)	10	N° 4 (4.75mm)	80

Especificaciones:

Mezcla	
Tamiz	% Pasa
N° 4 (4.75mm)	50

- **Método de las ecuaciones**

Cuando se emplea el método de las ecuaciones para efectuar el diseño de mezclas, es preciso tener claro las siguientes ecuaciones:

$$\boxed{(\% A)(\% Pasa A) + (\% B)(\% Pasa B) = \% Pasa Mezcla}$$

$$\boxed{(\% A) + (\% B) = 100}$$

A partir de esto, se plantea un sistema de dos ecuaciones dos incógnitas

1) $\boxed{(\% A)(\% Pasa A) + (\% B)(\% Pasa B) = 50\%}$

2) $\boxed{(\% A) + (\% B) = 100}$

Solución

Se tienen dos incógnitas %A y %B

$$(\% A)(10\%) + (\% B)(80\%) = 50\%$$

$$(\% A) + (\% B) = 1 \rightarrow \text{Despejando: } A = 1 - B$$

Reemplazando: $(1 - B)(10) + (B)(80) = 50$

$$(10 - 10B) + (80B) = 50 \rightarrow B = \frac{40}{70} \rightarrow \boxed{B = 57.14\%}$$

$$A = 100 - 57.14 \rightarrow \boxed{A = 42.86 \%}$$

La mezcla que cumple con las especificaciones solicitadas, corresponde a 42.86% del agregado A y 57.14% del agregado B.

- **Método gráfico**

Para este método se utiliza una serie de ábacos normalizados que hacen más práctico el diseño de mezclas con dos tipos de material.

El primer paso es ubicar los puntos del agregado A y del agregado B en los laterales del ábaco y unirlos.

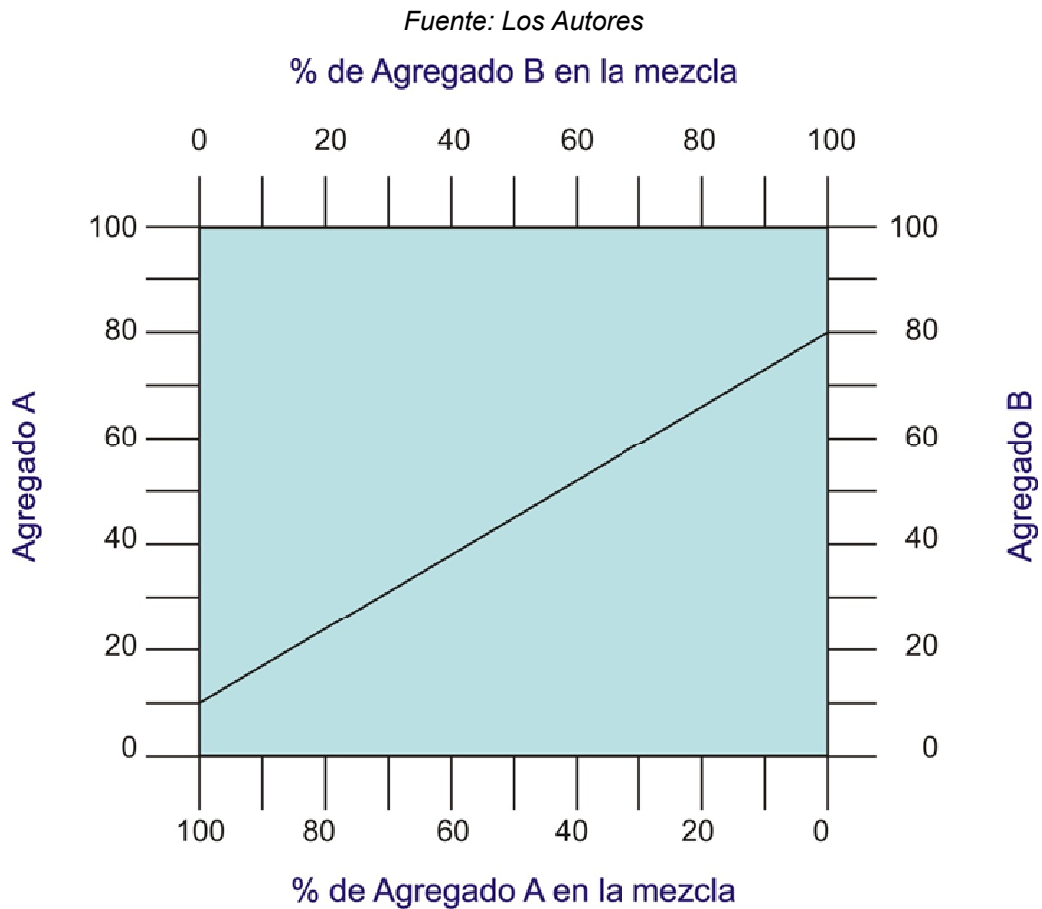


Figura 26: Ábaco para el diseño de mezcla con dos tipos de agregado

A continuación se ubica en el mismo sitio el porcentaje “pasa” que se requiere obtener en la mezcla, en este caso 50%.

Fuente: Los Autores

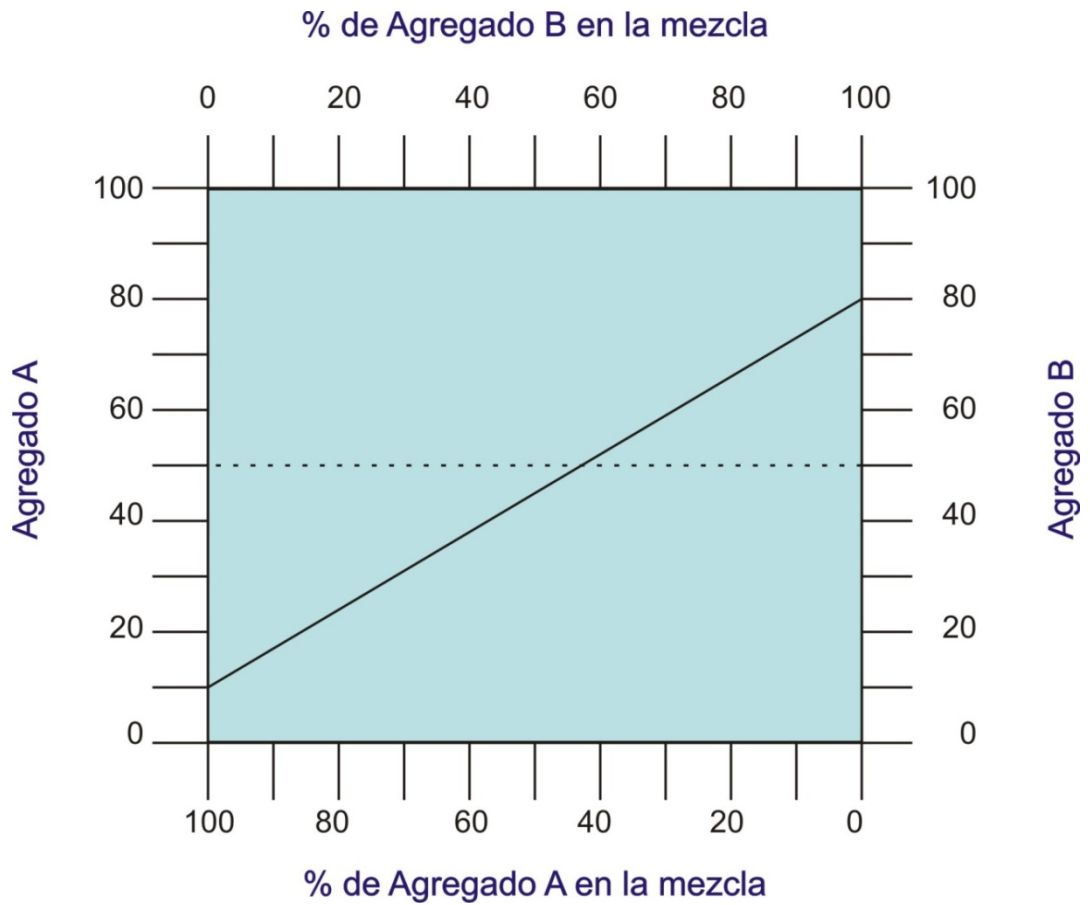


Figura 27: Ábaco para el diseño de mezcla con dos tipos de agregado

Seguidamente, a partir de la intersección de las dos rectas, se traza una línea vertical que corte con los porcentajes de agregados en la mezcla, ubicados en los lados superior e inferior del ábaco.

Fuente: Los Autores

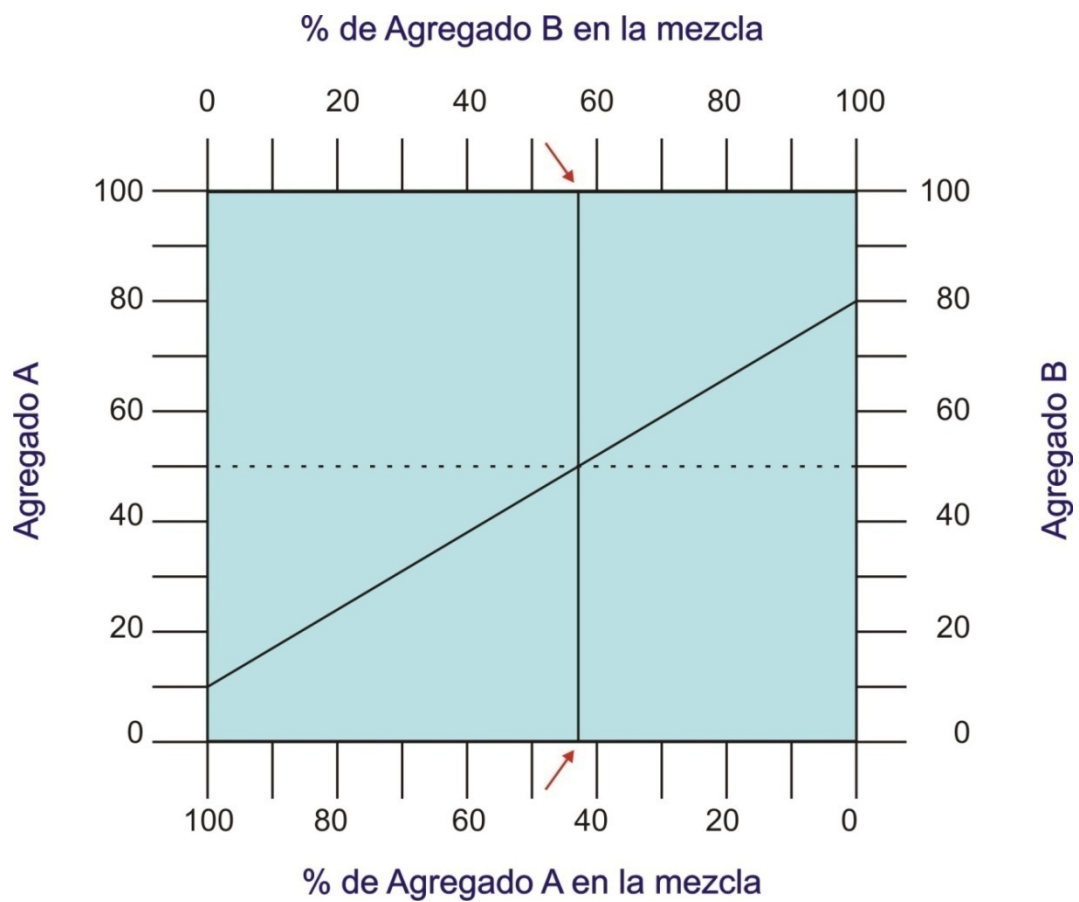


Figura 28: Ilustración de los porcentajes de agregado en la mezcla

Se identifican los valores en la escala. De esta manera se obtienen los valores de;

$A = 42.86\%$ y $B = 57.14\%$ correspondientes a los valores de agregado A y agregado B en la Mezcla final.

1.3.2 Ejemplo N° 2

Dados dos materiales con granulometría en peso conocida, hacer el diseño de mezcla para un pavimento que garantice las especificaciones propuestas.

Agregado A	
Tamiz	% Pasa
25 mm	100
12.5 mm	60
4.75 mm (N° 4)	10
0.075 mm	3

Agregado B	
Tamiz	% Pasa
12.5 mm	100
4.75 mm (N° 4)	80
0.075 mm	15

Mezcla	
Tamiz	% Pasa
25 mm	100
12.5 mm	50-85
4.75 mm (N° 4)	30-50
0.075 mm	5-15

Método de las ecuaciones

Como en este caso se tiene un rango de posibilidades en la especificación, se trabaja con el porcentaje promedio que pasa por cada uno de los tamices.

Porcentaje promedio para el tamiz de 12.5 mm en la mezcla:

$$\frac{(50+85)}{2} = 67.5\%$$

1) $(\% A)(\% \text{ Pasa } A) + (\% B)(\% \text{ Pasa } B) = 67.5\%$

$$2) \quad \boxed{(\% A) + (\% B) = 100}$$

Solución

Se tienen dos incógnitas %A y %B

$$(\% A)(60\%) + (\% B)(100\%) = 67.5\%$$

$$(\% A) + (\% B) = 1 \quad ; \text{Despejando:} \quad A = 1 - B$$

$$\text{Reemplazando: } (1 - B)(60) + (B)(100) = 67.5$$

$$(60 - 60B) + (100B) = 67.5 \quad \rightarrow \quad B = \frac{7.5}{40} \quad \rightarrow \quad \boxed{B = 18.75\%}$$

$$A = 100 - 18.75 \quad \rightarrow \quad \boxed{A = 81.25 \%}$$

Porcentaje promedio que pasa por el tamiz de 4.75 mm en la mezcla:

$$\frac{(30+50)}{2} = 40\%$$

$$1) \quad \boxed{(\% A)(\% \text{ Pasa } A) + (\% B)(\% \text{ Pasa } B) = 40\%}$$

$$2) \quad \boxed{(\% A) + (\% B) = 100}$$

Se tienen dos incógnitas %A y %B

$$(\% A)(10\%) + (\% B)(80\%) = 40\%$$

$$(\% A) + (\% B) = 1 \quad ; \text{Despejando:} \quad A = 1 - B$$

$$\text{Reemplazando: } (1 - B)(10) + (B)(80) = 40$$

$$(10 - 10B) + (80B) = 40 \quad \rightarrow \quad B = \frac{30}{70} \quad \rightarrow \quad \boxed{B = 42.85\%}$$

$$A = 100 - 42.85 \quad \rightarrow \quad \boxed{A = 57.14 \%}$$

Porcentaje promedio que pasa por el tamiz de 0.075 mm en la mezcla:

$$\frac{(5+15)}{2} = 10\%$$

1) $(\% A)(\% Pasa A) + (\% B)(\% Pasa B) = 10\%$

2) $(\% A) + (\% B) = 100$

Solución del sistema de ecuaciones

Se tienen dos incógnitas %A y %B

$$(\% A)(10\%) + (\% B)(80\%) = 10\%$$

$$(\% A) + (\% B) = 100 \quad ; \text{ Despejando: } A = 100 - B$$

$$\text{Reemplazando: } (100 - B)(10\%) + (B)(80\%) = 10\%$$

$$(100 - 3B) + (15B) = 10 \quad \rightarrow \quad B = \frac{7}{12} \quad \rightarrow \quad \boxed{B = 58.33\%}$$

$$A = 100 - 58.33 \quad \rightarrow \quad \boxed{A = 41.66\%}$$

Para estar seguro que el valor está en el rango especificado, se calcula el promedio aritmético.

$$\text{Promedio de \%A: } \overline{\%A} = \frac{81.25+57.14+41.67}{3} = 60.02\% \cong 60\%$$

$$\text{Promedio de \%B: } \overline{\%B} = \frac{18.75+42.86+58.33}{3} = 39.98\% \cong 40\%$$

Al reemplazar estos valores en las ecuaciones, los valores resultantes deben estar dentro de los rangos de las especificaciones de la mezcla:

$$(\% A)(60\%) + (\% B)(100\%) = 67.5\% \rightarrow (0.60)(60) + (0.4)(100) = 76\% \\ \in [50 - 85]$$

$$(\% A)(10\%) + (\% B)(80\%) = 67.5\% \rightarrow (0.60)(10) + (0.4)(80) = 32.6\% \\ \in [30 - 50]$$

$$(\% A)(3\%) + (\% B)(15\%) = 67.5\% \rightarrow (0.60)(3) + (0.4)(15) = 7.8\% \\ \in [5 - 15]$$

- **Método gráfico**

Se ubican los valores correspondientes al porcentaje “pasa” de cada uno de los agregados, en los laterales del ábaco y se unen con líneas.

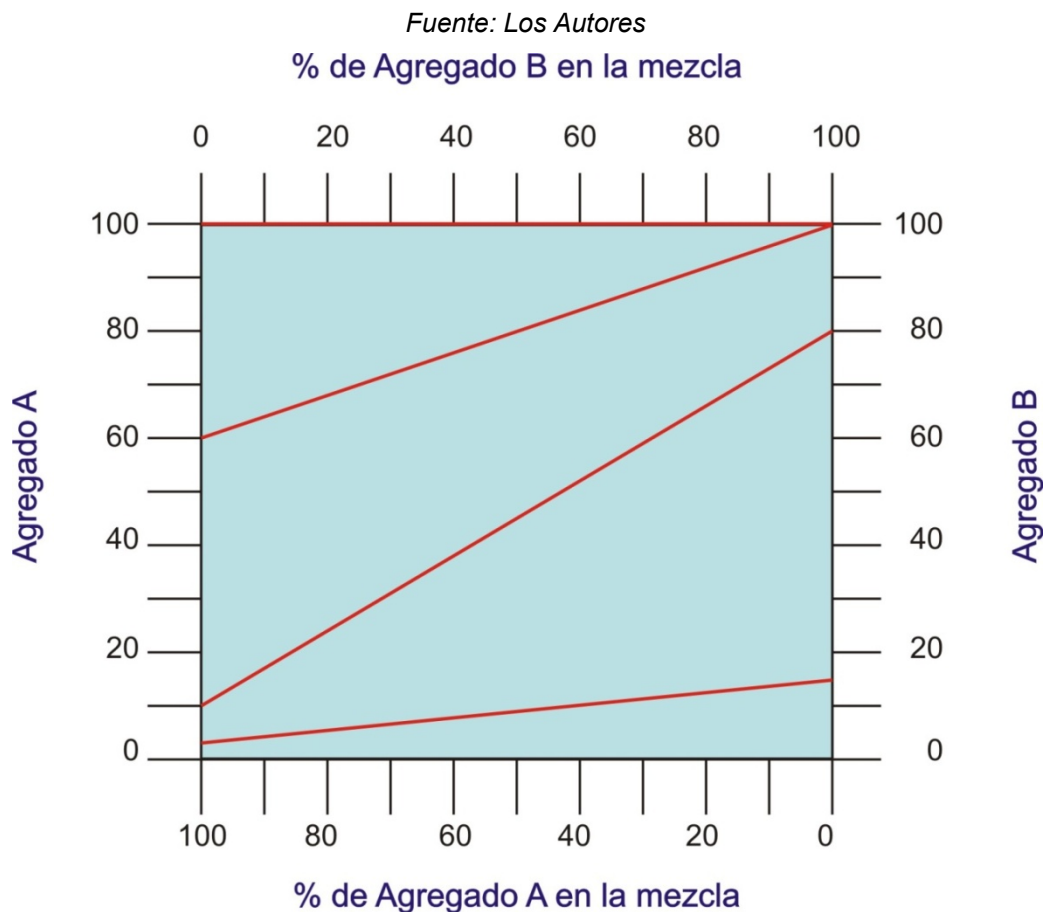


Figura 29: Ubicación de los porcentajes “pasa” de los agregados

A continuación se ubica en el mismo sitio los rangos del porcentaje “pasa” permitidos en las especificaciones de la mezcla y se resalta los segmentos de recta acotados por los rangos.

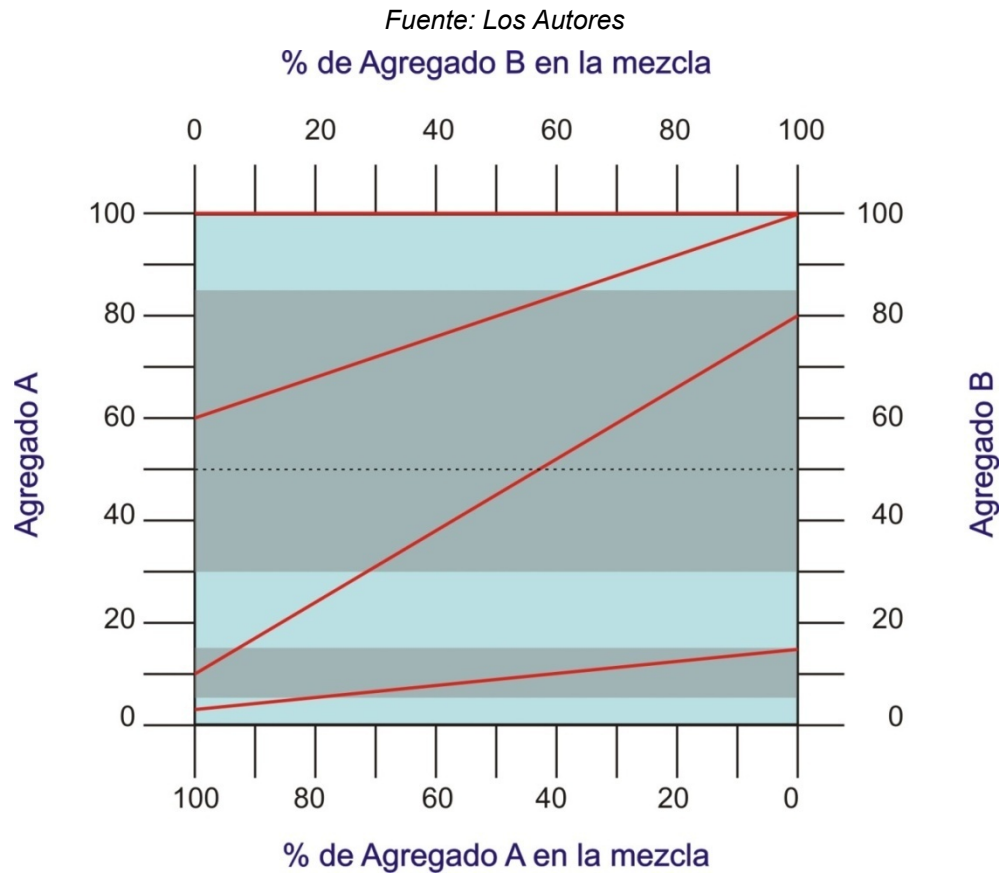


Figura 30: Ilustración de los rangos permitidos para la mezcla

Seguido a esto se busca la región común para los porcentajes tanto del agregado A como del agregado B, de esta manera se garantiza que los porcentajes inscritos en ese rango, cumplen con las especificaciones requeridas en la mezcla.

Fuente: Los Autores

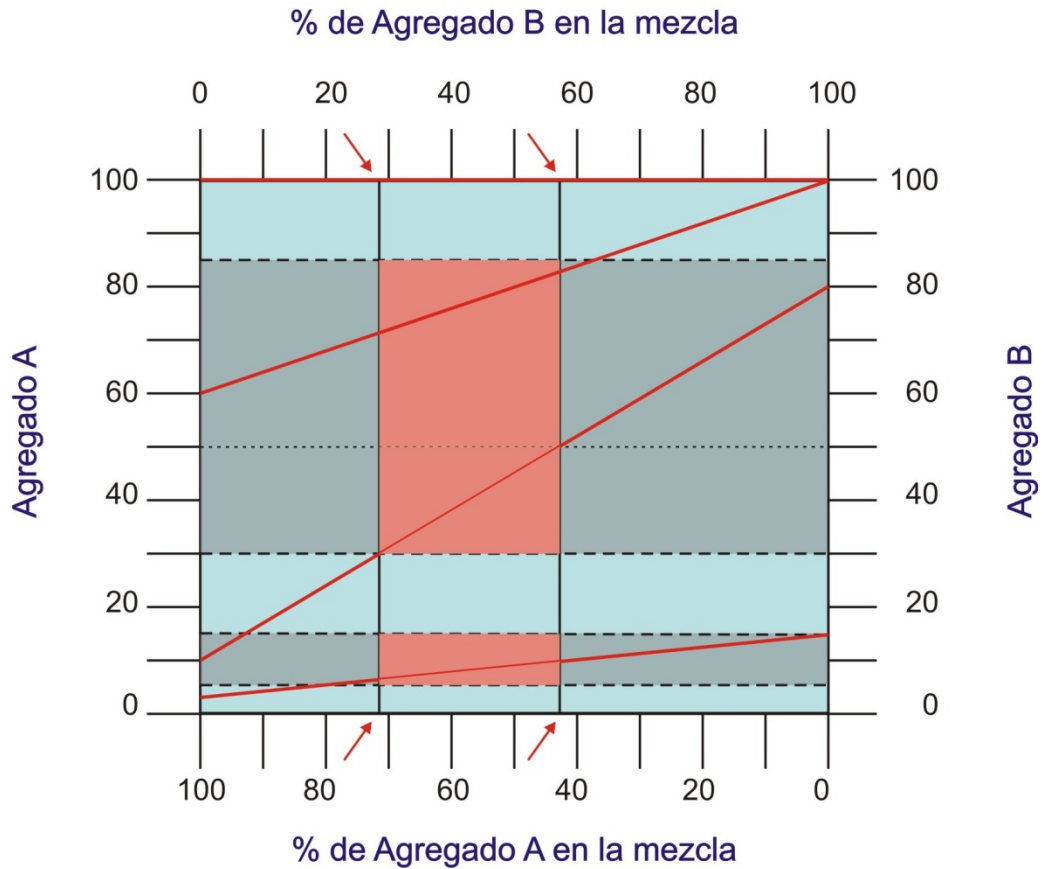


Figura 31: Ilustración de la región común para los porcentajes de los agregados

De esta manera se puede visualizar que el resultado es un rango de valores dados así:

$$%A \cong \in [43\% - 72\%]$$

$$%B \cong \in [28\% - 57\%]$$

En este caso, al momento de escoger el porcentaje exacto de cada uno de los agregados entra en juego la variable del costo, con el fin de obtener una mezcla óptima.

1.3.3 Ejemplo N° 3

Si se mezcla 40% de Material 1 con 60% de Material 2 en peso.

- a) ¿Cuál es la granulometría de la mezcla en peso?
- b) ¿Cuál es la granulometría de la mezcla en volumen?

Tamiz	Material 1	Material 2
	%Pasa	%Pasa
25 mm	100%	100%
19 mm	70%	100%
4.75 mm	0%	40%
Gravedad Específica	2.63 Ton/m ³	1.85 Ton/m ³

Solución

Se supone un peso total de la mezcla de 100 Toneladas de material seco, lo que quiere decir, según con los porcentajes, que se tiene 40 Toneladas de Material 1 y 60 Toneladas de Material 2.

Sabemos que: $Gravedad\ Específica\ Nominal = \frac{Masa\ Agregados\ en\ Seco}{Volumen}$

$$\text{Para el Material 1: } 2.63 \frac{Ton}{m^3} = \frac{40\ Ton}{Vol_1} \rightarrow Vol_1 = 15.2091\ m^3$$

$$\text{Para el Material 2: } 1.85 \frac{Ton}{m^3} = \frac{60\ Ton}{Vol_2} \rightarrow Vol_2 = 32.4324\ m^3$$

a) Granulometría en peso

Para el tamiz de 25 mm: $\%P = (\% 1)(\% Pasa\ 1) + (\% 2)(\% Pasa\ 2)$

$$\%P = (0.4)(100) + (0.6)(100) \rightarrow \boxed{P = 100\%}$$

Para el tamiz de 19 mm: $\%P = (\% 1)(\% Pasa 1) + (\% 2)(\% Pasa 2)$

$$\%P = (0.4)(70) + (0.6)(100) \rightarrow \boxed{P = 88\%}$$

Para el tamiz de 4.75 mm: $\%P = (\% 1)(\% Pasa 1) + (\% 2)(\% Pasa 2)$

$$\%P = (0.4)(0) + (0.6)(40) \rightarrow \boxed{P = 24\%}$$

Tamiz	Mezcla que pasa
25 mm	100%
19 mm	88%
4.75 mm	24%

b) Granulometría en Volumen:

Para el tamiz de 25 mm: $\%P = \frac{(Vol_1)(\% Pasa 1) + (Vol_2)(\% Pasa 2)}{Vol_1 + Vol_2}$

$$\%P = \frac{(15.2091)(100) + (32.4324)(100)}{47.6415} \rightarrow \boxed{P = 100\%}$$

Para el tamiz de 19 mm: $\%P = \frac{(Vol_1)(\% Pasa 1) + (Vol_2)(\% Pasa 2)}{Vol_1 + Vol_2}$

$$\%P = \frac{(15.2091)(70) + (32.4324)(100)}{47.6415} \rightarrow \boxed{P = 90.4\%}$$

Para el tamiz de 4.75 mm: $\%P = \frac{(Vol_1)(\% Pasa 1) + (Vol_2)(\% Pasa 2)}{Vol_1 + Vol_2}$

$$\%P = \frac{(15.2091)(0) + (32.4324)(40)}{47.6415} \rightarrow \boxed{P = 27.2\%}$$

Tamiz	Mezcla que pasa
25 mm	100%
19 mm	90,40%
4.75 mm	27,20%

Tamiz	Mezcla que pasa
25 mm	100%
19 mm	90,40%
4.75 mm	27,20%

Nota: Cuando se quiere hacer el diseño de mezcla, donde intervienen tres o más tipos de agregados, es pertinente utilizar el ábaco triangular. Este ábaco relaciona los agregados en tres puntos de su granulometría donde se diferencien tres tamaños de agregados; gravas, arenas y finos.

1.3.4 Ejemplo N° 4

Se desea realizar un diseño de mezcla donde intervienen tres tipos de agregados. La mezcla debe cumplir ciertas especificaciones necesarias para satisfacer los esfuerzos a los que va estar sometida durante su vida útil.

Tamiz	% Pasa			Especificaciones Mezcla
	Granulometría A	Granulometría B	Granulometría C	
1"	100			100
$\frac{3}{4}$ "	50			70-100
$\frac{3}{8}$ "	30	100		55 - 90
N° 4	10	80		40 - 60
N° 10	0	60	100	25 - 45
N° 40		20	60	15 - 30
N° 200		0,5	40	5 - 15

Solución:

Para utilizar este tipo de ábaco se debe definir los tamices que van a regir la tres regiones compuestas por los diferentes tipos de granulometrías. En este caso se toman los tamices $\frac{3}{8}$ " y N° 40.

Se toman los datos de granulometría de cada tipo de agregado independientemente, empezando con el agregado A, se ubica el valor en la escala del lado que indica "Retenido en 3/8", y se traza una línea paralela a las propuestas por el ábaco.

A continuación se repite el procedimiento para el lado que indica "Pasa 3/8"- Retenido en N° 40" y por último, con el lado que indica "Pasa N° 40"

La intersección de las tres rectas generan un punto, que corresponde al punto del Agregado A.

Se repite el procedimiento para cada tipo de agregado, obteniendo 3 puntos.

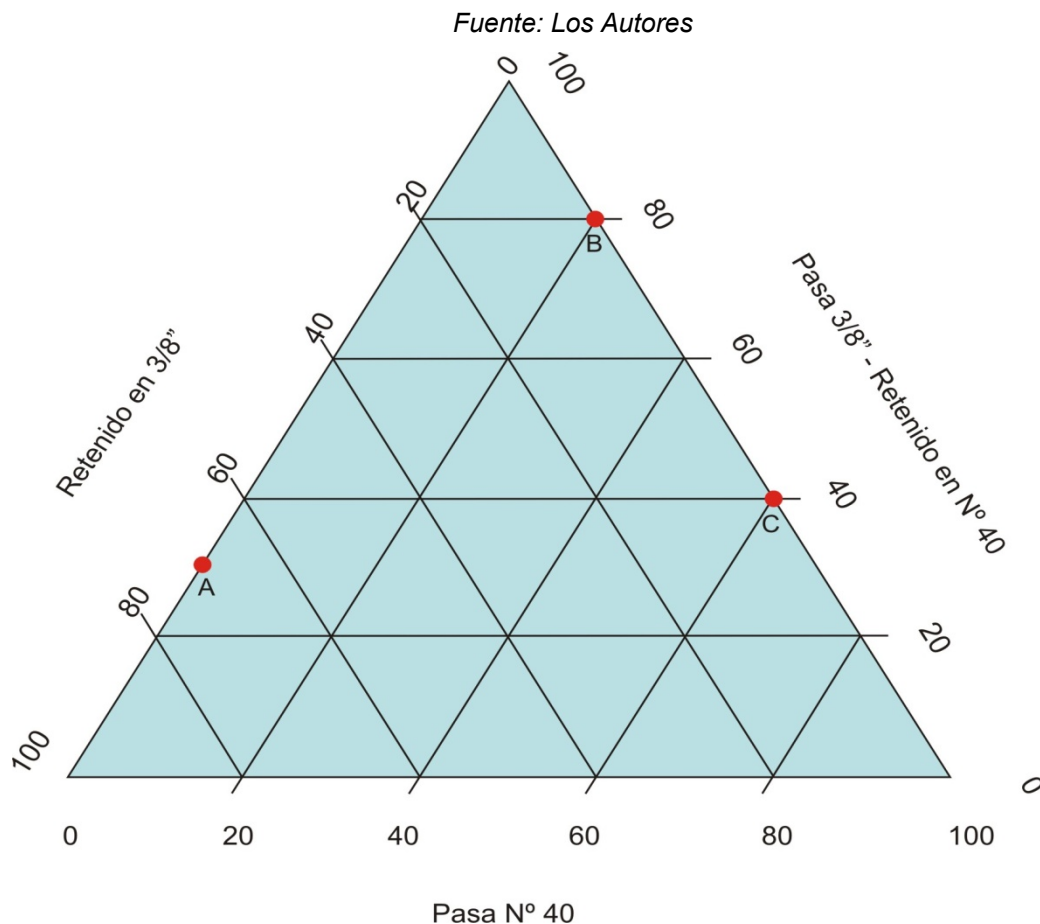


Figura 32: Abaco Triangular ilustrando tres puntos, correspondientes a cada agregado.

A continuación se representa en el ábaco la región de la especificación. Para ello, se ubican las regiones de granulometría en los lados correspondientes y, al igual que con los agregados, se interceptan las rectas obteniendo la región de especificación.

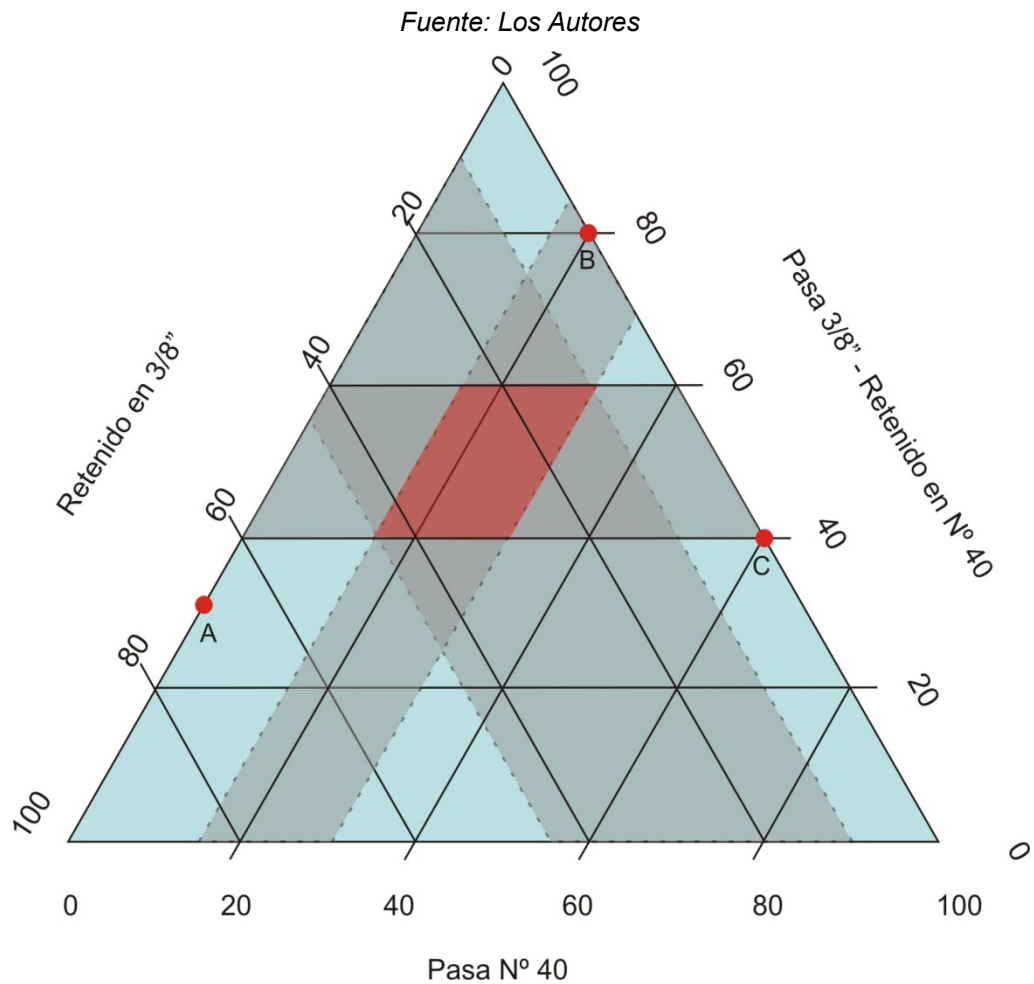


Figura 33: Abaco Triangular ilustrando la región correspondiente a la especificación.

El objetivo es encontrar un punto común de los tres agregados, que se encuentre dentro del área de especificación. Para ello se traza una recta entre el punto correspondiente al agregado A y el punto correspondiente al agregado C. Seguido a esto se traza una línea desde el punto que corresponde al agregado B, que corte

con la línea A –B, generando el punto M. Sobre esta misma línea se ubica un nuevo punto E que este dentro del área de especificación.

Fuente: Los Autores

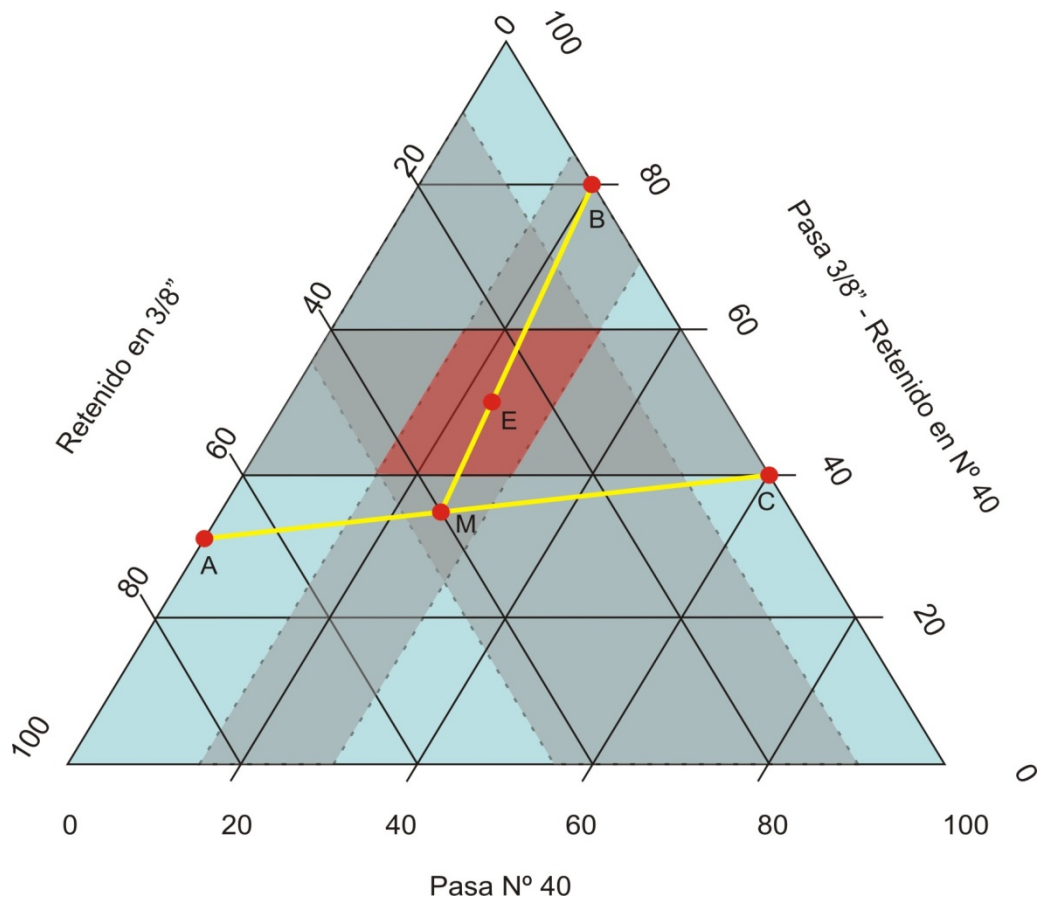


Figura 34: Abaco Triangular ilustrando los puntos E y M, dentro del área de especificación.

Porcentajes con respecto al punto M

$$\%A = \frac{\overline{MC}}{\overline{AC}} * 100 \rightarrow \frac{4.68}{8.2} * 100 = 57.074\%$$

$$\%C = \frac{\overline{MA}}{\overline{AC}} * 100 \rightarrow \frac{3.52}{8.2} * 100 = 42.926\%$$

Porcentajes con respecto al punto E

$$\%B = \frac{\overline{EM}}{\overline{BM}} * 100 \rightarrow \frac{1.78}{5.39} * 100 = 33.024\%$$

$$\%M = \frac{\overline{BE}}{\overline{BM}} * 100 \rightarrow \frac{3.61}{5.39} * 100 = 66.976\%$$

Porcentajes totales de los agregados en la mezcla:

$$\%A = \frac{\overline{MC}}{\overline{AC}} * \frac{\overline{BE}}{\overline{BM}} * 100 \rightarrow \frac{4.68}{8.2} * \frac{3.61}{5.39} * 100 = \boxed{38.226\%}$$

$$\%B = \frac{\overline{EM}}{\overline{BM}} * 100 \rightarrow \frac{1.78}{5.39} * 100 = \boxed{33.024\%}$$

$$\%C = \frac{\overline{MA}}{\overline{AC}} * \frac{\overline{BE}}{\overline{BM}} * 100 \rightarrow \frac{3.52}{8.2} * \frac{3.61}{5.39} * 100 = \boxed{28.75\%}$$

2. AGLOMERANTES HIDRÁULICOS

Los materiales aglutinantes que se endurecen solo mediante la reacción con el agua se conocen como Aglomerantes Hidráulicos. Algunos de estos materiales son el yeso, la cal y de forma artificial el cemento portland.

En la Industria de la Construcción, los aglomerantes hidráulicos se emplean para agrupar cada uno de los elementos del árido con el propósito de obtener la resistencia deseada de la mezcla hidráulica que componen los elementos básicos de las estructuras civiles.

Fuente: Los Autores

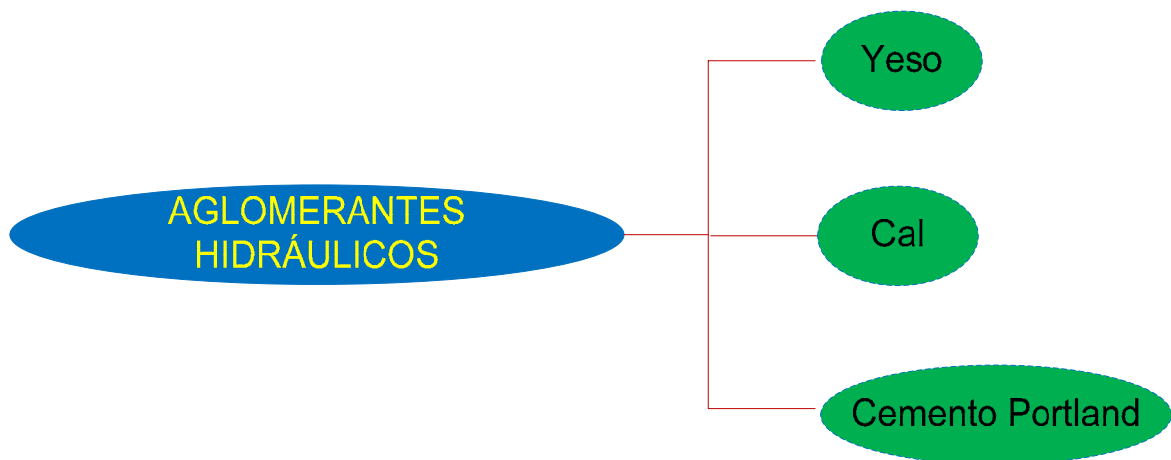


Figura 35: Aglomerantes hidráulicos

2.1 EL YESO

El empleo del yeso en la construcción se remonta al año 2100 a.C. bajo el trabajo de los egipcios. Los griegos y los romanos también se sirvieron de sus características y lo emplearon como material ligante, actividad que en la actualidad también proporciona soluciones a problemas constructivos, ya que ofrece un acabado duro y terso a las superficies construidas con él.

Fuente: www.wikimedia.org

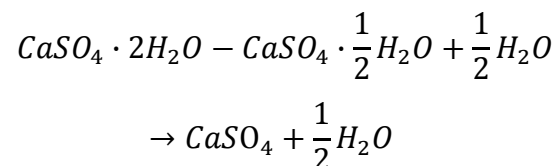


Figura 36: Yeso y su estructura cristalina

2.1.1 Propiedades físicas y químicas

El yeso es un material de origen natural y es un sulfato hidratado de calcio ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$ con densidad alrededor de 2.3 gr/cm^3), que se presenta de manera combinada con óxidos de hierro y aluminio, con carbonatos de calcio y magnesio o de forma pura. Cuando el mineral presenta un color blanco, se dice que es puro, pero es más frecuente encontrarlo en tonos grises, rojos o cafés, de acuerdo al contenido de impurezas.

Cuando se le calienta (o calcina) de 325 a 340°F (162.78 a 171.11°C), el yeso pierde alrededor de tres cuartas partes del agua. En este caso, si se le agrega agua, se hidrata formando cristales, cementados unos con otros, y permitiendo dar cualquier forma en su estructura rocosa original:



En el comercio, el yeso se consigue calcinado o sin calcinar, en presentaciones de sacos o bolsas de papel.

La resistencia del dihidrato depende de: La cantidad de agua utilizada durante el proceso de mezcla, la cantidad de anhídrido presente, el tipo y la cantidad presente de productos de relleno. Cantidades altas de anhídrido generan un incremento en la resistencia, al igual que temperaturas elevadas de calcificación. El dihidrato presenta propiedades de aislamiento del calor, del sonido, de maleabilidad y resistencia al fuego, ya que el sulfato de calcio no arde y sus buenas propiedades de aislamiento retrasan los daños causados por incendio a las estructuras de madera y acero.

2.1.2 Proceso de Fabricación del yeso

El proceso de fabricación del yeso puede ser resumido en la figura 38.

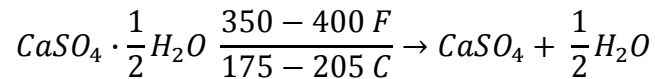
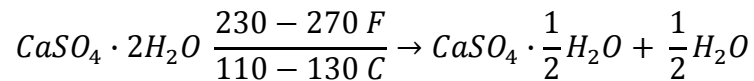


Figura 37: Proceso de fabricación del yeso

2.1.2.1 Fabricación del yeso

Luego de la extracción del mineral, se tritura y se calienta en calderas u hornos giratorios. Las calderas pueden contener volúmenes de 6 a 10 toneladas y se equipan con un mecanismo agitador que provoca el calentamiento uniforme del contenido, y al mismo tiempo, impide el sobrecalentamiento localizado de la caldera.

La deshidratación del yeso es un proceso que toma dos etapas:



En las calderas, la primera deshidratación va acompañada por una acción visible de ebullición, que finaliza, al alcanzar una temperatura de 270°F (130°C), aproximadamente. Cuando se alcanza la anterior temperatura, el agua restante es separada, alcanzando una segunda acción de ebullición. El resultado es un producto semi-hidratado muy estable, que se envasa en paquetes o bolsas para uso como ingrediente del yeso. Cuando el anhídrido es calentado excesivamente durante la calcificación, éste tiende a volverse inerte y a perder su capacidad de endurecimiento.

2.1.2.2 Endurecimiento del yeso

La formación de una capa entrelazada de cristales de dihidrato es la responsable de producir el endurecimiento del yeso.

La velocidad del endurecimiento del yeso depende de: La temperatura, ya que un incremento de la temperatura de la masa plástica hace que se fije con mayor

rapidez; la finura del polvo, ya que cuanto más firmemente molido se encuentre el yeso, éste se puede disolver mucho más rápido al reaccionar con agua. Sin embargo, el problema habitual consiste no en acelerar la fijación, sino más bien en retrasarla. Esto se consigue mediante el empleo de engrudos de animales y otros materiales orgánicos, que mantienen a la mezcla plástica durante cerca de una hora. Sin el empleo de productos retardadores, la fijación puede demorar diez minutos. La fijación y el endurecimiento del yeso van acompañados por un aumento de volumen y una producción de calor. La fijación va acompañada por un aumento considerable de la temperatura.

2.1.3 Caracterización del yeso

Los principales ensayos que se practican al yeso son los siguientes:

Fuente: Los Autores

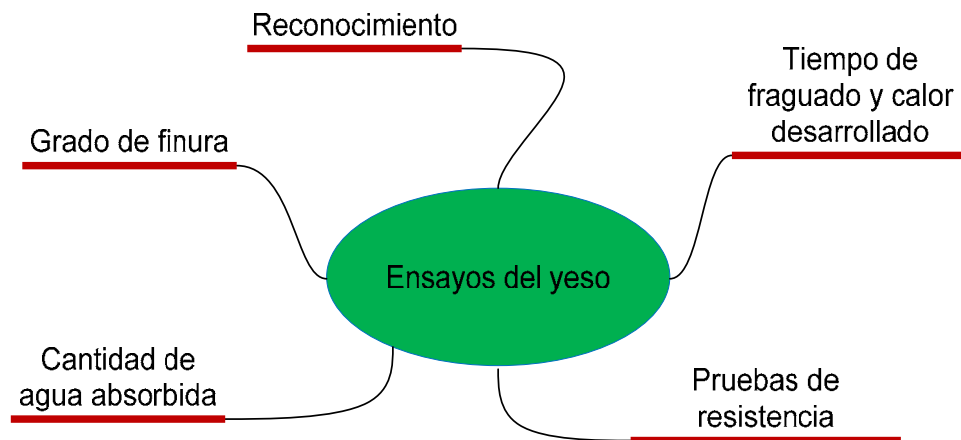


Figura 38: Principales ensayos que se le realizan al yeso

2.1.3.1 Grado de finura

Determina la finura de pulverización del yeso, al hacerlo pasar por un tamiz de 900 mallas por centímetro cuadrado y determinar la proporción de residuo. En el yeso de estucos el residuo no debe ser superior al 10% y en yeso ordinario no debe exceder del 25 a 30%. El yeso de molde no debe dejar residuo alguno.

2.1.3.2 La cantidad de agua absorbida

Se determina poniendo en un mortero 100 cm³ de agua y añadiendo poco a poco polvo de yeso en dosis previamente pesadas hasta que el polvo no se hunda en el líquido y se forme una ligera capa de yeso; el yeso de estuco requiere de 120 a 150 gramos de yeso.

2.1.3.3 Tiempo de fraguado y calor desarrollado

El tiempo de fraguado es determinado contabilizando el número de minutos pasados desde que el yeso se mezcla con el agua, hasta el instante que no puede verterse la pasta ni extenderse con una paleta.

Una metodología empleada en la práctica para conocer la bondad del yeso de estucos, consiste en apreciar el calor que desprende durante el fraguado, al introducir un termómetro en la masa; el máximo de temperatura corresponde al cabo de 15 o 20 minutos y llega a alcanzar unos 20°C de elevación sobre el ambiente.

Un yeso mal cocido, que provenga de una piedra mal seleccionada; presenta las siguientes características:

Semihidrato: se forma a temperaturas entre 100 a 120°C.

Bihidrato o yeso crudo de los trozos poco cocidos.

Anhidrita o partes cocidas por exceso.

Yeso muerto que no fragua por estar cocido a más de 1000°C.

Sílice, arcilla, hierro y demás impurezas.

2.1.3.4 Pruebas de resistencia

La máquina de Michaelis, permite realizar los ensayos de resistencia a la tracción y es compuesta por una balanza especial con doble sistema de palancas que multiplica por cincuenta el peso que ha sido necesario colocar en el platillo para producir la rotura.

Fuente: www.chestofbooks.comnstruction

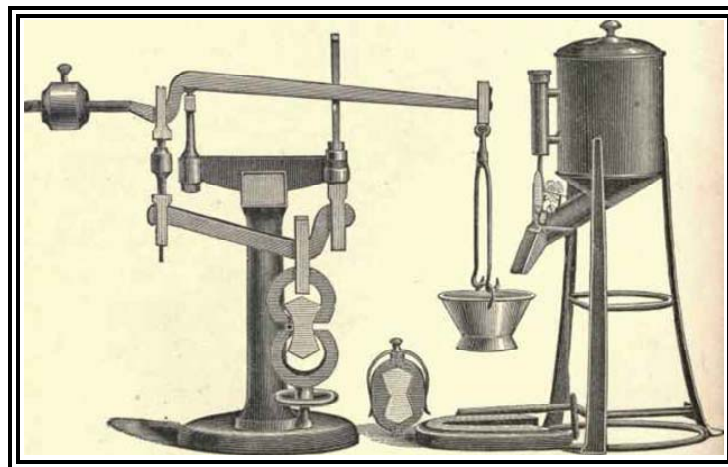


Figura 39: Máquina Michaelis

La probeta en forma de ocho se coloca entre dos mordazas metálicas, de las cuales la inferior es fija y la superior tiende a subir por la fuerza transmitida por la segunda palanca, la cual va aumentando a medida que se va echando perdigones en el recipiente preparado al efecto. En el momento de romperse la probeta, cuya sección acostumbra a tener 5 cm², se determina el peso de los perdigones, el cual multiplicado por 50 y dividido por 5, nos dará la carga de rotura.

Tabla 6: Resistencia del yeso

Agua del amasado a 15 %	Resistencia a la tracción en kg. Después de pasar						
	3 h	6 h	24 h	1 sem.	2 sem.	3 sem.	4 sem.
40%	11.2	0.5	12.6	14.0	11.8	17.3	22.7
50%	8.6	7.7	9.6	10.5	10.3	12.5	17.7
60%	6.0	4.7	6.5	7.5	6.5	8.5	14.7
70%	4.6	3.8	5.0	5.5	4.8	6.3	10.7

Fuente: Materiales para Construcción, Usos Y Aplicaciones

2.1.4 Hormigones de yeso

Los hormigones de yeso están formados de un material aglutinante, arena y grava. Cuando el material aglutinante es el yeso, la preparación no puede realizarse como aquellas mezclas en las que interviene el cemento, porque endurecería la pasta en la tolva, pero son hormigones igualmente fuertes y resistentes para levantar muros. El proceso constructivo requiere una serie de moldes o encofrados, donde se extienden capas de grava humedecidas, sobre las que se vierte yeso amasado con agua y arena relativamente espeso, comprimiéndolo ligeramente hasta enrasar en el molde.

2.1.5 Tipos y Usos

El principal empleo del yeso se realiza en la Industria de la Construcción, requiriendo la calcinación previa del mineral. Se emplea para hacer recubrimientos de base y pastas para acabados, revoques a prueba de fuego y otras pastas especiales, losetas divisorias, losetas para techos y plataformas de pasta reforzada.

El yeso sin calcinar se emplea como material retardador y controlador del fraguado del cemento y del concreto, además de emplearse como plastificante dilatador en pinturas, papel y productos textiles.

2.2 CAL

La cal es uno de los más antiguos materiales de construcción fabricados y conocidos por el hombre y la usaron todas las antiguas civilizaciones como mortero y aplanado. Los egipcios usaban aplanados de cal desde 2600 a.C. Los griegos la empleaban como morteros, aplanados y los romanos crearon una mezcla de pasta de cal y ceniza volcánica que fue el primer cemento verdadero. Los chinos usaron la cal en construcción de la gran muralla, y los aztecas e incas la usaron en la América precolombina. Los grandes murales y frescos de Miguel Ángel, Rafael y otros artistas del renacimiento fueron realizados con pasta de cal. En Estados Unidos, en las antiguas misiones españolas se uso estuco de cal, y en 1662, los colonizadores de Rhode Island produjeron cal (viva).

Hasta 1900 prácticamente todos los morteros para aplanados y mampostería que se utilizaron en Estados Unidos estaban hechos de cal. Hacia 1900, se inventó el proceso de hidratación de óxido en planta bajo estricto control químico y desde entonces se obtienen cales hidratadas comerciales actuales.

Fuente: www.josma.blogia.com



Figura 40: Cal viva

2.2.1 Propiedades físicas y químicas

La cal, también conocida por el nombre de cal viva, es óxido de calcio (CaO), una sustancia de color blanca o blanco-grisácea, de textura cristalina que algunas veces presenta un tinte amarillo o café debido a la presencia de hierro. Muestra una densidad específica de 3.37, punto de fusión de $2580^{\circ}C$ y punto de ebullición de $2867.78^{\circ}C$. La cal reacciona fuertemente con el agua para formar hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$, conocido como cal apagada. El apagado debe ser controlado debido a las altas cantidades de calor que emanan durante la hidratación.

2.2.2 Fraguado y endurecimiento

El fraguado de la cal se produce por la desecación y la recristalización (**recarbonación**) de hidrato de calcio y el endurecimiento se debe a la combinación de la cal con el bióxido de carbono del aire para formar carbonato de calcio, con algunos efectos puzolánicos con sílice de la arena.

2.2.3 Fabricación de cal viva:

La cal se fabrica a través de la trituración, molido y pulverización de la piedra caliza (o dolomita), luego se calienta a temperaturas cercanas a los $1093^{\circ}C$ en estufas horizontales o verticales rotatorias similares a aquellas que se utilizan para fabricar cemento. Los carbonatos, así calentados, se descomponen en bióxido de carbono y óxido de calcio.

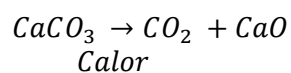
2.2.3.1 Proceso de fabricación de la cal viva

Se selecciona la materia prima "piedra caliza", (carbonato de calcio ($CaCO_3$)), proveniente de la explotación de canteras.

Fuente: www.calalvors.com.ar



Figura 41: Explotación de la piedra caliza



El material obtenido de la explotación de las canteras de caliza se somete a un proceso de trituración primaria, donde arrojará como producto trozos de menor tamaño. Algunas veces es necesario de una trituración secundaria, cuando se desea obtener fragmentos de menor tamaño.

Mediante hornos verticales, es producida la cal viva (Óxido de calcio), por calcinación de la caliza triturada por exposición directa al fuego en los hornos, perdiendo bióxido de carbono.

Fuente: www.calalbors.com.ar



Figura 42: Calcinación de la caliza

Para que la cal pueda ser manejada se somete a un proceso de enfriamiento. Luego se somete al cribado para separar la cal viva en trozos y piedras pequeñas, redondeadas y lisas. Se procede a una trituración y pulverización, con el fin de reducir más el tamaño y así obtener cal viva pulverizada.

Fabricación de cal hidratada

La cal hidratada se obtiene moliendo cal viva, y apagando el polvo obtenido con una cantidad controlada de agua, luego se separa empleando corrientes de aire y cribándola para obtener un polvo fino seco, que pase el 98% a través de un tamiz número 200.

El ciclo de la cal se puede observar en la siguiente figura:

Fuente: Diapositivas de clase de Materiales de Construcción

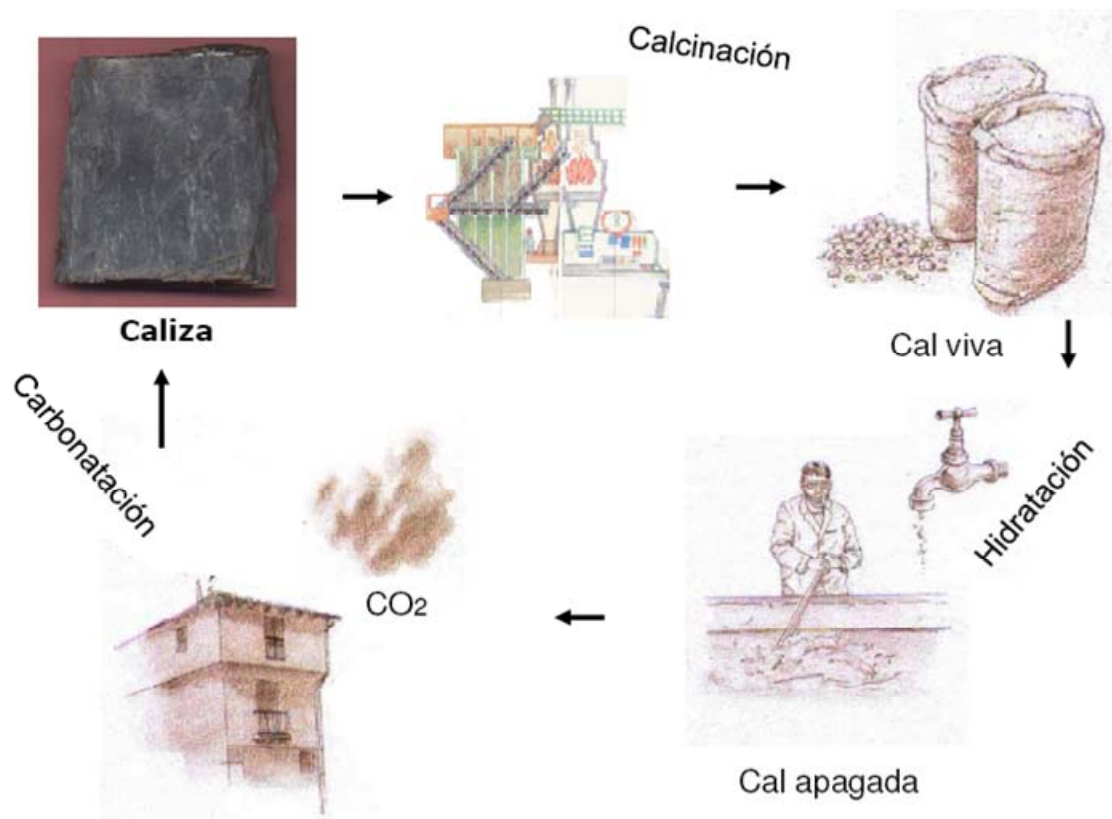


Figura 43: Ciclo de la cal

2.2.4 Tipos y usos

2.2.4.1 Uso de la cal viva:

La cal viva, se utiliza en la Industria de la Construcción para fabricar morteros y se caracteriza por contener un alto porcentaje (20% mínimo) de óxido de magnesio.

Es necesario someter a un proceso de apagado con agua a la cal viva para poder emplearla en la fabricación de morteros, produciendo una reacción exotérmica que desprende calor y que puede llegar a los 300°C. El apagado de la cal se puede realizar mediante dos metodologías:

1. Como se hacía en la antigüedad, introduciendo la cal en depósitos con agua, obteniendo una cal en pasta considerada de mejor calidad que la apagada.
2. Como se hace en la actualidad, por aspersión, aportando sólo la cantidad de agua necesaria, generando cal hidratada pero en estado de polvo seco.

Tras el apagado se obtiene hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) llamada comúnmente cal apagada o cal muerta.

Para la preparación de morteros se suele utilizar una mezcla de cal apagada, arena y agua. Los morteros de cal endurecen o fraguan gracias a un **proceso de carbonatación** que se divide en dos etapas: en la primera se produce un endurecimiento por la evaporación del agua del mortero. En la segunda etapa, que normalmente es muy lenta, se produce el endurecimiento final por carbonatación con el CO_2 del aire (el anhídrido carbónico del aire se disuelve en el agua que contiene la pasta de cal).

De esta manera, al final del proceso de carbonatación, la cal vuelve a tener la misma composición y estructura cristalina que la roca de la que procede ($CaCO_3$), diferenciándose en el tamaño de los cristales, que luego de la carbonatación son más pequeños que en la caliza. Por lo tanto el carbonato cálcico que se forma tras el proceso de carbonatación presenta propiedades mecánicas mucho menores que las del material de partida, lo que la hace mucho menos resistente.

2.2.4.2 Uso de cales hidratadas:

La cal hidratada tiene la ventaja de ser seca y luego al ser mezclada con otros ingredientes, queda lista para usarla en aplanados en un tiempo menor que la cal no apagada (cal viva). Para lograr la plasticidad necesaria en la cal hidratada para acabado normal, se debe hacer pasta y almacenarla de 12 a 15 horas antes de

usarla, en tanto que la cal hidratada para acabados especiales se puede utilizar media hora después de hacerla pasta, y la plasticidad se logra dentro de éste tiempo. Todas las cales hidratadas para acabados son fabricadas a partir de dolomitas, con un contenido aproximadamente de 60% de calcio y 40% de magnesio.

2.2.4.3 Otros usos en construcción

La cal es útil en distintas aplicaciones y diferentes industrias. En el campo de la construcción es usada en:

Como base de:

- Pigmentos colorantes. Colores rojo, naranja y amarillo.

Como componentes de:

- Cobre. Recubrimientos resistentes a la corrosión (duro, color blanco de plata)
- Aleaciones fusibles. Baja las temperaturas de fusión.
- Vidrio. Colores rojo-naranja y amarillo; espejos especiales.
- Vidriados y esmaltes porcelanizados. Para dar iridiscencia; colores rojo-naranja y amarillo.
- Hierro. Recubrimientos resistentes a la corrosión (duro, color blanco de plata).
- Magnesio. Mejora las propiedades al vaciado y a la extrusión.
- Mercurio. Pigmentos colorantes resistentes al calor y a los álcalis.
- Pintura. Pintura blanca sólida; colores rojo-naranja y amarillo; da fluorescencia.
- Papel. Colores rojo-naranja y amarillo.
- Plásticos. Estabilizar contra luz y calor.
- Recubrimientos protectores. Baños electrolíticos.
- Hule. Ayuda a la resistencia a la abrasión; colores rojo-naranja y amarillo.
- Acero. Recubrimientos resistentes a la corrosión (duro, color blanco de plata)

- Textiles. Coloreado; impresión; colores rojo-naranja y amarillo.
 - ✓ Lámparas. Filamentos incandescentes; fluorescencia.
 - ✓ Soldaduras con metal de aporte de bajo punto de fusión. Baja la temperatura de fusión; soldaduras de aluminio: sustituto del estaño.

2.3 CEMENTO PORTLAND

Cuando el hombre construyó sus primeros muros de piedra y necesitó un material para unirlos entre sí, dio inicio al proceso de obtención de materiales cementicios. En la antigüedad los babilonios usaron arcilla, los egipcios descubrieron y emplearon como material cementante la pasta de yeso, los romanos crearon un tipo de cemento, conocido como caementum¹¹, hecho con piedra sin cortar o con pedazos de mármol, a partir del cual preparaban una especie de mortero. Los romanos preparaban su cemento mezclando cal apagada con puzolana (ceniza volcánica); el cemento romano también se endurecía por contacto con el agua y en América, los aztecas y los mayas usaron un tipo de cemento hidráulico que fabricaban con caliza.

Con el pasar del tiempo, se produjeron mejoras: en 1756, en el territorio que ahora ocupa Estados Unidos, los misioneros y los indios que habitaban la región de San Diego (California), fabricaban un cemento con caliza procedente de depósitos locales con técnicas aprendidas en algunas regiones de México, en las que ya se usaba desde mucho tiempo atrás un tipo de cemento hidráulico.

2.3.1 Invención del cemento portland

En 1824, un ladrillero y albañil inglés, Aspdin inventó y patentó el cemento Portland, una combinación predeterminada y cuidadosamente proporcionada en cuanto a su aspecto químico, de cal, sílice, óxido de hierro y alúmina, a la que dio el nombre por la Isla de Portland situada en el canal inglés. La contribución de

¹¹ Palabra Romana de donde deriva la palabra cemento.

Aspdin consistió en su cuidadoso proporcionamiento de la caliza, arcilla y en su método de procesamiento, que consistía en pulverizar la mezcla, calcinarla a la forma de escoria para molerla a la forma del producto terminado: Cemento Portland.

El cemento portland se aceptó gradualmente en todo el mundo, y con él se sustituyeron los cementos hechos con mezclas naturales de cal y arcilla calcinadas, cuyas propiedades variaban entre amplios límites.

Inicialmente todos los cementos, el portland y el natural, se fabricaban en hornos verticales, los cuales tenían que enfriarse después de cada calcinación. En 1885, en Inglaterra, Ransome patentó el horno horizontal rotatorio, en el cual, por su ligera inclinación, el material se movía gradualmente desde un extremo hasta el otro. En 1902 Edison introdujo el horno horizontal de 150 pies de longitud, y en la actualidad los hornos en los que se fabrican cemento Portland miden hasta 720 pies (219.46 m) de largo.

2.3.2 Propiedades físicas y químicas

La palabra cemento, incluye cualquier material cementicio que es capaz de unir porciones de sustancias no adhesivas por sí mismas en un todo cohesivo, o de cementar materiales no adhesivos. Cuando se pronuncia la palabra cemento, normalmente se refiere al cemento portland.

2.3.3 Elementos constitutivos del cemento Portland

El cemento portland es una combinación química de materiales arcillosos estrictamente controlada (sílice, alúmina) y materiales calcáreos (cal) con óxido de hierro y pequeñas cantidades de otros ingredientes, a la cual se le agrega **yeso** en

el proceso final de molienda para regular el tiempo de fraguado del cemento. La cal (CaO) y la sílice (SiO_2) constituyen alrededor del 85% de la masa.

2.3.3.1 Materias primas

- Roca de cemento: Calizas arcillosas (carbonato de calcio)
- Caliza: carbonato de calcio y algo de magnesia, sílice, alúmina y hierro.
- Conchas de ostión y coquina, greda: carbonato de calcio
- Marga: mezclas naturales de arcilla con carbonato de calcio y carbonato de magnesio
- Arcilla y lutita: Silicatos de aluminio, arcilla, mica, cuarzo y otros minerales.
- Escoria: Cal, alúmina, magnesia, manganeso y fósforo
- Arena y arenisca: Bióxido de silicio (sílice)
- Yeso: Sulfato hidratado de calcio
- Mineral de hierro, polvo de hierro: óxido férrico.

Durante la obtención del cemento también pueden agregarse agentes que ayuden a la molienda, compuestos atrapadores de aire, cloruro de calcio y otros aditivos para impartir propiedades especiales.

Tabla 7: Composición química de las principales materias primas del cemento

Composicion (%)						
Materia Prima	Sílice	Alúmina	Cal	Magnesia	Anhídrido carbónico	Óxido férrico
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	(CO_2 , agua, álcalis)	Fe_2O_3
Roca para Cemento	12,66	3,92	43,26	1,3	36,97	1,5
Caliza, conchas de ostras	1,16	0,33	54,82	0,28	43,33	0,08
Marga	13,1	3,98	44,58	0,48	36,14	1,72
Arcilla	58,78	18,42	0,52	1,9	12,78	7,6
Litita	60,2	19,42	0,4	1,46	10,28	8,24

Fuente: *Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones.*

2.3.3.2 Composiciones de los compuestos

El Cemento Portland, es compuesto esencialmente por óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro. Durante la molienda y calcinación subsecuente de las materias primas que conducen a la formación de escorias de cemento, estos óxidos se combinan en cuatro compuestos principales, cuya formulación exacta requiere intensa investigación y varía de acuerdo a cada empresa productora. Las composiciones de éstos compuestos se expresan mediante fórmulas químicas en el sistema cuaternario (por ejemplo, $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot F_2O_3$), la cual, para los fines prácticos puede abreviarse y escribirse como C_2S, C_3S, C_3A, C_4AF . Estos compuestos son importantes para la velocidad de fraguado y para su resistencia a aguas y suelos alcalinos.

Tabla 8: Composición de los compuestos esenciales del cemento

	Contenido en porcentaje
Silicato dicálcico $2CaO-Si_2(C_2S)$	32
Silicato tricálcico $3CaO-SiO_2(C_3S)$	50
Aluminato tricálcico $3CaO-Al_2O_3(C_3A)$	9
Alumino ferrita tetracálcica $4CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3(C_4AF)$	9

Fuente: Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones.

Las características de los distintos tipos de cemento son originadas por la proporción relativa de cada compuesto y no por la cantidad relativa de cada óxido.

La presencia de los silicatos dicálcico y tricálcico (C_2S y C_3S) son esenciales y útiles, ya que regulan la mayor parte de las características del cemento que

contribuyen al desarrollo de su resistencia mecánica. La suma de los porcentajes de estos dos componentes, en los distintos tipos de cemento, varía de 70 a 80.

El aluminio tricálcico (C_3A) es el más activo en la generación de calor y es el que explica la mayoría de las cualidades indeseables del cemento. Un alto contenido puede incrementar los cambios de volumen, que se suceden durante el cambio de fraguado, e influir en la formación de grietas, a la vez que reducir la resistencia del cemento a los sulfatos.

Durante la manufactura se separa el aluminato tricálcico como impureza con el óxido de hierro, el cual lo convierte en aluminato ferrita tetracálcica (C_4AF), que es un compuesto de menor calor de hidratación aunque también de menor valor cementante.

Se cree que la cal libre o sin combinar (CaO) y la magnesia en la misma condición son las que ocasionan la falta de calidad en el fraguado del cemento. Si están presentes en cantidades considerables, estos óxidos, que permanecen sin hidratar durante un tiempo prolongado a las temperaturas ordinarias, pueden ocasionar eventualmente la dilatación y desintegración del concreto¹².

2.3.4 Proceso de fabricación del cemento

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de la materia prima y finaliza con el almacenamiento en silos. Con los avances tecnológicos, los procesos de elaboración han ido mejorando, permitiendo crear un mejor material y eficientes resultados.

¹² HORNBOSTEL, Caleb. Materiales para construcción, Usos y Aplicaciones. México D.F.: Editorial Limusa, S.A. de C.V., 2005. p. 249.

2.3.4.1 Obtención de la materia prima

La fabricación de clínker requiere principalmente dos materias primas:

Fuente: www.holcim.es



Figura 44: Obtención de la materia prima

Calizas: Encargadas de aportar el CaO (carbonatos) que luego mediante altas temperaturas, reaccionará para formar los silicatos que son los componentes activos en el clínker.

Arcillas o pizarras: Encargadas de aportar los óxidos que funcionan como fundentes y que contribuyen a la formación de fase líquida en el horno facilitando las reacciones.

Estos materiales se extraen de una cantera mediante perforación y voladura con dinamita. Una vez realizado el arranque el material sufre una primera trituración y es transportado a las instalaciones de la fábrica.

2.3.4.2 Preparación de las materias primas (Homogeneización)

En la fabricación del clínker, al horno se introduce un material de composición homogénea, obtenido a partir de un proceso de pre-homogenización en grandes pilas formadas por capas que luego se cortan en sentido transversal.

La materia prima para la fabricación del clínker debe presentar porcentajes determinados de cada uno de los óxidos y suele ser necesario el aportar adiciones correctoras de la composición (ferrita, magnetita, alúmina, sílice, caliza, etc.).

Fuente: www.argos.com.co



Figura 45: Homogeneización de las materias primas

2.3.4.3 Molienda del crudo

Al horno se introduce material finamente molido con la ayuda de molinos, generalmente verticales, creando como resultado un material denominado normalmente harina o crudo que es almacenado en unos silos dotados de un sistema de homogeneización neumática.

Fuente: www.holcim.es



Figura 46: Molienda del crudo

2.3.4.4 Cocción en el horno rotativo

El crudo es introducido a través de un intercambiador de calor compuesto por ciclones, en el cual el material al descender a contracorriente con los gases que salen del horno, se calienta hasta alcanzar una temperatura de unos 600 °C a la entrada del mismo. (C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF)

Dentro del horno, el material sufre reacciones a altas temperaturas (1500°C) que forman los componentes básicos del clínker que le van a conferir sus propiedades (C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF). El **clínker** a la salida del horno sufre un rápido enfriamiento con el propósito de impedir que se reviertan las reacciones que acaban de producirse. El proceso es realizado mediante aire que se calienta y que posteriormente se utilizará en la combustión.

El aporte calorífico del horno se realiza mediante la combustión en el mechero de combustibles. Actualmente, muchas fábricas utilizan residuos industriales (aceites, disolventes o neumáticos usados) como combustible, valorizando así los mismos y evitando daños al medio ambiente.

Dependiendo de las necesidades de producción el clínker puede pasar al molino o bien almacenarse en el silo de clínker.

Fuente: www.holcim.es



Figura 47: Cocción en el horno rotativo

2.3.4.5 Molienda de cemento

En esta fase el clínker se mezcla con el yeso (regulador de fraguado) y con las posibles adiciones se introduce en los molinos de bolas para su molienda. Una vez alcanzada la finura deseada, el producto que se obtiene es el cemento.

Fuente 1: www.holcim.es



Figura 48: Molienda del cemento

2.3.4.6 Almacenamiento

El cemento es almacenado en distintos silos (según su tipo), protegido de las condiciones medioambientales, donde espera a ser ensacado o bien a ser expedido directamente en forma de granel.

Fuente: www.argos.com.co



Figura 49: Almacenamiento del cemento

2.3.5 Fraguado o hidratación del cemento Portland

El principal componente del cemento portland es el clínker portland y presenta los siguientes compuestos básicos:

- Silicato tricálcico (C_3S)
- Silicato dicálcico (C_2S)
- Aluminato tricálcico (C_3A)
- Ferroaluminato tetracálcico (FAC_4)

Los silicatos (C_3S y C_2S) son los componentes principales del cemento; ya que suman alrededor del 80% de los compuestos y son los responsables del desarrollo de resistencia del cemento portland. El C_3S actúa sobre el desarrollo de resistencia temprana hasta los 28 días, y el C_2S presenta una hidratación algo diferida y actúa

sobre la resistencia final. El C_3A que se encuentra en pequeñas cantidades actúa sobre el tiempo de fraguado (resistencia a primeras horas del hormigón), y su presencia hace vulnerable al hormigón a la acción de los sulfatos. El FAC_4 actúa principalmente sobre la coloración del cemento y contribuye con cierta vulnerabilidad a los sulfatos.

Esquematzación de la hidratación de los silicatos:



$C_nS \rightarrow$ Silicato de Calcio

$H_2O \rightarrow$ Agua

gel SCH \rightarrow Silicatos de Calcio hidratado o gel de tobermorita (o gel de cemento)

$(OH)_2Ca \rightarrow$ Hidróxido de Calcio

Fuente: Loma Negra C.I.A.S.A.

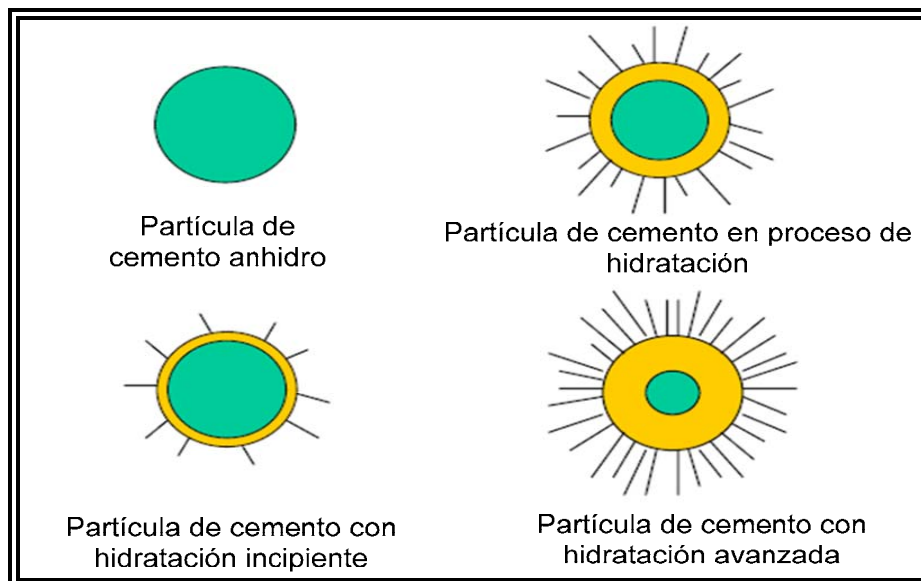


Figura 50: Progreso de la hidratación de una partícula de cemento

El principal responsable del desarrollo de resistencia y de la durabilidad del hormigón es el gel SCH. El hidróxido de calcio $(OH)_2Ca$ es poco resistente y vulnerable a la presencia de aguas puras, sulfatos y otros agentes; pero resulta fundamental en la protección de las armaduras frente a la corrosión debido al alto nivel alcalino que aporta al hormigón (aproximadamente un pH = 12,5).

Como se ve en la figura 50 existe un crecimiento de los cristales SCH (compuestos sílico-calcáreos hidratados). Anteriormente se dijo que estos compuestos SCH son los encargados de la evolución de resistencia de la pasta de cemento y, consecuentemente, del hormigón. En la figura 51 se puede ver la resistencia de la pasta que depende del grado de interrelación entre los productos de hidratación de las distintas partículas de cemento. Esto explica bastante claramente que cuando se utiliza una baja relación a/c, la interrelación es mucho más estrecha y, consecuentemente, es de esperar que la resistencia sea superior a cuando se utiliza una alta relación a/c donde las partículas se encuentran más alejadas. Otra forma de ver este fenómeno, es el esquema de la figura 52 donde se observa que cuando más baja es la relación a/c, más bajo será el volumen de poros de la pasta, por lo tanto si se piensa que la resistencia del cemento u hormigón sigue las reglas de la resistencia de cualquier material sólido, es de esperar que la misma dependa de la relación entre “vacíos” y “minerales” estableciéndose que cuando mayor sea el contenido de “minerales” mayor será la resistencia del elemento. Adicionalmente, en la figura 52 se observa que los hormigones de alta relación a/c, no solamente presentan una baja resistencia sino que tienen alta porosidad y consecuentemente alta permeabilidad y espacio para la formación de grandes cristales de $(OH)_2Ca$ (cal) y etringita por lo cual se verá afectada la durabilidad debido a que sustancias agresivas pueden ingresar al hormigón con cierta facilidad disueltas en agua o el aire¹³.

¹³ Becker, E. Cemento Portland, Características y recomendaciones de uso. Loma Negra C.I.A.S.A., 2001.

Fuente: Loma Negra C.I.A.S.A.

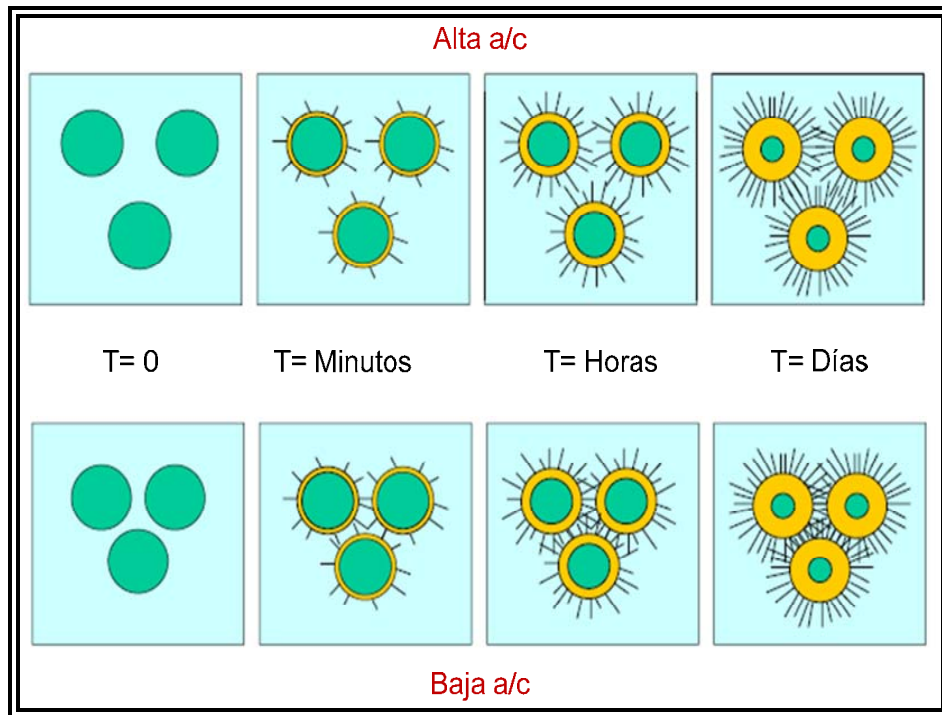


Figura 51: Influencia de la relación a/c sobre la resistencia de la pasta (cemento+agua)

2.3.5.1 Reacciones indeseables

- **Falso fraguado**

Se presenta por defectos en el proceso de molienda (temperatura mayor de 120°C). El yeso se hidrata y durante el fraguado del cemento se cristaliza e hidrata, rigidizando la pasta de cemento en los primeros minutos posteriores a la adición del H_2O .

Fuente: Loma Negra C.I.A.S.A.

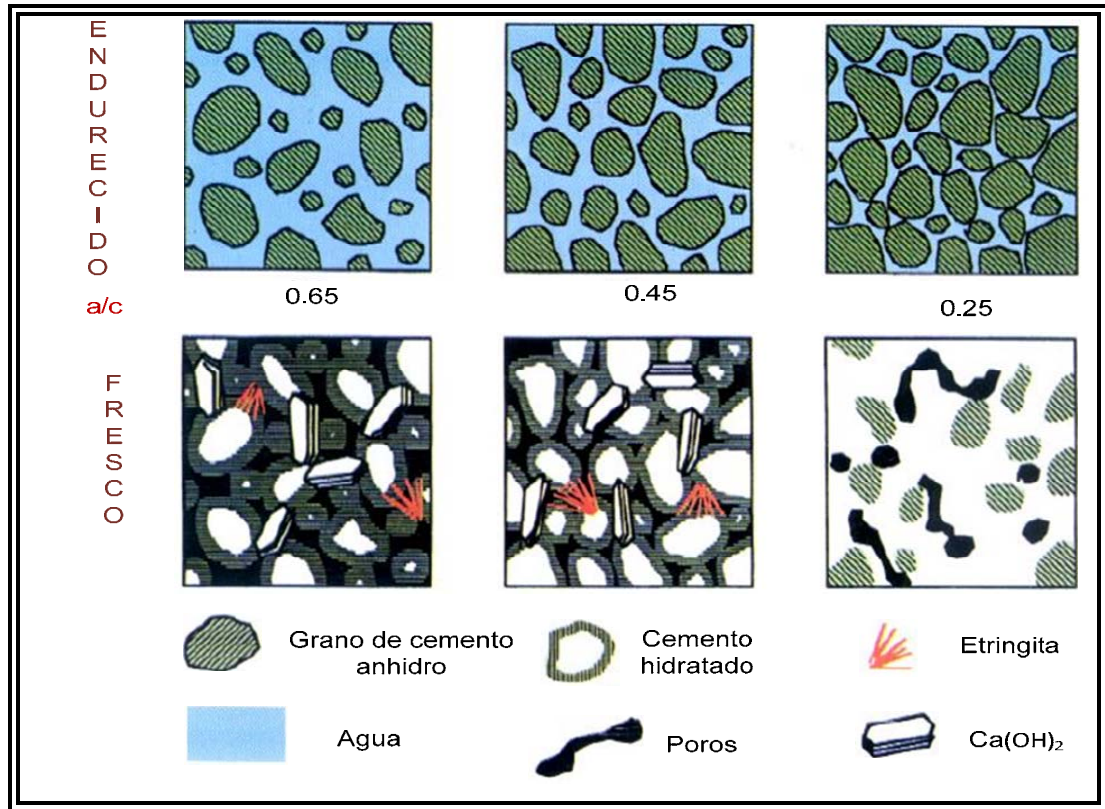


Figura 52: Composición de la pasta de cemento, en estado fresco y endurecido para diferentes relaciones a/c

2.3.6 Adiciones minerales

Con el propósito de optimizar el comportamiento del cemento u hormigón, se adicionan minerales (diferentes a los aditivos) como compuestos naturales o artificiales (escoria, cenizas volantes, arcillas activadas, etc.).

Fuente: Loma Negra C.I.A.S.A.

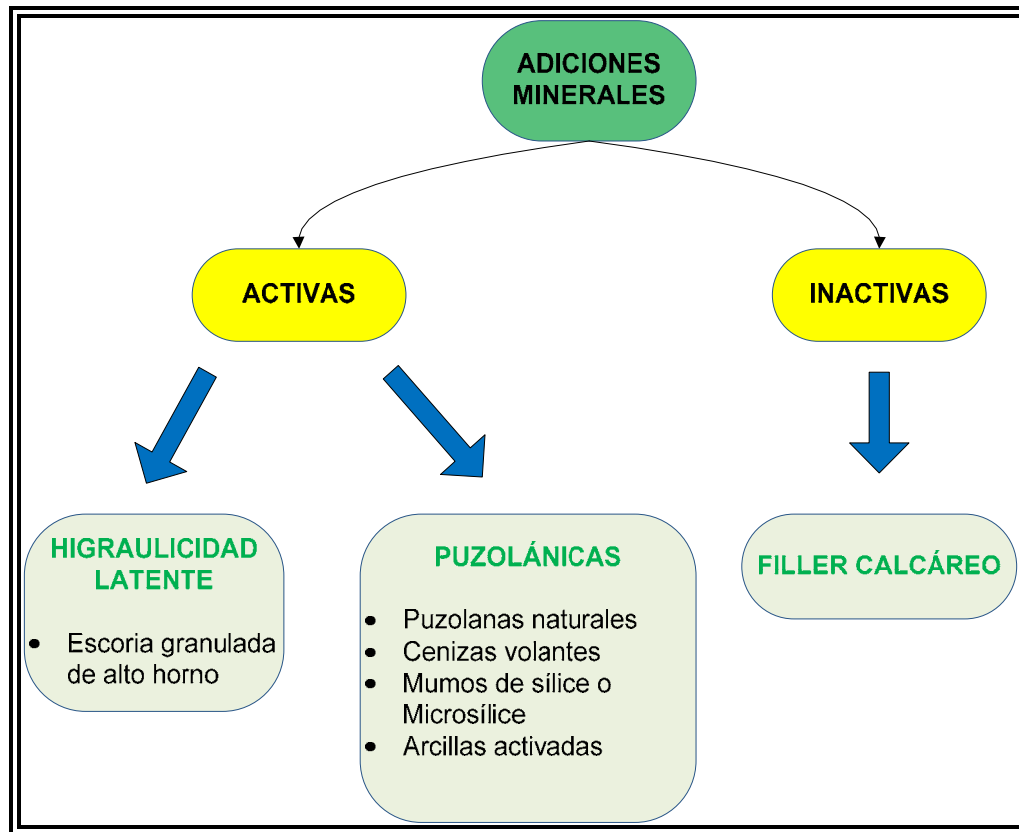
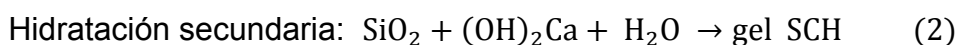
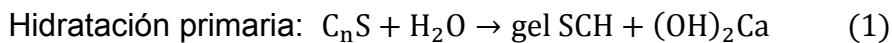


Figura 53: Clasificación de las adiciones minerales

Una primera clasificación divide las adiciones minerales en activas e inactivas.

Las adiciones activas tienen la capacidad de hidratarse y formar compuestos SCH de manera similar a los formados en la hidratación del clinker portland. A su vez, estas pueden separarse en las que poseen hidraulicidad latente y las puzolánicas. Mientras que las primeras tienen la capacidad de hidratarse por sí mismas en presencia de agua y un agente catalizador, las segundas se hidratan a través de una reacción secundaria donde se combinan con el $(OH)_2Ca$ formado durante la hidratación primaria (1), resultando compuestos SCH .



Donde el SiO_2 lo aporta la puzolana y el $(\text{OH})_2\text{Ca}$ es el subproducto generado durante la hidratación primaria. Podrá observarse que durante la hidratación de las puzolanas no hay generación de $(\text{OH})_2\text{Ca}$ por lo cual es de esperar que los cementos u hormigones que poseen estas adiciones presenten mayor resistencia final y durabilidad que los elaborados con cementos “puros” ya que el $(\text{OH})_2\text{Ca}$ tiene muy baja resistencia estructural.

En el caso de la hidratación de la escoria granulada de alto horno, el agente catalizador es el ambiente alcalino generado durante la hidratación primaria. En forma similar a las puzolanas, durante la hidratación de esta adición mineral solamente se genera gel SCH por lo cual se espera mayor resistencia final y durabilidad:

Hidratación de la escoria: $\text{C}_3\text{S}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{gel SCH (3)}$

Las adiciones inactivas, no generan gel SCH aunque suelen tener una influencia positiva sobre la hidratación de las partículas de clínker y las propiedades del hormigón en estado fresco.

2.3.6.1 Escoria granulada de alto horno

La escoria presenta una composición química parecida al clínker portland y proviene de la fabricación del hierro. Es granulada mediante el enfriamiento violento empleando agua inyectada a presión o combinando aire + agua, provocando que sus minerales componentes permanezcan en un estado vítreo (no cristalino) que le confiere una hidraulicidad latente. Cuando la escoria se enfría mediante aire solamente, sus minerales presentan un ordenamiento que no le permiten tener propiedades hidráulicas, permitiendo así que solo se utilicen como agregado o balasto.

2.3.6.2 Puzolanas

Son minerales naturales o artificiales en los que predominan la sílice amorfa y la alúmina. Para que pueda producirse la reacción puzolánica indicada anteriormente, es necesario que la sílice esté en estado amorfo.

Las puzolanas naturales son rocas de origen volcánico (tobas y cenizas volcánicas) o de naturaleza orgánica de origen sedimentario (dolomitas). En Colombia se utilizan mayoritariamente puzolanas naturales. En otros países, en función a las disponibilidades generadas por otras industrias se dispone de puzolanas artificiales entre las que se encuentran las arcillas activadas térmicamente, las cenizas volantes (fly ash) y humos de sílice (silica fume) también conocida como micro-sílice debido al tamaño de partículas (entre 10 y 100 veces más pequeñas que las partículas de cemento).

2.3.6.3 Filler Calcáreo

Es un mineral compuesto por carbonato de calcio. Se adiciona al cemento o se muele en forma conjunta con el clínker portland en molino de cemento y sus efectos son beneficiosos sobre los morteros u hormigones en estado fresco. Adicionalmente, debido a su pequeño tamaño las partículas de filler calcáreo suelen mejorar la distribución granulométrica del cemento mejorando la resistencia temprana del hormigón.

Fuente: Loma Negra C.I.A.S.A.

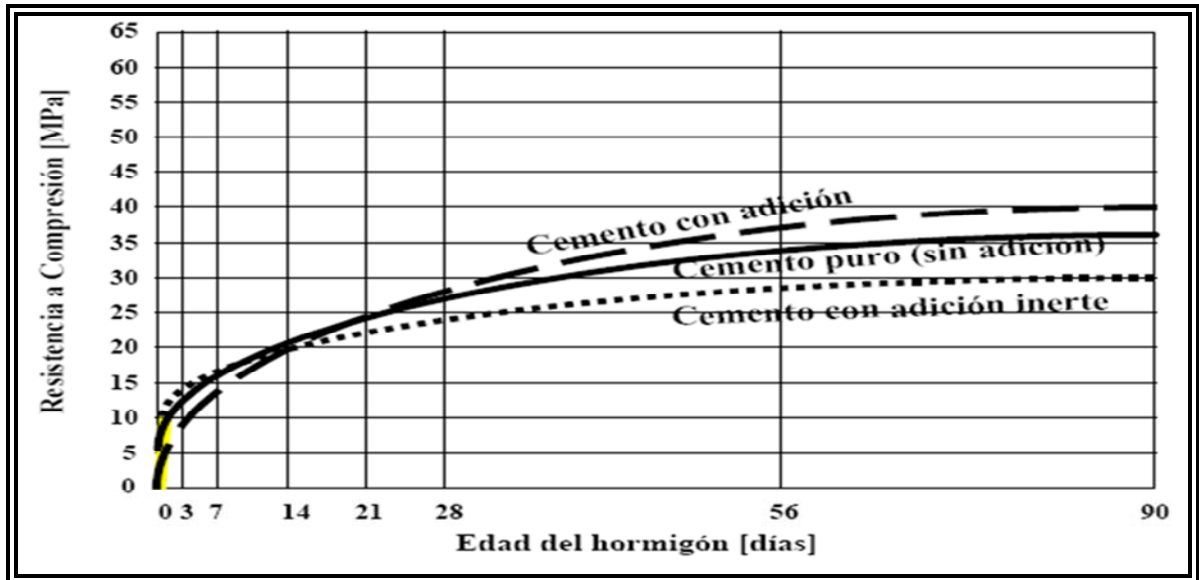


Figura 54: Influencia de las adiciones sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón

En la figura 55, puede observarse que mientras las adiciones activas se hidratan a partir de las reacciones de hidratación del clínker portland, se obtienen desarrollos un tanto más lentos de resistencia, aunque las resistencias finales son mayores debido a una hidratación más completa del material cementicio; en cambio, el uso de adiciones inactivas mejora la resistencia inicial de los hormigones, aunque la resistencia final es menor debido a que se dispone de menor cantidad de partículas “hidrables”.

No obstante, este esquema es indicativo y muestra tendencias, ya que los fabricantes de cemento portland conocen el comportamiento de las adiciones que utilizan para elaborar sus cementos, por lo cual puede encontrarse en el mercado cementos con distintos tipos de adiciones que puedan obtener curvas de evolución de resistencia similares a las que se obtendrían utilizando algunos cementos “puros”. Esto solamente puede lograrse mediante tecnología de molienda y/o utilizando un clínker de características especiales para la elaboración de cementos adicionados.

2.3.7 Tipos y usos

2.3.7.1 Cemento portland

Tabla 9: Composición de los compuestos para diferentes tipos de Cemento Portland

Composición de los compuestos										
Tipo	Nombre	Límites	C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A	C ₄ AF	(CaSO ₄)	Óxido de calcio CaO	Óxido de magnesio MgO	Finura cm ² /s
I, IA	Portland normal; con materiales atrapadores de aire agregados durante la manufactura	Máximo	43	54	14	10	3,3	1,5	3,8	1800
		Mínimo	22	29	9	6	2,2	0	0,7	
		Típico	24	30	11	8	2,8	0,8	2,4	
II, IIA	Portland moderado; con materiales atrapadores de aire agregados durante la manufactura	Máximo	46	50	9	18	3,3	1,8	4,4	1800
		Mínimo	22	29	3	10	1,9	0,1	1,5	
		Típico	33	42	3	13	2,9	0,6	3	
III, IIIA	Portland de alta resistencia prematura; con materiales atrapadores de aire agregados durante la manufactura	Máximo	38	70	17	10	4,6	4,2	4,8	2600
		Mínimo	0	34	7	6	2,2	0,1	1	
		Típico	13	60	9	8	3,9	0,3	2,6	
IV	Portland de bajo calor	Máximo	61	33	8	18	4	0,3	4,1	1900
		Mínimo	41	10	3	16	2,5	0	1	
		Típico	50	26	5	12	3,2	0,3	2,7	
V	Portland resistente a los altos sulfatos	Máximo	49	55	6	9	3,1	0,6	2,3	1900
		Mínimo	27	35	4	5	2,7	0,1	0,7	
		Típico	40	40	4	9	2,9	0,4	1,6	

Fuente: *Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones.*

En la Industria de la construcción se fabrican y se emplean ocho tipos de cemento portland, cada tipo tiene características definidas que lo convierten en el cemento preferido para un conjunto específico de condiciones de obra, como sigue:

Tipo I, normal: para uso general.

Tipo IA: Cemento Portland normal de tipo I con materiales atrapadores de aire, molidos en forma integral con la escoria durante manufactura.

Tipo II, Moderado: para los usos en que se requiere fraguado lento y menos calor, y particularmente en estructuras sólidas de concreto tales como muros de retención grandes, pilares y apoyos, en las que el calor excesivo podría producir agrietamientos.

Tipo IIA: Cemento portland de tipo II moderado con materiales atrapadores de aire entremezclados con la escoria durante su manufactura.

Tipo III. Alta resistencia prematura: para aplicaciones en las que debe producirse más calor para eliminar las temperaturas bajas.

Tipo IIIA: Cemento portland de Tipo III de alta resistencia prematura con materiales atrapadores de aire entremezclados y molidos con la escoria durante su manufactura.

Tipo IV, Bajo calor: para usos en los que se desea fraguado muy lento y en los que debe generarse muy poco calor. Este cemento se usa en particular en concreto muy masivo en las que debe evitarse el agrietamiento debido al calor.

Tipo V, Resistente a los sulfatos: para usos en los que haya contacto del concreto con agua y suelos alcalinos que ataquen a otros tipos de cemento portland.

Los cementos portland de los tipos IA, IIA y IIIA corresponden, en cuanto a composición, a los tipos I, II y III, pero producen concreto de mejor comportamiento resistente a la acción de la congelación y la descongelación, así como a la formación de escamas ocasionadas por las sustancias químicas que se

aplican para remover la nieve y el hielo. El concreto producido es también más plástico, fluido, fácil de trabajar. Los materiales atrapadores de aire hacen que se formen en el seno del concreto diminutas burbujas de aire bien distribuidas y completamente separadas.

Los diversos tipos de cemento portland varían de acuerdo a la composición de sus compuestos. El de tipo III es de alto contenido de silicato tricálcico, el de Tipo IV es de alto contenido de silicato dicálcico y aluminato ferrita tetracálcica (C_4AF), y el de Tipo V es de alto contenido en silicatos dicálcico y tricálcico y bajo en C_3A y C_4AF .

Otros tipos de cemento portland

- 1. Cemento Portland Blanco.** Es fabricado con materias primas seleccionadas que contienen cantidades mínimas de óxidos de hierro y manganeso. Se emplean principalmente en construcción de muros aparentes de cortina prefabricados y paneles de vista, obras de estuco, pintura de cemento y en aplicaciones en las que se requieren concreto o mortero de color.
- 2. Cemento portland blanco a prueba de agua.** Es fabricado agregando en pequeñas cantidades: calcio, aluminio u otro estearato a la escoria de cemento portland durante su molienda final. Se consigue comercialmente en colores blanco o gris. Se usa principalmente en diversos tipos de mampostería de piedra y en unidades de concreto blanco prefabricadas.
- 3. El cemento portland puzolánico.** Es fabricado a través de la molienda de escoria de cemento portland o cemento portland y de escoria de alto horno con una puzolana. Siendo la puzolana un material silicoso que reacciona con la cal en presencia de agua. Hay cuatro tipos de cemento portland puzolánicos: los tipos IP e IP-A con aditivo atrapador de aire, el tipo P y el tipo PA con aditivo

atrapador de aire. Se emplea principalmente para estructuras hidráulicas grandes tales como puentes, pilares, diques y esclusas de canales.

- 4. El cemento portland de escoria de alto horno.** Se muele en forma integral, o se mezcla con el cemento portland escoria granulada de alto horno de calidad selecta. Hay dos tipos: el Tipo IS y el de Tipo IS-A con aditivo atrapador de aire. Si se requiere calor de hidratación moderado, puede agregarse el sufijo (MH) y el tipo se indica con las letras IS (MH) o IS-A (MH). Si se requiere resistencia al sulfato puede agregarse el sufijo (MS), como sigue: Tipo IS (MS) y Tipo IS-A (MS). También pueden agregarse ambos sufijos: Tipo IS (MS) (MH) y Tipo IS_A (MS) (MH). La rapidez de producción de resistencia y la resistencia a la compresión del cemento del tipo IS son aproximadamente iguales a las del cemento portland del tipo I.

2.3.7.2 Usos de los cementos Portland en construcción

El cemento portland se emplea en construcción principalmente en la fabricación de concretos y de morteros empleados en procesos de pega de bloques, pisos y cerámicas.

El cemento también es empleado en la fabricación de productos de fibra-cemento, ladrillos de cemento, tubos de cemento, como base de pinturas de concreto y mampostería y como pasta de aplanado para superficies exteriores.

2.3.7.3 Otros cementos

Cemento Aluminoso: Fabricado en forma similar al cemento portland, utiliza como materia prima principal, la bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), el mineral a partir del cual se fabrica el aluminio. Este cemento es de fraguado rápido, en 24 horas alcanza la resistencia del cemento portland normal a los 28 días. Se emplea para caminos y

áreas en las que esta propiedad de fraguado extra rápido es importante. También es resistente a la acción de la sal y se emplea para aplicaciones de exposición severa. Un uso especializado en el aislamiento de los hornos de alta temperatura. Una composición típica es 40% de óxido de aluminio, 40% de cal, 15% de óxido de hierro y 5% de óxidos de silicio y manganeso.

Cementos Plásticos: Fabricados al agregar agentes plastificadores al cemento portland normal de tipo I y al cemento portland moderado del tipo II durante la manufactura. Sus usos principales son en morteros, pastas de aplanar y estuco.

Cemento Expansivo: Cemento hidráulico que permite controlar el tiempo de fraguado desde 1 a 2 minutos hasta alrededor de 1 hora, con producción prematura de resistencia.

El cemento expansivo se vende en tres tipos, el **K**, el **M** y el **S**, y las propiedades expansivas de los tres tipos pueden variar considerablemente. Cuando se restringe la expansión o dilatación, estos cementos pueden usarse para compensar los efectos de la disminución de volumen del concreto debidos a la contracción. También puede usarse para inducir esfuerzo de tensión en el refuerzo para fines de pre-forzado.

Cementos para Mampostería: Mezclas preparadas de cemento portland con cal hidratada, escoria granulada, sílice, arcilla, diatomita y caliza finamente pulverizada. A veces se incluyen pequeñas adiciones de estearato de calcio, petróleo, arcillas coloidales y otros aditivos. Los ingredientes y las proporciones varían mucho y por lo general están patentados o se mantienen en secreto. Estos cementos producen un mortero más trabajable y plástico para uso en mamposterías. Se venden en dos tipos, los morteros de los tipos I y II para mamposterías, ya sea en color blanco o en gris, y también a prueba de agua o no aptos a prueba de agua.

Cementos Naturales: Son preparados con materias primas naturales que se encuentran mezcladas en las proporciones correctas y que sólo necesitan molerse y calcinarse en un horno para producir cemento.

Cemento Puzolánico: Es fabricado de mortero de cal y un material puzolánico. Este cemento puzolánico se produce moliendo juntos la cal y el material que contiene la sílice activa hasta que se encuentren completamente entremezclados. Este cemento tiene resistencia mecánica casi igual a la del cemento portland.

Cemento Keene: Se fabrica calentando yeso alrededor de 110°C y éste se pone luego en una solución de alumbre, se seca y se recalienta a 500°C, después se muele convirtiéndolo en polvo. El cemento de Keene produce una pasta densa y dura para aplanados interiores que se emplea en lugares en donde hay humedad o uso intenso.

Cemento Oxiclórico (sorel): En la actualidad el cemento oxiclórico se fabrica a partir de óxido de magnesio, calcinándolo y moliéndolo a la forma de polvo fino. Después de mezclarse con carborundo, aserrín de madera, arena u otro material, y de agregar una solución de cloruro de magnesio, se mezcla perfectamente toda la masa y se vacían en molde. Este cemento se usa para acabados de pisos. El cemento oxiclórico debe estar fresco, debe almacenarse cuidadosamente y debe usarse correctamente. Dependiendo de su uso final, se combinan cuatro grupos de ingredientes en su formulación: rellenos inertes (harina de mármol, talco); rellenos fibrosos (tales como harina de madera, serrín), los cuales son buenos para pisos de mármol; agregados inertes (arena, piedra triturada); y pigmentos inorgánicos resistentes a los álcalis.

Cemento Azufroso: Es fabricado al mezclar azufre fundido con polvo de ladrillo y otro plastificante dilatador mineral y se usa como mortero para anclar metal en mampostería de piedra o de ladrillo.

2.3.7.4 Recomendaciones para la selección de cemento

- 1. “Tipo de cemento portland en relación con el sitio: De acuerdo al sitio y ubicación se determina el tipo de cemento portland más adecuado para emplear.*
- 2. Tipo de agua y subsuelo: Se debe verificar si hay agua en el subsuelo; si la hay, se debe analizar cuidadosamente, en particular el contenido de sustancias alcalinas y de azufre. También debe verificarse el subsuelo de modo semejante para determinar qué tipo de cemento debe usarse.*
- 3. Clima y época en el que se usará el cemento: temperatura, humedad y condiciones atmosféricas que afecten tanto al tipo de cemento como a las condiciones de utilización.*
- 4. Cemento para morteros: el cemento debe ser del tipo que se recomienda para el trabajo de mampostería en particular por realizar.*
- 5. Tipo de diseño de la obra de concreto: esto también indicará el tipo de cemento que deba usarse.*
- 6. Tratándose de unidades de concreto preensambladas o prefabricadas, las superficies terminadas determinan en grado importante el tipo de cemento que deba usarse”¹⁴.*

¹⁴ HORNBOSTEL, Caleb. Materiales para construcción, Usos y Aplicaciones. México D.F.: Editorial Limusa, S.A. de C.V., 2005. p. 249.

2.3.8 Producción comercial

La producción de Cemento Portland es realizada a través de dos metodologías. En la primera, conocida como “proceso húmedo”, las materias primas son molidas y mezcladas con agua e introducidas en los hornos con apariencia de lodo húmedo; la otra metodología denominada “proceso seco”, las materias primas son molidas y mezcladas sin presencia de agua e introducidas en los hornos con apariencia seca. Los hornos horizontales ligeramente inclinados y revestidos de material refractario, son calentados mediante una flama de combustible situada en el extremo bajo que origina temperaturas que alcanzan los 1482.22°C. Cuando pasan los materiales a través del horno, se unen y forman una nueva sustancia con características físicas y químicas propias, que constituyen finalmente la escoria. Esta escoria es descargada por el extremo inferior del horno para que se enfríe. Después de enfriarse se almacena en pilas o se le muele inmediatamente agregando yeso, hasta lograr una finura tal que el 90% del material que pase por una malla de 31400 huecos por pulgada cuadrada (6.452 huecos por cm²).

Mediante el empleo de los siguientes factores, actualmente se ha mejorado la producción del cemento:

- Hornos más largos, en los que se utiliza el calor de desecho del horno enfriador de la escoria y del pre-calentador para secar los materiales durante la molienda.
- Sistemas de precalentamiento.
- Empleando hornos de destello o flash que proporcionan aproximadamente 90% de la calcinación de las materias primas alimentadas antes de entrar al horno, aumentando con ello la capacidad del horno en 100%.

2.3.9 Requisitos comerciales

El cemento portland se controla en su fabricación de manera que satisfaga requisitos definidos establecidos por diversos departamentos del gobierno (el ejército, la Marina, etc. de EUA) y otras agencias oficiales autorizadas para emitir especificaciones (como la American Society for Testing materials). En general, estos requisitos se dividen en cinco categorías:

Tabla 10: Límites químicos en la fabricación del cemento Portland

Controles	Pérdida en los gases del horno	Residuo presente	Anhídrido sulfúrico SO ₃	Magnesia MgO
Límite %	3	0,85	3	5
Tolerancia %		0,15	0,1	0,4

Fuente: *Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones*

1. Límites químicos.
2. Inalterabilidad de volumen: Esta propiedad se refiere a la capacidad de una pasta de cemento endurecida para retener su volumen después de fraguar.
3. Tiempo de fraguado: Éste no debe ser menor de 45 minutos (aguja de Vicat) o de 60 minutos (aguja de Gillmore) y no mayor de 10 horas.
4. Finura: Los cementos se muelen en la actualidad a tamaño de micrones. La mayor finura incrementa la rapidez a la que se hidrata el cemento y en consecuencia acelera el desarrollo de su resistencia, particularmente durante los primeros 7 días. La finura también puede medirse en la función del área de superficie por gramo.
5. Resistencia a la compresión: Ésta se determina por pruebas de cubos de mortero estándar de 2 pulgadas (50.8mm).

Todas estas normas o estándares cambian periódicamente y se correlacionan con las especificaciones generales para obras de concreto.

2.3.10 Empaquetado y etiquetado

Los métodos de empaquetado, marcado o etiquetado y almacenado para el cemento, son controlados también de acuerdo con requisitos especiales. La mayoría del cemento portland es empaquetado en bolsas de papel, normalmente en cantidades de 50Kg y transportado en grandes volúmenes por ferrocarriles, camiones o barcos. En las pacas de cemento se contiene información de la empresa productora (nombre, marca, lugar de producción, etc.), del tipo de cemento, de los componentes principales y de las normas técnicas que cumplen.

CUESTIONARIO

1. ¿Es favorable mezclar cemento con cal?

Si. Tradicionalmente se vienen utilizando los morteros formados por cemento, cal, arena y agua, que se denominan “morteros bastardos”. La cal se adiciona para mejorar la plasticidad, adherencia y trabajabilidad de la mezcla.

2. ¿Qué características de los cementos los hace más adecuados para trabajar con aditivos?

La interacción cemento-aditivo no es un aspecto totalmente aclarado, no obstante, existen algunos parámetros que parecen mejorar su comportamiento siempre en función de la naturaleza concreta del aditivo. Pueden influir el contenido de C3A del cemento, un adecuado contenido de álcalis solubles y una adecuada concentración de sulfatos solubles en solución acuosa en el momento del amasado. La incompatibilidad aditivo cemento se asocia a pérdidas de asentamiento, disminución de la fluidez, irregularidades en el fraguado, comportamientos erráticos en mezclas de aditivos, etc.

3. ¿Por qué el contenido de agua en el momento de la rotura influye en las resistencias mecánicas?

Porque el agua actúa como un lubricante entre los cristales de sulfato cálcico hidratado disminuyendo las fuerzas internas de rozamiento entre ellos.

4. El yeso, ¿resiste bien al fuego? ¿Por qué?

La resistencia del yeso frente al fuego es muy buena debido a su composición química y a su baja conductividad térmica. Porque la gran energía calorífica del fuego se consume deshidratando el dihidrato.

5. ¿Por qué se adiciona yeso en la fabricación del cemento?

En el proceso de fabricación del cemento, el yeso se adiciona a una mezcla llamada clínker, esto se hace para dar mayor tiempo de endurecimiento al cemento, ya que el solo clínker endurece inmediatamente al reaccionar con el agua.

6. Qué características de los cementos los hace más adecuados para trabajar con aditivos?

La interacción cemento-aditivo no es un aspecto totalmente aclarado, no obstante, existen algunos parámetros que parecen mejorar su comportamiento siempre en función de la naturaleza concreta del aditivo. Pueden influir el contenido de C3A del cemento, un adecuado contenido de álcalis solubles y una adecuada concentración de sulfatos solubles en solución acuosa en el momento del amasado. La incompatibilidad aditivo cemento se asocia a pérdidas de asentamiento, disminución de la fluidez, irregularidades en el fraguado, comportamientos erráticos en mezclas de aditivos, etc.

3. LIGANTES BITUMINOSOS

Los Ligantes Bituminosos son materiales con unas características y propiedades excepcionales que los hacen ideales para múltiples usos en el sector de la construcción en general y especialmente en la pavimentación vial. Dichos Ligantes Bituminosos los podemos encontrar de manera natural o los podemos producir a partir de petróleo crudo, mediante un proceso de destilación.

Existen básicamente tres tipos de materiales bituminosos que son:

- **Asfaltos Naturales:** Ubicados en depósitos subterráneos, salen a la superficie en forma de láminas debido a fallas geológicas, encontrándose también asfalto en roca y arena.
- **Alquitrán:** Obtenido por medio de la destilación del carbón.
- **Asfaltos derivados del petróleo:** Como su nombre lo indica, son obtenidos mediante la destilación de crudos.

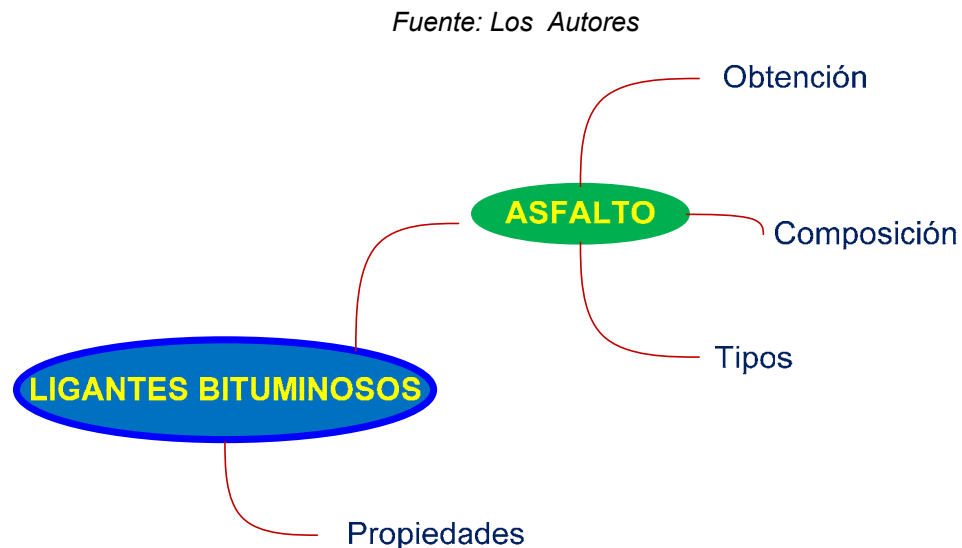


Figura 55: Ligantes Bituminosos

3.1 ASFALTO

El asfalto es un material aglomerante, de color negro, pegajoso, termo-susceptible, lo cual hace que sea semisólido a temperatura ambiente y se licue fácilmente con el aumento de la temperatura, se disuelve en destilados volátiles y no volátiles del petróleo y en aceites residuales y también puede emulsificarse con agua.

Debido a que el asfalto es un material que contiene betún, posee unas propiedades que lo hacen ideal para emplearse en la pavimentación de vías, en la impermeabilización de estructuras, como depósitos, techos o tejados y en la fabricación de baldosas, pisos y tejas. A continuación se describen algunas de las ventajas del asfalto:

- Resistente al ataque químico (ácidos y sales) y bacteriológico.
- Es aplicable en la mayoría de superficies, permitiendo que se adhiera o se integre a las mismas, cumpliendo la función de impermeabilizante y aislante térmico.
- En el caso de los pavimentos, proporciona una fuerte cohesión entre los agregados, capaz de resistir la acción mecánica de desintegración, producida por los vehículos.

3.1.1 Composición del Asfalto

Es importante tener presente composición química de los asfaltos, para comprender sus propiedades físicas y así obtener un óptimo comportamiento de acuerdo al uso que se le va a dar.

El asfalto se considera un sistema coloidal complejo de hidrocarburos de elevados pesos moleculares cuyos principales componentes son el carbono y el hidrógeno y en mucha menor proporción el oxígeno, azufre, nitrógeno y metales pesados como el níquel y el vanadio, todos solubles en sulfuro de carbono.

El modelo que representa la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, en el cual grandes moléculas de asfalteno (fase discontinua) están rodeadas por aromáticos, polares y no polares, que a su vez están suspendidos en aceites saturados denominados maltenos (fase continua). Los aceites o resinas contenidos en los maltenos son intermediarios en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insolubles asfaltenos.

La composición del asfalto consta básicamente de tres componentes.

1. **Asfaltenos:** Mezcla de moléculas complejas de peso molecular alto, insolubles en hidrocarburos parafínicos y soluble en compuestos aromáticos como el benceno. Estos proporcionan características estructurales y de dureza.
2. **Resinas:** Semisólidas o sólidas a temperatura ambiente, fluidas cuando se calientan, frágiles cuando se enfrían, proveen ductilidad (visco-elasticidad) y brindan propiedades aglomerantes.
3. **Maltenos:** Compuestos básicamente de aceites minerales, son líquidos incoloros, solubles en la mayoría de los solventes, aumentan la fluidez (plasticidad) y pueden contener ceras que se transforman en fase con el oxígeno. Proporcionan consistencia adecuada para hacerlos trabajables.

Fuente: Diseño y elaboración de documentación soporte para la clase de diseño de pavimentos en el programa de ingeniería civil en la Universidad Industrial de Santander

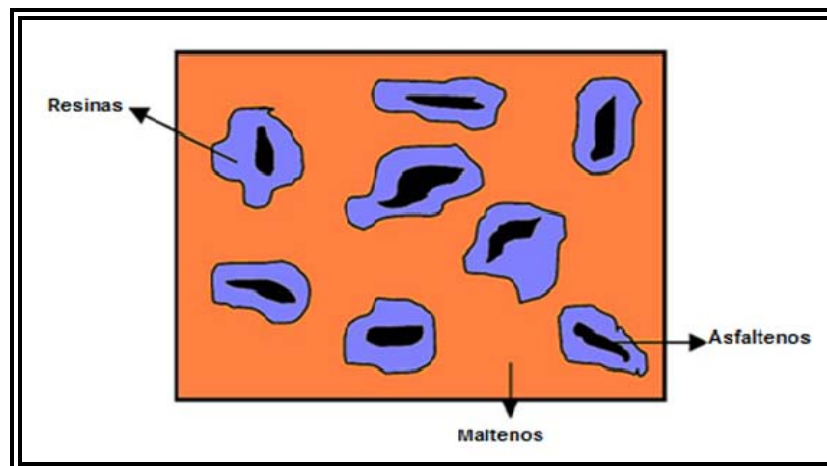


Figura 56: Composición del asfalto (Modelo Micelar)

A continuación se observa un cuadro con las características de los maltenos que conforman la fase continua y los asfaltenos que conforman la fase discontinua.

Tabla 11: Modelo de composición del Asfalto

Afaltenos	Maltenos
Compuestos polares	No polares
Hidrocarburos Aromáticos	Hidrocarburos Alifáticos más Naftenicos y Aromáticos
Peso molecular mayor 1,00 g/mol	Peso molecular hasta 1,00 g/mol
Precipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición (pentano-heptano)	Medio continuo

Fuente: www.e-asfalto.com

El asfalto posee una estructura molecular compleja la cual varía, tanto en el tipo de enlace químico como en tamaño, lo cual depende del crudo del cual fue destilado. Existen tres tipos de moléculas:

- Acíclicos: también conocidos como parafínicos son lineales, en tres dimensiones en forma de cadena y son grasos por naturaleza.
- Cíclicos: también conocidos como nafténicos son anillos de carbono saturados, tridimensionales.
- Aromáticos: son planos, anillos estables de carbono que se agrupan fácilmente y tienen un fuerte olor.

3.1.2. Obtención de Asfaltos en Refinerías

Los asfaltos más utilizados actualmente, son los derivados de petróleo, representando más del 90% de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen una proporción de asfalto, no obstante existen algunos

petróleos crudos, que no contienen asfalto. Según la proporción de asfalto que poseen, los petróleos están clasificados en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.
- Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto destilado de petróleos crudos de base parafínica no es aconsejable para la pavimentación, ya que se precipita a bajas temperaturas, formando una segunda fase discontinua, lo que resulta en la pérdida de ductilidad. Con el asfalto destilado de petróleos crudos de base asfáltica esto no sucede, dada su composición química.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y kerosene de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas, dejando el asfalto como producto residual.

El asfalto de petróleo, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

El crudo de petróleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano, hasta compuestos semisólidos muy complejos como son los componentes del asfalto. Para obtenerse, el asfalto debe separarse de las distintas fracciones del petróleo crudo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo.

Fuente: Cartilla práctica para el manejo de los asfaltos

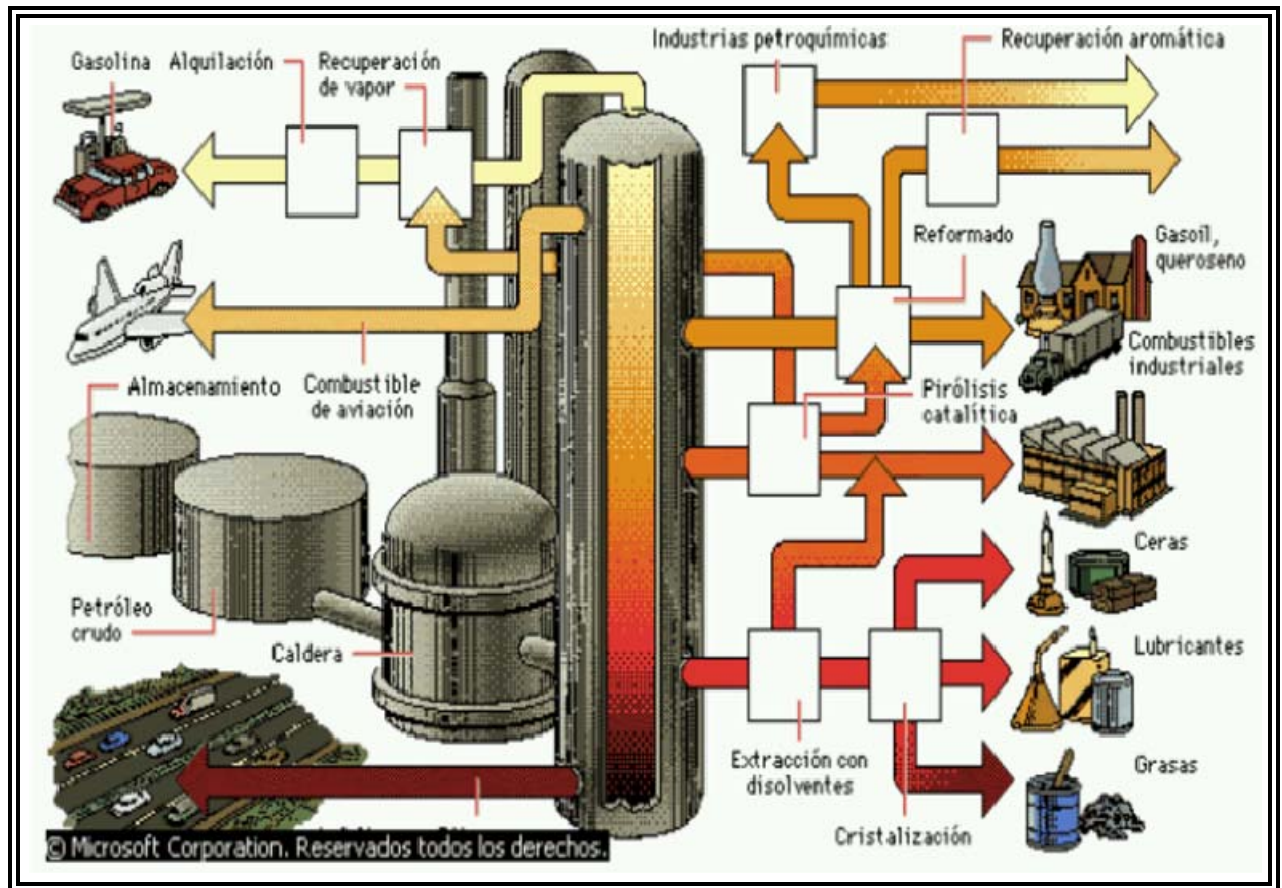


Figura 57: Proceso de Destilación del Petróleo

3.1.2.1 Destilación Primaria

Es la primera operación a que se somete el petróleo crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los componentes livianos (nafta y kerosene), hierven a esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionadora. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.

3.1.2.2 Destilación al Vacío

Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionadora, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

3.1.2.3 Desasfaltización con Propano o Butano

El residuo obtenido por destilación al vacío, contiene los asfaltenos dispersos en un aceite muy pesado que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfaltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. El proceso se denomina "desasfaltización" y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado, se utiliza como solvente propano o butano líquido a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 °C). El gas licuado extrae el aceite y queda un residuo semisólido llamado "bitumen".

Fuente: www.e-asfalto.com

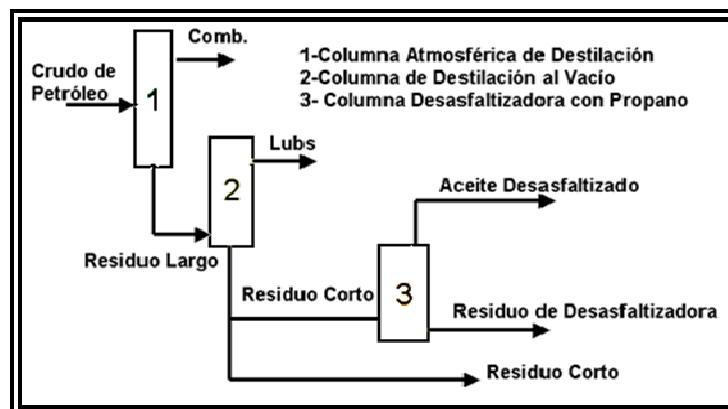


Figura 58: Esquema de obtención de asfaltos por Desasfaltización.

3.1.3 Tipos de Asfaltos

A continuación se presentan los diferentes tipos de asfaltos empleados en la construcción y en la pavimentación vial.

3.1.3.1 Asfaltos oxidados o soplados

Estos son asfaltos sometidos a un proceso que afecta la composición química del asfalto. Las propiedades físicas de los asfaltos obtenidos por destilación les permiten ser dúctiles y maleables, por tanto se recomienda su uso como componente para crear materiales de uso vial. Al "soplar" oxígeno sobre una masa de asfalto en caliente se reduce la fracción de maltenos en relación con los asfaltenos, provocando así una mayor fragilidad, mayor resistencia a las temperaturas elevadas y una variación de las condiciones como material fluido.

Fuente: www.e-asfalto.com/orig_asf/origenasf.htm

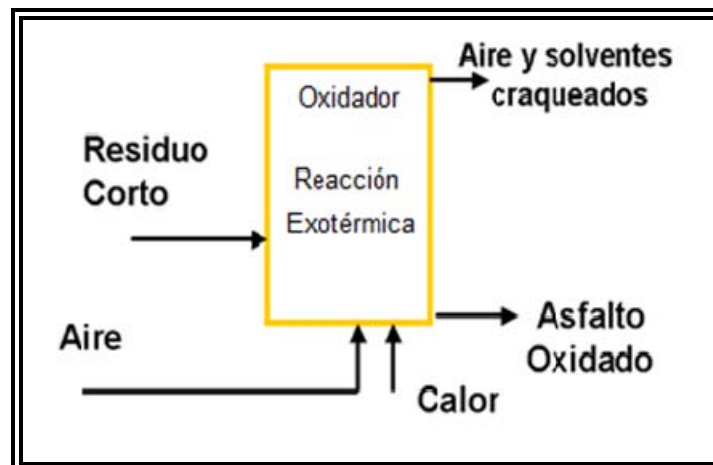


Figura 59: Manufactura de Asfaltos Oxidados

3.1.3.2 Asfaltos sólidos o duros

Asfaltos con una penetración a temperatura ambiente menor que 10 (décimas de milímetro). Además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes.

3.1.3.3 Asfaltos Rebajados o Cut-Backs

Los asfaltos rebajados o también conocidos como “cutbacks” son una combinación de cemento asfáltico y solventes derivados del petróleo. Los asfaltos rebajados se utilizan en aplicaciones especiales, ya que reducen la viscosidad del asfalto para hacerlo fluido a bajas temperaturas.

Están compuestos por una fase asfáltica y un solvente volátil, que puede ser nafta, queroseno o aceite. El solvente por lo general, no es más que un aditivo, que se elimina posteriormente por evaporación y que sirve para facilitar la puesta en obra, quedando al final el asfalto únicamente, el cual envuelve y cohesiona las partículas del agregado.

Los materiales asfálticos de curado rápido, medio y lento se designan usualmente por sus iniciales en inglés: RC, MC y SC, respectivamente. De este modo, las dos primeras letras designan el tipo.

Fuente: Pavimentos Asfálticos.

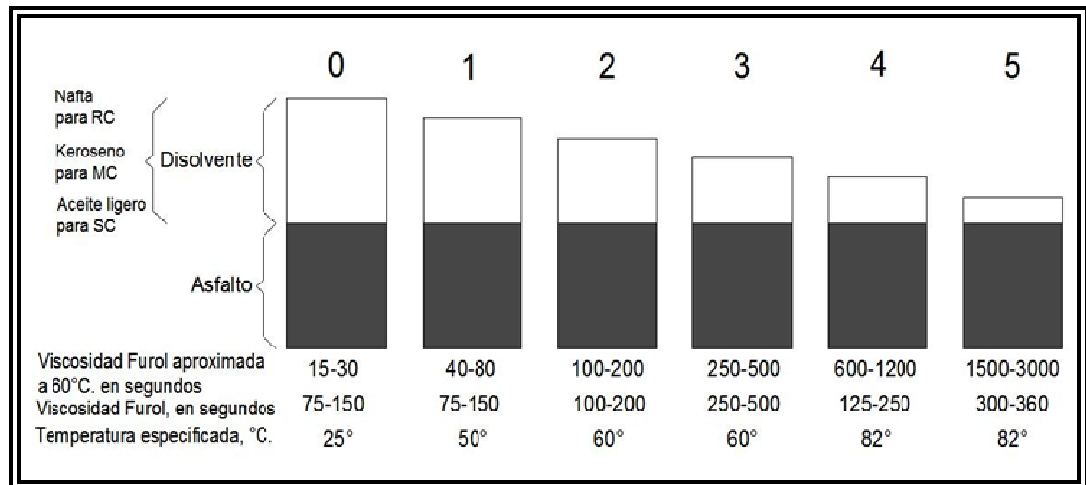


Figura 60: Composición de los Asfaltos Rebajados

- **Los Cutbacks de Curado Rápido (RC)**

Se llaman así porque se fabrican por mezcla del asfalto con cierta cantidad de disolvente, que se evapora rápidamente después de usarlo, dejando solo el asfalto. El disolvente utilizado para mezclarlo con un asfalto y producir un cutback de curado rápido es un material de bajo punto de ebullición, como nafta o gasolina. La cantidad de disolvente que debe mezclarse con el asfalto depende del tipo de cutback de curado rápido que haya de fabricarse. Se designan con las letras RC (Rapid Curing), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en Centiestokes. En Colombia el más utilizado es el RC-250.

- **Los Cutbacks de Curado Medio (MC)**

Se fabrican mezclando asfalto con un disolvente de punto de ebullición intermedio, de tipo kerosene. Cuando esta mezcla de materiales se riega sobre una superficie o se mezcla con áridos, el disolvente tipo kerosene no se evapora tan rápidamente como el cutback tipo RC. De aquí viene la designación curado medio. Se designa con las letras MC (Medium Curing), seguidos

con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiStokes. En Colombia el más utilizado es el MC-70.

- **Los Cutbacks de Curado Lento (SC)**

Se obtienen mezclando asfalto con un aceite liviano, relativamente poco volátil necesitando un periodo de curado mucho más prolongado. Se designa por las letras SC (Slow Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiStokes.

Tabla 12: Clasificación de los Asfaltos Rebajados según la volatilidad del solvente y su viscosidad

Curado Lento Slow Curing	Curado Medio Medium Curing	Curado Rápido Rapid Curing
SC - 70	MC - 30	RC - 70
SC - 250	MC - 70	RC - 250
SC - 800	MC - 250	RC - 800
SC - 3000	MC - 800	RC - 3000
	MC - 3000	

Fuente: Tecnología del asfalto

3.1.3.4 Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico es un producto bituminoso semisólido a temperatura ambiente, preparado a partir de hidrocarburos naturales mediante un proceso de destilación. El producto que se obtiene en el fondo de la torre de destilación, posterior a la extracción de los componentes livianos, son los elementos con los cuales se prepara el cemento asfáltico. Los procesos de refinación para la obtención de asfaltos, dependen del rendimiento en asfalto que presenta el petróleo. En los petróleos que presentan bajo rendimiento, se utiliza la destilación

en dos etapas: una a presión atmosférica, seguida de otra al vacío. Si el rendimiento del asfalto es alto, basta la etapa de destilación al vacío. Consiste en una separación física de varios constituyentes del petróleo, por la diferencia de sus puntos de ebullición y condensación.

La penetración de un asfalto procesado es baja, con un aumento de la temperatura o vacío en la torre de fraccionamiento. Inversamente, temperaturas y vacíos menores producen asfaltos con penetraciones más altas. El asfalto procesado se denomina cemento asfáltico de petróleo y para su clasificación se emplean en generalmente dos métodos:

- **Con base en su Penetración.**

Los cementos asfálticos se designan por las letras CA y se clasifican según su grado de consistencia, lo cual se mide a través de un ensayo de penetración en décimas de milímetros. Es así como se puede distinguir los siguientes tipos de cemento asfáltico.

Fuente: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil.



Figura 61: Ensayo de Penetración

AC 40-50: Cementos asfálticos con penetración entre 40 y 50 décimas de milímetro. Estos son los de grado más duro y presentan una consistencia tal que a temperatura ambiente el dedo solamente es capaz de producir una pequeña huella superficial.

AC 60-70: Cementos asfálticos con penetración entre 60 y 70 décimas de milímetro.

AC 85-100: Cementos asfálticos con penetración entre 85 y 100 décimas de milímetro. Este es el grado más empleado en los pavimentos asfálticos corrientes.

AC 120-150: Cementos asfálticos con penetración entre 120 y 150 décimas de milímetro.

AC 200-300: Cementos asfálticos con penetración entre 200 y 300 décimas de milímetro. Estos son los más blandos, son moderadamente firmes a temperatura ambiente y el dedo penetra fácilmente en ellos.

En Colombia, solo se utilizan dos tipos de asfalto, provenientes de refinería (AC 60-70) y (AC 80-100).

- **Con base en su Viscosidad**

Permite conocer los valores de la resistencia del asfalto a fluir. El ensayo de viscosidad se puede realizar a temperaturas de 60°C o de 135°C. A 60°C se efectúa la viscosidad absoluta y se utiliza un viscosímetro capilar, el cual se coloca en un baño de aceite a temperatura constante. Se incorpora el asfalto precalentado hasta que llegue a la marca de llenado.

Una vez que el sistema ha alcanzado la temperatura de 60°C, se aplica un vacío y se mide el tiempo en que tarda en desplazarse el asfalto por el capilar entre dos

marcas consecutivas. Al multiplicarse este tiempo por el factor de calibración de viscosímetro, se obtiene el valor de la viscosidad absoluta en Poises. A temperatura de 135°C se realiza el ensayo de viscosidad cinemática y sus unidades son centistokes.

Fuente: Diseño y elaboración de documentación soporte para la clase de diseño de pavimentos en el programa de ingeniería civil en la Universidad Industrial de Santander

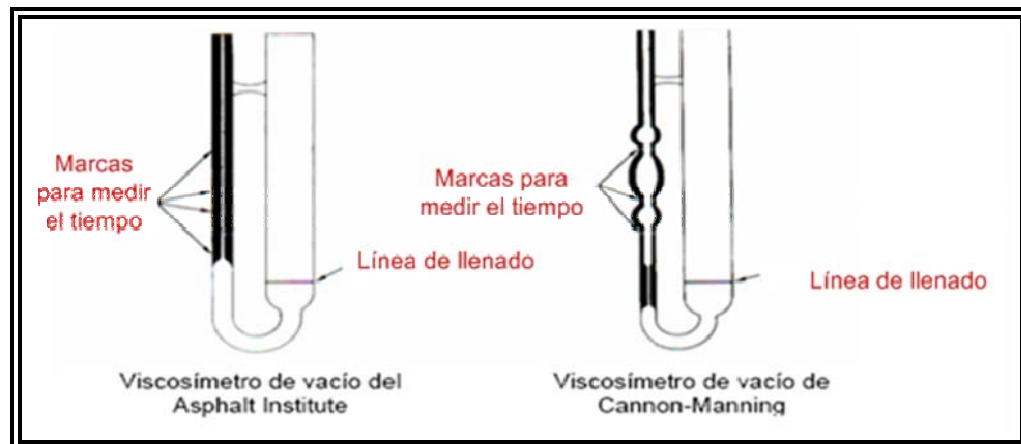


Figura 62: Ensayo de Viscosidad Cinemática

3.1.3.5 Emulsiones Asfálticas

Una emulsión es una dispersión estabilizada de un líquido en otro, los cuales no son miscibles entre sí y se encuentran unidos por un agente emulsionante. Están formadas por dos fases, en donde una es llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa).

Fuente: www.imt.mx

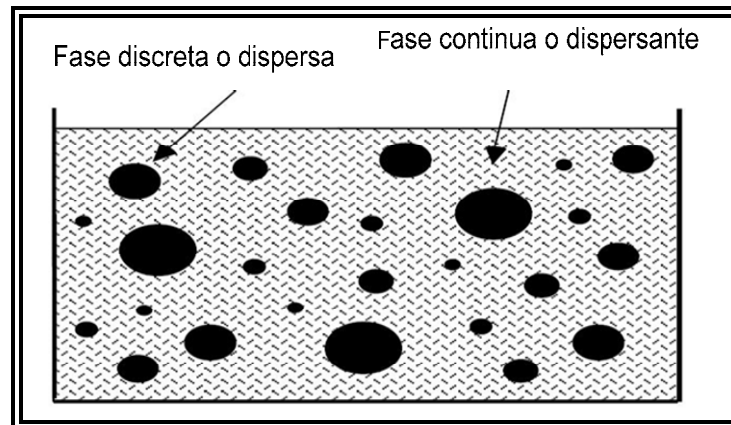


Figura 63: Diagrama Esquemático de una Emulsión

Los emulsificantes son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado, tienen una parte hidrofóbica, que es soluble en el asfalto y una parte hidrofílica, soluble en el medio acuoso.

Las emulsiones asfálticas deben ser afines a la polaridad de los agregados con el propósito de tener una buena adherencia. Esta cualidad se la confiere el emulsificante, el cual puede darle polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de aniónicas, las primeras, afines a los áridos de cargas positivas y catiónica, las segundas, afines a áridos de cargas negativas; como son las de origen cuarzoso o silíceo.

Fuente: www.imt.mx

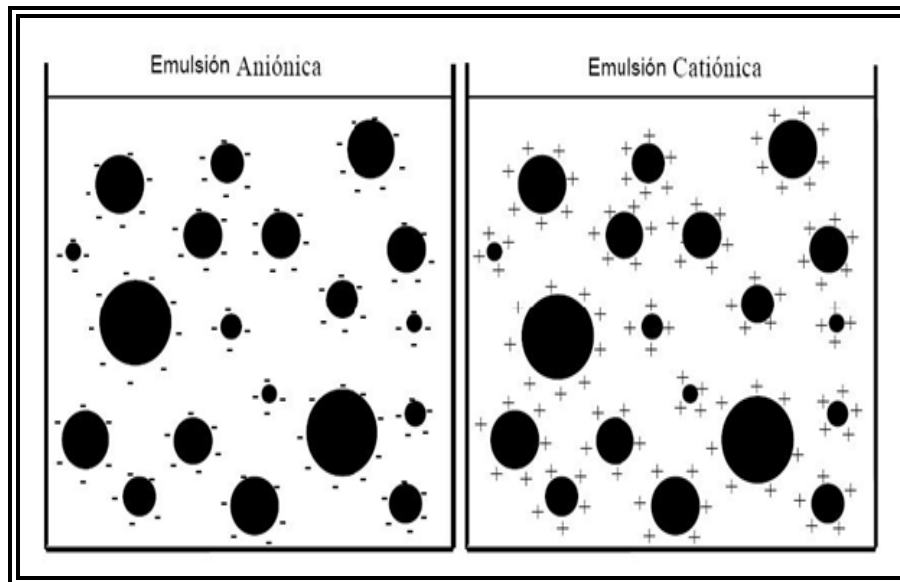


Figura 64: Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica

Las emulsiones asfálticas son un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles, como son el asfalto y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente emulsificante, el cual mantiene en dispersión el sistema y permite la aplicación del asfalto.

Cuando la emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio que la rompe, llevando a las partículas del asfalto a unirse a las superficies del agregado. El agua fluye o se evapora, separándose de los agregados pétreos recubiertos por asfalto.

Este fenómeno de rompimiento o ruptura de la emulsión ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo. Esta carga neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, produciendo un acercamiento entre las mismas para formar otras de gran tamaño las cuales se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica. Durante este proceso el agua es eliminada del sistema asfalto-pétreo.

En el proceso de desestabilización, la emulsión como va perdiendo agua, pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, o sea que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales posteriormente, cuando se deposita la capa de asfalto, son eliminadas.

Fuente: www.imt.mx

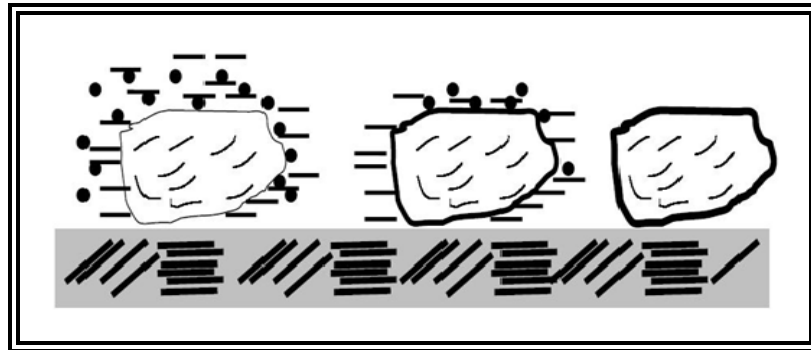


Figura 65: Ruptura de una Emulsión Asfáltica sobre un material Pétreo

Existen emulsificantes que permiten que esta rotura sea instantánea y otros que retardan este fenómeno. De acuerdo con la velocidad de rotura, las emulsiones asfálticas pueden ser:

- **De Rompimiento Rápido**

Las que se designan por las letras RS (Rapid Setting). Estas producen una capa relativamente dura y principalmente es usada para aplicaciones en spray sobre agregados y arenas de sello, así como penetración sobre piedra quebrada; que por ser de alta viscosidad sirve de impermeabilizante.

- **De Rompimiento Medio**

Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas. Se designan con las letras MS (Medium Setting).

- **De Rompimiento Lento**

Son diseñadas para proporcionar una máxima estabilidad de mezclado, se emplean para dar un buen acabado con agregados compactos y asegurar una buena mezcla. Se utilizan también en carpetas de mezclas en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas. Designada por las letras SS (Slow Setting).

El tipo de emulsión a utilizar depende de varios factores, tales como las condiciones climáticas durante la construcción, tipos de agregados disponibles, entre otros.

A continuación se presenta algunas pruebas que se efectúan a las emulsiones asfálticas para reconocer sus distintas propiedades.

→ *Carga eléctrica de la partícula*: Se efectúa para identificar la polaridad de los glóbulos de asfalto en una emulsión, teniendo carga eléctrica negativa las aniónicas y positiva las catiónicas. Norma de ensayo: INV E 767 (1998).

→ *Potencial de hidrógeno*. (PH): Su objetivo es conocer el grado de acidez o alcalinidad de la fase acuosa, además indica el tipo de emulsión que se trata sabiendo que las emulsiones *catiónicas* son ácidas y las *aniónicas* son alcalinas. Norma de ensayo: INV E 768 (1998).

→ *Demulsibilidad*: Indica la rapidez relativa a la cual los glóbulos coloidales de asfalto en las emulsiones del tipo rápido quebrarán cuando se esparza en delgadas capas sobre un suelo o agregado.

→ *Mezclabilidad con cemento Pórtland*: Este ensayo permite conocer la estabilidad de los productos al ser mezclado con un aglomerante hidráulico.

→ *Cubrimiento del agregado pétreo en húmedo*: Con este ensayo se estima que tanta afinidad existe entre la emulsión y el agregado pétreo, además permite observar el comportamiento de esta unión ante la acción del agua. Norma de ensayo: INV E 737 (1998).

→ *Residuo de destilación*: Con esta prueba se obtiene el contenido de agua y disolventes que presenta la emulsión cuando se calienta. Al residuo se le efectúan pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad para saber cómo le afecta la temperatura al cemento asfáltico. Norma de ensayo: ASTM D-402.

→ *Viscosidad saybolt-furol*: Esta prueba permite conocer la consistencia de la emulsión asfáltica a diferentes temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de las emulsiones asfálticas y determinar la viscosidad adecuada para su utilización. Norma de ensayo: INV E 714 (1998).

→ *Asentamiento en 5 días*: Ayuda a conocer la homogeneidad que presentan los productos al ser almacenados.

3.1.3.5.1 Ventajas de las Emulsiones Asfálticas

En esta sección se presenta qué ventajas tienen las emulsiones asfálticas sobre los asfaltos rebajados y las mezclas asfálticas en caliente.

- 1) Es un ligante asfáltico menos contaminante y peligroso, ya que contiene del 35 al 40% de agua como solvente.
- 2) Su manejo es sencillo y seguro, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
- 3) Su límite de almacenamiento es amplio, ya que puede ser almacenado por semanas o meses, debido entre otras cosas, a la igualdad de las densidades de sus componentes.
- 4) Tiene una gran adhesión con cualquier agregado pétreo, a pesar de condiciones de humedad adversas debido a la enorme dispersión de las partículas de asfalto de tamaño muy pequeño y al uso de agentes emulsificantes de tipo catiónico.
- 5) Se aplica en un lapso muy corto de tiempo, lo que permite la pronta funcionalidad de la obra en que se esté usando.
- 6) Comparado con asfaltos líquidos, presenta un bajo costo al ser el agua la fase dispersante.
- 7) El equipo de aplicación es mucho más sencillo debido a que todos sus componentes se aplican a temperatura ambiente.
- 8) Por su aplicación en frío, ayuda a proteger el medio ambiente quedando suprimida la emisión de humos o gases.
- 9) El empleo del agua como solvente no crea problema de su desperdicio, ya que es recuperable.

3.1.3.5.2 Recomendaciones para el uso de las Emulsiones Asfálticas

Las recomendaciones más generales para el uso de las emulsiones asfálticas son las que se describen a continuación:

- 1) Si el depósito se usó para almacenar emulsiones aniónicas y se van a almacenar emulsiones catiónicas, es necesario neutralizar la acción de aquella lavando el tanque, primero con agua y posteriormente con ácido clorhídrico diluido al 1%.

- 2) Por el contrario, si el depósito se usó para almacenar emulsiones catiónicas y se quiere almacenar emulsiones aniónicas, se tendrá que lavar con agua y neutralizarlo con soda cáustica al 0.3%.
- 3) Para descargar más emulsión sobre la ya almacenada, es necesario que el tubo de descarga llegue al fondo para no romper la nata de la superficie, de otra forma, se corre el riesgo de obstruir las bombas.
- 4) Cuando una fábrica o compañía está establecida permanentemente en una región donde se registran temperaturas muy bajas, los tanques deben tener un sistema de calentamiento adecuado o estar cubiertos con algún sistema aislante, para evitar la congelación.
- 5) Cuando los tanques de almacenamiento sean los que usa una compañía constructora, los depósitos se protegerán con mechones alrededor, lo que será suficiente para que no baje la temperatura. Si los tanques están enterrados, no hay necesidad de tomar otra medida para evitar la congelación.
- 6) Antes de recibir una emulsión en obra, se recomienda comprobar su calidad y el tipo de emulsión de que se trate, haciendo las pruebas de identificación que se recomiendan en cada caso.
- 7) Una emulsión que cumple con las especificaciones de calidad, puede estar almacenada durante más de un año, si se recircula sistemáticamente para mantenerla homogénea.
- 8) Los tanques de almacenamiento deberán tener un sistema de recirculación, con el objeto de evitar el asentamiento del asfalto contenido en la emulsión.
- 9) La temperatura ambiente al aplicarse la emulsión, deberá ser mínimo de 10 °C y en ascenso y nunca debe de hacerse cuando baje la temperatura durante la noche.

3.1.3.5.3 Fabricación de Emulsiones Asfálticas

El equipo y producción para la fabricación de emulsiones es muy simple y fácil de conseguir en el mercado. El problema está en la formulación de las emulsiones

que deben adaptarse a los materiales pétreos. Los requerimientos para la fabricación de las emulsiones asfálticas son sencillos, como se muestra en la figura 67.

Fuente: www.imt.mx

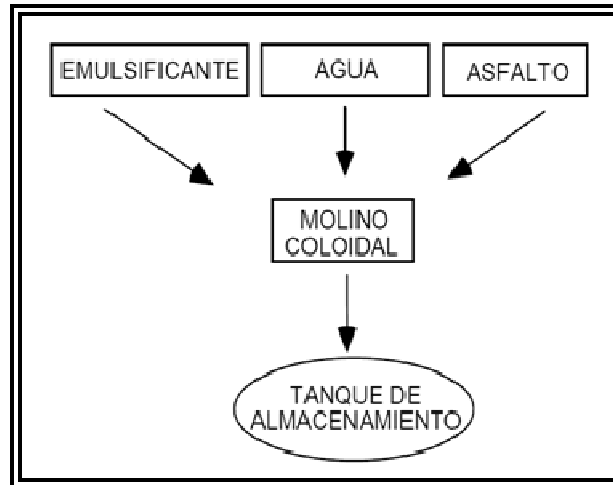


Figura 66: Esquema para la fabricación de Emulsión Asfáltica

3.1.3.6 Asfaltos Naturales

Los asfaltos naturales se producen a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando solo las asfálticas. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres. Existen depósitos de crudo de petróleo en el medio ambiente y por miles de años éstos han correspondido a láminas superficiales de asfalto "natural", los cuales salen a la superficie debido a fallas geológicas. Dichos procesos naturales pueden modificar las propiedades del asfalto, pudiendo presentarse con material mineral. El asfalto del lago Bermúdez se presenta en el lago del mismo nombre, en Venezuela, se ha empleado en la fabricación de asfalto emulsificado para carreteras y calles, en tejados y como impermeabilizante. El asfalto del lago Trinidad se presenta en el lago de asfalto de la isla Trinidad y es considerado como el depósito más importante de asfalto natural en todo el mundo.

El asfalto del lago Trinidad se adapta bien a las mezclas con alquitrán de hulla para disminuir la volatilidad de éste y hacerlo más consistente y más estable a los aumentos de temperatura. Este asfalto es miscible con casi todos los demás asfaltos y betúmenes naturales, aceites vegetales y minerales, ceras, breas y alquitrán de hulla. Este asfalto se emplea como material de pavimentación, y en la fabricación de materiales asfálticos para tejados, materiales impermeabilizantes, revestimiento para tuberías y conductos, y para otros usos especializados.

Los principales yacimientos de roca asfáltica están en Europa y Norteamérica, pero hay depósitos en todo el mundo. Los asfaltos de roca norteamericanos suelen componerse de arenisca o caliza o una mezcla de ambas, impregnadas con betún; los calizos se diferencian por su estructura física de los que contienen arenisca.

Los asfaltos de roca se usan para pavimentar calles. Se mezclan uno o varios asfaltos de roca pulverizados para obtener una composición media, se extiende la mezcla, se aplica calor si es necesario, y por medio de presión se iguala la superficie.

En Colombia, los yacimientos de asfaltos naturales se encuentran principalmente en los departamentos de Santander (Rionegro, Lebrija, San Vicente de Chucurí y Vélez); Boyacá (Tuta, Pesca, Tópaga y otros); Cundinamarca (Machetá, La Palma, Yacopí); Tolima (Chaparral, Piedras, Lérída y Suárez) y Caquetá (San José, Belén, Florencia y Puerto Rico).

Fuente: Asfaltos Naturales en Colombia

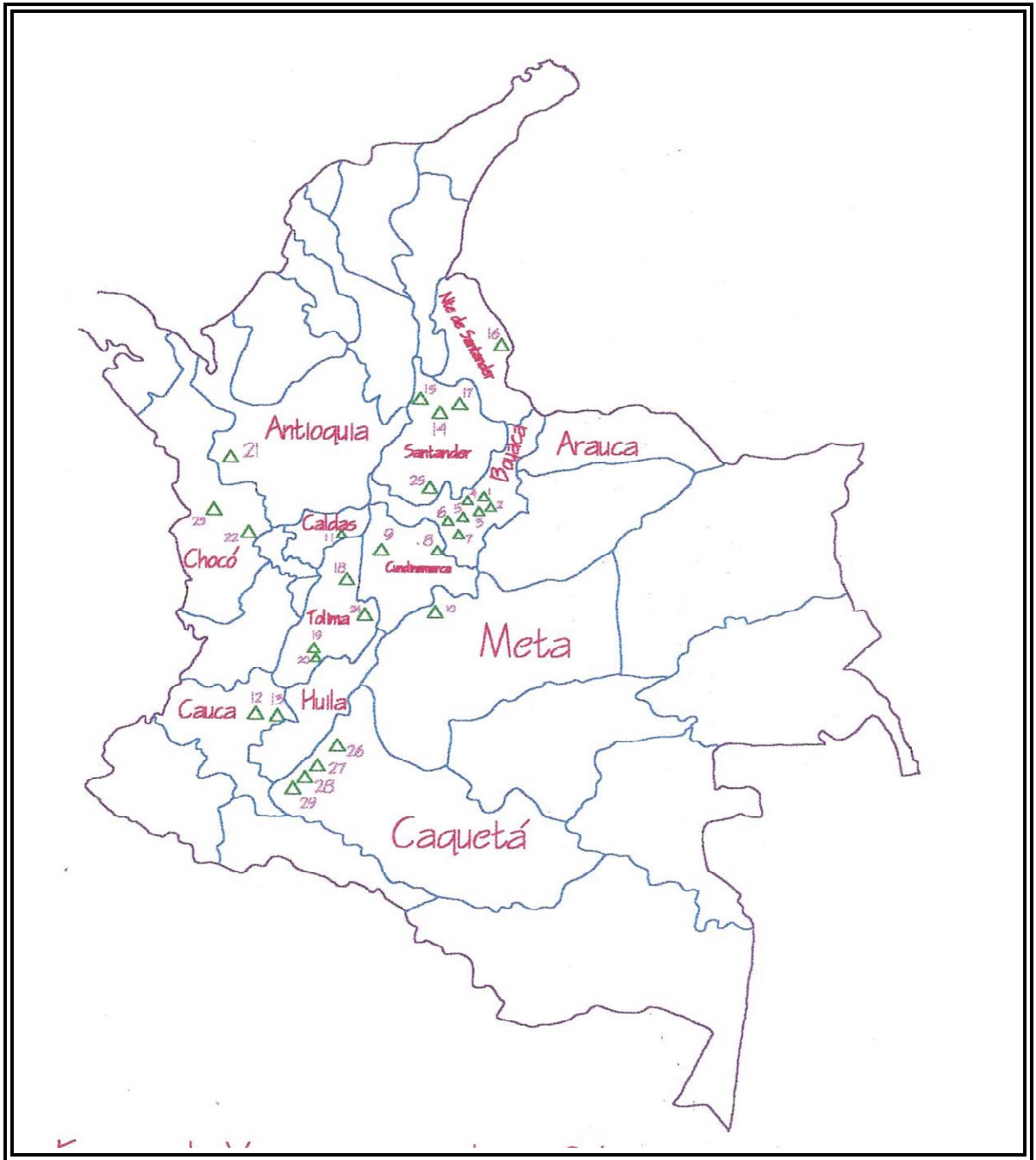


Figura 67: Yacimientos de Asfalto Natural en Colombia

Tabla 13: Listado de los Yacimientos de Asfalto Natural en Colombia.

MINAS	NOMBRES	Espesor del Manto	Reserva Probable
1	CORRALES		
	Manto: Alto de Culatas	20m	-
2	TOPAGA		
	Manto: Margen Izquierda del Río Hongui	1,5m	-
	Manto: Pulido	2,5m	-
	Manto: Rodríguez	2,5m	-
	Manto: Camargo	2-3m	-
3	SOGAMOSO		
	Manto: La Sierra	2m	-
4	PAIPA		
	Manto: Hacienda Río Arriba	2m	-
5	PESCA		
	Manto: Santa Teresa	17m	100000ton
	Manto: Villa Larga	25m	-
	Manto: Londoño	6m	50000ton
	Manto: La Emilia	6m	1400000ton
6	BOYACA		
	Manto: A 6,7 NW	-	-
7	RONDON		
	Manto: Confluencia del Río Uvo con el Río Mucane	10m	-
8	MACHETAS	-	-
9	GUADUAS	-	-
10	VILLAVICENCIO	-	-
11	VICTORIA	-	-
12	SILVIA	-	-
13	INZA	-	-
14	BARRANCABERMEJA(subproducto derivado)	-	-
15	PUERTO WILCHES	-	-
16	CUCUTA	-	-
17	RIO NEGRO	-	-
18	ARMERO-LERIDA	-	1000000ton
19	CHAPARRAL	-	-
20	ATACO	-	-
21	BUCHADO	-	-
22	TADO-CONDOTO-BAGADO	-	-
23	BAUDO	-	-
24	SUAREZ	-	-
25	VELEZ	-	-
26	PUERTO RICO	-	-
27	FLORENCIA(Las Pavas)	-	-
28	BELEN	-	-
29	SAN JOSE	-	-

Fuente: Asfaltos Naturales en Colombia

3.2 Propiedades de los Ligantes Bituminosos

A continuación se presentan algunas de las propiedades físicas de los Ligantes Bituminosos que los hacen tan apreciables en el sector de la construcción y pavimentación vial en general.

3.2.1 Susceptibilidad térmica

Para obtener la manejabilidad deseada de los Ligantes en obra, es necesario que tengan una viscosidad baja, lo cual se puede conseguir por medio de una disolución en un disolvente volátil, por emulsión en agua o por un aumento en la temperatura, siendo éste último el procedimiento el más utilizado. La Susceptibilidad térmica de un producto asfáltico, es la capacidad que presenta el material bituminoso, para variar su viscosidad en función de la temperatura. Es decir a mayor temperatura el material se comporta con mayor fluidez. Es muy importante la susceptibilidad debido a que se puede conocer la temperatura adecuada para que el producto asfáltico adquiera la viscosidad requerida para el uso que se le desee dar.

3.2.2 Poder Aglomerante

Los Ligantes Bituminosos tienen la propiedad de bajar su viscosidad con la temperatura, de tal modo que se convierte en una sustancia fluida que moja, se adhiere y envuelve con mucha facilidad a los agregados pétreos, al tiempo que los aglomera. Este poder aglomerante de los materiales bituminosos aumenta al enfriarse y al ser compactado.

3.2.3 Agente estabilizante

Los Ligantes bituminosos al ser usados como estabilizadores en materiales granulares, dan como resultado una alta estabilidad, la cual permite dar dureza, cohesión y resistencia a los materiales granulares sueltos, al igual que lo pueden hacer otros agentes estabilizadores como: el cemento, la cal y diferentes conglomerantes hidráulicos.

3.2.4 Agente Impermeabilizante

Debido a su composición química, los bitúmenes son impermeables, así mismo al recubrir todos los agregados y rellenar todos los poros dejados entre ellos, se hace inaccesible el paso del agua, con lo que se obtienen materiales con valores de impermeabilidad muy altos.

La impermeabilidad de los materiales bituminosos es una de sus características más reconocidas la cual se debe, en primer lugar, a que la solubilidad del agua en dichos materiales es muy pequeña y, además, a la elevada viscosidad de tales productos. En general, cuanto menor es la penetración de un producto asfáltico, más lentamente se difunde el agua a través de él.

3.2.5 Manejabilidad

Los materiales tratados con Ligantes bituminosos son fácilmente manejables, lo cual contribuye a hacer más fácil los procesos constructivos.

3.2.6 Durabilidad

Mide que tanto puede el material bituminoso conservar sus características, se juzga principalmente a través del comportamiento del material con el transcurso

del tiempo. Esta propiedad es afectada por las características del agregado y la mano de obra en la construcción.

3.2.7 Ductilidad

Uno de los usos más frecuentes de los Ligantes bituminosos es para la pavimentación vial. Tal es el caso del asfalto, el cual está sometido frecuentemente a variaciones de temperatura que le provocan cambios dimensionales, para esto es necesario que el material asfáltico tenga suficiente ductilidad para alargarse sin que se produzcan grietas. Una ductilidad excesiva tampoco es conveniente debido a que se corre el riesgo de que se presenten ondulaciones por efectos de las cargas del tráfico.

Esta propiedad puede comprobarse experimentalmente que para un mismo material, la ductilidad crece cuando aumenta la temperatura, y para materiales distintos, pero del mismo tipo, la ductilidad aumenta cuando la penetración aumenta o cuando la viscosidad disminuye. (INV E-702)

3.2.8 Consistencia

Para caracterizar a los Ligantes Bituminosos, en especial a los asfaltos, es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, puesto que son materiales termoplásticos que se licuan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia de una mezcla asfáltica con la de otra, es necesario fijar una temperatura de referencia. Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o de penetración

- **Penetración:** La penetración es una medida que determina la dureza o consistencia relativa de un producto asfáltico, midiendo la distancia que una

aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. La penetración de un producto asfáltico disminuye cuando la densidad del mismo aumenta. La medición se realiza a 25 °C en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100 g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm (décimas de milímetro) (E-706 Penetración de los materiales asfálticos).

- **Viscosidad:** Esta propiedad de los asfaltos, ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo. Además la viscosidad de un ligante es una de sus características esenciales desde el punto de vista de su comportamiento en el momento de su aplicación cuando su consistencia es suficientemente reducida. La viscosidad de los ligantes depende de la temperatura, por lo que su determinación a diferentes temperaturas da una buena idea de cuál es su susceptibilidad térmica. (E-714 Viscosidad Saybolt de asfaltos, E-715 Viscosidad cinemática de asfaltos, E-716 Viscosidad del asfalto con el método del viscosímetro capilar de vacío y E-717 Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional).

3.2.9 Volatilidad

Indica la cantidad de aceites volátiles que contiene un ligante bituminoso, mediante el calentamiento a una temperatura determinada durante un cierto tiempo. Esta propiedad muestra un índice de inalterabilidad del bitumen durante las operaciones previas a su puesta en obra.

3.2.10 Cohesión

Esta propiedad indica la dificultad de un producto bituminoso y un agregado pétreo para romperse por tracción sin que falle la adherencia entre el producto bituminoso y el agregado pétreo.

3.2.11 Adherencia

Está representada la resistencia que muestra un ligante bituminoso a despegarse de un agregado, pero esta adherencia no puede tener lugar más que si el agregado mineral es mojado por el ligante. Además de esto, tiene que existir afinidad entre las moléculas de ambos cuerpos.

3.2.12 Envejecimiento

En los ligantes bituminosos, en especial en el asfalto, se presenta el fenómeno de envejecimiento, debido a que el asfalto está compuesto por moléculas orgánicas que reaccionan con el oxígeno del aire oxidándose lo que los hace más duros y frágiles. Este envejecimiento se produce de forma muy lenta.

Se debe tener en cuenta también que gran parte de este envejecimiento o endurecimiento oxidativo tiene lugar antes de que el asfalto esté compactado, durante el proceso de mezcla en el que el ligante está sometido a altas temperaturas y en forma de película fina sobre la superficie, lo que hace que el proceso sea más rápido, pudiéndose producir en este periodo otros tipos de envejecimiento, como la pérdida de los componentes más volátiles del asfalto, que se traduce también en un endurecimiento del mismo.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué es un asfalto 60-70 y porque es el tipo de asfalto más utilizado en Colombia?

El asfalto 60-70 es un cemento asfáltico asfalto que según su grado de consistencia tiene una penetración de 60-70 decimas de milímetro a 25°C, cumpliendo con los grados de penetración establecidos por la norma AASHTO M 20-70 de la *American Association of State Highway and Transportation Officials*. Obtenido por procesos de refinación de petróleo, es un asfalto relativamente duro y a mayor temperatura tiende a ser más viscoso, Esto hace que su comportamiento sea apropiado en climas cálidos como los de nuestro país, esta es la razón fundamental por la cual es el tipo de asfalto más usado en Colombia.

2. ¿Por qué las propiedades mecánicas del asfalto son tan importantes en su desempeño como material de construcción?

Indudablemente las propiedades del asfalto son las características de un material ligante, termo susceptible, lo cual lo hace ideal para manipularse como fluido cuanto está sometido a altas temperaturas, cuando es diluido con gasolina (asfalto líquido de curado rápido) o con kerosene (asfalto líquido de curado medio) o emulsificado con agua, esto con el fin de poder llevar a cabo las mezclas en frío o en caliente, para así poder usarlas en las diferentes obras civiles.

3. ¿En qué consisten las emulsiones asfálticas y cuál es su principal aplicación?

Una emulsión asfáltica es una solución de asfalto con agua, como ya es conocido estos dos materiales son no miscibles, por lo cual se generan dos fases en la mezcla, la fase continua (agua) y la fase dispersa (asfalto). Para que ésta

emulsión se lleve a cabo, debo cargar eléctricamente el asfalto, formando así emulsiones aniónicas, en la cual el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa; y emulsiones catiónicas en donde el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva. Sus usos más comunes son: para riegos de liga, para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, para re-nivelaciones y sobre-carpetas, para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas, y para la estabilización de materiales y la recuperación de pavimentos entre otros usos.

4. MATERIALES COMPUESTOS

Los Materiales Compuestos están formados por la mezcla de materiales con distintas propiedades, los cuales al combinarse le transfieren al nuevo material, otras propiedades y características, que le permiten ser utilizadas en diferentes industrias.

El Concreto Hidráulico y el Asfáltico, son algunos de los materiales compuestos que se emplean en distintos tipos de construcciones, están formados por una mezcla de cemento y áridos. En el Concreto Hidráulico se emplea además agua, mientras en el Concreto Asfáltico se utiliza un material bituminoso (asfalto).

Fuente: Los Autores

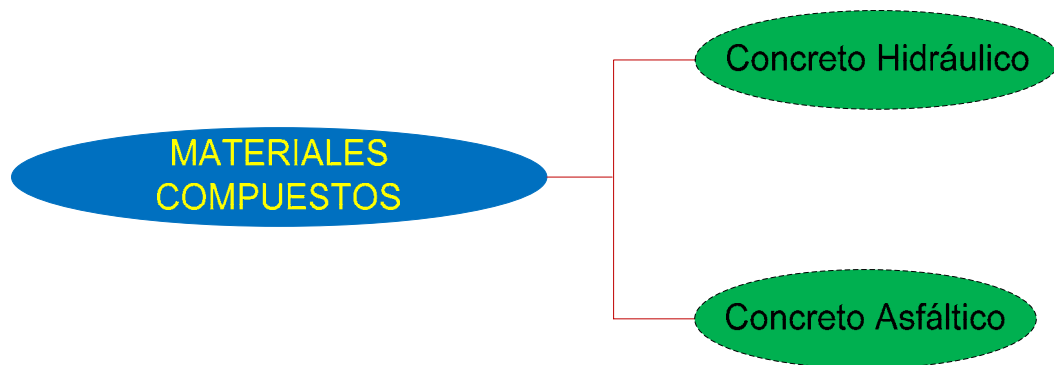


Figura 68: Materiales Compuestos

4.1 CONCRETO HIDRÁULICO

4.1.1 Definición y descripción del concreto hidráulico

El concreto es una mezcla de dos componentes: Agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada). Cuando se dosifica la mezcla, inicialmente se convierte en una masa plástica que puede moldearse en formas y tamaños predeterminados. Cuando ocurre la hidratación del cemento por el agua, el concreto se transforma

en un material rígido, que tiene resistencia, dureza y durabilidad. El tamaño del agregado es fundamental para diferenciar esta mezcla de otras. En el momento que se mezcla cemento con agua y un agregado fino de menos de $\frac{1}{4}$ de pulgada, se alcanza una pasta conocida comúnmente con el nombre de mortero. Pero cuando se añade al cemento un agregado mayor de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro, agregado fino y agua, se obtiene el concreto.

4.1.2 Generalidades

4.1.2.1 Propiedades del concreto hidráulico

De las características de los ingredientes y de las proporciones de la mezcla, el concreto puede adquirir diferentes propiedades. La calidad del concreto puede estar afectada por el procedimiento usado para mezclar, colocar y curar.

El mortero se compone en general entre el 25 y 40% del volumen total del concreto, y el volumen del cemento está entre el 7 y el 15%.

El agregado constituye entre 40 y 60% del volumen del concreto, y con el concreto de aire atrapado, el contenido de aire varía subiendo hasta el 8% del volumen del concreto.

Fuente: www.elobse.com



Figura 69: Concreto en estado fresco

La calidad del concreto obedece principalmente a la calidad de la pasta.

En una adecuada elaboración de concreto, cada partícula de agregado debe estar cubierta totalmente con pasta, como todos los espacios entre partículas de agregado.

Con un proporcionamiento adecuado, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado y curado, cuando endurece el concreto se convierte en una material de construcción resistente, durable, resistente al desgaste y prácticamente impermeable.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden alterar agregando aditivos al concreto, comúnmente en forma líquida, en el momento de su dosificación. Los aditivos (sulfatos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos alcalinos, sales comunes, sales de hierro, sales inorgánicas) se usan generalmente para:

1. Acomodar el tiempo de fraguado o endurecimiento
2. Disminuir la cantidad de agua
3. Incluir intencionalmente aire
4. Aumentar la trabajabilidad.

La densidad es la cantidad de peso por unidad de volumen, la cual se alterará con la clase de áridos y la forma de colocación del concreto en la obra.

Los hormigones ligeros presentan una densidad que oscila entre los 200 y los $1500 \text{ Kg}/\text{m}^3$.

La finura es la característica del cemento que contribuye a una buena cohesión y trabajabilidad de las mezclas de concreto. Sin embargo, factores como:

composición granulométrica, tamaño máximo del agregado, aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto, también proporcionan al concreto sus propiedades de cohesión y trabajabilidad, características que contribuyen a evitar la segregación y facilitar el manejo *previo-durante* de la colocación del concreto.

La trabajabilidad es la facilidad con la que el hormigón se distribuye en los encofrados, para lo cual debe tener la necesaria consistencia y es afectada por la cantidad de agua, la forma y medida de los áridos, la cantidad de cemento y la presencia de aditivos. La trabajabilidad y consistencia se pueden medir mediante la prueba asentamiento o “slump” que se realiza con el ensayo del cono de Abrahms. (Norma Técnica Colombiana-396)

Fuente: www.jdblalab.com

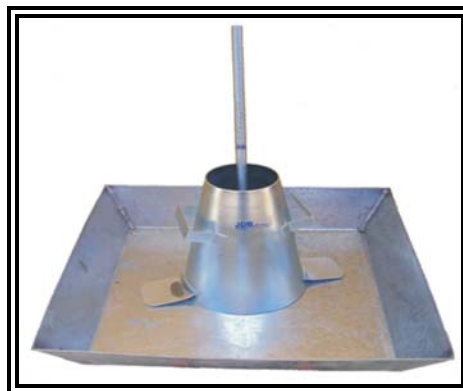


Figura 70: Cono de Abrahms

La durabilidad del hormigón es la capacidad de resistir durante el paso del tiempo y en una estructura depende de la calidad del concreto de recubrimiento (necesario para proteger el acero, del agua y la humedad), debido a que agentes externos (agua, aire) entran al concreto por medio de éste. Se requiere entonces concreto de baja permeabilidad, que se obtiene al diseñar una mezcla de baja relación agua-cemento. En los casos de concreto sometidos a congelación y deshielos se utiliza además aditivos incorporadores de aire (entre un 4 y 6%), para

que las burbujas de aire operen como “vasos de expansión”, disminuyendo la presión que produce el agua congelada presente en los capilares.

La porosidad es la proporción de los huecos en relación con la masa total e interviene en la resistencia, densidad y permeabilidad.

Estructuralmente el hormigón es muy resistente a los esfuerzos de compresión, aunque no presenta un buen comportamiento a esfuerzos de tracción, cortante, flexión, etc., y por esta razón es asociado con el acero, para presentar comportamientos más favorables.

La resistencia mecánica es la capacidad que tiene el hormigón para soportar las cargas que se le apliquen, sin romperse o agrietarse.

Fuente: www.construmatica.com



Figura 71: Fisuras en el hormigón

4.1.2.2 Características de los componentes

Éstas son algunas de las **Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras** para la preparación de concreto en una determinada obra.

4.1.2.2.1 Cemento

¹⁵Se utiliza cemento Portland, aprobado oficialmente, cumpliendo con lo especificado en la norma AASHTO M85.

4.1.2.2.2 Agregado fino

El agregado fino es la parte que pasa por el tamiz de 4.75 mm (N°4). Procedente de arenas naturales o de la trituración de rocas, escorias siderúrgicas, gravas.

El porcentaje de arena de trituración no podrá constituir más del treinta por ciento (30%) del agregado fino.

El agregado fino debe cumplir con los siguientes requisitos:

Contenido de sustancias perjudiciales: Cuando no se tengan antecedentes sobre el agregado fino disponible, o en caso de duda, se deberá comprobar que las sustancias perjudiciales no sobrepasen los siguientes límites.

Tabla 14: Límites de sustancias perjudiciales para los agregados finos

Caraterísticas	Norma de ensayo I.N.V.	Cantidad máx. en % de la masa total de la muestra
Terrones de arcilla y partículas deleznable	E-211	1.00
Material que pasa el tamiz de 75 μ m (N°. 200)	E214	5.00
Cantidad de partículas livianas	E-221	0.50
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ ⁼	E-223	1.20

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras

¹⁵ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones técnicas. 1998. Artículo 630.

No se permite el empleo de arena que en el ensayo colorimétrico para detección de materia orgánica, según norma de ensayo INV E-212, produzca un color más oscuro que el de la muestra patrón.

Reactividad: El agregado fino no podrá presentar reactividad potencial con los álcalis del cemento. Se considera que el agregado es potencialmente reactivo, si al determinar su concentración de SiO_2 y la reducción de alcalinidad R, mediante la norma INV E-234, se obtienen los siguientes resultados:

$$SiO_2 > R, \text{ cuando } R \geq 70$$

$$SiO_2 > 35 + 0.5R, \text{ cuando } R < 70$$

Si se emplean arenas provenientes de escorias siderúrgicas, se comprobará que no contengan silicatos inestables ni compuestos ferrosos.

Granulometría: La granulometría del agregado fino deberá encontrarse dentro de los límites que se señalan a continuación:

Tabla 15: Límites para la granulometría del agregado fino

Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alternativo	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	N° 4	95-100
2.36 mm	N° 8	80-100
1.18 mm	N° 16	50-85
600 μm	N° 30	25-60
300 μm	N° 50	10-30
150 μm	N° 100	2-10

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras

En ningún caso, el agregado fino podrá tener más de cuarenta y cinco por ciento (45%) de material retenido entre dos tamices consecutivos.

Durante el periodo de construcción no se permitirán variaciones mayores de 0.2 en el módulo de finura, con respecto al valor correspondiente a la curva adoptada para la fórmula de trabajo.

Solidez: El agregado fino no podrá presentar pérdidas superiores a diez por ciento (10%) o quince por ciento (15%), al ser sometido a la prueba de solidez en sulfatos de sodio o magnesio, respectivamente, según la norma INV E-220.

En caso de no cumplirse esta condición, el agregado podrá aceptarse siempre que habiendo sido empleado para preparar concretos de características similares, expuestos a condiciones ambientales parecidas durante largo tiempo, haya dado pruebas de comportamiento satisfactorio.

Limpieza: El equivalente de arena, medido según la norma INV E-133, no podrá ser inferior a sesenta por ciento (60%).

4.1.2.2.3 Agregado grueso

Se considera como tal, al material granular que quede retenido en el tamiz de 4.75 (N°4). Será grava natural o provendrá de la trituración de roca, grava u otro producto cuyo empleo resulte satisfactorio. No se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.

Los requisitos que debe cumplir el agregado grueso son los siguientes:

Contenido de sustancias perjudiciales: *cuando no se tengan antecedentes sobre el agregado grueso disponible, o en caso de duda, se deberá comprobar que las sustancias perjudiciales no sobrepasen los siguientes límites:*

Tabla 16: Límites de sustancias perjudiciales para los agregados gruesos

Características	Norma de	Cantidad máx. en % de
	ensayo I.N.V.	la masa total de la muestra
Terrones de arcilla y partículas deleznales	E-211	0.25
Cantidad de partículas livianas	E-221	1.00
Contenido de sulfatos, expresado como $\text{SO}_4^{=}$	E-223	1.20

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras

Reactividad: El agregado no podrá presentar reactividad potencial con los álcalis del cemento, lo cual se comprobará idénticamente al procedimiento en el caso de agregado fino.

Solidez: Las pérdidas de ensayo de solidez (norma de ensayo INV E-220), no podrán superar el 12% o 18%, según se utilice sulfato de sodio.

En caso de no cumplirse esta condición, el agregado podrá aceptarse siempre que habiendo sido empelado para preparar concretos de características similares, expuestos a condiciones ambientales parecidas durante largo tiempo, haya dado pruebas de comportamiento satisfactorio.

Resistencia a la abrasión: El desgaste del agregado grueso en la máquina de los Ángeles (norma de ensayo INV E-218) no podrá ser mayor de 40%.

Granulometría: La gradación del agregado grueso deberá satisfacer una de las siguientes franjas, con base en el tamaño máximo de agregado a usar, de acuerdo con la estructura de que se trate, la separación del refuerzo y la clase de concreto especificado.

Tabla 17: Límites para la granulometría del agregado grueso

Tamiz		Porcentaje que pasa						
Normal	Alterno	AG-1	AG-2	AG-3	AG-4	AG-5	AG-6	AG-7
63	2.5"	-	-	-	-	100	-	100
50	2"	-	-	-	100	95-100	100	95-100
37.5	1 1/2"	-	-	100	95-100	-	90-100	35-70
25.0	1"	-	100	95-100	-	35-70	20-55	0-15
19.0	3/4"	100	95-100	-	35-70	-	0-15	-
12.5	1/2"	90-100	-	25-60	-	10-30	-	0-5
9.5	3/8"	40-70	20-55	-	10-30	-	0-5	-
4.75	N° 4	0-15	0-10	0-10	0-5	0-5	-	-
2.36	N° 8	0-5	0-5	0-5	-	-	-	-

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto, deberá ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las fórmulas de Fuller o Bolomey.

Forma: Los índices de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso procesado, determinado según la norma INV E-230, no deberán ser mayores de 15.

4.1.2.2.4 Agregado ciclópeo

El agregado ciclópeo será roca triturada o canto rodado de buena calidad. El agregado será preferiblemente angular y su forma tenderá a ser cúbica. La relación entre las dimensiones mayor y menor de cada piedra no será mayor que dos a uno (2:1).

El tamaño máximo admisible del agregado ciclópeo dependerá del espesor y volumen de la estructura de la cual formará parte. En cabezales, aletas y obras similares con espesor no mayor de 80 cm, se admitirán agregados ciclópeos con dimensión máxima de 30 cm. En estructuras de mayor espesor se podrán emplear agregados de mayor volumen con algunas limitaciones.

El material constitutivo del agregado ciclópeo no podrá presentar un descargue mayor de 50%, al ser sometido a la prueba de los Ángeles, gradación E, según la forma de ensayo INV E-219.

Agua: el agua por emplear en las mezclas de concreto deberá estar limpia y libre de impurezas perjudiciales, tales como aceite, ácidos, álcalis y materia orgánica.

Aditivos: Se podrán usar aditivos de reconocida calidad, para modificar las propiedades del concreto, con el fin de que sea más adecuado para las condiciones particulares de la estructura por construir. Su empleo deberá definirse por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin perturbar las propiedades restantes de la mezcla, ni representar riesgos para la armadura que tenga la estructura.

Los aditivos reductores de agua y para control de fraguado deberán cumplir los requisitos de la norma ASTM C-494; los inclusores de aire cumplirán las exigencias de la norma ASTM C-618¹⁶”.

4.1.2.3 Formulación de mezclas de concreto

La cantidad de agua que lleva el concreto, en proporción con la cantidad de cemento y aire atrapado, le confieren al concreto su durabilidad, resistencia y otras de sus propiedades. La relación agua cemento controla la capacidad de adhesión de la pasta que rodea y recubre a los agregados, y que al endurecerse conserva la unidad de toda la masa. La cantidad de agua que se solicita para hidratar al cemento, es menor en comparación con el agua que se requiere para perfeccionar la consistencia plástica que posibilita manipular el concreto.

Para una relación de agua-cemento de la pasta, la resistencia del concreto se conserva igual, sin importar la cantidad de agregado que se le adicione a la pasta.

¹⁶ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones técnicas. 1998. Artículo 630.

Sin embargo, para una relación de agua cemento determinada, la cantidad de agregado que puede mezclarse con la pasta de cemento obedece a las características de tamaño y granulometría de la arena y agregado grueso, además de la relación que exista entre ellas.

En las tablas 18, 19 y 20 se muestra las consecuencias de agregar diferentes cantidades de agua de mezclado en la resistencia del concreto, la comparación de la absorción de agua y su cantidad relativa en las diferentes clases de agregado.

Tabla 18: Resistencia del concreto

Volumen de agua por saco de cemento	Relación Agua-Cemento por peso	Resistencia aproximada a la compresión a los 28 días	
		lb/pulg ²	KN/m ²
Litros			
37,42	1,1	1.500,00	10.343,00
34,02	1	1.750,00	12.066,00
31,75	0,966	2.000,00	13.790,00
30,62	0,9	2.250,00	15.514,00
29,48	0,866	2.500,00	17.238,00
27,22	0,8	2.750,00	18.961,00
23,81	0,7	3.000,00	20.685,00
19,28	0,6	4.000,00	27.580,00
17,01	0,5	5.000,00	34.475,00
13,61	0,4	6.000,00	41.370,00

Fuente: Materiales de Construcción, Usos y Aplicaciones

Tabla 19: Absorción de agua en diferentes tipos de agregado

Tipo de agregado	Absorción de agua % por peso
Arena común	1,00
Guijas y piedra triturada	1,00
Roca trapeana y granito	0,50
Arenisca porosa	7,00

Fuente: *Materiales de Construcción, Usos y Aplicaciones*

Tabla 20: Cantidad de agua en diferentes tipos de agregado

Tipo y condición del agregado	Agua acarreada por el agregado	
	Gal/pie ³	Kg/m ³
Arena, muy mojada	0,75-1,00	12,02-16,02
Arena mojada moderadamente	0,50	8,00
Arena, húmeda	0,25	4,00
Grava (guijas) húmeda	0,25	4,00
Piedra triturada, húmeda	0,25	4,00

Fuente: *Materiales de Construcción, Usos y Aplicaciones*

Tabla 21: Asentamiento en diferentes tipos de concreto

Asentamiento				Usos principales
Máximo		Mínimo		
Pulgadas	mm	Pulgadas	mm	
5	127	2	50,8	Zapatas y muros de cimentación reforzados
4	101,6	1	25,4	Zapatas simples y muros no reforzados
6	152,4	3	76,2	Losas, vigas, muros y columnas reforzados
3	76,2	2	50,8	Pavimento
3	76,2	1	25,4	Concreto masivo

Fuente: *Materiales de Construcción, Usos y Aplicaciones*

Constructivamente, el concreto se detalla tomando como base la resistencia a la compresión que desarrolla a los 7 y a los 28 días. Es necesario realizar mezclas

de ensayo para probar las anteriores especificaciones, y así llegar a la relación correcta de agua-cemento, a la dosificación adecuada de los agregados finos y gruesos, a la resistencia mínima desarrollada a la compresión y a la moldeabilidad que se necesita en una determinada aplicación.

Para controlar el contenido de agua, se utiliza la prueba de asentamiento o “slump”. En esta prueba, se coloca sobre una superficie plana un cono metálico de fábrica que tiene cortada su parte superior y se llena con la mezcla de concreto preparada y se pica con una varilla de 5/8 pulgadas de diámetro y 24 pulgadas de largo. Totalmente lleno, se quita el cono y se coloca a un lado del pilón de concreto. El contenido de agua y la consistencia se toma de la distancia de la parte superior del cono metálico a la parte superior del cono revenido. Cuando se golpea el pilón de concreto con la varilla, se obtiene información sobre su plasticidad.

Fuente: www.construmatica.com

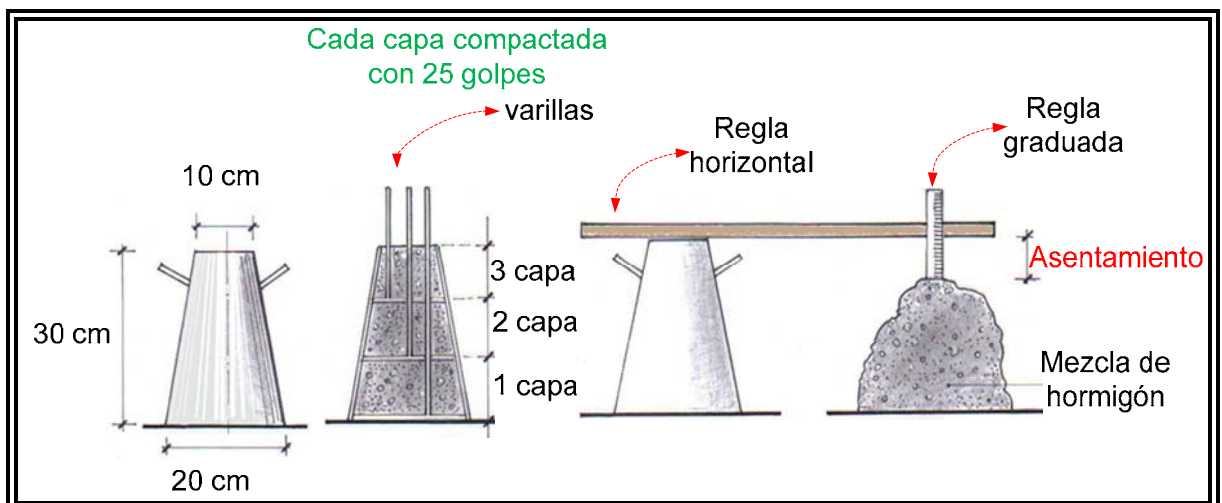


Figura 72: Prueba de asentamiento (“slump”) con el cono de Abrahms

Las mezclas de apariencia burda, utilizadas en pavimentos o vaciados generalmente, se utilizan así porque puede ser consolidada por vibración. La

tabla 21 indica el asentamiento en pulgadas para los diversos tipos de concreto en relación con sus aplicaciones.

Los agregados gruesos se dosifican de acuerdo con la fluidez, la consistencia y la plasticidad que se solicitan en el concreto para su uso final como se ve en la tabla 22. El agregado fino usual es la arena, y muchas tablas y fórmulas para mezclas de concreto están basadas en el módulo de finura de ésta. La tabla 23 muestra un análisis típico de arena y el cálculo de módulo de finura.

Tabla 22: Tamaño máximo de agregado para diversos tipos de producción de concreto

Dimensión mínima de la sección del concreto por vaciar		Muros, vigas y columnas, reforzados		Losas de concreto con refuerzo pesado		Losas de concreto con refuerzo ligero o simples	
Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm
5 o menos	127 o menos			0,75 - 1,5	19,05-38,1	0,75 - 1,5	19,05-38,1
6-11	152,4- 279,4	0,75 - 1,5	19,05-38,1	1,5	38,1	1,5 - 3	38,1-76,2
12-29	204,8 - 736.6	1,5 - 3	38,1-76,2	3	76,2	3 - 6	76,2-152,4
32 o menos	762 o más	1,5 - 3	38,1-76,2	3	76,2	6	152,4

Fuente: *Materiales de Construcción, Usos y Aplicaciones*

Tabla 23: Módulo de finura en la arena

Número	mm o micrones	% que pasa	% retenido
4	4,76 mm	98	2
8	2,38 mm	90	10
16	1,19 mm	60	40
30	595 micrones	45	55
50	297 micrones	20	80
100	149 micrones	2	98

Fuente: *Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones*

Tabla 24: Datos para una mezcla típica de concreto

Tamaño máximo del agregado grueso		Peso unitario del agregado grueso por unidad de volumen de concreto (por ciento)	Porcentaje aproximado de aire atrapado (por ciento)	Contenido medio de agua		porcentaje de arena en el agregado total, por volumen sólido (por ciento)
Pulg.	mm			lb/yd ³	Kg/m ³	
3/8	9,53	41	3,0	352	208,85	61
1/2	12,7	52	2,5	336	199,36	53
3/4	19,05	62	1,0	316	187,49	45
1	25,4	67	1,5	300	178	41
1 1/2	38,1	73	1,0	280	166,13	36
2	50,8	76	0,5	266	157,83	33
3	76,2	81	0,3	242	143,59	31
6	152,4	87	0,2	210	124,6	28

Fuente: Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones

Tabla 25: Ajustes de los valores para el concreto

Cambio en las condiciones	Efectos sobre los valores			Cambio en las condiciones	Efecto sobre los valores		
	Contenido unitario de agua	Arena (por ciento)	Agregado grueso (por ciento)		Contenido unitario de agua	Arena (por ciento)	Agregado grueso (por ciento)
Aumento o disminución del módulo de finura de la arena en 0.1		±0.5	±1.0	Aumento o disminución del 1% en el contenido de aire	±3%	±0.5 a 1.0	±1.0
Aumento o disminución de 1 pulgada (25.4mm) en el asentamiento	±3%			Para concreto manos plástico (pavimentos, concreto sólido, etc.)	-8 lb	-3	+6

Fuente: Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones

Los valores para una mezcla característica de concreto se dan en la tabla 24 y 25 e indican cómo deben ajustarse los valores para el concreto típico en otras condiciones.

La tabla 26, proporciona las proporciones relativas del cemento y los agregados fino y grueso en relación con el tamaño máximo de agregado.

Tabla 26: Proporciones de cemento, agregados fino y grueso, respecto al tamaño máximo del agregado

Tamaño máximo del agregado grueso			Designación de las mezclas	Bolsas de cemento por yarda ³ (m ³) de concreto	Peso del agregado por lote de una bolsa de cemento			
					Arena		Grava o piedra triturada	
					Pulg.	mm	lb.	Kg.
1/2	12,7	1	7,00	245	111,13	170	77,11	
		2	6,90	235	106,6	190	86,18	
		3	6,80	235	106,6	205	92,99	
3/4	19,05	1	6,60	235	106,6	225	102,06	
		2	6,40	235	106,6	245	111,13	
		3	6,30	235	102,06	265	120,2	
1	25,4	1	6,40	235	106,6	245	111,13	
		2	6,20	235	102,06	275	124,74	
		3	6,10	215	97,52	290	131,54	
1 1/2	38,1	1	6,00	235	106,6	290	131,54	
		2	5,80	225	102,06	320	145,15	
		3	5,70	215	97,52	345	156,49	
2	50,8	1	5,70	235	106,6	330	149,69	
		2	5,60	225	103,6	360	163,3	
		3	5,40	215	97,52	380	172,37	

Fuente: Materiales para Construcción Usos y Aplicaciones

4.1.2.3.1 Tipo de cemento, de agregados y de aditivo en relación con las mezclas

Las diferentes clases de concreto son controladas también por el tipo de cemento, el tipo de agregados, la presencia de aire atrapado, los aditivos y las diferentes clases de refuerzo.

Tabla 27: Tipos de cemento portland para determinados usos

Cemento Portland	Tipo de concreto	Uso principal
Tipo I, Normal	Concreto normal de tipo estándar	Para construcción en general
Tipo IIA; con aire atrapado	Estándar con aire atrapado, más plástico y con resistencia a la congelación y descongelación	Para construcción en general
Portland de escoria de alto horno, IS	Concreto de tipo estándar	Para construcción en general
Portland de escoria de alto horno, con aire atrapado, IS-A	Concreto de tipo estándar con más plasticidad y resistencia a la congelación y descongelación	Para construcción en general
Tipo II, Moderado	De fraguado lento, de menor generación de calor y de menor cambio de volumen que los tipos I y IA; desarrolla su resistencia a los 28 días	Para uso en general en construcción y cuando hay exposición a la acción moderada de los sulfatos
Tipo IIA, con atrapamiento de aire	Igual que el concreto que emplea el cemento moderado del tipo II, pero con mayor plasticidad y resistencia a la congelación y descongelación	Para uso en general en construcción y cuando hay exposición a la acción moderada de los sulfatos
Tipo III, Alta resistencia prematura	Fraguado rápido, mayor generación de calor (que ayuda a retardar la congelación), cierto cambio de volumen, desarrolla su resistencia a los 7 días.	Para construcciones en las que sea esencial el rápido desarrollo de la resistencia
Tipo IIIA, con atrapamiento de aire	Igual que el concreto en el que se utiliza cemento del Tipo III de alta resistencia prematura, pero con más plasticidad y resistencia a la congelación y descongelación	Para construcciones en las que es esencial el rápido mejoramiento de la resistencia
Tipo IV, de bajo calor de hidratación	Fraguado lento, baja generación de calor, pequeño cambio de volumen, buena resistencia con el tiempo	Para construcciones masivas de concreto
Tipo V, resistente a los sulfatos	Alta resistencia al ataque de los sulfatos, generación de calor relativamente baja, alta resistencia con el tiempo	En donde hay agua subterránea o subsuelo que contiene sulfatos
Puzolana Portland, P y PIP	un concreto hidráulico	Para grandes estructuras hidráulicas
Puzolana Portland, con atrapamiento de aire, PA y IP-A	Un concreto hidráulico con atrapamiento de aire	Para grandes estructuras hidráulicas

Fuente: *Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones*

Tabla 28: Porcentaje Tipo de cemento Portland

Tipo de cemento Portland	Porcentaje basado en el 100% para el Tipo I, Normal
Tipo I, Normal	100
Tipo II, Moderado	80-85
Tipo III, de alta resistencia	Más de 150
Tipo IV, de bajo calor de hidratación	40-60
Tipo V, resistente a los sulfatos	60-75

Fuente: Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones

Tabla 29: Características y proceso de producción para tipos de agregado

Tipo de agregado	Características y procedimiento de producción	Peso aproximado del concreto	
		lb/pie ³	kg/m ³
Cenizas	Contenido medio de combustible 35% por peso de agregado mezclado en seco; de sulfuros menor de 0,45%; de sulfatos menos del 1%	85	1361,7
		(con arena natural agregada por plasticidad) 110-115	1762,20-1842,30
Escoria expandida	Escoria de alto horno calentada y expandida por varias aplicaciones de agua	75-110	1201,50-1726,20
Lutita o arcilla expandida	Lutita o arcilla calentadas hasta el punto de fusión, expandidas por gases atrapados; peso 40-70 lb/pie ³ (640,80-1121,40 kg/m ³)	75-110	1201,50-1726,20
Pómez natural (vidrio volcánico)	Triturada y cribada	90-100	1441,80-1602,00
Escoria natural (roca volcánica)	Trituradas y cribadas	90-100	1441,80-1726,20
Cnizas volcánicas naturales	Trituradas y cribadas	90-100	1441,80-1726,20
Diatomita natural	Trituradas y cribadas	90-100	1441,80-1726,20
Perlita y vermiculita	Calentada rápidamente hasta lograr su explosión; buenas propiedades como aislante térmico y buena resistencia al fuego	50-80	801,00-1281,60
Serrín	El serrín de pino debe pasar por una malla de 1/4 pulg. (6,35 mm) pero no debe pasar por una malla del N° 16; produce un concreto fino en el que puede clavarse.	50-80	801,00-1281,60

Fuente: Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones

En las tablas 27 y 28 se muestran los tipos de cemento portland apropiados para producir una clase específica de concreto.

Las cualidades aislantes al calor y las características al claveteado del concreto, pueden ser controladas utilizando un determinado tipo de agregado ligero como se ve en la tabla 29.

Generalmente todas las clases de concreto ligero están sometidas a alta contracción, exceptuando los preparados con lutitas expandidas, arcillas y escoria. La resistencia del concreto ligero es muy variable. Se obtiene una resistencia relativamente alta con lutita expandida y arcilla; resistencia intermedia con piedra pómez, escoria y escorias expandidas; y baja resistencia con diatomita, perlita y vermiculita.

En forma de aditivos o mezclándolos con el cemento, los agentes atrapadores (materiales jabonosos, resinosos o grasos) se pueden mezclar, produciendo millones de pequeñísimas burbujas de aire repartidos en toda la mezcla de concreto. Cuando el contenido de aire se encuentra entre el 3 y 6%, se logra obtener óptimos resultados. En la tabla 30 se indica el contenido deseable de aire atrapado en relación con el tamaño del agregado para concreto sometido a congelación.

Tabla 30: Contenido de aire según el tamaño máximo de agregado

Tamaño máximo del agregado		Contenido de aire (por ciento del volumen)
Pulg.	mm	
3/8 hasta 1/2	9,53 a 12,7	7±1
3/4 hasta 1	19,05 a 25,4	6±1
1 1/2, 2, o 2 1/2	38,1,50,8, o 63,5	5±1

Fuente: Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones

4.1.2.3.2 Clases de concreto

Para su empleo en las distintas clases de obra y de acuerdo con su resistencia mínima a la compresión, determinada según la norma INV E-410, se establecen las siguientes clases de concreto¹⁷:

Tabla 31: Clases de concreto

Clase	Resistencia mínima a la compresión a 28 días (Kg/cm ²)
Concreto pretensado y postensado	
A	350
B	320
Concreto reforzado	
C	280
D	210
E	175
Concreto simple	
F	140
Concreto ciclópeo	
G	140 Se compone de concreto simple clase F y agregado ciclópeo, en proporción de 40% del volumen total, como máx.

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras

4.1.2.4 Temperatura

A temperaturas altas, el concreto mezclado y curado posee una resistencia final relativamente baja, en comparación con una temperatura de 21.11°C.

Se le adiciona agua fría e inclusive agregándole hielo para bajar la temperatura, también enfriando el agregado con agua fría y hasta trabajar en la noche.

¹⁷ COLOMBIA. ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Bogotá. 1998. Artículo 630.

A temperaturas de congelación se emplea cloruro de calcio para apresurar el fraguado, aunque no debe usarse en los casos que exista la posibilidad de ataque por sulfatos.

Tabla 32: Requisitos de temperatura mínima para tipos de concreto

Tipo de concreto	Temperatura mínima del concreto al mezclarlo			Temperatura ¹ °C	Temperatura ² °C
	Arriba de -1.1°C	-17.7 a -1.1°C	Debajo de -17.70°C		
	°C	°C	°C		
Miembros delgados de concreto (muros, vigas, losas, etc.)	12.7-15.5	15.5-18.3	18.3-21.1	12.7-55	4.4-10
Concreto de tipo masivo (cimentaciones, zapatas, diques, etc.)	7.22-10	10-12.7	12.7-15.5	4.4-7.22	-6.6-(-1.1)
Temperatura ¹ : mínima del concreto después de colocado, durante las primeras 72 horas					
Temperatura ² : Descenso gradual de la temperatura en 24 horas después del término de la protección					

Fuente: *Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones*

4.1.2.5 Vibrado

El vibrador se usa con el fin de transmitir oscilaciones con una frecuencia alta al hormigón, para que el rozamiento interno entre las partículas disminuya y atenúe el efecto de la gravedad, dándole mayor fluidez al hormigón. El aire atrapado en el hormigón alcanza la superficie en forma de burbujas. Ahora la masa es compacta y brillante.

“Cuando se usen vibradores (de inmersión o de aguja) deben introducirse verticalmente en puntos situados a 18 a 30 pulgadas (457.2 a 762 mm) durante periodos que varían de 5 a 15 segundos. Los vibradores deben tener 7000 rpm para cabezas de 4 pulgadas (101.6 mm) o de diámetro menor y 6000 rpm para diámetros mayores de 4 pulgadas (101.6 mm)”¹⁸.

¹⁸ MUÑOZ MUÑOZ, Harold Alberto. Construcción de Estructuras. Volumen 1. Bogotá. ASOCRETO. 2004. Capítulo 1

4.1.2.6 Caracterización del concreto

Para saber su consistencia, temperatura, contenido de aire y peso específico, se hacen pruebas. Para las pruebas de compresión se crean cilindros de prueba, de dimensiones alrededor de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de largo.

Conviene hacerse cilindros de prueba de cada vaciado, o una prueba por cada 76.46 m³. Se deben probar estos cilindros por resistencia de compresión a los 7 y a los 28 días.

Fuente: Diapositivas clase de Materiales de Construcción



Figura 73: Ensayo de cilindro de concreto

4.1.2.7 Segregación de la mezcla

La segregación es la predisposición que presenta el agregado grueso a apartarse de los demás componentes. En efecto, en los lugares donde hay concentración de mortero se generan mayores contracciones, grietas y baja resistencia al desgaste. Pero donde hay demasiado agregado grueso la mezcla será áspera y complicará la consolidación y el acabado produciendo vacíos y hormigueros.

4.1.2.8 Proceso de fraguado

“El término fraguado se usa para describir la velocidad de cambio del estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento, mortero o concreto (bajo ciertas y determinadas condiciones de temperatura y humedad), y es medido en función del tiempo, según la resistencia que ofrezca a la penetración”¹⁹.

La utilización de aditivos para controlar la velocidad de fraguado, se establece mediante la determinación de los tiempos de fraguado del concreto, para regular los tiempos de mezclado, transporte, colocación, acabado, fraguado, protección y curado, y que no se alteren las propiedades y características de la mezcla.

La NTC (Norma Técnica Colombiana)-890 define como *tiempo de fraguado inicial* al instante en el cual el mortero extraído del concreto evaluado ofrece una resistencia a la penetración de 3,5 MPa, después del roce inicial con el agua. También se define el *tiempo de fraguado final*, como el instante en que el mismo mortero ofrece una resistencia a la penetración de 27,6 MPa.

El fraguado inicial muestra la pérdida de viscosidad de una pasta plástica acompañada de una elevación de su temperatura. En ese momento el cemento estará hidratado parcialmente y la pasta semidura. Después la pasta continúa fraguando hasta que deja de ser alterable bajo cargas pequeñas, se vuelve rígida y llega al máximo de temperatura. En éste momento se presenta el fraguado final, lo cual dice que el cemento se está aún más hidratado y la pasta ya está dura. Es así como comienza el proceso de endurecimiento y la estructura del cemento fraguado va ganando resistencia mecánica.

¹⁹ MUÑOZ MUÑOZ, Harold Alberto. Construcción de Estructuras. Volumen 1. Bogotá. ASOCRETO. 2004. Capítulo 1

4.1.2.9 Proceso de curado

El curado es el desarrollo de controlar y conservar un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura propicia en el concreto, en el momento de la hidratación de los materiales cementantes, de tal forma que se desarrollen en el concreto las propiedades requeridas.

En estado plástico el concreto contienen una cantidad de agua mucho mayor que la solicitada para una óptima combinación química e hidratación total del cemento. Durante el fraguado se pierde agua por exudación y posterior evaporación o por absorción de los agregados, las formaletas o el suelo, que impedirá la completa hidratación.

La pérdida de agua estimula la contracción del concreto, y se crean esfuerzos de tensión interna que logran conducir a fisuramiento superficial. Es por esto, que todas las superficies expuestas deben protegerse de la evaporación de la humedad.

Por otra parte, si la temperatura es baja, la hidratación marcha a una velocidad considerablemente menor. Las temperaturas inferiores a los 10 °C son poco favorables, para el fraguado y para el desarrollo de una resistencia a temprana edad; por debajo de los 4,5°C el desarrollo de resistencia a edad temprana se retarda en gran medida; y a temperaturas de congelación o inferiores, hasta los -10°C, el desarrollo de resistencia es mínimo o nulo. Sin embargo, el curado a temperaturas elevadas (>60°C) no es tan ventajoso como el curado prolongado a temperaturas bajas. Se ha comprobado mediante experimentos que los concretos que se mantienen a temperaturas elevadas durante el fraguado y endurecimiento inicial, dan valores de resistencia menores a edades posteriores, a diferencia de concretos semejantes curados a temperaturas menores durante el periodo inicial. Si la temperatura es favorable (dentro de ciertos límites), la hidratación es rápida durante los primeros días después de haber vaciado el concreto.

Posteriormente que se presente el tiempo de fraguado final de la mezcla, es importante prever la pérdida de humedad propicia durante un periodo de tiempo definido.

4.1.2.10 Concreto con aire atrapado

El concreto con aire atrapado se emplea para todo tipo de caminos, pistas de aterrizaje y otras construcciones sujetas a congelación, descongelación y sal. El aire atrapado mejora la plasticidad y cohesividad de estos tipos de estructuras. La elevación del agua a la superficie del concreto fresco, se puede impedir, evitando la separación de los ingredientes, lo que se logra dejando aire atrapado cuando el concreto se vacía en formas o encofrados. Estas burbujas de aire atrapado son de tamaño muy pequeñas, su diámetro está alrededor de 0.001 a 0.003 pulgadas.

En la generación de aire atrapado de concreto, el factor más importante es el de mezclado. Un mezclado adecuado mantendría una distribución uniforme de los huecos de aire atrapados en el seno del concreto. Se le llama hueco al volumen total de aire más el de agua más el de aire atrapado. La resistencia del concreto con aire atrapado depende principalmente de la relación de huecos-cemento. Un determinado tamaño de agregado y el contenido de cemento de una mezcla, influyen en el contenido de aire tanto del concreto sin aire atrapado lo que se muestra en la tabla 33.

Los aditivos se añaden a las mezclas de concreto para alterar algunas características como para acelerar o retardar el fraguado, para aumentar la repelencia al agua, para ayudar a la trabajabilidad y la plasticidad, para agregar algún color, para aumentar la resistencia de su superficie o para endurecerlo.

Tabla 33: Contenido de aire

Tamaño máximo de agregado		Concreto sin aire atrapado							
		Porcentaje aproximado de aire atrapado (por ciento)	Asentamiento						
			1-2 pul	25,4-50,8 mm	3-4 pulg	76,2-101,6 mm	5-6 pulg	127,0-152,4 mm	
Pulg.	mm	Agua: lb/yarda ³ (0,5933 Kg) de concreto							
			lb	kg	lb	kg	lb	kg	
3/8	9,53	3,0	350	207,66	385	228,42	410	243,25	
1/2	12,70	2,5	335	198,76	365	216,56	385	228,42	
3/4	19,05	2,0	310	183,92	340	201,72	360	213,59	
1	25,40	1,5	300	177,99	325	192,82	340	201,72	
1 1/2	38,10	1,0	275	163,16	300	177,99	315	186,89	
2	50,80	0,5	260	154,26	285	169,09	300	177,99	
3	76,20	0,3	240	142,39	265	157,23			
6	152,40	0,2	210	123,92	235	139,43			

Tamaño máximo de agregado		Concreto sin aire atrapado							
		Porcentaje aproximado de aire atrapado (por ciento)	Asentamiento						
			1-2 pul	25,4-50,8 mm	3-4 pulg	76,2-101,6 mm	5-6 pulg	127,0-152,4 mm	
Pulg.	mm	Agua: lb/yarda ³ (0,5933 Kg) de concreto							
			lb	kg	lb	kg	lb	kg	
3/8	9,53	7,5	310	183,92	340	201,72	360	213,59	
1/2	12,70	7,5	300	177,99	325	192,82	340	201,72	
3/4	19,05	6,0	275	163,16	300	177,99	315	186,89	
1	25,40	6,0	260	154,26	285	169,09	300	177,99	
1 1/2	38,10	5,0	240	142,39	265	157,23	285	169,09	
2	50,80	5,0	225	133,49	250	148,33	265	157,23	
3	76,20	4,0	210	123,92	235	139,43			
6	152,40	3,0	185	109,76	200	118,66			

Fuente: *Materiales para Construcción, Usos y Aplicaciones*

Generalmente se usa el acero como refuerzo del concreto, debido a que los dos presentan una dilatación parecida, también porque el concreto es resistente a la compresión pero débil a la tensión, mientras que el acero es muy resistente a la tensión. Constructivamente su combinación, produce un material ideal.

4.1.2.11 Tipos generales y usos

Producir concreto tiene un papel muy importante en el medio de la construcción, dependiendo del uso final en particular. Se emplea para zapatas, pilotes, muros, miembros estructurales, pisos, paredes y techos; también en pavimentación de

caminos, carreteras, lotes de estacionamiento, autopistas. El concreto también se utiliza para fabricar vigas, viguetas, columnas, etc.

Entre otros tipos significativos de la construcción de concreto pueden usarse en carreteras, las pistas de aterrizaje, los diques, muelles, rompeolas, puentes, barcos, tanques y tuberías.

4.1.3 Dosificación de mezclas de hormigón hidráulico

La dosificación del concreto permite determinar las proporciones en que deben combinarse los materiales componentes, para obtener las condiciones previstas para el material.

Existen distintos métodos que permiten obtener las cantidades aproximadas de componentes que se deben mezclar para alcanzar un concreto con las características queridas.

Algunos de los métodos propuestos para la dosificación de la mezcla son:

- American Concrete Institute (ACI)
- Bolomey
- Foury
- Granulométrico

Se expondrá el modo de uso del método propuesto por American Concrete Institute (ACI).

4.1.3.1 Método del American Concrete Institute (ACI)

- El método permite determinar una relación de masas entre el agua y el cemento, en función de la resistencia que se espera obtener del material.
- A partir de la manejabilidad que se desea dar a la mezcla se obtiene la cantidad de agua a dosificar.

- Las cantidades de agregado se obtienen en función del tamaño del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de finura.

En método del American Concrete Institute se fundamenta en tablas empíricas mediante las cuales se obtienen las condiciones de dosificación²⁰, siguiendo los pasos que se muestran a continuación:

1. Determinación de la relación agua cemento

Las siguientes tablas definen la relación agua cemento en función de la resistencia media a la compresión, especificada para el hormigón.

- *Por condición de resistencia:*

Relación entre la razón Agua/Cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211.1- Rev. 85).

Tabla 34: Relación Agua/Cemento

Razón agua/cemento	Resistencia media requerida a 28 días(kg/cm ²)	
	Con cemento grado corriente	Con cemento grado Alta resistencia
0.45	340	430
0.50	290	360
0.55	250	310
0.60	210	260
0.65	180	230
0.70	160	200
0.75	140	170
0.80	120	150
0.85	100	130

Fuente: American Concrete Institute

²⁰ Videla. C. Tecnología del Hormigón. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento Ingeniería y Gestión de la Construcción. p. 48.

Fuente: American Concrete Institute

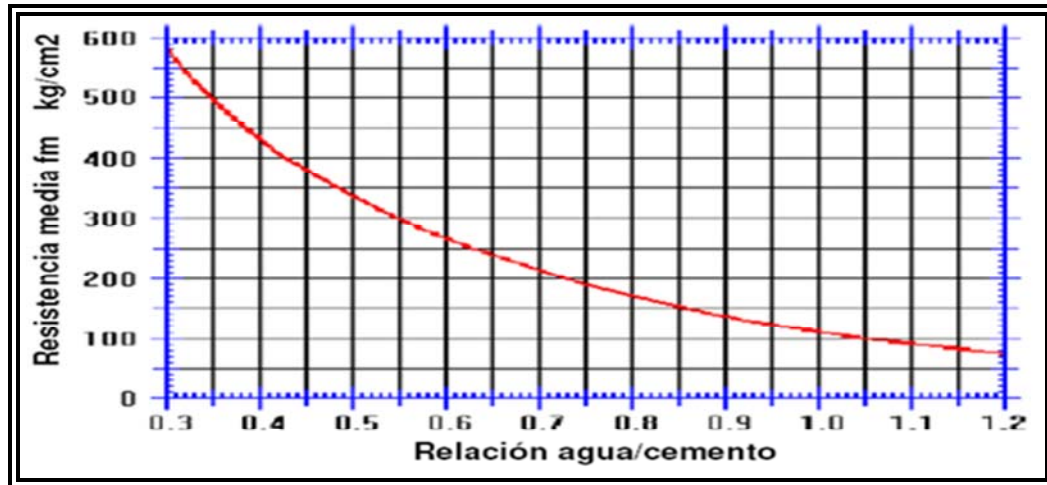


Figura 74: Relación Agua/Cemento

2. Determinación del tamaño máximo

La selección del tamaño máximo del árido más grueso para la dosificación del hormigón se realiza con base en la dimensión mínima del elemento a construir (columna, viga, muros, etc.), y de la separación entre las varillas de refuerzo.

Como guía se observa la tabla 35 donde se encuentra un rango de tamaños máximos aplicables a diferentes elementos estructurales en función de la dimensión mínima de la sección, que puede ser

Como recomendación general, el tamaño máximo debe ser superior a:

- ✓ $1/5$ de la dimensión más pequeña del miembro de concreto
- ✓ $3/4$ del espaciamiento libre entre barras de refuerzo
- ✓ $1/3$ del peralte de las losas.

Tabla 35: Tamaño máximo del agregado por dimensiones estructurales

Dimensión mínima	Tamaño máximo del árido (mm)			
	Muros y columnas	Muros no armados	Losas fuertemente armadas	Losas débilmente armadas
6-12	12.5-20	20	20-25	20-40
14-28	20-40	40	25-40	40-75
30-74	40-75	75	40-75	-75
76 o más.	40-75	150	40-75	75-100

Fuente: American Concrete Institute

3. Determinación de la fluidez

La fluidez que se le confiere al hormigón queda definida en éste método con el asentamiento o slump.

- Ésta tabla define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales.

Tabla 36: Asentamientos por tipo de construcción

Tipo de construcción	Rango de asentamiento de cono (cm)
Fundaciones armados y bases	2-8
Fundaciones de hormigón simple y muros de sub-estructura	2-8
Vigas y muros armados	2-10
Columnas de edificios	2-10
Pavimentos y losas	2-8
Hormigón masivo	2-8

Fuente: American Concrete Institute

4. Determinación de la dosis de agua

Se determina la cantidad de agua expresada en Lt/m^3 de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento (slump) y del tamaño máximo.

Tabla 37: Cantidad de agua por asentamiento o slump

Slump (mm)	Cantidad de agua (Lt/m ³ de concreto para agregados de tamaño máx. nominal)							
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
30 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	150
Contenido de aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Fuente: American Concrete Institute

5. Determinación de la dosis de cemento

La dosis de cemento se establece en función del cociente entre la dosis de agua determinada y la razón Agua/cemento definida.

$$\text{Masa de cemento} = \text{Masa de agua} / \left(\text{relación} \frac{a}{c} \right)$$

6. Determinación de volumen de grava

Se determina en función del módulo de finura de la arena y al tamaño máximo.

Tabla 38: Volumen de grava por módulo de finura

T máx. (mm)	Volumen de agregado grueso compactado por varilla, por volumen de concreto para módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: American Concrete Institute

7. Influencia del control de calidad en la resistencia de diseño

Se determina la variabilidad de la resistencia del concreto, con base en el nivel de calidad del proceso de mezclado en obra.

En la tabla 26 se consigna los valores de la desviación estándar obtenida con diferentes niveles de control de calidad durante la fabricación del concreto.

Tabla 39: Tipo de control de calidad por desviación estándar

Tipo de control	Desviación estándar σ
Muy bueno	0.07 fm
Bueno	0.14 fm
Regular	0.21 fm
Deficiente	0.28 fm

Fuente: American Concrete Institute

- Un control de calidad **muy bueno** se consigue solamente en laboratorios especializados que dosifican sus mezclas al peso, tienen control de la humedad antes del mezclado, utilizan agregados seleccionados y controlan la trabajabilidad del concreto fresco.
- Un control de calidad **bueno** se consigue en obras que emplean concreto premezclado en fábricas especializadas y controlan el asentamiento del cono de Abrams; o en obras que mecanizan la producción de mezclas al peso, realizan corrección de dosificaciones por la humedad, emplean agregados de calidad y verifican la trabajabilidad de la mezcla.
- Un control de calidad **regular** se obtiene con dosificaciones volumétricas y control frecuente de la cantidad de agua mediante el asentamiento del cono de Abrahms.

8. Determinación de volumen de arena

Se determina partiendo del hecho que la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado, grava y arena debe ser igual un metro cúbico.

4.1.3.2 Primer Ejercicio de dosificación de mezclas de concreto hidráulico por el método propuesto por American Concrete Institute (ACI)

Dosificar un metro cúbico de concreto de resistencia característica $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ para una obra donde existe un buen control de calidad de producción, con asentamiento de 50 mm en el cono de Abrams. Se empleará cemento Portland tipo I. el tamaño máximo nominal del agregado grueso es 40 mm, su densidad compactada con varilla es de 1600 kg/cm^3 y la densidad aparente de sus partículas es de 2640 kg/cm^3 . El agregado fino tiene un módulo de finura de 2,60 (suma de porcentajes totales retenidos en cada tamiz desde 0,141 mm hasta el diámetro máximo del agregado fino, dividido por cien) y una densidad aparente del mineral de $2,58 \text{ gr/cm}^3$.

El cemento tiene una densidad de 3150 kg/cm^3 .

1. Control de calidad de fabricación de concreto.

Tabla 40: Selección del tipo de control de calidad

Tipo de control	Desviación estándar σ
Muy bueno	0.07 f_m
Bueno	0.14 f_m
Regular	0.21 f_m
Deficiente	0.28 f_m

Fuente: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil

Esto quiere decir que la desviación estándar es de $\sigma = 0.14 f_m$

2. Resistencia media f_m

$$f'_c = f_m - 1.65 \sigma$$

Entonces reemplazando el valor de σ en la anterior expresión:

$$300 \frac{kg}{cm^2} = f_m - 1.65 \times 0.14 f_m$$

$$300 \frac{kg}{cm^2} = 0.769 f_m$$

$$f_m = 390 \text{ kg/cm}^2$$

3. Cantidad de aire y contenido atrapado

Se tiene en cuenta el tamaño de máximo de agregado y de asentamiento en el cono de Abrahms.

Como el tamaño máximo de agregado es de 40 mm y el asentamiento en el cono de Abramhs es 50 mm, se puede calcular un valor aproximado del contenido de agua y el contenido de aire atrapado.

Tabla 41: Contenido de agua

Slump (mm)	Cantidad de agua (Lt/m ³ de concreto para agregados de tamaño máx. nominal)							
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
30 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	150
Contenido de aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Fuente: American Concrete Institute

$$\text{Contenido de agua} = 160 \frac{Lt}{m^3}; 160 \frac{Lt}{m^3} * 1 \frac{gr}{ml} * \frac{1Kg}{1000 gr} * \frac{1000 ml}{1 Lt} = 160 \text{ Kg/m}^3$$

$\% \text{ contenido de aire atrapado} = 1$

Fuente: Los Autores

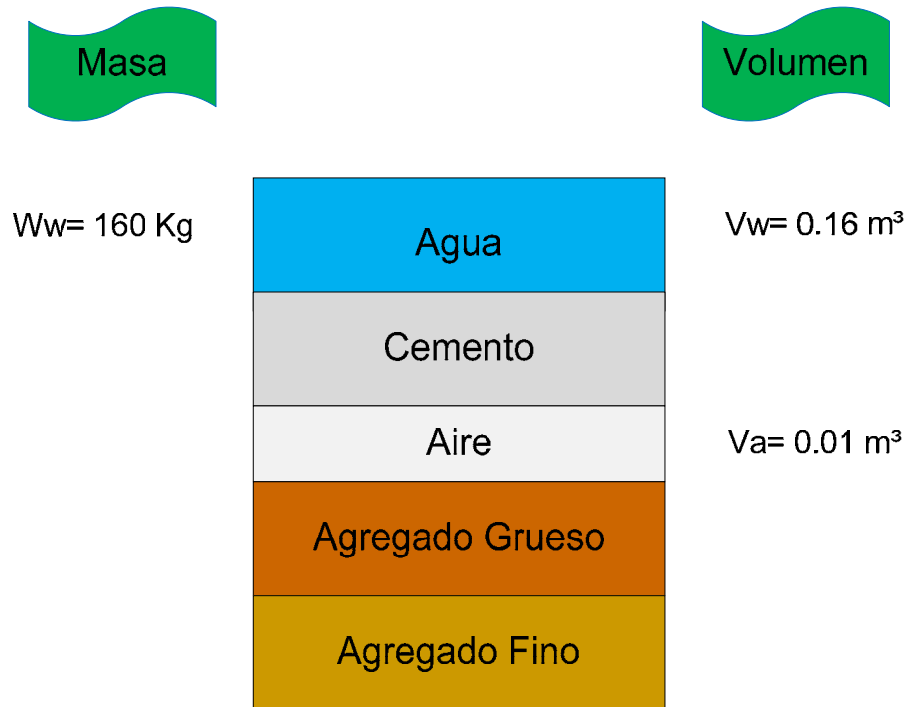


Figura 75: Representación del contenido de agua y aire

4. Relación agua-cemento

Ésta relación se encuentra en función de la resistencia media especificada para el hormigón f_m .

Fuente: American Concrete Institute

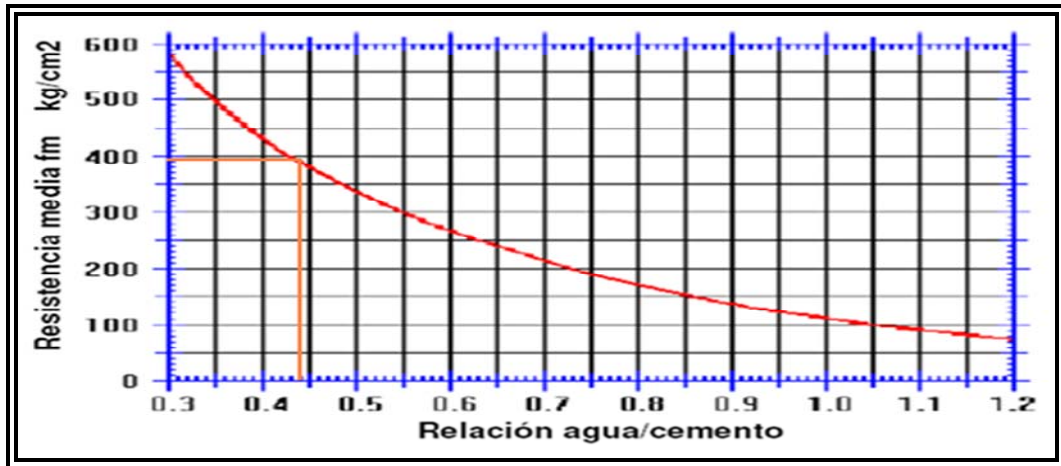


Figura 76: Relación Agua/Cemento para una resistencia media de 390 Kg/cm^2

En la gráfica se puede observar que para un valor de $f_m = 390 \text{ Kg/cm}^2$ la relación:

$$\frac{a}{c} = 0.44$$

5. Contenido de cemento

$$\text{Masa de cemento} = \text{Masa de agua} / \left(\text{relación } \frac{a}{c} \right)$$

$$\text{Masa de cemento} = \frac{160 \text{ kg}}{0.44} = 364 \text{ kg}$$

Fuente: Los Autores

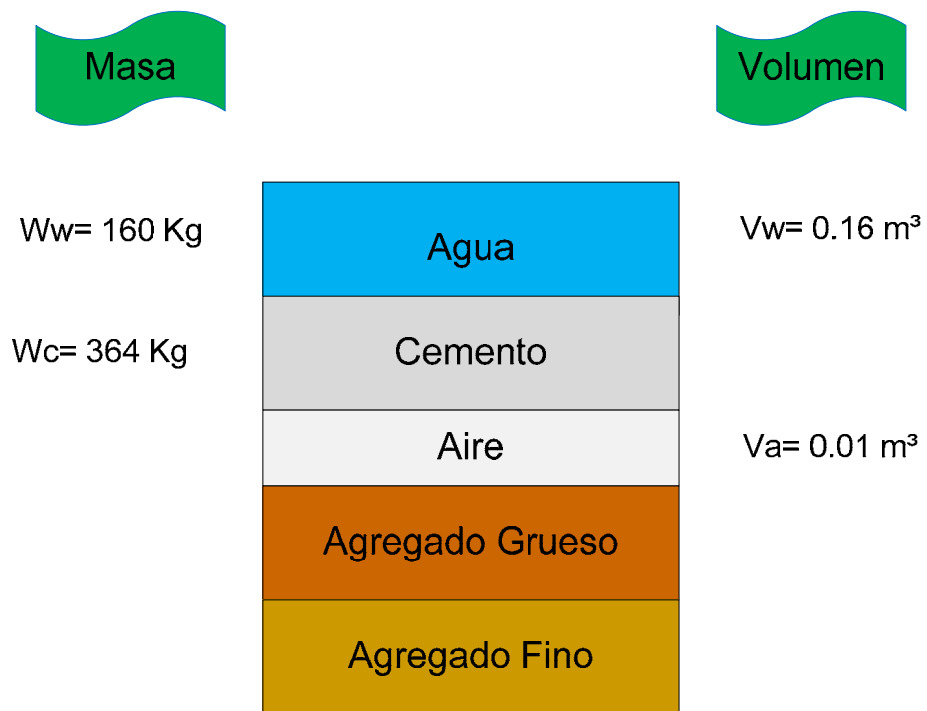


Figura 77: Representación del contenido de agua, aire y el volumen de cemento

6. Volumen aparente del agregado grueso

Se calcula el volumen aparente del agregado grueso, en función del módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo del agregado grueso.

Como se tiene el módulo de finura del agregado fino, 2.60

Tamaño máximo del agregado grueso, 40 mm

$$\text{Volumen aparente del agregado grueso} = 0.73 \text{ m}^3$$

Tabla 42: Volumen aparente del agregado grueso

T máx.	Volumen de agregado grueso compactado por varilla, por volumen de concreto para módulo de finura de la arena			
(mm)	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: American Concrete Institute

7. La masa del agregado grueso se obtiene multiplicando su volumen aparente por su densidad aparente, medida al compactar el agregado con varilla de punta redondeada.

La masa del agregado grueso será:

$$\text{Masa del agregado grueso} = 0.73\text{m}^3 * 1600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 1168 \text{Kg}$$

Fuente: Los Autores

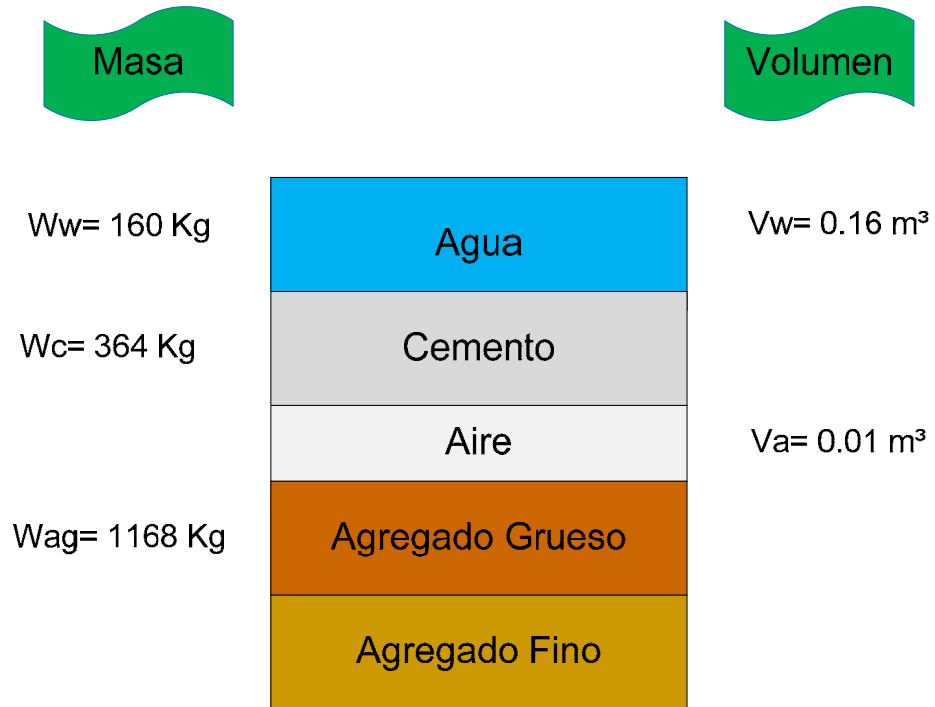


Figura 78: Representación del contenido de agua, aire y los pesos de cemento y agregado grueso

8. Composición en volumen:

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{364 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0,116 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = \frac{1168}{2640 \text{ kg/m}^3} = 0,442 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = 0,01 \times 1 \text{ m}^3 = 0,01 \text{ m}^3$$

Fuente: Los Autores

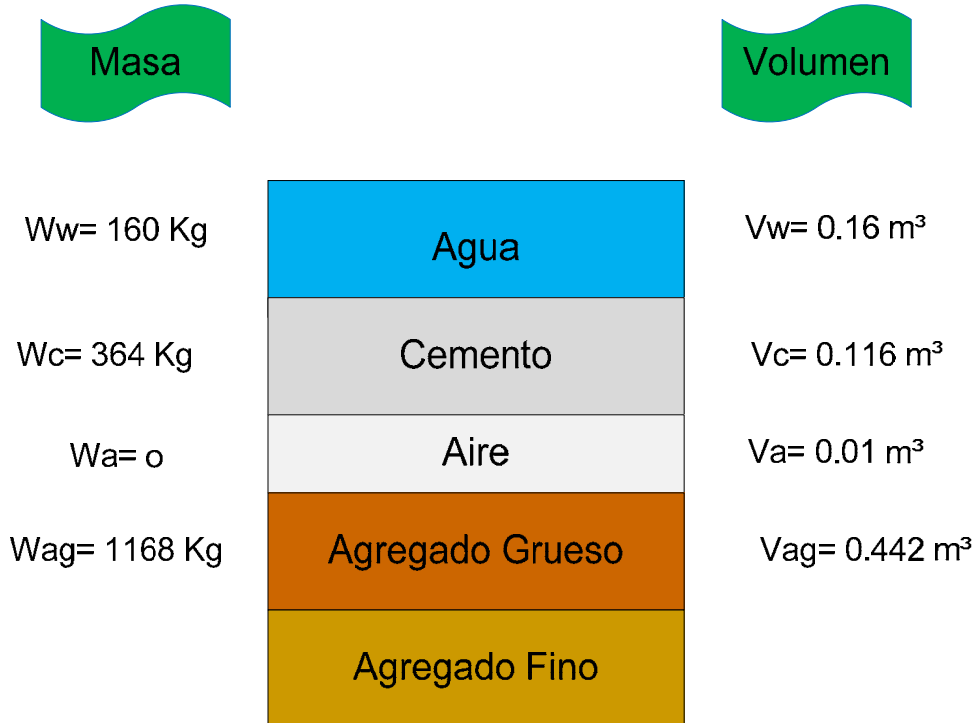


Figura 79: Ilustración del contenido de los componentes de la mezcla sin el agregado fino

9. Volumen de agregado fino

Como se observa en la siguiente se puede determinar la masa de agregado fino, ya que se tiene las otras masas calculadas:

Fuente: Los Autores

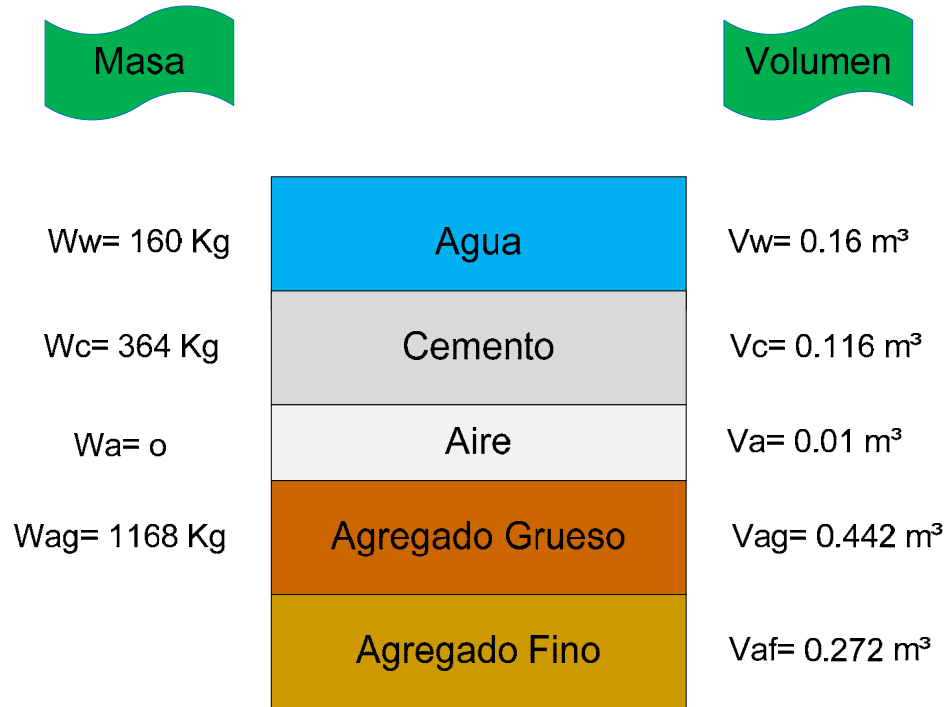


Figura 80: Ilustración del contenido de los componentes de la mezcla

Entonces el volumen de agregado fino será:

$$\text{Volumen de agregado fino} = 1,0 - 0,116 - 0,160 - 0,442 - 0,01 = 0,272 \text{ m}^3$$

10. Masa del agregado fino.

$$\text{Masa del agregado fino} = 2580 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.272 \text{m}^3 = 701.76 \text{ Kg}$$

Fuente: Los Autores

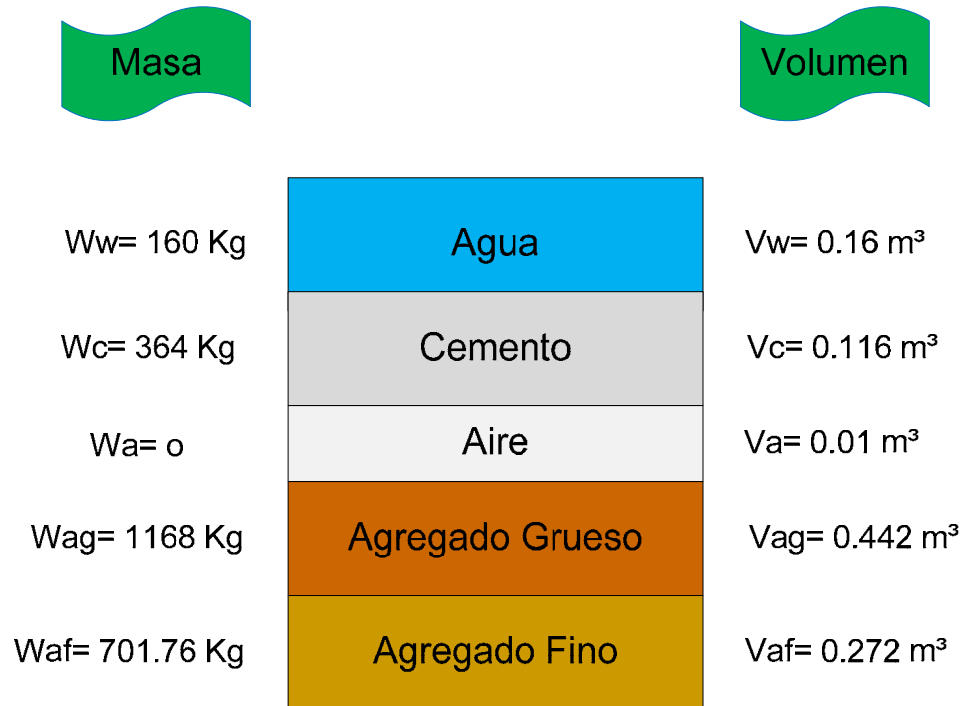


Figura 81: Ilustración de la cantidad de los componentes del diseño de la mezcla de concreto

4.1.3.3 Segundo Ejercicio de dosificación de mezclas de concreto hidráulico por el método propuesto por American Concrete Institute (ACI).

Determinar las relaciones de volumen de cemento, agregado grueso, agregado fino, agua; que se deben mezclar para obtener una mezcla de concreto con las siguientes características:

Slump: Entre 80 y 100 (mm)

Resistencia del concreto: 280 Kg/cm^2

Grava

Tamaño máximo: $1 \frac{1}{2}$ "

Humedad: 3.3%

Absorción: 1.5%

Densidad seca suelta: 1.45 Ton/m³

Densidad aparente de partículas: 2.64

Densidad compacta con varilla: 1.55 Ton/m³

Arena

Módulo de finura: 2.8

Humedad: 4%

Absorción: 1.3%

Densidad seca suelta: 1.5 Ton/m³

Densidad aparente de la partícula: 2.67

Cemento

Densidad en bolsa: 1.15 g/cm³

Densidad aparente de la partícula: 3.12

Solución

1. Cálculo de la resistencia media.

$$f'c = fm - 1.65\sigma$$

$$280 \frac{Kg}{cm^2} = fm - 2.2 * 0.2fm$$

$$fm = 500 \frac{Kg}{cm^2}$$

2. Volumen de agua y aire atrapado

Tabla 43: Agua y aire atrapado

Slump (mm)	Cantidad de agua (Lt/m ³ de concreto para agregados de tamaño máx. nominal)							
	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
30 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	150
Contenido de aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Fuente: American Concrete Institute

El tamaño máximo del agregado grueso es: 38.1 mm \approx 40 mm

De la tabla se observa que la cantidad de agua es de 175 Lt y el porcentaje de aire atrapado es de 1m³.

3. Determinación de la relación agua-cemento.

Fuente: American Concrete Institute

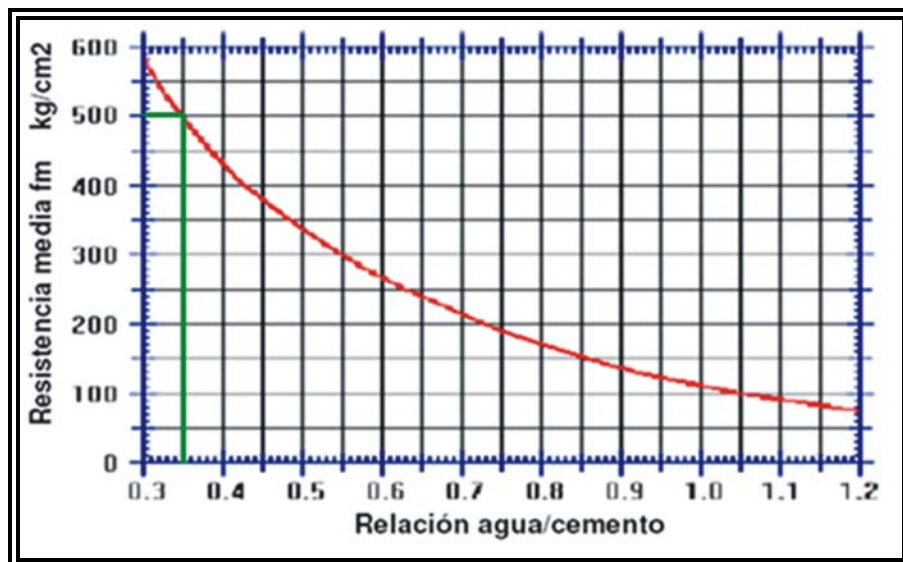


Figura 82: Relación agua-cemento

La relación $a/c = 0.35$

4. Determinación del contenido de cemento:

$$\text{Masa de cemento} = \text{Masa de agua} / \left(\text{relación} \frac{a}{c} \right)$$

$$\text{Masa de cemento} = \frac{175 \text{kg}}{0.35} = 500 \text{kg}$$

5. Volumen aparente del agregado grueso

Fuente: American Concrete Institute

T máx. (mm)	Volumen de agregado grueso compactado por varilla, por volumen de concreto para módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Figura 83: Relación tamaño máximo del agregado, módulo de finura con el volumen del agregado grueso

$$\text{Volumen aparente del agregado grueso} = 0.71 \text{ m}^3$$

6. Masa del agregado grueso

$$\text{Masa del agregado grueso} = 0.71\text{m}^3 * 1550 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 1100.5 \text{ Kg}$$

7. Composición en volumen

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{500 \text{ kg}}{3120 \text{ kg/m}^3} = 0.160 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = \frac{1100.5 \text{ Kg}}{2640 \text{ Kg/m}^3} = 0.4168 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = 0,01 \times 1 \text{ m}^3 = 0,01 \text{ m}^3$$

8. Volumen del agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen de agregado fino} \\ &= 1 \text{ m}^3 - 0.175 \text{ m}^3 - 0.01 \text{ m}^3 - 0.160 \text{ m}^3 - 0.4168 \text{ m}^3 \\ &= 0.2382 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

9. Masa del agregado fino

$$\text{Masa del agregado fino} = 2670 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.2382 \text{ m}^3 = 635.99 \text{ Kg}$$

Fuente: Los Autores

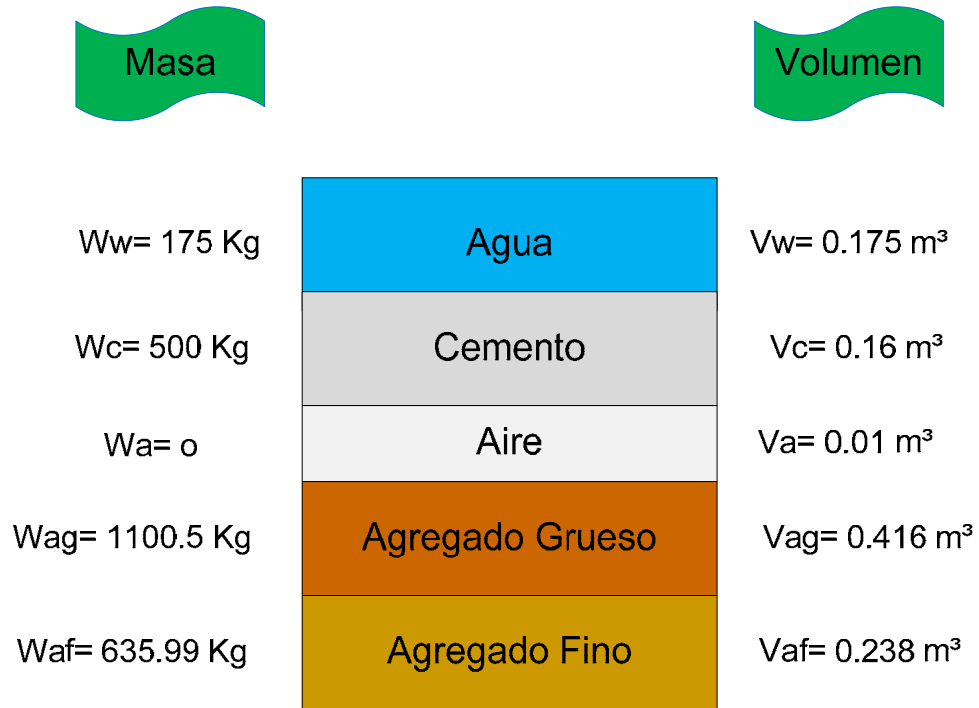


Figura 84: Representación de los contenidos de cada material de la mezcla (seco)

10. Ahora se tiene en cuenta el contenido de humedad que tienen los materiales.

En sus poros, el material puede contener un porcentaje de humedad que está atrapado dentro de él. Esa humedad hace aumentar la cantidad de agua en el diseño de la mezcla, afectando la relación agua-cemento, por lo que es necesario restarle a éste el contenido de humedad que poseen las partículas.

(La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determinar con las normas ASTM C70, C127, C128, y C566).

Contenido de humedad en la grava = 3.3% Humedad – 1.5% Absorción = 1.8%

Contenido de humedad en arena = 4% Humedad – 1.3% Absorción = 2.7%

11. Calculo de la verdadera cantidad de agua.

$$\begin{aligned} \text{Masa de agua con la humedad} &= 175\text{Kg} - 1100.5\text{Kg} * 1.8\% - 635.99\text{Kg} * 2.7\% \\ &= 175\text{Kg} - 19.81\text{Kg} - 17.17\text{Kg} \\ &= 138.02\text{Kg} \end{aligned}$$

Fuente: Los Autores

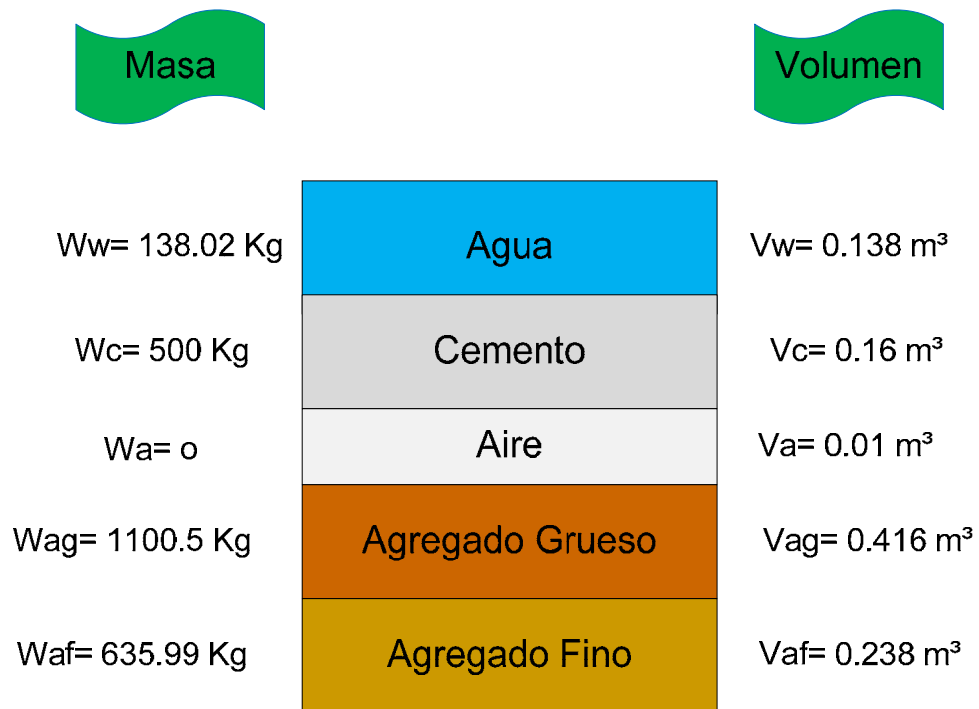


Figura 85: ilustración del contenido de la mezcla

Nota: Las cantidades de grava y arena se conservan.

4.2 CONCRETO ASFÁLTICO

4.2.1 Definición y descripción del hormigón asfáltico

Mezclado y colocado en caliente, el Hormigón Asfáltico es el material más usado en pavimentación y está compuesto de agregados unidos, constituyendo una masa sólida. Esta clase de mezcla para pavimentación se produce en una planta mezcladora central donde se calienta el asfalto y los áridos aproximadamente a 150°C y se dosifica, mezcla y coloca en obra cuando está todavía caliente. Después que los áridos están calientes y secos, se separan en diferentes tamaños y se combinan. Terminadas las mezclas se llevan en camiones a la extendedora mecánica, que las coloca en capas uniformes; después se compactan con rodillo mientras están calientes.

La mayoría de las instalaciones donde se elaboran las mezclas en caliente se transportan de un lugar a otro, pero este procedimiento es muy costoso.

Fuente: www.mexico.cittys.com



Figura 86: Concreto Asfáltico

4.2.2 Generalidades

4.2.2.1 Propiedades físicas y químicas

La estabilidad es una propiedad fundamental en el hormigón asfáltico, lo que quiere decir, debe resistir la deformación producida por las cargas que incidan sobre él. Los pavimentos inestables se pueden identificar por la formación de surcos longitudinales y ondulaciones transversales, como también por las deformaciones que sufren bajo neumáticos de un vehículo parado.

El hormigón asfáltico no debe desintegrarse bajo la acción del tráfico y de los agentes atmosféricos.

Es fundamental ser antideslizante, aún cuando el pavimento se encuentre mojado. La estructura superficial debe ser adecuada para que el coeficiente de rozamiento con los neumáticos sea elevado.

Debe ser económico; deben emplearse materiales de un bajo precio y que produzcan un pavimento estable, antideslizante y duradero.

Es indispensable tener en cuenta los siguientes factores para fabricar un adecuado pavimento: La granulometría y calidad de los agregados, la consistencia del betún y su proporción²¹.

4.2.2.1.1 Densidad porcentual máxima, porcentaje de huecos y huecos de los agregados.

Conociendo el peso específico de los agregados y del asfalto, se consigue calcular el peso específico máximo teórico, dado que se conoce un contenido determinado de asfalto. La siguiente expresión calcula el peso específico teórico máximo:

²¹ ROGERS, Martín y WALLACE, Hugh. Pavimentos Asfálticos. 2^{da} Edición. Madrid: Aguilar, S.A. de Ediciones, 1963.

$$G_o = \frac{100}{\frac{(100 - W_b)}{g_a} + \frac{W_b}{g_b}}$$

G_o = peso específico máximo teórico a 25°C

W_b = contenido de asfalto, porcentaje en peso

g_b = peso específico del asfalto a 25°C

g_a = peso específico de los áridos a 25°C

El porcentaje de sólidos en volumen se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{G}{G_o} \times 100 = R$$

G = peso específico real de la probeta a 25°C

G_o = peso específico máximo teórico

R = porcentaje de la densidad máxima a 25°C

El porcentaje de huecos en la probeta se determina de la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de huecos en la probeta} = 100 - R$$

Los huecos de los agregados se obtienen en la ecuación (HA):

$$HA = 100 - \frac{G}{g_a} W_a$$

Donde:

G = peso específico real de la muestra a 25°C

W_a = porcentaje de áridos contenido en peso

g_a = peso específico de los áridos

$$\text{Porcentaje de huecos rellenos de asfalto} = \frac{HA-(100-R)}{HA}$$

R, porcentaje de huecos, y HA son los valores teóricos, donde su magnitud depende de la clase de peso específico de los agregados.

4.2.2.2 El hormigón asfáltico mezclado y colocado en frío

Es un tipo de pavimento ligeramente inferior al mezclado y colocado en caliente, el cual como se mencionó anteriormente se usa para reparaciones o para obras de pequeño volumen. El hormigón asfáltico en frío es una combinación de agregados y materiales asfálticos y asfaltos rebajados, que se mezclan y además se colocan a temperatura ambiente. La fabricación y puesta en obra de mezclas en frío se limita generalmente a los meses cálidos. Cuando es necesario hacer este tipo de mezcla durante los meses de invierno, puede ser preciso cierto grado de calentamiento de los agregados y del material asfáltico. Las mezclas en frío pueden realizarse mediante tres distintos métodos: instalación fija, instalación móvil y mezcla sobre el camino. La instalación fija para elaboración de mezclas en caliente es la más adecuada para fabricar un hormigón asfáltico en frío cuando se requiere determinado calentamiento de los materiales para trabajos en tiempo frío. A temperatura ambiente se hace el mezclado en planta móvil de los áridos. El material asfáltico a la mezcla cuando éste se encuentre suficientemente caliente y tenga cierta fluidez.

En cualquier método utilizado para la mezcla, el material asfáltico se agrega a los áridos por pulverización en la cámara de mezcla de la planta mezcladora²².

²² ROGERS, Martín y WALLACE, Hugh. Pavimentos Asfálticos. 2^{da} Edición. Madrid: Aguilar, S.A. de Ediciones, 1963.

NOTA:

Los numerales 4.2.3 – 4.2.4 – 4.2.5 - 4.2.6 - 4.2.7 – 4.2.8 son especificaciones dadas por el Ministerio de Transporte (Colombia) en las Especificaciones generales de construcción de Carreteras.

4.2.2.3 Características de los componentes

A continuación se muestran algunas de las características expuestas por las especificaciones generales de construcción de carreteras.

4.2.2.3.1 Agregados pétreos y llenante mineral

“²³Los agregados pétreos y el llenante mineral para la elaboración de mezclas densas en caliente (concreto asfáltico) deberán satisfacer los requisitos de calidad impuestos para ellos:

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena adhesividad.

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa de asfalto.

²³ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones técnicas. 1998. Artículo 450.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular.

Se emplean tres tipos de peso específico para los agregados: **1)** peso aparente por unidad de volumen, **2)** peso específico aparente, y **3)** peso específico efectivo. El peso aparente por unidad de volumen comprende el volumen total de las partículas de los áridos, incluyendo sus cavidades. El peso específico aparente se refiere exclusivamente a la porción impermeable de la piedra, prescindiendo del volumen de los capilares que se llenan de agua en una inmersión de 24 horas. El peso específico efectivo se refiere al volumen de la piedra impermeable y al volumen de los capilares que no se llenan de asfalto en el pavimento. Es evidente que el peso específico por unidad de volumen será siempre menor que el peso específico aparente si los áridos presentan alguna absorción. También es obvio que será menor que el peso específico efectivo. El peso específico no es un proceso muy preciso, ya que actualmente se aplican tres definiciones distintas; sin embargo, las tres sitúan su valor entre el peso por unidad de volumen y el del peso específico aparente.

Se utiliza el peso aparente por unidad de volumen, el peso específico aparente, la media de ambos o el peso específico efectivo, según sea costumbre en la organización ingenieril encargada del proyecto. Cuando se emplean el peso aparente por unidad de volumen o el peso específico aparente, la determinación se hace sobre cada tipo de áridos utilizados en la mezcla, y de ellos se deduce el peso específico efectivo, la determinación se hace sobre el conjunto de los áridos tal como existirán en la mezcla; por consiguiente, el trabajo de laboratorio necesario es menor. El peso específico medio o el peso específico de la mezcla se calcula mediante la ecuación:

$$g_a = \frac{100}{\frac{W_1}{g_1} + \frac{W_2}{g_2} + \frac{W_3}{g_3} + \frac{W_4}{g_4}}$$

Donde: g_a = peso específico de la mezcla de áridos

$W_1, W_2, etc.$ = porcentajes en peso correspondientes a los áridos de tipos 1, 2, etc.

$g_1, g_2, etc.$ = pesos específicos de los áridos de tipos 1, 2, etc.

El llenante mineral podrá provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos o podrá ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada o cemento portland. Su peso unitario aparente, determinado por el ensayo de sedimentación en tolueno (norma de ensayo INV-225), deberá encontrarse entre cinco y ocho décimas de gramo por centímetro cúbico (0.5 y 0.8 g/cm³) y su coeficiente de emulsibilidad (norma INV E-776) deberá ser inferior a seis décimas (0.6).

La mezcla de los agregados grueso y fino y el llenante mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría.

El conjunto de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral deberá ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones:

Tabla 44: Gradaciones para los agregados gruesos y finos y llenante mineral

Tamiz		Porcentaje que pasa		
Normal	Alterno	MDC-1	MDC-2	MDC-3
25,0 mm	1"	100	-	-
19,0 mm	¾"	80-100	100	-
12,5 mm	½"	67-85	80-100	-
9,5 mm	3/8"	60-77	70-88	100
4,75 mm	N°. 4	43-54	51-68	65-87
2 mm	N°. 10	29-45	38-52	43-61
425 µm	N°. 40	14-25	17-28	16-29
180 µm	N°. 80	8-17	8-17	9-19
75 µm	N°. 200	4-8	4-8	5-10

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carreteras

4.2.2.3.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla densa en caliente (concreto asfáltico), será cemento asfáltico del grado de penetración que corresponda.

Cemento asfáltico:

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será de penetración 60-70 u 80-100, según las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía, tal como lo indica la tabla 59.

Tabla 45: Empleo de cemento asfáltico según las características de la región

Tránsito de diseño 10 ⁴ ejes de 80 KN	Temperatura media anual de la región		
	34 °C+	15-24 °C	15°C -
5+	60-70	60-70	80-100
0.5 a 5	60-70	60-70 u 80-100	80-100
0.5-	60-70	60-70 u 80-100	80-100

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carreteras

Tabla 46: Requisitos de calidad del cemento asfáltico

Característica		Norma de ensayo INV	60-70		80-100	
			Mín.	Máx	Mín	Máx
Penetración (25°C, 100 g, 5s) Índice de penetración	0.1 mm	E-706	60	70	80	100
Pérdida por calentamiento en película delgada (163°C, 5h)	%	E-724	_1	+1	_1	+1
Ductilidad (25°C, 5cm/min)	cm.	E-721	-	1.0	-	1.0
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento en película delgada, % de la penetración original	%	E-702	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99	-	99	-
Contenido de agua	%	E-704	-	0.2	-	0.2

Fuente: Especificaciones generales de construcción de carreteras

El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la adición de activantes, rejuvenecedores, polímeros, asfaltos naturales o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, las especificaciones particulares establecerán el tipo de adición y las especificaciones que deberán cumplir tanto el ligante modificado como las mezclas asfálticas resultantes”.

4.2.2.4 Equipo

4.2.2.4.1 Planta mezcladora

²⁴La mezcla de concreto asfáltico se fabricará en plantas adecuadas de tipo continuo o discontinuo, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Las plantas productoras de mezcla asfáltica deberán cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire y para su funcionamiento se deberá presentar al Instituto nacional de Vías, la correspondiente autorización expedida por la entidad nacional o regional encargada de otorgar tales permisos.

Las tolvas de agregados en frío deberán tener paredes resistentes y estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados y mantenidos en cualquier posición. El número mínimo de tolvas será función del número de fracciones de agregados por emplear y deberá tener aprobación por el interventor.

En las plantas del tipo tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación de agregados en frío deberá ser ponderal y tener en cuenta su humedad para corregir la dosificación en función de ella. En los demás tipos de plantas se aceptarán sistemas de dosificación de tipo volumétrico.

La planta estará dotada de un secador que permita el secado correcto de los agregados y su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la

²⁴ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones técnicas. 1998. Artículo 450.

mezcla. El sistema de extracción de polvo deberá evitar su emisión a la atmósfera o el vertido de lodos a cauces de agua o instalaciones sanitarias.

Las plantas que no sean del tipo de tambor secador-mezclador, estarán dotadas, así mismo, de un sistema de clasificación de los agregados en caliente, de capacidad adecuada a la producción del mezclador, en un número de fracciones no inferior a tres y de tolvas de almacenamiento de las mismas, cuyas paredes serán resistentes y de altura suficiente para evitar inter-contaminaciones. Dichas tolvas en caliente estarán dotadas de un rebosadero, para evitar que el exceso de contenido se vierta en las contiguas o afecte el funcionamiento del sistema de clasificación; de un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, que avise cuando el nivel de la tolva baje del que proporcione el caudal calibrado y de un dispositivo para la toma de muestras de las fracciones almacenadas.

La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados, situados a la salida del secador y en las tolvas en caliente.

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del asfalto deberá permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo.

En el calentamiento del asfalto se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor, evitándose en todo caso el contacto del ligante con elementos metálicos de la caldera que estén a temperatura muy superior a la de almacenamiento. Todas las tuberías, bombas, tanques, etc., deberán estar provistos de dispositivos calefactores o aislamientos.

La descarga de retorno del ligante a los tanques de almacenamiento será siempre sumergida. Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del ligante, especialmente en la boca de salida de éste al mezclador y en la entrada del tanque de almacenamiento. El sistema de circulación deberá estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación de la calibración del dispositivo de dosificación.

En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos.

La instalación estará dotada de sistemas independientes de almacenamiento y alimentación del llenante de recuperación y adición, los cuales deberán estar protegidos contra la humedad.

Las instalaciones de tipo discontinuo deberán estar provistas de dispositivos de dispositivos de dosificación por peso cuya exactitud sea superior al medio por ciento (0.5%). Los dispositivos de dosificación del llenante y ligante tendrán, como mínimo, una sensibilidad de medio kilogramo (0.5 Kg). El ligante deberá ser distribuido uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deberán permitir fugas no goteos. En las instalaciones de tipo continuo, las tolvas de agregados clasificados calientes deberán estar provistas de dispositivos de salida, que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición. Estos dispositivos deberán ser calibrados antes de iniciar la fabricación de cualquier tipo de mezcla, en condiciones reales de funcionamiento.

El sistema dosificador del ligante deberá disponer de dispositivos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo. En las plantas de mezcla continua, deberá estar sincronizado con la alimentación de los agregados pétreos y el llenante mineral. En las plantas continuas con tambor secador-mezclador se deberá garantizar la difusión homogénea del asfalto y que ésta se realice de manera que no exista ningún riesgo de contacto con la llama ni de someter al ligante a temperaturas inadecuadas.

En las instalaciones de tipo continuo, el mezclador será de ejes gemelos.

Si la planta posee tolva de almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad deberá garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte”.

4.2.2.4.2 Equipo de compactación

“²⁵Se deberán utilizar compactadores autopropulsados de cilindros metálicos, estáticos o vibratorios, triciclos o tándem, de neumáticos o mixtos. Todos los

²⁵ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones técnicas. 1998. Artículo 450.

compactadores deberán ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves: además, estarán dotados de dispositivos para la limpieza de las llantas o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Los compactadores de rodillos no deberán presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios dispondrán de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Los de neumáticas tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras y, en caso necesario, faldones de lona protectora contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones lineales estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos compactadores, serán las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del agregado ni arrollamiento de la mezcla a las temperaturas de compactación”.

4.2.2.5 Recomendaciones para el diseño de la mezcla de concreto asfáltico

Se debe diseñar una fórmula de trabajo donde se establezca la granulometría de cada uno de los agregados pétreos y su proporción para el proceso de mezcla, junto con el llenante mineral para obtener la gradación aprobada.

Cuando sean mezclas y lechadas asfálticas se debe indicar el porcentaje de ligante bituminoso en relación con el peso de la mezcla y el porcentaje de aditivo, respecto al peso del ligante asfáltico (cuando sea necesario).

Cuando la mezcla sea en frío y necesite agregarle agua, se debe señalar su proporción.

En el caso de mezclas en caliente se debe indicar:

- ²⁶Los tiempos requeridos para la mezcla de agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el ligante bituminoso.
- Las temperaturas máximas y mínima de calentamiento previo de los agregados y el ligante. En ningún caso se introducirán en el mezclador agregados pétreos a una temperatura que sea superior a la del ligante en más de quince grados Celsius (15°C).
- Las temperaturas máximas y mínimas al salir de mezclador. La temperatura máxima no deberá de exceder mas de 180°C, salvo en las plantas del tipo tambor secador-mezclador, en las que no deberá exceder de 165°C.
- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga de los elementos de transporte.
- La temperatura mínima de la mezcla al inicio y terminación de la compactación”.

Cuando se trate del diseño de una mezcla reciclada en caliente, se debe tener en cuenta:

- ²⁷Proporciones en que deben mezclarse los materiales recuperados del pavimento y el agregado nuevo, así como la granulometría resultante de su mezcla por los tamices correspondientes a la franja granulométrica aprobada.
- Tipo y porcentaje de ligante bituminoso nuevo en relación con el peso de la mezcla.
- Porcentaje requerido de agente rejuvenecedor en relación con el peso del asfalto envejecido.
- Porcentaje requerido de aditivo mejorador de adherencia en relación con el peso del ligante bituminoso nuevo.
- Las temperaturas máximas y mínimas de calentamiento previo de agregados, pavimento recuperado, asfalto nuevo y agente rejuvenecedor.

²⁶ INSTITUTO NACIONAL DE INVÍAS. Especificaciones técnicas. 1998. Artículo 450.

²⁷ Ibid., Artículo 450.

- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga de los elementos de transporte.
- La temperatura mínima de la mezcla al comenzar y terminar la compactación en el sitio de la obra”.

Las mezclas densas en caliente se diseñan siguiendo el método Marshall y con base en los siguientes criterios.

Tabla 47: Criterios para mezclas densas en caliente

Características		Tránsito de diseño (N) Ejes equivalentes de 80 KN		
		$>5 \times 10^6$	$5 \times 10^5 - 5 \times 10^6$	$<5 \times 10^5$
Compactación	golpes/cara	75	75	75
Estabilidad mínima	kg	750	650	500
Flujo	mm	2-3.5	2-4	2-4
Vacíos con aire:				
Capa de rodadura	%	4-6	3-5	3-5
Base asfáltica	%	4-8	3-8	3-8
Vacíos mínimos en agregados minerales:				
Gradación MDC-1	%	14	14	14
Gradación MDC-2	%	15	15	15
Gradación MDC-3	%	16	16	16

Fuente: American Concrete Institute

La relación llenante/ligante de la mezcla (óptima) debe encontrarse cerca de los siguientes valores. (Concentración del llenante INV E-745).

Tabla 48: Temperatura media anual

Temperatura media anual (Grados Celcius)	Ejes equivalentes de 80 KN	
	$\geq 5 \times 10^6$	$>5 \times 10^6$
>15	1.2	1.1
≤ 15	1.1	1.0

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras

4.2.2.5.1 Probetas compactadas

Para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas, mediante ensayos de laboratorio o como control en obra, se emplea el método de Marshall (I.N.V.E – 748), que consiste en la elaboración de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4 pulgadas) de diámetro y 63.5 mm (2½ pulgadas) de altura, rompiéndolas en el aparato Marshall y estableciendo su estabilidad y deformación.

Fuente: www.umng.edu.co



Figura 87: Prensa Marshall

4.2.3 Análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente

El siguiente proceso corresponde al Instituto Nacional de vías, quien mediante la I.N.V.E-799-07, suministra los procedimientos para realizar un análisis volumétrico de especímenes de mezcla asfáltica en caliente (MAC).

Definiciones

Los términos empleados en este método corresponderán a las siguientes definiciones:

“Vacíos de aire (V_a) : Son las bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregados cubiertos con asfalto, en una mezcla asfáltica compactada. Se expresa como porcentaje del volumen total del espécimen.

Vacíos en el agregado mineral (VAM): Volumen inter-granular de vacíos entre partículas del agregado de una MAC compactada (incluye vacíos de aire y el volumen de asfalto efectivo). Se expresa como porcentaje del volumen total del espécimen.

Contenido efectivo de asfalto (P_{be}) : Contenido total de asfalto menos la fracción de ligante asfáltico absorbida por las partículas del agregado. Se expresa como porcentaje del peso de la mezcla de pavimento compactada.

Vacíos llenos de asfalto (VFA): Es la fracción de los vacíos entre agregados minerales que contiene ligante asfáltico. Se expresa como porcentaje de los vacíos entre agregados minerales o VAM. Estos representan el volumen de asfalto efectivo presente en la mezcla.

Gravedad específica máxima teórica (G_{mm}) : En una mezcla sin compactar es la relación entre la masa (o peso en el aire) de un volumen de mezcla sin compactar (sin tener en cuenta los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto, $V_a = 0$) y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida. Su valor es adimensional.

Gravedad específica bulk (G_{mb}): En una mezcla compactada es la relación entre la masa (o peso seco en el aire) de un volumen de mezcla total (teniendo en cuenta los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto) y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida. Su valor es adimensional.

Gravedad específica bulk del agregado (G_{sb}) : La relación entre la masa en estado seco (o el peso seco en el aire) de una unidad de volumen de agregado, incluyendo los vacíos permeables e impermeables, y la masa de un igual volumen de agua, ambos a la misma temperatura establecida. Su valor es adimensional.

Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se}): La relación entre la masa en estado seco (o el peso seco en el aire) de una unidad de volumen de agregado, incluyendo los vacíos permeables no llenos de asfalto y los impermeables, o sea excluyendo los vacíos permeables al asfalto, y la masa de un igual volumen de agua, ambos a la misma temperatura establecida. Su valor es adimensional.

Volumen de asfalto absorbido (V_{ba}) : Volumen de ligante asfáltico en una MAC que ha sido absorbido en los poros de las partículas de agregados. V_{ba} es un volumen de ligante asfáltico en la MCA que permite calcular el contenido de asfalto efectivo.

Relación de Polvo, relación llenante efectivo, ($P_{0.075}/P_{be}$) – Relación en masa, entre el porcentaje de agregado que pasa el tamiz de 0.075 mm (No 200), $P_{0.075}$, y el contenido de asfalto efectivo (P_{be})²⁸.

²⁸ Análisis volumétrico de mezclas Asfálticas compactadas en caliente. Colombia: Instituto Nacional de vías. I.N.V.E.-799-07.

Procedimiento

La correcta determinación de la gravedad específica de la mezcla de proyecto es extremadamente importante. A no ser que se determinen las gravedades específicas con tres cifras decimales (cuatro cifras significativas) puede ocurrir un error absoluto en el cálculo de vacíos de aire, tan alto como 0.8% (por ejemplo, para un valor real de 4.2% puede ser determinado cualquier valor en el rango de 3.4 a 5%). Por consiguiente de deben utilizar balanzas se sensibilidad adecuada, para la determinación de las masas requeridas en las pruebas de gravedad específica.

- 1. Se determina el porcentaje de ligante asfáltico y de agregado respecto al peso total de la mezcla (norma INVE-731 o INVE-730). Se reporta P_b y P_s , respectivamente.*
- 2. Se separa el agregado grueso (retenido en el tamiz de 4.75 mm) y del agregado fino se separa la fracción de llenante mineral (pasa tamiz de 75 μ m). se calcula el porcentaje de cada fracción respecto al peso total del agregado y se reporta como P_1, P_2, P_3 , respectivamente.*
- 3. Se determina la gravedad específica del ligante asfáltico (norma INVE-707); del agregado grueso (norma INVE-223); del agregado fino (norma INVE-222) y del llenante mineral (norma INVE-128). Se reporta como G_b, G_1, G_2 y G_3 respectivamente.*
- 4. Se calcula la gravedad específica bulk, G_{sb} , del agregado combinado recuperado de la MAC, con la siguiente expresión:*

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}}$$

5. Se determina la gravedad específica máxima teórica de la MAC compactada, ,
6. Se determina la gravedad específica bulk del espécimen de MAC compactado (norma INVE-733) y se reporta como G_{mb} .
7. Se calcula la gravedad específica efectiva del agregado, G_{se} , con la siguiente expresión:

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

8. Se calcula el asfalto absorbido, P_{ba} , como porcentaje del peso de agregado, con la siguiente expresión:

$$P_{ba} = \frac{G_s(G_{se} - G_{sb})}{G_{sb}G_{se}} * 100$$

9. Se calcula el contenido de asfalto efectivo, P_{be} , como porcentaje del peso de la MCA, con la siguiente expresión:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}P_s}{100}$$

10. Se calcula el porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado mineral (VAM), con la siguiente expresión:

$$VAM = 100 - \frac{G_{mb}P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

P_s = Es el porcentaje de agregado respecto al peso total de la mezcla

11. Se calcula el porcentaje de vacíos de aire, V_a , en la MAC compactada, con la siguiente expresión:

$$V_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} * 100$$

12. Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de ligante asfáltico (VFA) como una porción de los vacíos en el agregado mineral, con la siguiente expresión:

$$VFA = \frac{VAM - V_a}{VAM} * 100$$

13. Se calcula la relación de polvo, relación entre la llenante y el asfalto efectivo, con la siguiente expresión:²⁹

$$R.P. = \frac{P_{0.075}}{P_{be}}$$

Donde:

$P_{0.075}$ = Porcentaje del agregado que pasa el tamiz de 0.075 mm (N° 200) ”

4.2.4.1 Ejercicio de dosificación de una mezcla asfáltica compactada en caliente

En una obra se solicita concreto bituminoso en las siguientes características:

% Vacíos: 4 a 6%

% Vacíos en agregados minerales: >= 14%

% Vacíos llenos con asfalto: 65 a 80%

Recibida la mezcla se elaboró una probeta para controlar sus propiedades

Probeta:

Masa total: 1180 gramos

²⁹ Análisis volumétrico de mezclas Asfálticas compactadas en caliente. Colombia: Instituto Nacional de vías. I.N.V.E.-799-07.

Masa en condiciones saturado superficialmente seco (sss): 1190 gramos

Peso sumergido en agua: 655 gramos

Gravedad específica del asfalto: 1.02

Gravedad específica aparente del agregado mineral: 2.68

Gravedad específica del bitumen: 2.43

Determinar si el material cumple con las características solicitadas

% Asfalto en la mezcla: 5.5 %

Solución

Fuente: Los Autores

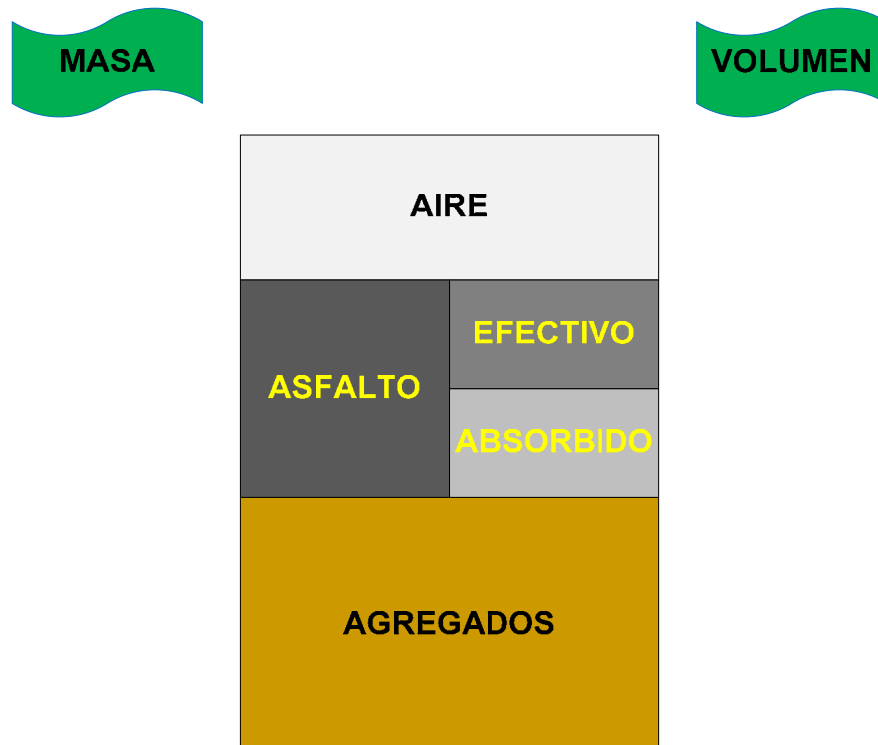


Figura 88: Componentes de una mezcla de concreto bituminoso

1. Se determina la gravedad específica bulk de toda la probeta, ya que se tiene su masa total y fácilmente se puede determinar su volumen.

En éste caso el volumen se logra calcular restándole a la masa en condiciones sss, el peso sumergido en agua.

$$Volumen\ de\ la\ probeta = 1190 - 655 = 535$$

Ahora si se calcula la gravedad especifica bulk:

$$G_{mb} = 1180/535 = 2.2056$$

Fuente: Los Autores

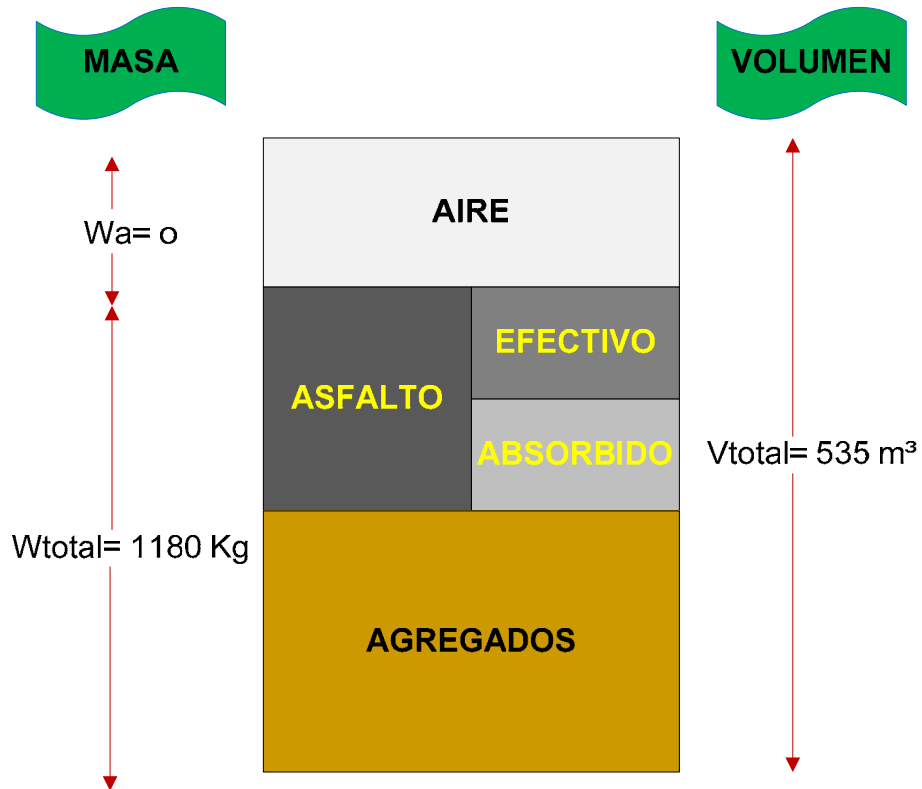


Figura 89: Contenido de masa y volumen de la probeta

2. Se halla la masa y el volumen del asfalto:

$$\text{Masa del asfalto} = 1180 \text{ gramos} \times 5.5\% = 64.9 \text{ gramos}$$

$$\text{Volumen de asfalto: } \frac{64.9}{1.02} = 63.63 \text{ ml}$$

Fuente: Los Autores

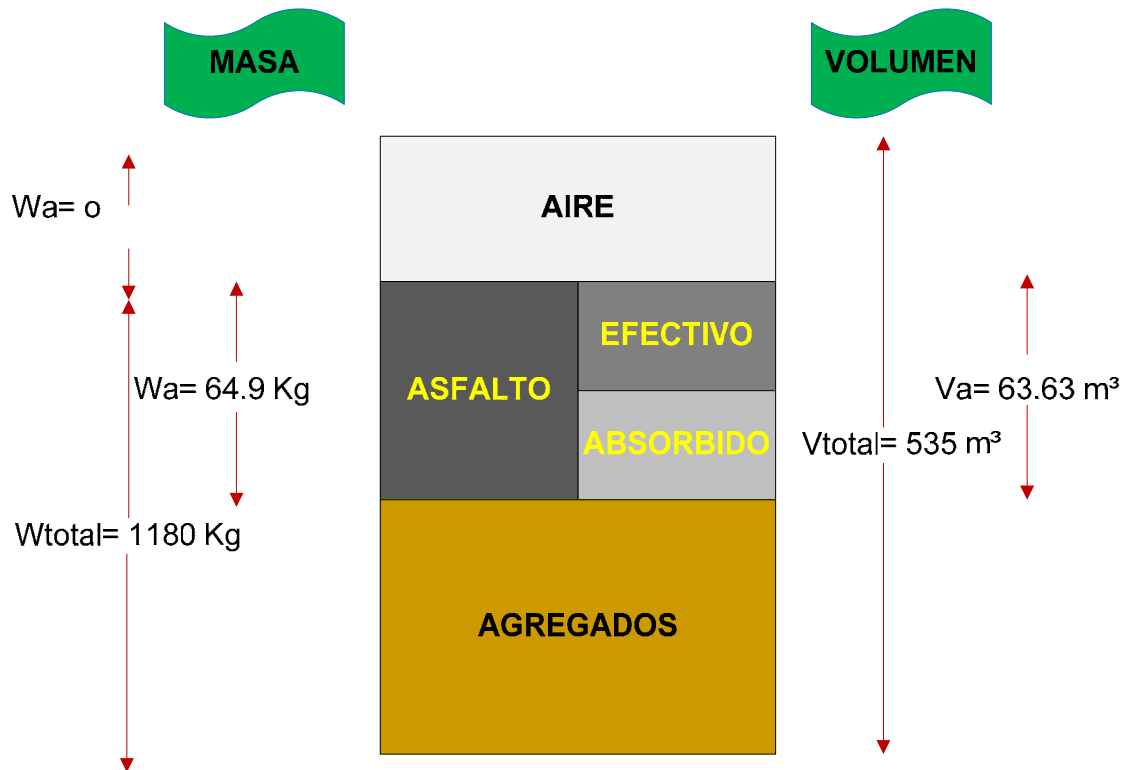


Figura 90: Ilustración del contenido de asfalto en la mezcla

3. Se determina la masa y el volumen del agregado mineral:

$$\text{Masa del A. M} = 1180 \text{ gramos} - 64.9 \text{ gramos} = 1115.1 \text{ gramos}$$

$$\text{Volumen del A. M} = \frac{1115.1}{2.68} = 416.08 \text{ m}^3$$

Fuente: Los Autores

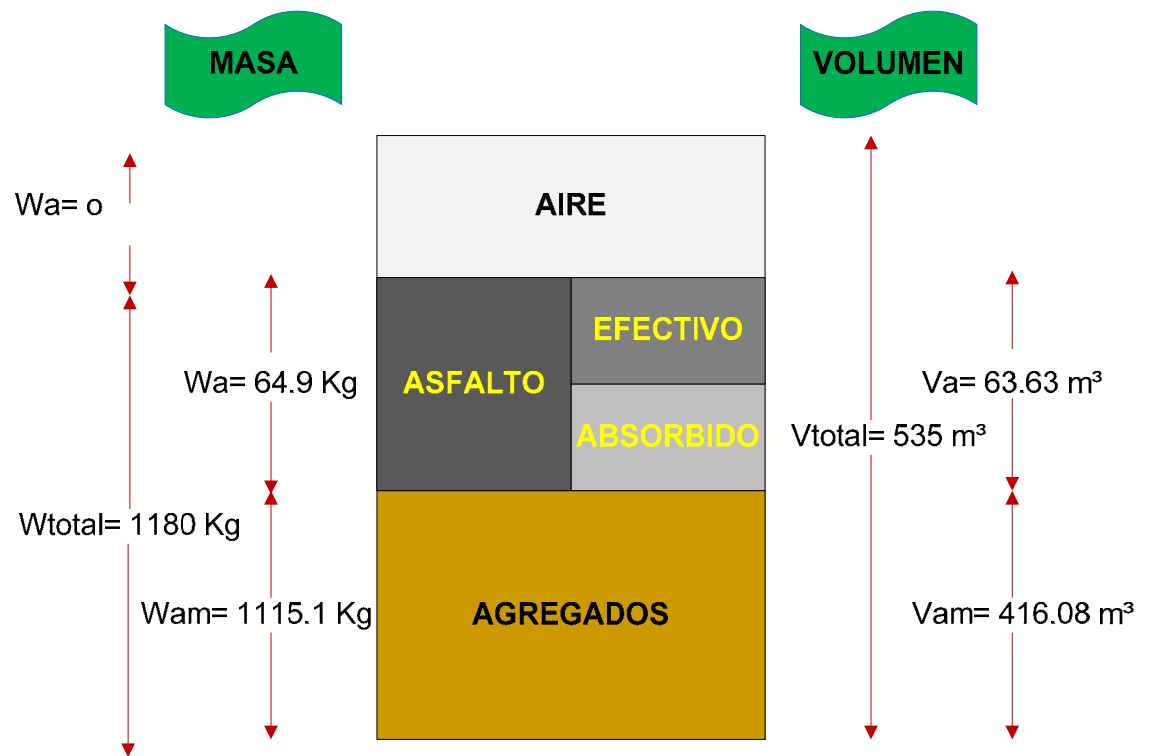


Figura 91: Contenido de la agregado mineral y de asfalto en la mezcla de concreto bituminoso

- Aunque no es necesario para éste caso, se determina el volumen de asfalto absorbido y el volumen de aire.

Se conoce la gravedad específica del bitumen, mas la del agregado (la gravedad específica máxima teórica), ahí se incluye obviamente como se observa en el gráfico, la del asfalto absorbido.

$$\text{Volumen de aire} = 535 - 63.63 - 416.08 = 55.29$$

$$\text{Volumen de bitumen + agregado} = \frac{1180}{2.43} = 485.597$$

Entonces, el volumen absorbido:

$$\text{Volumen de asfalto absorbido} = 485.597 - (63.63 + 416.08) = 5.887$$

$$\text{Masa de asfalto absorbido} = 5.887 \times 1.02 = 6.004 \text{ gramos}$$

$$\text{Volumen efectivo de asfalto} = 64.9 - 6.004 = 58.896$$

$$\text{Volumen efectivo de asfalto} = 63.63 - 5.887 = 57.743$$

5. Ahora si se determinará en que rango se encuentra los porcentajes de vacios, para comprobar si están en las características que se solicitan.

$$\text{Vacios con aire} = \frac{2.43 - 2.2056}{2.43} \times 100 = 9.23\%$$

$$\text{Vacios en agregados minerales} = 100 - \left(\frac{2.2056 \times 94.5}{2.68} \right) = 22.227\%$$

$$\text{Vacios llenos con asfalto} = \frac{22.227 - 9.23}{22.227} \times 100 = 58.473\%$$

5. MADERA

Uno de los materiales más antiguos, utilizados por el hombre en la construcción, es la madera; Se usa como estructura, en carpinterías, en cubiertas, en pavimentos, etc.

La madera de construcción es aquella que se utiliza para elaborar elementos estructurales como vigas, correas, columnas, entre otros, o para la elaboración de estructuras portantes de un edificio, como por ejemplo; Techos, paredes, escaleras.

Es por esta razón que es necesario que estas maderas sean de rápido crecimiento, de un bajo costo y no es de prioridad que sea de magnífica calidad. Actualmente se utilizan maderas livianas y suaves.

Para poder entender sus propiedades físicas y mecánicas y así darle un adecuado uso en la construcción, es importante saber sobre la macro-estructura y micro-estructura de la madera.

Es elemental conocer además algunas de las amenazas a las que está expuesta la madera, y la forma de combatirla con el fin de preservar las estructuras construidas.

5.1 Macro-Estructura de la Madera

La complejidad de la estructura de la madera, no permite que sea un producto homogéneo, lo cual hace que sea altamente anisotrópica y su resistencia a la tensión sea superior en dirección paralela al tronco del árbol.

5.1.1 Capas en la Sección Transversal de un tronco en un Árbol

En la figura 93 se muestra la sección transversal de un árbol típico.

Fuente: www.student.britannica.com

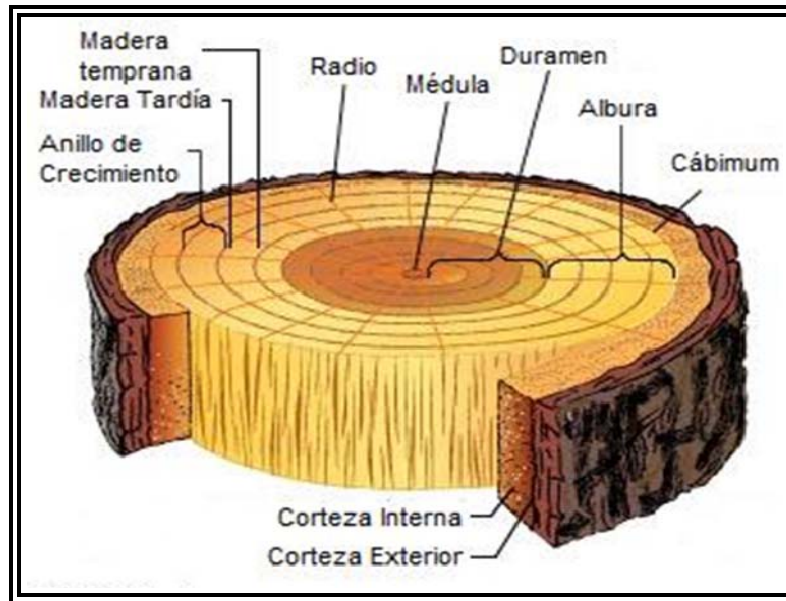


Figura 92: Sección Transversal de un Árbol

Se pueden observar las capas de madera que componen un árbol, con sus respectivos nombres. A continuación se define la función de cada una.

1. “La capa de la **corteza exterior** está formada por tejido seco muerto y le brinda protección externa al árbol.
2. La capa de la **corteza interna** es húmeda y blanda, transporta alimento de las hojas a todas las partes del árbol que está en crecimiento.
3. La capa de **cámbium** está formada por el tejido que se encuentra entre la corteza y la madera que forma las células de madera y corteza.
4. El **duramen** es la madera de color claro que se forma en la parte exterior del tronco del árbol. El duramen contiene algunas células vivas cuya función es

almacenar alimento y transportar savia desde las raíces hasta las hojas del árbol.

5. La **albura** es la región interior más vieja del tronco del árbol que ya no está viva. La albura suele ser más oscura que el duramen y sirve para reforzar al árbol.³⁰

5.1.2 Maderas Blandas y Duras.

Maderas blandas y duras son los más importantes grupos en los que está clasificada la madera. Las maderas duras (gimnospermas) y las maderas blandas (angiospermas).

Botánicamente se dice que cuando la semilla de un árbol está expuesta corresponde a un tipo de madera blanda, y si la semilla del árbol está cubierta, la madera del árbol es dura.

Cuando un árbol es de madera blanda conserva sus hojas, son físicamente blandos y son llamados perennes. El árbol de madera dura cada año pierde sus hojas, son duros y llamados desiduos.

5.1.3 Crecimiento de los Árboles.

En primavera los arboles crecen rápidamente, pero las celdas originadas en esa época no poseen las paredes muy gruesas, ni fuertes. Pero a finales del verano y principios del otoño, el crecimiento disminuye. Los anillos observados en el corte transversal de los troncos de los árboles, corresponden al crecimiento anual.

³⁰ SMITH, WILLIAM F y JAVAD, HASHEMI. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4^{ta} Edición. McGraw Hill/Interamericana de España S.A.U. 1998. Capítulo 12.

5.1.3.1 Anillos de crecimiento Anual.

Alrededor del tronco del árbol se forma una nueva capa de madera, en consecuencia del crecimiento anual de cada estación, generalmente en climas templados. Se pueden visualizar en la figura 93 el corte transversal de la madera blanda.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.



Figura 93: Anillo de crecimiento anual en la sección transversal de madera blanda

Cada anillo de crecimiento anual posee dos sub-anillos; La madera temprana (de primavera) y madera tardía (de verano). La madera temprana tiene un color más tenue y sus células son de mayor tamaño.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.



Figura 94: Madera Temprana y Tardía en la Madera Blanda

Si se amplifica el anillo de crecimiento, podemos identificar la madera temprana, formada por células de mayor tamaño y la madera tardía, compuesta por células más concentradas.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.



Figura 95: Vista detallada de la Madera temprana y Madera tardía.

5.1.3.2 Ejes de Simetría de la Madera

Es importante saber tener en cuenta la micro-estructura de un árbol debido a que la madera es un material anisotrópico.

El comportamiento mecánico del árbol está relacionado con el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento.

Para hacerlo se ha elegido una serie de ejes, como se indica a continuación.

El eje paralelo al tronco del árbol se llama eje longitudinal (L)

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

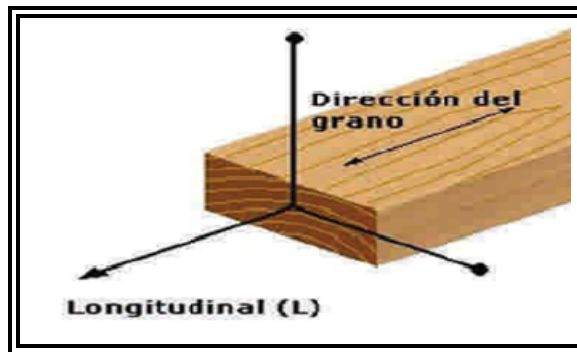


Figura 96: Eje paralelo al tronco (Longitudinal)

El eje perpendicular al anillo de crecimiento anual del árbol se conoce como el eje radial (R).

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera..

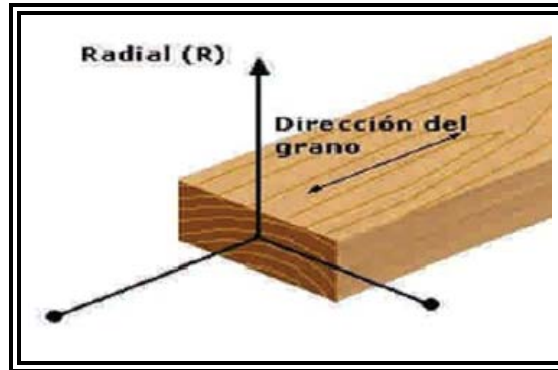


Figura 97: Eje perpendicular al anillo de crecimiento (Radial)

El tercer eje, el eje tangencial (T), es paralelo al anillo anual de crecimiento y perpendicular tanto al eje radial como al eje longitudinal.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

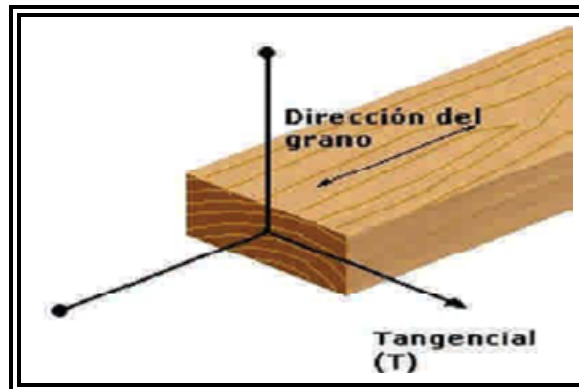


Figura 98: Eje paralelo al anillo de crecimiento (Tangencial)

5.2 Micro-Estructura de las Maderas Blandas

Fuente: Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.

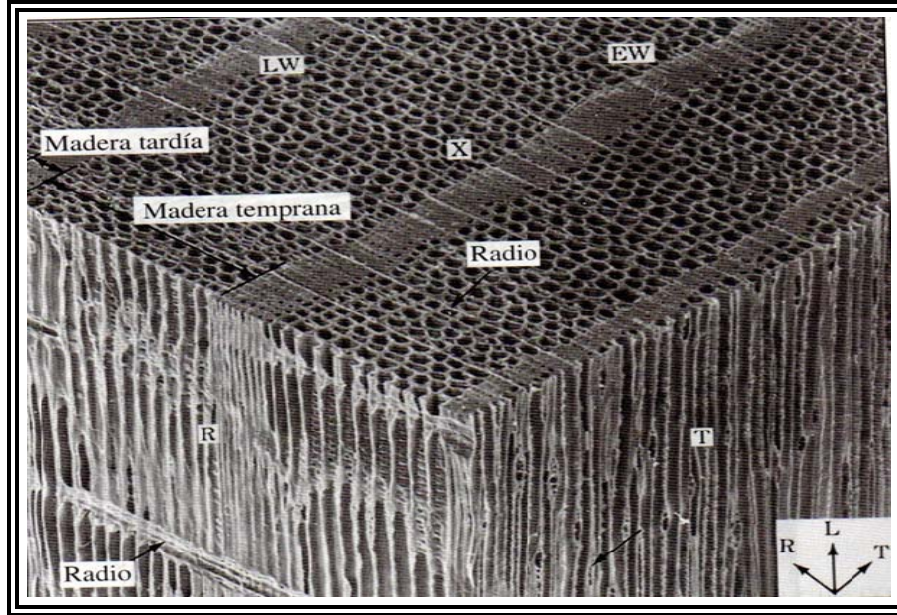


Figura 99: Micro-estructura de un Bloque de Madera Blanda

En la micrografía se observa la micro-estructura de un pequeño bloque de madera blanda donde se ven tres anillos de crecimiento completo, las células de mayor tamaño son las de primavera. Las traqueidas son células tubulares largas de pared delgada y conforman un 90% del volumen de la madera blanda como se aprecia en la figura 99.

El lumen es el espacio abierto del centro de las células, usado para conducción de agua. La longitud de la traqueida es de 3 a 5 mm, y de 20 a 80 μm de diámetro. Las células de diámetros pequeños y paredes gruesas, con lumen más pequeño, corresponden a madera de verano.

5.3 Micro-Estructura de las Maderas Duras

Las maderas duras poseen vasos de grandes diámetros para la conducir fluidos. En las maderas duras, dichos vasos poseen estructuras de paredes delgadas constituidas por elementos individuales llamados elementos del vaso y están dispuestos en la dirección longitudinal del tronco. Dependiendo de la manera en que los vasos estén en los anillos de crecimiento, se clasifica la madera dura como anillo-porosa o difuso-porosa.

En una madera dura de anillo-poroso los vasos formados en la madera de primavera son más grandes que los de la madera de verano.

Fuente: Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.

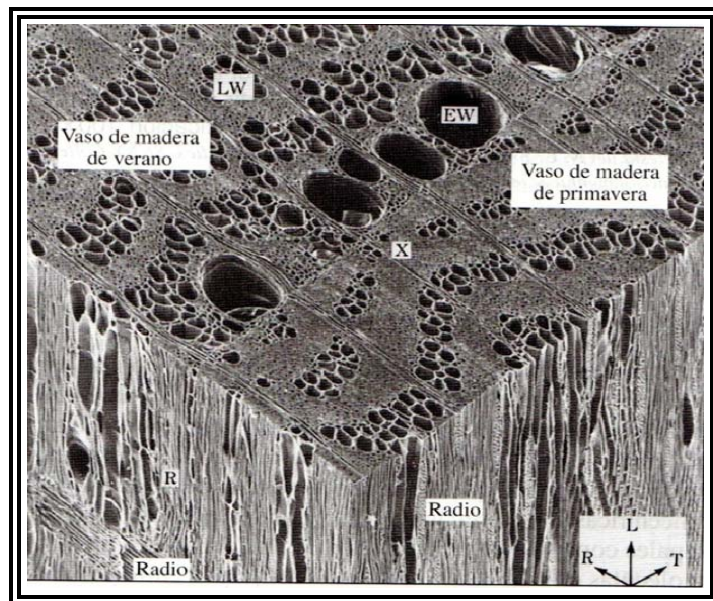


Figura 100: Micro-estructura de un bloque de madera dura de anillo-poroso

En una madera porosa-difusa, los diámetros de los vasos son esencialmente iguales en todo el anillo de crecimiento.

Fuente: *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.*

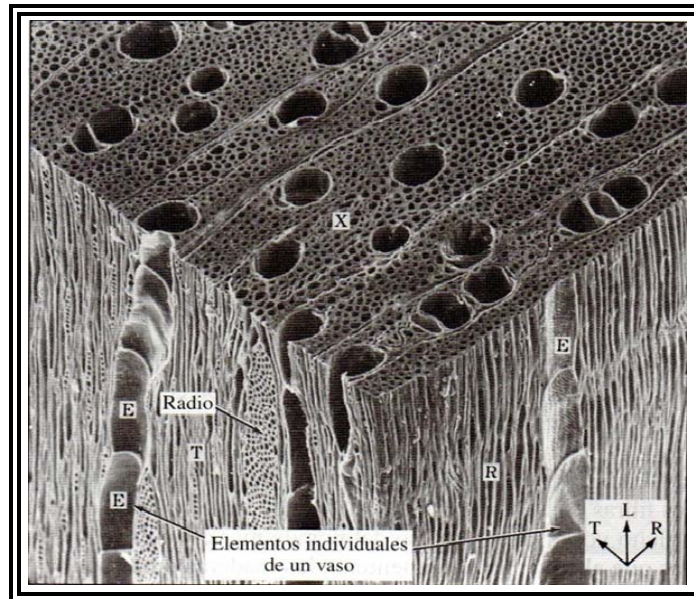


Figura 101: Micro-estructura de un bloque de madera dura de porosa-difusa

Las fibras son células longitudinales encargadas de brindar soporte al tronco de los árboles de madera dura. Su longitud oscila entre 0.7 y 3 mm y su diámetro promedio es menor a 20 μm . En estos árboles, las fibras son células alargadas con extremos puntiagudos y suelen tener partes gruesas.

En las maderas duras los radios son mas grades en comparación con las maderas blandas, y poseen además numerosas células en su anchura.

5.4 Propiedades de la Madera

El conocimiento de las propiedades de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos y ambientes a los que puede estar sometida.

5.4.1 Contenido de Humedad

Naturalmente la madera acumula humedad en su estructura que se localiza en las paredes celulares como agua ligada y como agua libre, en lo profundo de las cavidades celulares.

El contenido de humedad puede ser determinado mediante la siguiente relación:

$$\text{Contenido de humedad en la madera} = \frac{\text{peso de agua en la muestra}}{\text{peso de la muestra de madera seca}} * 100\%$$

Donde:

$$\text{Peso agua en la muestra} = \text{peso madera húmeda} - \text{peso madera seca en cámara}$$

La madera expulsa agua al medio contenida en sus cavidades, dependiendo de las condiciones ambientales, cuando dicho intercambio de humedad cesa, la madera alcanza la humedad de equilibrio, que es básicamente, el porcentaje de agua al que llega una madera sometida durante un tiempo determinado a circunstancias de temperatura y humedad en su medio ambiente.

La norma técnica Colombiana especifica la determinación del contenido de humedad utilizando probetas NTC 206:1992.

Tabla 49: Denominación de la Madera según su Contenido de Humedad

Contenido de Humedad (%)	Denominación
>30	Madera saturada
30-23	Madera semi-seca
22-18	Madera comercialmente seca
17-13	Madera secada al aire
<13	Madera desecada
0	Madera anhidra

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

“Kollmann (1959) comprobó que la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas, y elaboró un ábaco para determinar este valor. O sea, cuando la madera es sometida a un ambiente saturado de humedad (100% de humedad relativa del aire), la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas, alcanzando un valor máximo de 30%.”³¹

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

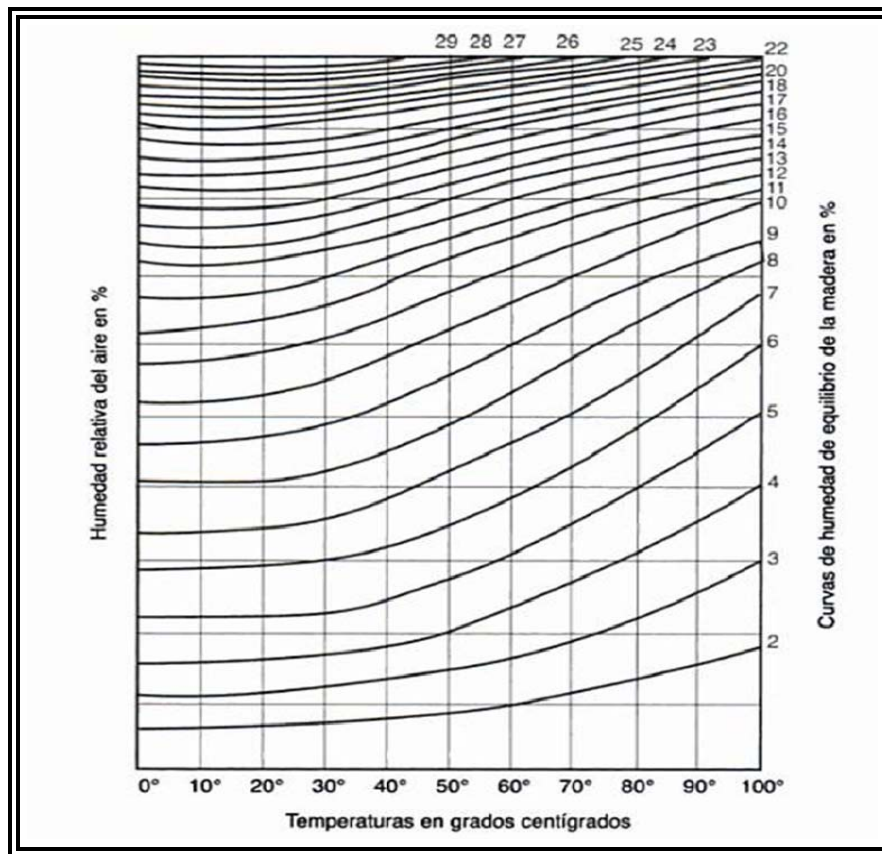


Figura 102: Curvas de Humedad de Equilibrio de la Madera en porcentaje

La condición verde se le asigna al estado húmedo de la madera en el árbol vivo, y su contenido de humedad promedio en las maderas blandas es alrededor de 150%, mientras que en las maderas duras es aproximadamente 80%.

³¹ Manual, La construcción de viviendas en madera. CORMA, Corporación Chilena de la Madera. Capítulo 1.

5.4.2 Densidad de la Madera

Debido a la higroscopia de la madera, la masa y el volumen se alteran con el contenido de humedad y de esto depende considerablemente las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

Determinación de la densidad a partir del contenido de humedad de la pieza:

- *“Densidad Anhidra: Relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra (completamente seca).*
- *Densidad Normal: Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera con un contenido de humedad del 12%.*
- *Densidad Básica: Relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con humedad igual o superior al 30%.*
- *Densidad Nominal: Es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con un contenido de humedad del 12%.*
- *Densidad de Referencia: Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera ambos con igual contenido de humedad.”³²*

5.4.3 Contracción y Expansión de la Madera

La contracción de la madera es producida por la pérdida de agua en las paredes celulares, y esto se produce cuando el secado de la madera se da por debajo del punto de saturación de la fibra. Cuando esto ocurre se dice que la madera “trabaja”.

³² Manual, La construcción de viviendas en madera. CORMA, Corporación Chilena de la Madera. Capítulo 1.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

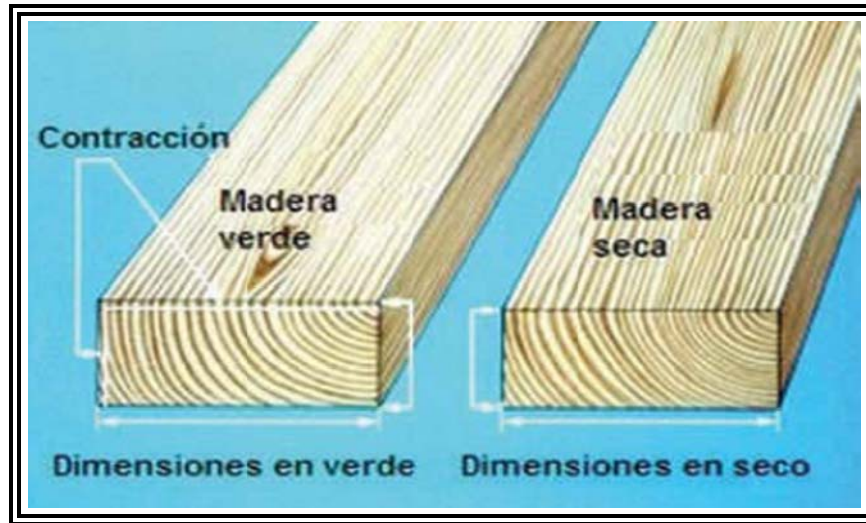


Figura 103: Contracción de la Madera

Las dimensiones de la madera disminuyen en los ejes tangencial, radial y longitudinal, y la contracción tangencial es mayor a la que se produce en un árbol. El punto de saturación de la fibra de la madera es un factor sobre el cual la madera no alterara sus características, comportamiento físico o mecánico, pero bajo el cual sufrirá cambios dimensionales y volumétricos.

Tabla 50: Porcentaje de contracción de la madera de acuerdo al método de secado

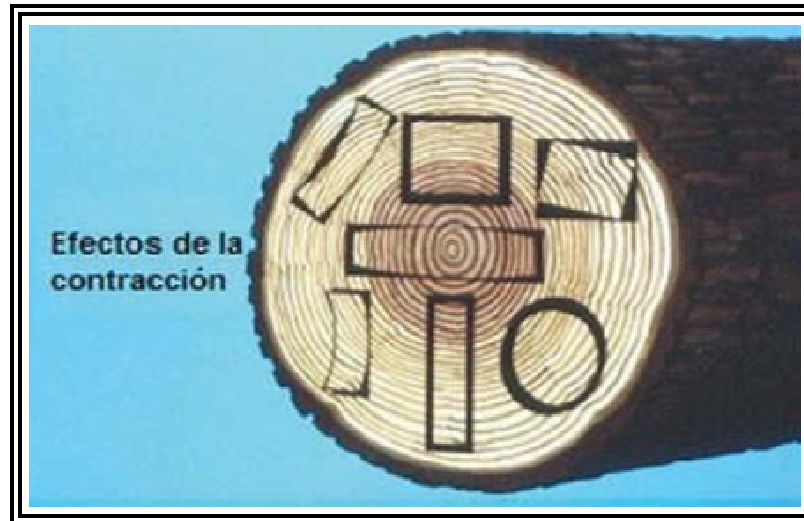
Humedad	Dimensión	Contracción %
Verde -12%	Tangencial	4
	Radial	2
	Longitudinal	0,1
	Volumétrica	6
Verde-Seco en cámara	Tangencial	7
	Radial	3,4
	Longitudinal	0,2
	Volumétrica	10,5

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

Algunas de las deformaciones en la madera son producidas por la contracción por secado, aunque las consecuencias son favorables sobre las propiedades físicas y

mecánicas de la madera. Dicha deformación por contracción depende en gran parte del tipo de corte como se aprecia en la siguiente figura.

Tabla 51: Efectos de la Contracción Según el Tipo de Corte.



Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

5.4.4 Propiedades Acústicas

La madera tiene la capacidad de atenuar las vibraciones sonoras, de gran importancia en las habitaciones y aislación de edificios. Esto se debe a la transformación de la energía sonora en calórica, realizada por su estructura celular porosa.

5.4.5 Propiedades Térmicas

El calor de la madera obedece principalmente a la conductividad térmica y de su calor específico.

La conductividad está relacionada con la capacidad que tiene un material para transmitir calor. La conductividad térmica se obtiene con el coeficiente de conductividad.

Las maderas de baja densidad transportan menos calor que las de alta densidad, debido a que las cavidades de la madera están llenas de aire.

“Calor específico es definido como la cantidad de calor necesario para aumentar en 1 grado Celsius (°), la temperatura de un gramo de madera”³³

Cuando se combinan los anteriores dos factores, la madera absorbe muy despacio el calor, y esta resistencia que brinda la madera al paso del calor, hace que la madera se vuelva un excelente aislante térmico y además resistente al fuego.

La dilatación y contracción de la madera es muy pequeña al disminuir o aumentar la temperatura.

5.5 Normas de ensayos

Las normas utilizadas para realizar los ensayos en maderas son:

- Norma técnica colombiana 1557 y NTC 698
- Determinación del contenido de humedad utilizando probetas NTC 206:1992
- Peso específico de la madera NTC 290:1974
- Determinación del contenido de humedad utilizando higrómetro: manual del grupo andino para el secado de madera.

5.6 Curación o Desección

Cuando se cura la madera, el agua abandona las paredes de las celdas. Esto da como resultado un encogimiento que, en su mayor parte, se produce en un sentido perpendicular a la longitud de las celdas. La cantidad de encogimiento está relacionada directamente con el espesor de las paredes de las celdas. A causa de la forma geométrica de las celdas, el mayor encogimiento se produce a través de los granos, tangencialmente a los anillos de crecimiento anual. El desecamiento o la curación ideal de la madera tiende a producir un contenido de agua que se

³³ Manual, La construcción de viviendas en madera. CORMA, Corporación Chilena de la Madera. Capítulo 1.

encuentra en equilibrio estable con el contenido de la humedad del medio ambiente en el que deba usarse la madera. En esa forma, se estabilizan las dimensiones antes de que la madera se ponga realmente en servicio. Cuando varía el contenido de humedad o la humedad relativa del medio ambiente, varía también el contenido de agua de equilibrio de la madera, lo cual va acompañado de una dilatación cuando aumenta la humedad y un encogimiento cuando disminuye. La curación da como resultado, además, un mejoramiento de la mayoría de las propiedades mecánicas de la madera. El punto de saturación de las fibras corresponde a las paredes reticulares saturadas, la humedad adicional llena los espacios reticulares y no sufre cambios dimensionales.

Cuando el uso definitivo de la madera es de tipo estructural es de vital importancia el curado. La utilización de madera seca aporta una serie de beneficios, entre los que se destaca:

- Mejora sus propiedades mecánicas: la madera seca es más resistente que la madera verde.
- Mejora su estabilidad dimensional.
- Aumenta la resistencia al ataque de agentes destructores (hongos).
- Aumenta la retención de clavos y tornillos.
- Disminuye considerablemente su peso propio, abarata el transporte y facilita la manipulación de herramientas.
- Mejora la resistencia de adhesivos, pinturas y barnices.
- Mejora su ductilidad, facilidad para cortar y pulir.
- Mejora la absorción de preservantes líquidos aplicados con presión.
- Aumenta la resistencia de las uniones de maderas encoladas.

El secado de la madera puede ser realizado a través de dos métodos:

5.6.1 Secado al Aire

Es un proceso lento y poco efectivo el cual hace que la madera pierda su humedad natural ubicándola encasillada permitiendo la circulación del aire.

Los principales factores que influyen en un buen secado al aire son:

- Disponer de sitio abierto que permita exponer la madera al aire, y que el encastillado sea efectuado de modo que el aire circule envolviendo cada una de las piezas de madera.
- El mejor sistema de encastillamiento para un secado rápido con el mínimo de agrietamiento y torceduras, es el apilado plano.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

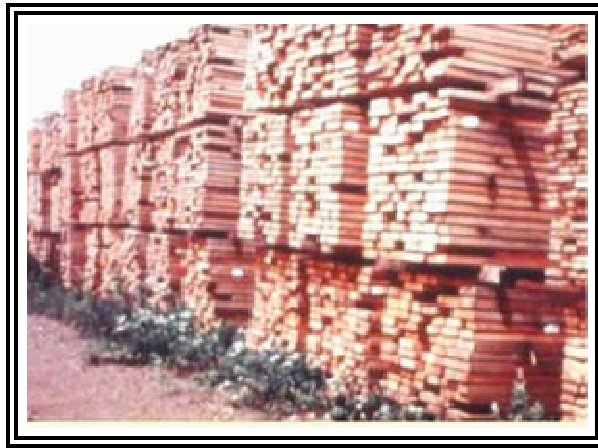


Figura 104: Método de Secado de la Madera al Aire.

5.6.2 Secado Convencional en Horno

Con este método de curado la madera es secada en hornos especiales los cuales manejan variables de presión, humedad y temperatura (80 a 90 °C). Este proceso tiene la ventaja de ser rápido, además de establecer el grado de humedad deseado. Sin embargo tiene la desventaja de ser un proceso que puede provocar

fisuras, grietas, arqueaduras y torceduras en la madera, dependiendo del procedimiento y la especie.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.



Figura 105: Método de Secado de la Madera al Horno

5.7 Defectos de la Madera

Al ser la madera un material de origen natural, muchas veces no es tan homogéneo como se espera. Es común encontrar defectos tales como, resquebrajamientos, contra-fibras, nudos, bolsas de resina, venteaduras o rodaduras y alabeos.

5.7.1 Resquebrajamiento

Son planos de separación que corren a todo lo largo y a través de los anillos de crecimiento anual. Por lo común, aparecen en los extremos o la superficie de las tablas. Los resquebrajamientos dan como resultado una pérdida de resistencia a los esfuerzos transversales y un empeoramiento de la apariencia. Tienen más posibilidades de encontrarse en las maderas duras, debido a la estructura reticular

y a las características de encogimiento de este tipo de madera. Asimismo, pueden deberse a una curación incorrecta de la madera.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.

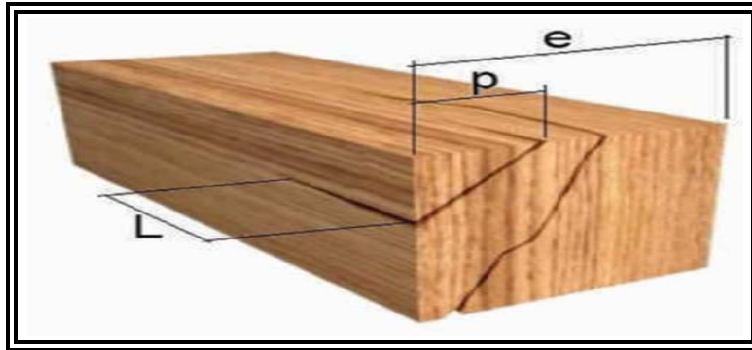


Figura 106: Resquebrajamiento

5.7.2 Contrafibra

Se produce cuando el grano de una tabla no corre en sentido paralelo a su dirección longitudinal. Este defecto puede deberse al modo como creció el árbol o a la forma como se cortaron las tablas del tronco. Las contra-fibras tienen un efecto debilitante.

5.7.3 Nudos

Aparecen en todos los puntos en los que un miembro o una rama intercepta al tronco de un árbol. Puesto que se depositan todos los años nuevas capas de celdas que cubren toda la superficie de la madera, los nudos pueden encontrarse a cierta profundidad, por debajo de la corteza. Por lo general, los nudos son más duros que la madera que los rodea y, por lo tanto, son causa de un desgaste no uniforme y de dificultades de conformación. Así mismo, debilitan la madera, cuando se somete a esfuerzos de tensión.

5.7.4 Bolsas de Resina

Son huecos entre anillos de crecimiento anual, llenos de material resinoso, lo cual genera resistencia no uniforme al momento de estar sometida a los diferentes esfuerzos.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.



Figura 107: Bolsas de Resina

5.7.5 Venteaduras y Rodaduras

Se asemejan a las bolsas de resina; pero vacías. Una hipótesis que se maneja es que estas se crean cuando el árbol tiene una fuerte inclinación durante su crecimiento o por mecanismos desconocidos. Dichas venteaduras hacen que se pierda la resistencia de corte paralela al grano.

5.7.6 Alabeo

Se considera alabeo a cualquier desviación de la superficie de un segmento de madera, y es causada por una curación incorrecta o por su estructura reticular y las características de encogimiento de la madera.

Fuente: La construcción de Viviendas en Madera.



Figura 108: Alabeo

5.8 Preservación de la Madera

La madera, como todo material de origen orgánico, no es la excepción a los ataques de organismos como insectos y hongos entre otros. Asimismo, puede sufrir daños debido al fuego. Por tal razón es importante saber cuál es el tratamiento más adecuado para su preservación.

5.8.1 Hongos

Los hongos, en presencia de humedad, son los causantes de descomposición, putrefacción o las manchas que aparecen usualmente en la madera. dichas manchas o decoloraciones no indican que hubo disminución de su resistencia debido a que los hongos no atacan las paredes reticulares o la lignina, que es la que proporciona la resistencia; no obstante hay hongos que atacan dichas partes, dejando la madera inservible. La eliminación de la humedad, el recubrimiento y la impregnación con antisépticos son los mejores métodos para evitar los ataques estructurales de los hongos.

La madera curada en hornos no es atacada por los organismos, a menos que se exponga a niveles de humedad altos durante su vida útil.

5.8.2 Insectos

Los insectos son los principales causantes de los daños estructurales en la madera, siendo el ataque de las termitas subterráneas el más común. Además de las termitas subterráneas, hay también termitas de madera seca y la tiñuela.

5.8.3 Termitas Subterráneas

Debido a que las termitas subterráneas necesitan humedad, viven en el suelo y no suelen exponerse por mucho tiempo a la intemperie, la celulosa de la madera muerta del suelo es su principal fuente de alimento, sin embargo estas también atacan las estructuras de madera ubicadas por encima del suelo, causando daño en el interior de las cimentaciones.

Prevención del ataque de las termitas subterráneas. Para tal fin se debe diseñar y construir correctamente las estructuras. Los mejores cimientos consisten en concreto reforzado, que no tiene posibilidades de resquebrajarse. Para poder utilizar la madera como cimentación deberá ser aislada con una placa de cobre. Todas las juntas deberán estar bien soldadas y los orificios para el anclaje de pernos deberán cubrirse y sellarse con alquitrán. Un método alternativo exige una cubierta de concreto reforzado de 4" de espesor, sobre los cimientos. No deberá permitirse que haya porciones de madera de la estructura que entren en contacto con el suelo. Cuando no se toman en cuenta estas medidas, es necesario una inspección frecuente en busca de daños causados por termitas utilizando un instrumento puntiagudo. Puesto que los ataques de las termitas no pueden apreciarse en la superficie, los miembros estructurales pueden parecer completamente intactos, desde el exterior.

Fuente: Patologías y Protección de madera en servicio.



Figura 109: Termitas Subterráneas

5.8.4 Termitas de Madera Seca

Viven en la madera misma y no necesitan tener acceso al suelo. Para proteger la madera de estos insectos es necesario sellar con pintura las superficies expuestas y protegiendo los ventiladores, los accesos a los sótanos y los espacios de respiración. Si se detecta una infestación, puede controlarse, soplando polvos venenosos de la madera que haya sido atacada.

5.8.5 Tiñuela

Aunque hay numerosas variedades de tiñuela, la más frecuente es la teredo, estas perforan hacia el interior y luego varían, construyendo galerías paralelas al grano del material. Por lo tanto su ataque queda oculto. Sus perforaciones se encuentran en ángulo recto al grano, a una profundidad de media pulgada.

Los ataques de la tiñuela pueden evitarse, utilizando un recubrimiento metálico o de concreto, en torno a las estructuras sumergidas de madera. La protección

contra tiñuela es tan difícil que, con frecuencia, la solución más sencilla es reemplazar a menudo los miembros dañados y carentes de protección.

5.9 Protección contra Incendios

Básicamente es imposible que la madera sea totalmente incombustible; sin embargo, las impregnaciones a presión de las tablas con soluciones de productos químicos tales como el bórax y las sales de amoníaco, hacen aumentar considerablemente su resistencia al fuego.

La reacción al fuego de las maderas depende de:

- Espesor de la pieza de madera
- Contenido de agua de la madera
- Densidad de la madera (especie)

Fuente: Patologías y Protección de madera en servicio.

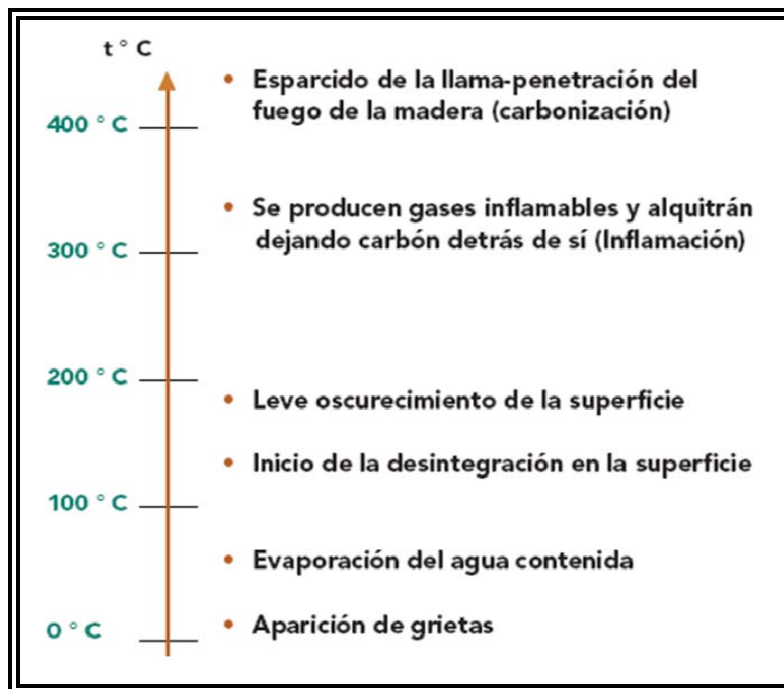


Figura 110: Comportamiento de la Madera frente a la acción del Fuego

5.10 Usos y Aplicaciones

Generalmente en el sector de la construcción la madera puede tener tres categorías de uso.

- ✓ **Madera de uso definitivo:** Es aquella incorporada a la edificación, ya sea a nivel de estructura o terminaciones, cuyo objeto es cumplir con la vida útil establecida para el edificio, es decir, queda incorporada definitivamente a la vivienda.
- ✓ **Madera de uso transitorio:** Cumple la función de apoyar estructuralmente la construcción del edificio, sin quedar incorporada a su estructura al finalizar la actividad. En esta categoría se encuentra, por ejemplo, toda la madera utilizada en encofrados para hormigón.
- ✓ **Madera de uso auxiliar:** Es aquella que cumple sólo funciones de apoyo al proceso constructivo. En esta categoría se pueden considerar, por ejemplo, la instalación de niveletas, reglas y riostras de montaje, entre otros. Por ello, no toda la madera utilizada en las actividades de construcción de una vivienda debe tener propiedades, especificaciones y requerimientos iguales, ya que éstas dependerán del destino que tendrá.

Además de sus aplicaciones en la construcción de casas, edificios y puentes, la madera se usa también para fabricar materiales compuestos, tales como contrachapada, tablas de partículas y papel.

Fuente: *Patologías y Protección de madera en servicio.*

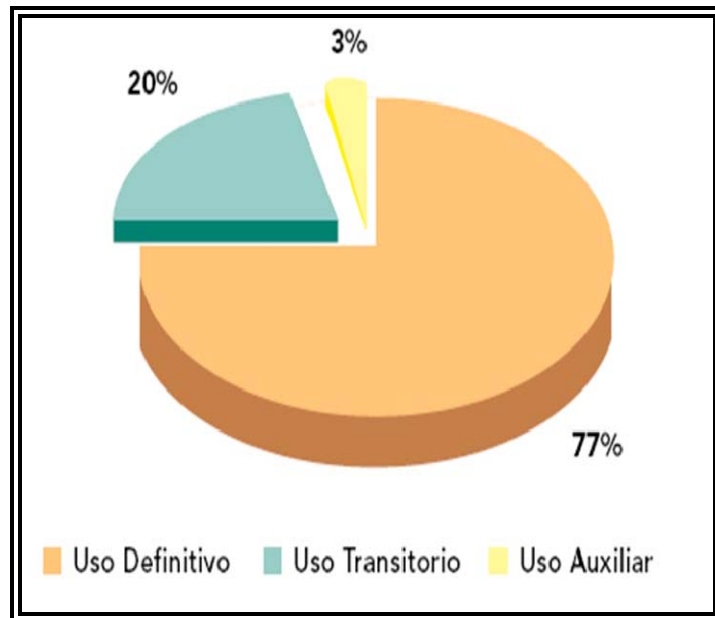


Figura 111: Distribución de volumen de madera utilizado en viviendas de construcción tradicional

CUESTIONARIO

1. Por qué es importante conocer el contenido de humedad en las maderas?

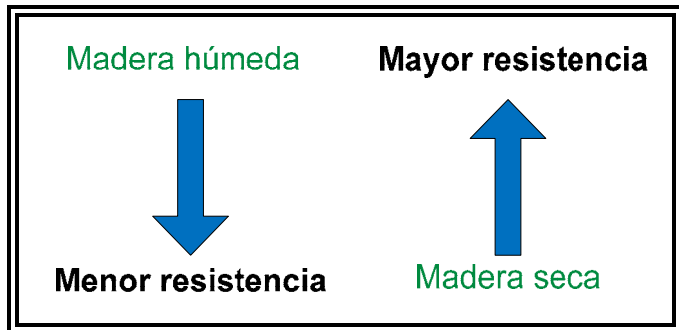
Es de vital importancia conocer el contenido de humedad en una madera, especialmente cuando su uso es para la construcción, debido a que la madera en su estado natural almacena grandes cantidades de agua en su estructura porosa, si este contenido de humedad no es retirado debidamente o previsto para el diseño, la estructura que soporte la madera sufrirá importantes deformaciones debidas a la expansión y contracción de sus fibras dependiendo de las condiciones ambientales, la madera entrega al medio agua libre contenida en sus cavidades, y luego agua adherida por capilaridad a las paredes celulares. Cuando el intercambio de humedad que produce el medio ambiente cesa, se dice que la madera ha alcanzado un punto denominado humedad de equilibrio. De ahí la importancia del curado de la madera.

2. Si va a ensayar materiales de los que desconoce si son isotrópicos o anisotrópicos. ¿Qué información adicional se entregaría con los resultados de resistencia?

Se debe aplicar cargas en diferentes direcciones y comparar los resultados obtenidos, ya que los materiales isotrópicos son los que tienen igual resistencia al ser sometidos a cargas en diferentes direcciones, y los anisotrópicos son los que no soportan carga de igual manera en todas sus direcciones, es decir, su resistencia varía de acuerdo a donde a donde se aplíquela carga.

3. Si al ensayar probetas de madera se someten a secado intenso antes que a la probeta de resistencia. ¿qué diferencia hay cuando la madera trabaja en un ambiente húmedo?

Cuando la madera se encuentra húmeda tiene menor resistencia a cuando esta se encuentra seca por lo que se dice que la madera es un material higroscópico (su resistencia varía de acuerdo a su contenido de humedad).



6. MATERIALES METÁLICOS

Los Metales componen una escala de los elementos químicos que se caracterizan por ser excelentes conductores del calor y la electricidad. Metal se refiere a elementos puros, y algunas veces a las aleaciones con características metálicas como el acero y el bronce.

El desarrollo de la industria ha estado a fin con los avances conseguidos en la industria de los metales. Y ésta es una de las razones por las que hoy se debe conocer sobre los materiales fabricados por metales, y su gran importancia en el mundo de la construcción.

Fuente: www.arqhys.com

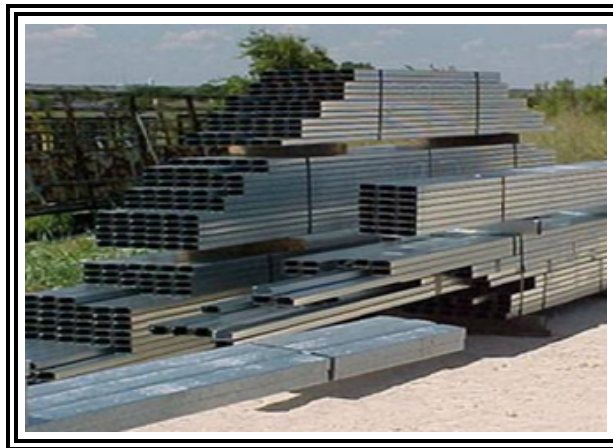


Figura 112: Acero laminado

6.1 Generalidades

Los metales se clasifican en dos clases; aleaciones y metales ferrosos, los cuales poseen un contenido de hierro alto, como el acero y hierro fundido, así como los que no contienen hierro o contienen muy poco.

Algunos de los metales no ferrosos son el aluminio, el cobre, el zinc, el titanio y el níquel. Las aleaciones ferrosas y no ferrosas son muy importantes por su empleo y producción de aceros y hierros fundidos.

Industrialmente los metales son utilizados en diferentes medios como la aeronáutica, en biomedicina, electrónica, energética, estructuras civiles y transporte.

Constantemente los científicos e ingenieros de materiales investigan en posibilidad de crear nuevas aleaciones con excelentes propiedades de fuerza, resistencia a altas temperaturas, deformación y fatiga.

Alrededor de 1961 se empezó a utilizar el término super-aleación, establecido de níquel y hierro-níquel que generaban mayor rendimiento a temperaturas elevadas (540 ° C) y por niveles de esfuerzo muy altos.

En la biomedicina se usaron varias aleaciones metálicas de titanio, acero inoxidable y las basadas en cobalto, para implantes ortopédicos, válvulas cardiacas, dispositivos de fijación y tornillos, brindando éstos materiales resistencia, dureza y bio-compatibilidad.

Las técnicas de elaboración empleadas para la fabricación de los materiales, son también mejoradas. El prensado iso-estático en caliente y el forjado iso-térmico, han evolucionado brindándole mejor resistencia a la fatiga de numerosas aleaciones.

6.2 Propiedades físicas y químicas

Los Metales son sustancias inorgánicas conformadas por uno o varios elementos metálicos. Algunos materiales metálicos contienen elementos no metálicos.

Los átomos de los metales conforman una estructura cristalina muy ordenada.

Los metales son excelentes conductores térmicos y eléctricos, son resistentes, dúctiles a temperatura ambiente y poseen una elevada resistencia aún a temperaturas altas.

6.3 Enlace metálico

“Llamado también enlace electrónico debido a que los electrones de valencia (electrones de niveles incompletos) son compartidos libremente por todos los átomos en la estructura. La mayoría de los metales puros tienen estructuras compactas, las que pueden tener muchos planos de deslizamiento. Esto se refleja en las altas ductilidades que se pueden obtener (40 a 60%). Cuando se trabaja con aleaciones la diferencia en tamaño entre átomos causa alteraciones en el deslizamiento por lo que la ductilidad decrece (5 a 20%). Otra cualidad importante del enlace metálico es que permite una fácil conducción de la electricidad”³⁴.

Fuente: <http://es.wikipedia.org>

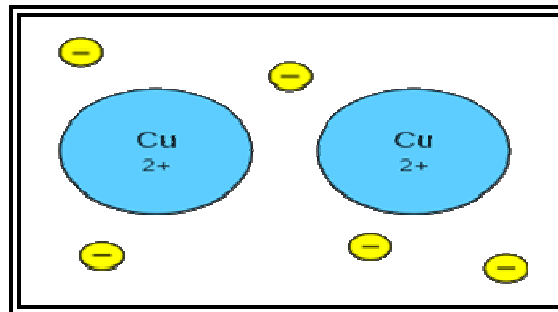


Figura 113: Enlace metálico del cobre

6.4 Estructura de los metales y aleaciones

Los metales puros no tienen una forma exterior definida, pero sus átomos están muy ordenados, en formas geométricas, y ésta es una de las razones por las cuales poseen características metálicas. Su estructura está constituida por tres

³⁴ SMITH, WILLIAM F y JAVAD, HASHEMI. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4^{ta} Edición. México: McGraw Hill/Interamericana de España S.A.U. 2006. Capítulo 6.

estructuras superpuestas: La estructura cristalina, la estructura granular y la estructura macrográfica.

Los cristales de *la estructura cristalina* son de 10^{-8} cm y debido a su tamaño se hace necesario estudiarlos por métodos como el de difracción de rayos X.

El elemento principal en *la estructura granular* es el grano, creado por la agrupación de cristales. Sus dimensiones están entre 0.2 a 0.02 mm, y son observados necesariamente por microscopio metalográfico.

La fibra es el elemento primordial de *la estructura micográfica*, la cual se crea al alargarse y estrecharse los granos cuando se laminan los metales. Se pueden observar a simple vista.

6.4.1 Estructura cristalina

En el cristal, se encuentran los átomos de los metales, ubicados ordenadamente en los puntos o nudos de la red espacial.

La red cúbica centrada, la red cúbica centrada en las caras y la red hexagonal, son las tres redes espaciales en las cuales los metales cristalizan.

Fuente: www.ucm.es/

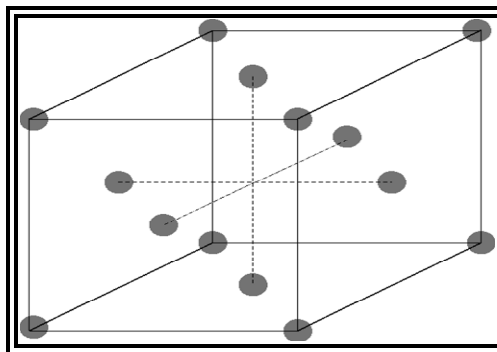


Figura 114: Red cúbica centrada en las caras

Como se observa en la figura 115 en *la red espacial cúbica centrada*, los átomos se encuentran ubicados en el centro del cubo y en los vértices. Constituido de dos átomos, uno en el centro y otro en el vértice, se encuentra su cristal fundamental.

Su número de coordinación es 8, ya que en cada vértice es común a ocho cubos y a cada uno de los cubos le corresponde 1 átomo de vértice.

En la red cúbica centrada en las caras, los átomos se encuentran en los vértices y en el centro de cada una de las caras de un cubo. Su cristal está constituido por 4 átomos, uno en el vértice y tres de cara, y cada cara es común a dos cristales y 6 caras. Su número de coordinación es 12.

En la red hexagonal compacta, como la de la figura 116, los átomos están ubicados en los vértices de un prisma recto de base hexagonal, en los centros de sus bases y en los centros de los tres triángulos equiláteros

Y, por fin, la red hexagonal compacta, los átomos están situados en los vértices de un prisma recto de base hexagonal, en los centros de sus bases y en los centros de los tres triángulos equiláteros no contiguos instalados en una sección recta a mitad de la altura del prisma³⁵.

Fuente: www-fen.upc.es

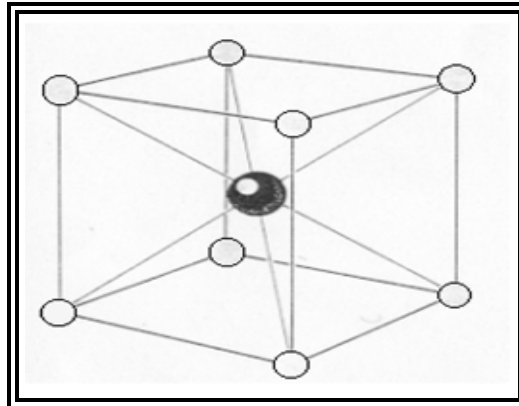


Figura 115: Red hexagonal compacta

³⁵ LASHERAS Y ESTEBAN, Jose maria. Tecnología del Acero. 2^{da} edición. Barcelona: Imprenta y litografía Octavio y felez, S.L. Cuellar, 1967.

6.5 El proceso de metales y aleaciones.

Fuente: Los Autores

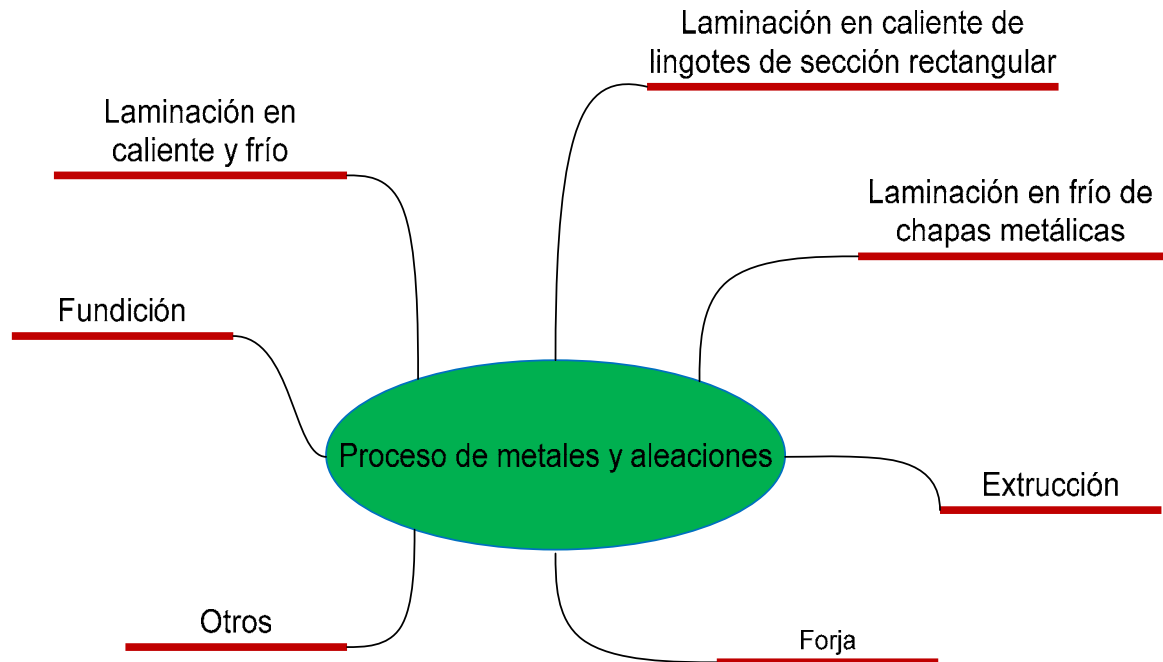


Figura 116: Formas de procesamiento de metales y aleaciones

6.5.1 La fundición de metales y aleaciones

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com>



Figura 117: Fundición de metales y aleaciones

Los metales se procesan fundiendo el metal en un horno y cuando ya está fundido se le puede agregar elementos de aleación para originar diferentes aleaciones.

Un ejemplo, al aluminio fundido se le puede añadir magnesio en estado sólido, se mezcla mecánicamente produciendo un líquido homogéneo en una aleación aluminio-magnesio. Se eliminan las impurezas de óxido de la aleación Al-Mg fundida, así como el gas hidrógeno no necesario, y después se cuela en el molde de una máquina de colada con enfriamiento directo. Así se producen lingotes en forma de plancha.

Con los lingotes de forma elemental se elaboran los productos semiacabados. Con la laminación de lingotes en forma de plancha se realizan las chapas y las placas. Los productos aleados de forja (canales, perfiles estructurales) son los elaborados en trabajo del metal en caliente o frío a partir de lingotes grandes.

Cuando el metal ya está fundido, se puede introducir en un molde, para darle la forma del producto final. Así al resultado de éste procedimiento se le denomina fundición y las aleaciones utilizadas para producirlo, aleaciones para fundición³⁶.

6.5.2 Laminación en caliente y en frío de metales y aleaciones

La laminación en caliente y la laminación en frío son métodos que se usan comúnmente en la fabricación de metales y aleaciones. Mediante estos métodos se pueden producir chapas y las placas de gran longitud y con secciones transversales uniformes.

³⁶ SMITH, WILLIAM F y JAVAD, HASHEMI. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4^{ta} Edición. Ciudad: McGraw Hill/Interamericana de España S.A.U. 1998. Capítulo 6.

Fuente: www.Wikipedia.com

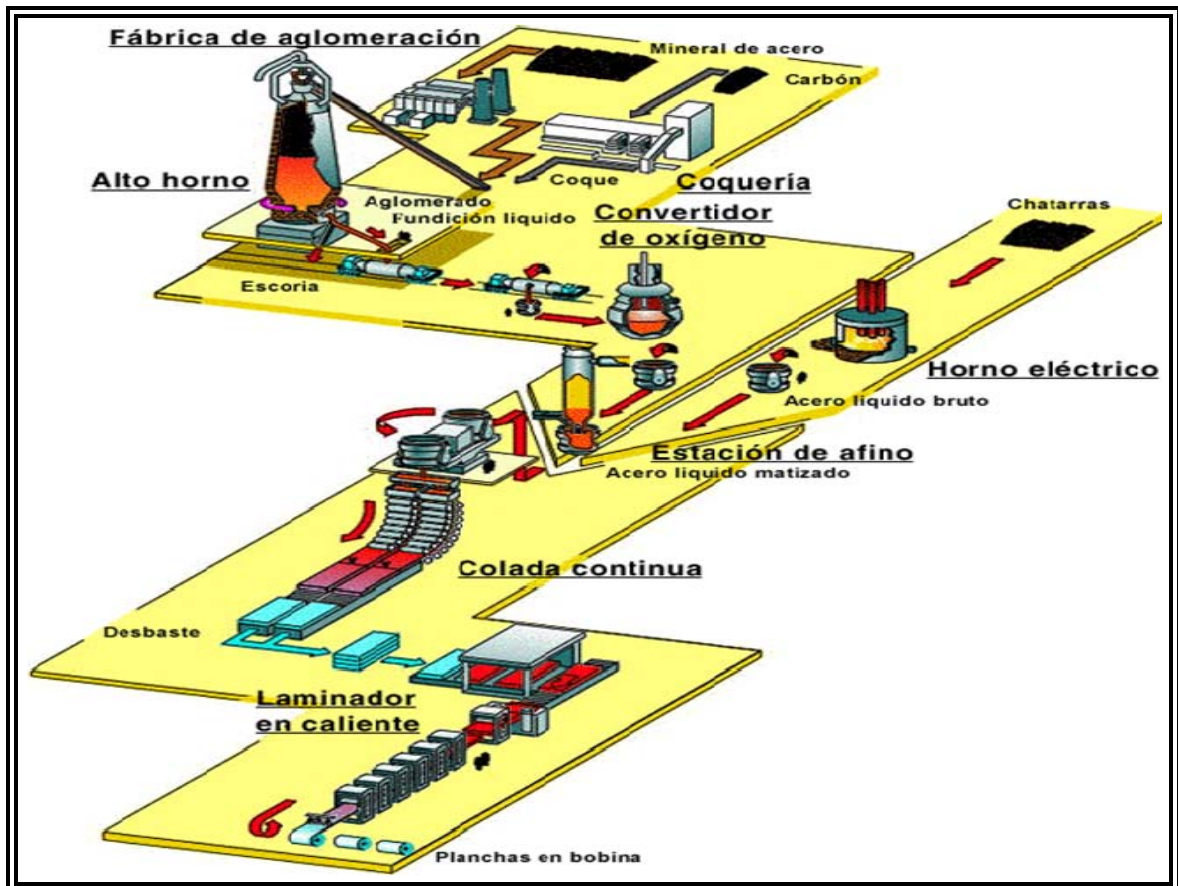


Figura 118: Proceso de laminación en caliente

6.5.4 Laminación en caliente de lingotes de sección rectangular

En la laminación de los lingotes de sección rectangular, se debe aprovechar que el metal se encuentra en caliente para producirle una reducción del espesor mayor, a cada pasada por el laminador. Los planchones se recalientan a altas temperaturas para la laminación en caliente en un tren de laminación de desbaste reversible. La laminación sigue hasta que disminuye la temperatura del planchón hasta el punto en que es muy complicado seguir laminando. Se recaliente de nuevo el planchón y la laminación continúa, hasta que la banda obtenida es tan delgada, que pueda ser enrollada en forma de bobina.

6.5.5 Laminación en frío de chapas metálicas

Cuando ya se termina la laminación en caliente, que puede ser también en frío, se les aplica a las bobinas de metal un tratamiento térmico, para reblandecer el metal y eliminar el trabajo en frío introducido en el momento de la laminación en caliente. Ésta laminación en frío se realiza a temperatura ambiente, y se hace en laminadores de 4 rodillos solos o en serie.

Mediante la siguiente ecuación se puede determinar el porcentaje de reducción en frío:

$$\% \text{ reducción en frío} = \frac{\text{Espesor inicial del metal} - \text{Espesor final del metal}}{\text{Espesor inicial del metal}} \times 100\%$$

6.5.6 Extrusión de metales y aleaciones

Fuente: www.anexpa.org

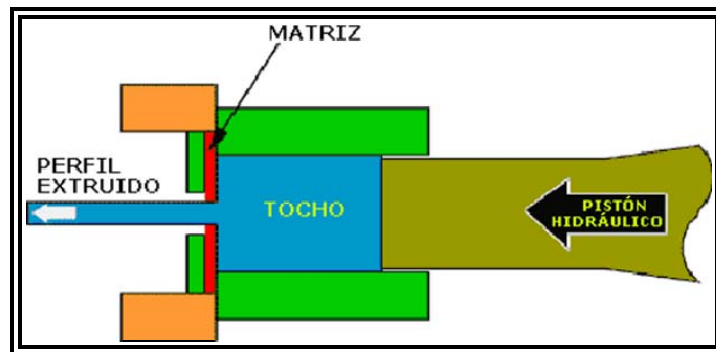


Figura 119: Esquema de la extrusión directa

Éste proceso de extrusión es de conformado plástico, donde se somete el material a alta presión y se reduce su corte transversal cuando es sometido a pasar por una abertura o tamiz de extrusión.

La extrusión es utilizada para originar barras cilíndricas o tubos. Para crear formas con corte transversal, en materiales manejables como aluminio, cobre y algunas de sus aleaciones.

Generalmente los metales se extruyen en caliente, ya que en éstas condiciones la resistencia del metal es menor en comparación cuando se hace en frío.

Son dos los métodos de extrusión: directa e indirecta. En la extrusión directa, se ubica el tocho de metal en el interior del contenedor de la prensa de extrusión y

Los dos principales procesos son la extrusión directa y extrusión indirecta.

En la extrusión directa, el tocho de metal se coloca en el interior del contendor de la prensa de extrusión y el pistón lo obliga a pasar por la matriz.

En la extrusión indirecta, se empuja la matriz al otro extremo del contenedor de la prensa de extrusión cerrada por una placa. En éste proceso, las fuerzas de fricción y la potencia que se necesitan son mucho menores que en el proceso de extrusión directa.

Mediante la extrusión se fabrican barras, tubos y formas irregulares de metales no ferrosos de bajo punto de fusión (cobre, aluminio, aleaciones)³⁷.

Fuente: www.anexpa.org

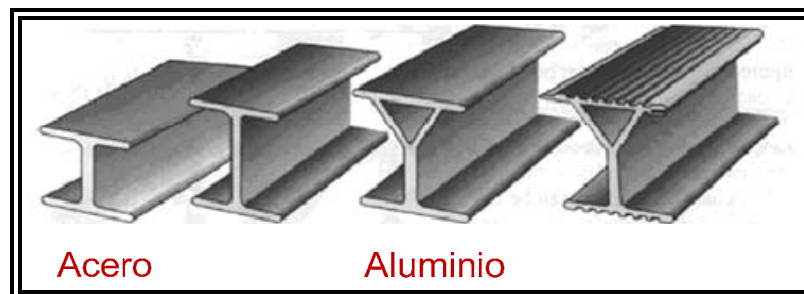


Figura 120: Diseño de extrusiones con rigidez mejorada

³⁷ SMITH, WILLIAM F y JAVAD, HASHEMI. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4^{ta} Edición. Barcelona: McGraw Hill/Interamericana de España S.A.U. 1998. Capítulo 6.

6.5.7 Forja

Otro método de conformado de metales en formas utilizables es el de la forja, en el cual, el metal es golpeado hasta la forma que se quiere. La mayoría de las veces se lleva a cabo con el metal caliente, pero se puede realizar inclusive con el metal frío.

El proceso de forja se puede realizar de dos maneras: con martillo y con prensa. En la forja con martillo, éste golpea muchas veces la superficie del metal. En la forja con prensa, se somete el metal a una fuerza compresiva que se altera lentamente.

La matriz abierta y la matriz cerrada son otros de los procesos en los que se puede catalogarse la forja. La forja de matriz abierta se realiza entre dos matrices planas y se usa para elaborar grandes piezas de acero para turbinas de vapor y generadores. En la forja de matriz cerrada, se instala el metal entre las dos partes de la matriz, una con la forma de la parte superior de la pieza que se quiere conseguir y la otra con la parte inferior.

El proceso de forja se emplea en la elaboración de formas irregulares donde se solicite trabajo para perfeccionar la estructura del metal al disminuir la porosidad y refinar la estructura interna.

En ocasiones se usa la forja para romper la estructura colocada en metales muy aleados, para que el material último sea mucho más homogéneo y resistente a fracturas.

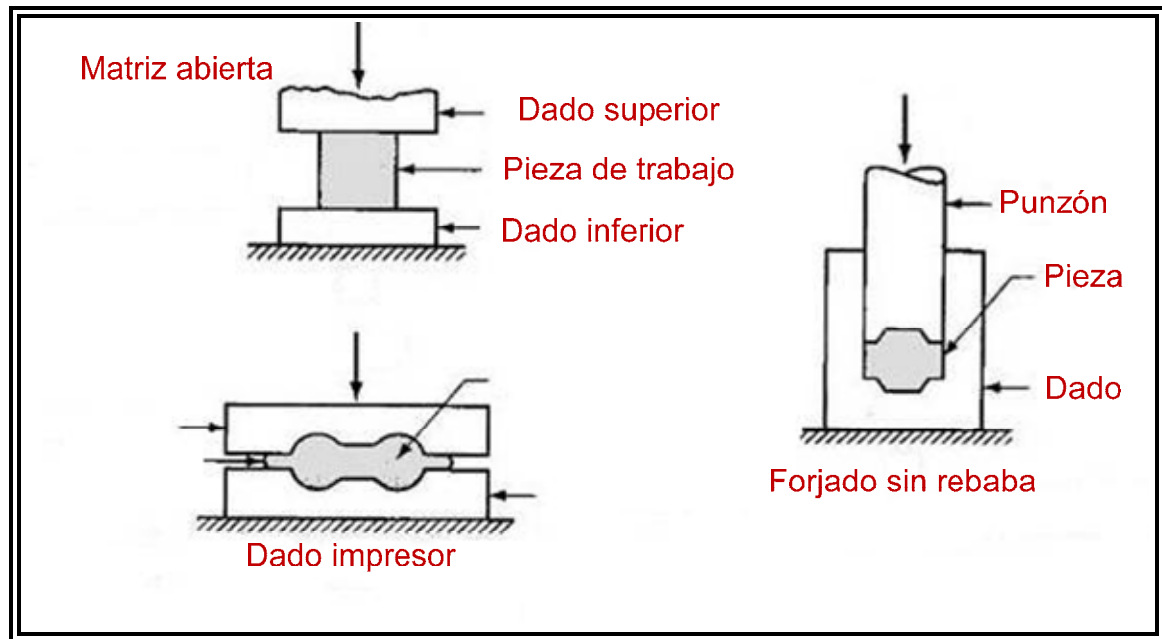


Figura 121: Tipos de forjado

6.5.8 Otros procesos de conformado de metales

También existen otros procesos secundarios de conformado de metales.

El trefilado es uno de ellos. En el trefilado de alambre, se reduce dentro del diámetro de una barra mediante un injerto de carburo de wolframio insertado en una camisa de acero. El carburo proporciona la resistencia al desgaste que se requiere para la reducción del alambre de acero. En los casos que el alambre endurezca mientras el procesado, se aplica un tratamiento térmico de reblandecimiento.

La embutición profunda es uno de los procesos secundarios de conformado de metales. Se emplea para elaborar artículos con forma de copa desde chapas de metal.

6.6 Deformación y tensión de los metales

6.6.1 Deformación plástica y elástica

La deformación del metal se presenta generalmente cuando se somete el metal a una fuerza de tracción uniaxial. Cuando se elimina la fuerza sobre el metal y éste recupera sus dimensiones originales, el metal ha sufrido una deformación elástica. En el momento de la deformación elástica, los átomos del metal se trasladan de su posición original y alcanzan una nueva, y cuando se suspende la fuerza sobre el metal, los átomos regresan a sus posiciones iniciales, por esta razón los metales soportan una deformación elástica pequeña. Pero si el metal sufre una deformación muy grande, tal que es imposible recuperar sus dimensiones originales, se considera que ha sufrido una deformación plástica.

La deformación a la que puede someterse el acero deja fabricar muchos elementos, sin dejar fracturar el metal³⁸.

6.6.2 Coeficiente de Poisson

El cambio de las dimensiones laterales de un metal ocurre cuando hay deformación elástica longitudinal. Se puede representar mediante la siguiente relación:

$$\nu = \frac{\epsilon \text{ (lateral)}}{\epsilon \text{ (longitudinal)}} = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

Para materiales ideales el coeficiente de Poisson es de 0.5.

En materiales reales el coeficiente de Poisson se encuentra alrededor de 0.25 y 0.4.

³⁸ SMITH, WILLIAM F y JAVAD, HASHEMI. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4^{ta} Edición. Barcelona: McGraw Hill/Interamericana de España S.A.U. 1998. Capítulo 6.

En la tabla 52 se presentan los valores del coeficiente de Poisson de algunos metales y aleaciones.

Tabla 52: Valores de Poisson para diferentes metales y aleaciones

Material	Coef. Poisson
Titanio	0.34
Cobre	0.33
Aluminio aleado	0.33
Acero inoxidable	0.30-0.31
Acero	0.27-0.30
Hierro colocado	0.21-0.26

Fuente: Fundamentos de la ciencia y la ingeniería

6.6.3. El ensayo de tracción y el diagrama tensión-deformación convencional.

Fuente: Fundamentos de la ciencia y la ingeniería

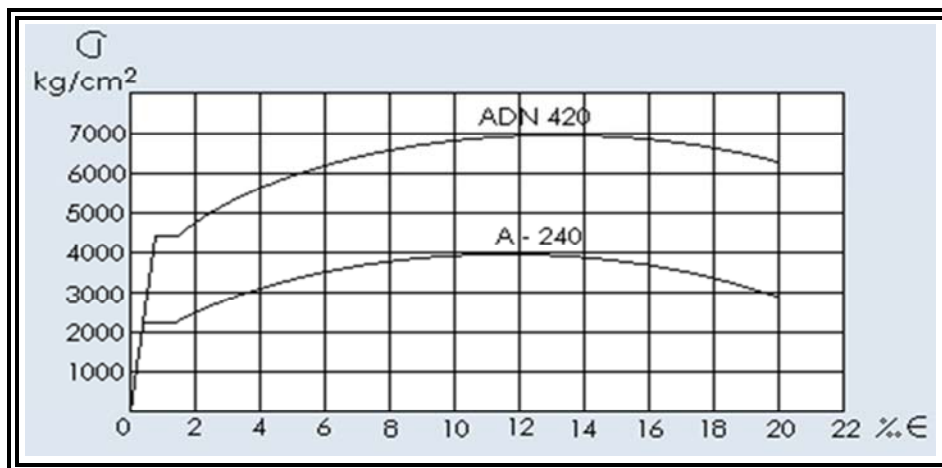


Figura 122: Diagrama tensión-deformación

Mediante una muestra de metal, que se estira a velocidad constante hasta ocasionar una fractura, en un tiempo corto, se realiza el ensayo de tracción, el cual se emplea para valorar la resistencia de metales y de aleaciones.

Son diferentes las clases de probeta que se usan en los ensayos de tracción. En los metales de sección transversal gruesa, generalmente se utilizan probetas de 0.5 pulgadas de diámetro. En metales de sección transversal delgada se emplean probetas planas.

En el gráfico de la máquina de ensayo se encuentran los valores de fuerza, los cuales se pueden utilizar en valores de tensión convencional, para elaborar un diagrama tensión-deformación convencional, como el que se observa en figura 67.

6.7 Aleaciones Hierro-carbono

Generalmente el hierro es usado en la industria conformando aleaciones, y más comúnmente como carburo de hierro (CFe_3).

Su composición química, estructura, y constitución, son algunas de los factores que caracterizan las aleaciones hierro-carbono.

6.7.1 Composición de las aleaciones hierro-carbono

Ésta aleación llamada también hierro-carburo de hierro, contiene carbono en forma de carburo de hierro CFe_3 , excluyendo solo un porcentaje pequeño de ferrita. El carbono crea una solución sólida en el hierro, cuando se disgrega el carburo de hierro a causa de temperaturas altas.

Los aceros se forman con un contenido de carbono comprendido entre el 0.03 y 1.76%. Dentro de las limitaciones de carbono en los aceros, se pueden alea con otros elementos, para crear los denominados aceros aleados o especiales.

En general, los aceros pueden ser forjados y esta característica los hace muy importantes.

Cuando el porcentaje de carbono es mayor a 1.76%, las aleaciones hierro-carbono se designan como fundiciones. Las fundiciones no son forjables.

6.7.2 Clasificación de acuerdo con el contenido de carbono

De acuerdo al contenido de carbono, los aceros se clasifican:

Hierro en lingote: Fabricados con el menor porcentaje de carbono posible y demás otros elementos de aleación. Son usados para láminas.

Acero extra-suave o muy suave: Contiene un porcentaje de carbono entre 0.08 a 0.18%. Utilizado por su ductilidad, tenacidad, soldabilidad, además cuando se solicita labrado en frío.

Grado estructural dúctil: Contiene un porcentaje de carbono de 0.15 a 0.29%. son usados para construcción de edificios, puentes, tornillos, pasantes, calderas.

Grado medio: Su contenido de carbono está entre 0.25 a 0.35%. se puede forjar en caliente. Es muy utilizado en la construcción de barcos y maquinaria.

Grado medio duro: Contiene un porcentaje de carbono entre 0.35 a 0.65%.

Grados para resorte: Su contenido de carbono es de 0.85 a 0.65%.

Aceros de alto carbono para herramienta: Presentan un porcentaje de carbono entre 1.05 a 1.20%

6.7.3 Propiedades de los aceros

En presencia del carbono, el hierro adquiere unas características de dureza y resistencia, pero dispuestas a un rotura frágil.

La conducta del acero es lineal y elástica hasta la fluencia, y de ésta manera es más fácil imaginarse su comportamiento.

Estructuralmente se ha servido de cualidades del acero como su alta resistencia en tensión, aprovechadas en el concreto reforzado y presforzado. Su mantenimiento es permanente debido a que es atacado por la corrosión.

Las siguientes son las propiedades que posee el acero:

- *Elasticidad / plasticidad:* En los aceros, los ensayos de tracción brindan las relaciones entre tensión y deformación, y se logra observar la conducta elástica o plástica en función de determinados valores de carga:
 - Rango elástico

Las relaciones entre tensión y deformación en éste fase son lineales (se cumple la ley de Hooke) y se recuperan las deformaciones iniciales una vez se elimina la carga.

La pendiente de la recta tensión-deformación en el rango elástico, llamado Modulo de elasticidad.

Fuente: www.edisonchoa.netfirms.com

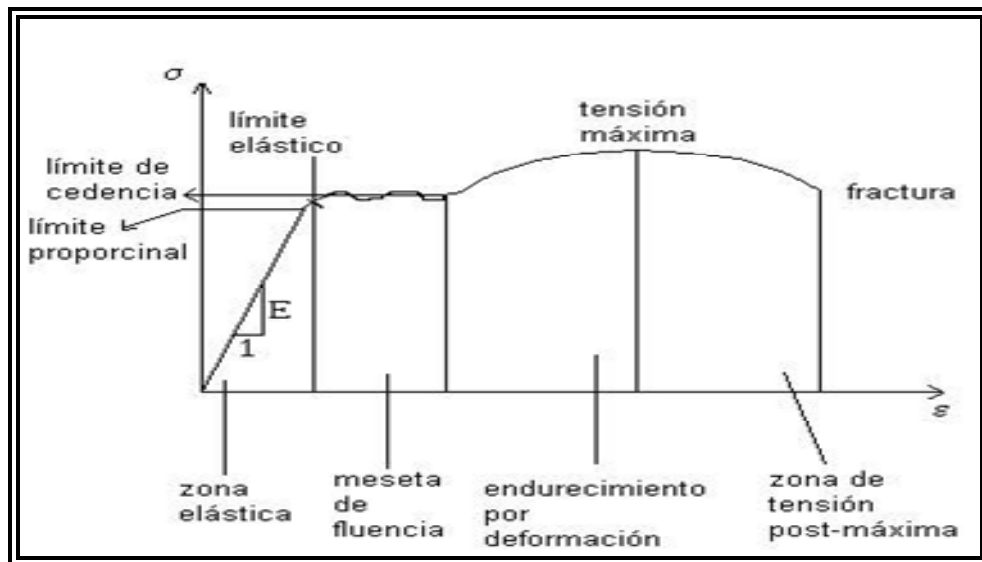


Figura 123: Gráfica tensión –deformación

- **Resistencia al desgaste:** Es la resistencia que proporciona el acero a dejarse erosionar siempre que se encuentre en contacto de fricción con otro material.

- Tenacidad: Cuando el acero absorbe energía sin generar fisuras.
- Maquinabilidad: Habilidad que tiene el acero de admitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.
- Dureza. Es la resistencia que proporciona el acero para dejarse penetrar. Ésta se puede medir en unidades BRINELL (HB) ó unidades ROCKWEL C (HRC), mediante test del mismo nombre.

6.7.4 Aceros inoxidables

6.7.4.1 “Ferríticos

- *16% Cromo y 0.10% carbono. Resistente a la corrosión atmosférica y a la acción del ácido nítrico.*
- *27% Cromo y 0.10% Carbono. Extra fuerte pero muy frágil.*

6.7.4.2 Austeníticos

- *18/8 > 18% de Cromo, 8% Níquel y (0.15-0.18%) Carbono. Es el más adecuado en construcción. Se fabrica en las variantes:*

18/8 con 0.08% de Carbono

18/8 con 0.08% de Molibdeno

18/8 con 1-2% de Silicio

- *25/12 > 25% de Cromo y 12% de Níquel*
- *25/20 > 25% de Cromo y 20% de Níquel*
- *20/25 > 20% de Cromo y 25% de Níquel*
- *Aceros al Cromo-Manganeso*

6.7.4.3 Martensíticos

- *Acero inoxidable extra-suave con un contenido de cromo del 13%*

- *Acero de cuchillería: muy duros, contienen 0.3% de carbono y del 12 al 14% de Cromo*
- *Martensíticos duros: 17% de Cromo y 0.5% de Molibdeno*
- *Martensíticos al cromo-Níquel: 12 al 16% de Cromo y 1.5-3% de Níquel*

6.7.4.4 Acero corten

Es un acero de baja aleación C<0.18% cuya superficie se oxida inicialmente, concluyendo el proceso de corrosión al poco tiempo y evitándose la oxidación completa, gracias a la protección que supone la capa de óxido.

Tabla 53: Composición química del acero corten

Composición Química (%)	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu	Al	Nb
Acero Corten	< 0.18	0.75-1.50	< 0.5.	< 0.04	< 0.04	< 0.8	< 0.55	< 0.08	< 0.06

Fuente: Tecnología del concreto

Las características mecánicas serán:

Tabla 54: Características mecánicas del acero corten

Características Mecánicas	R, Kg/mm ²	L-E Kg/mm ²	A %	Dureza Brinell	Resilencia
	< 49	< 35	< 20	160-190	2.8 Kg

Fuente: Tecnología del concreto

Ahora bien, el acero corten en zonas perpetuamente húmedas, presenta signos de inestabilidad frente a la corrosión. Debe de estar seco, de lo contrario prosigue la corrosión.

6.7.4.5 Aceros al carbono

No contiene elementos de aleación. Contiene carbono en un porcentaje del 0.10 al 1.40% y Manganeso del 0.25 al 0.60%

6.7.4.6 Aceros aleados

- *Aceros deformables: Con el 12% de Cromo, son muy poco deformables y los más duros.*
- *Aceros resistentes al choque para trabajos en frío.*
- *Aceros al Cr-W muy tenaces.*
- *Aceros resistentes al choque para trabajos en caliente.*
- *Con contenido variable de Wolframio.*
- *Aceros para herramientas de corte*
 - Al wolframio*
 - Al vanadio*
 - Al cromo*
- *Aceros inoxidable para herramienta*

6.7.5 Productos comerciales del acero.

6.7.5.1 Productos laminados básicos

- *Fleje: perfil plano menor de 4mm de espesor y 200mm de ancho.*
- *Pletina: perfil de 4 a 10 mm de espesor y 200 mm de ancho-*
- *Llanta: perfil de sección rectangular de 4 a 100 mm de espesor y 200 mm de ancho.*
- *Plano ancho: perfil de 6 a 20 mm de espesor y 200 a 600 mm de ancho con un largo máximo de 12 mm.*
- *Chapa negra: perfiles planos que exceden de 600 mm de ancho.*
- *Chapa fina: tiene espesores de 0.4 a 2.7 mm y anchos de 1.25 m. el largo varía de 2.5 a 5 m.*
- *Chapa media y gruesa: tiene de 3 a 35 mm de espesor, 1 a 2,6 m de ancho, y 5 a 16 m de longitud.*

- *Hojalata: son chapas negras recubiertas de una película de estaño.
El espesor varía de 0.2 a 0.4 mm y las medidas:
712x508 mm – 635x432 mm – 508x355 mm*

6.7.5.2 Perfiles estructurales laminados en caliente

Se obtienen por laminación de aceros dulces soldables y se designan además por la forma de la sección, por la dimensión de su altura o ancho. Se fabrican en largos de 4 a 16 m.

- *Perfil en ángulo L (de lados iguales o desiguales)*

Si los lados son iguales reciben el nombre de perfil L, si son desiguales se denominan LD.

- *Perfil UPN*

Su forma responde aproximadamente a una U³⁹.

6.8 Usos de los metales

Constructivamente ningún metal se utiliza en su forma elemental pura. El acero por ejemplo, utilizado en la mayoría de las estructuras, adquiere diferentes características en base a su contenido de carbono que posea. Casi todos los metales se usan como aleación o como compuestos.

Los metales radioactivos y los del grupo de metales de tierras raras, no hasta hoy no se les ha asignado un uso en el campo de la construcción, pero con el tiempo, es casi seguro que aportarán algunas de sus características en ésta industria.

Aunque los metales de tierras raras, se utilizan para producir aceros y otras aleaciones, apropiadas para resistir altas temperaturas.

³⁹ LASHERAS Y ESTEBAN, Jose maria. Tecnología del Acero. 2^{da} edición. Barcelona: Imprenta y litografía Octavio y felez, S.L. Cuellar, 1967.

CUESTIONARIO

1. En la mayor parte de la aplicación industrial de los metales se consideran elásticos. ¿Qué significa?

Significa que cuando aplicamos determinadas cargas a los metales ocasionándoles ciertas deformaciones, éstos tienen la capacidad de regresar a su forma original. Aunque debemos tener en cuenta que existe un valor máximo para el cual el metal no volvería a su forma original.

2. ¿De qué dependen en una gran medida las propiedades resistentes y elásticas del hierro?

Depende del porcentaje de carbono que presente, debido a que la presencia de carbono modifica los enlaces atómicos y moleculares, dando lugar a distintas especies metalográficas.

3. ¿En qué consiste el proceso de forja?

Es un método de conformado de metales en formas útiles, donde el metal es golpeado o comprimido hasta la forma que se quiere. Puede hacerse con martillo o con prensa. Lo que hace en realidad éste método es mejorar la estructura del metal al reducir la porosidad y refinar la estructura interna.

4. ¿Qué diferencia al acero de una función hierro-carbono?

El acero tiene un contenido de carbono comprendido entre 0.03 y 1.76%, mientras en una fundición el contenido de carbono es mayor al 1.76%. El acero es forjable y las fundiciones no lo son.

7. MATERIALES CERÁMICOS

Los Materiales Cerámicos han sido seleccionados como los materiales más adecuados en muchas y diferentes aplicaciones, gracias a características deseables como elevada dureza, resistencia al desgaste, estabilidad química, resistencia a elevada temperatura y bajo coeficiente de expansión térmica.

Las composiciones químicas de estos materiales varían considerablemente, desde compuestos sencillos a mezclas de muchas fases complejas.

Los materiales cerámicos tradicionales están constituidos por tres componentes básicos: arcilla, sílice (pedernal) y feldespato. Como ejemplos de cerámicos tradicionales podemos encontrar ladrillos y tejas usados en la industria de la construcción y las porcelanas de uso en la industria eléctrica.

7.1 Propiedades físicas y químicas

Entre las propiedades de los materiales cerámicos se encuentra que son materiales inorgánicos formados por elementos metálicos y no metálicos, enlazados principalmente mediante enlaces iónicos y/o covalentes. Los materiales cerámicos también pueden ser cristalinos, no cristalinos o mezclas de ambos. La mayoría de los materiales cerámicos tienen una gran dureza y resistencia a las altas temperaturas pero tienden a ser frágiles (con poca o nula deformación antes de la fractura).

Las ventajas más destacadas de los materiales cerámicos para aplicaciones industriales son su peso ligero, gran resistencia y dureza, buena resistencia al calor y al desgaste, poca fricción y propiedades aislantes. Las cualidades aislantes, junto con la alta resistencia al calor y al desgaste de muchos materiales cerámicos, son una mezcla útil en revestimientos de hornos para tratamientos térmicos y fusión de metales como el acero. La búsqueda incesante de nuevos plásticos y aleaciones continúa dando su menor costo y buenas propiedades para muchas aplicaciones.

7.2 Generalidades

Generalmente se debe manipular la materia prima, prensarla para darle forma de ladrillo, de plancha o de magneto, y luego, desarrollar la estructura en la forma deseada calentándola. Se concluye que se debe a que la mayoría de los materiales cerámicos son demasiado duros para ser mecanizados y demasiados frágiles para ser trabajados en frío. Hay algunas excepciones para el tratamiento de la materia prima, tales como trabajar con máquina un material cerámico prensado antes de someterlo al fuego en la condición de “dureza del cuero”, y materiales blandos tales como el grafito y el nitruro de boro. También la capacidad de conformación del vidrio, mientras esté caliente, es en extremo útil. Al tomar nota de estas excepciones, se llega a la conclusión de que en la mayoría de los casos el empleo con buen éxito de un material cerámico, se debe a la producción de la pieza terminada y a la estructura deseada en una secuencia estrictamente organizada.

7.3 Estructura cristalina de materiales cerámicos sencillos

7.3.1 Enlaces iónicos y covalentes en compuestos cerámicos sencillos

A continuación se encuentran algunos compuestos cerámicos cuyas estructuras cristalinas son relativamente sencillas junto con sus puntos de fusión.

Tabla 55: Punto de fusión de los compuestos cerámicos

Compuesto cerámico	Punto de fusión °C	Compuesto cerámico	Punto de fusión °C
Carburo de hafnio	4150	Carburo de boro	2450
Carburo de titanio	3120	Óxido de aluminio	2050
Carburo de wolframio	2850	Dióxido de silicio	1715
Óxido de magnesio	2798	Nitruro de silicio	1900
Carburo de silicio	2500	Dióxido de titanio	1605

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los materiales

En los compuestos cerámicos anteriormente listados, el enlace es una combinación de los tipos de enlace iónico y covalente. Se pueden obtener mediante diferencias de electronegatividad entre los diferentes tipos de átomos, valores aproximados de los porcentajes de carácter iónico y covalente para los enlaces entre átomos en estos compuestos. Otra manera útil de determinar este porcentaje es usando la ecuación de Pauling para el porcentaje de carácter iónico.

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de carácter iónico o covalente y además su variación considerable en compuestos cerámicos sencillos. La relación de enlace iónico y covalente entre los átomos de estos compuestos es importante ya que determina, en alguna medida, qué tipo de estructura cristalina se formará en el compuesto cerámico.

Tabla 56: Carácter iónico y covalente de los compuestos cerámicos

Compuesto cerámico	Átomos enlazados	Diferencia de electronegatividad	% Carácter iónico	% Carácter Covalente
Dióxido de circonio	Zr-O	2,3	73	27
Óxido de magnesio	Mg-O	2,2	69	31
Óxido de aluminio	Al-O	2	63	37
Dióxido de silicio	Si-O	1,7	51	49
Nitruro de silicio	Si-N	1,3	34,5	65,5
Carburo de silicio	Si-C	0,7	11	89

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los materiales

7.3.2 Ordenaciones iónicas sencillas encontradas en sólidos con enlace iónico.

En los sólidos cerámicos iónicos el empaquetamiento de los iones se encuentra determinado principalmente por los siguientes factores.

1. Tamaño relativo de los iones en el sólido iónico (considerando estos iones como esferas compactas de radios definidos).

2. La necesidad de equilibrar las cargas electrostáticas para mantener la neutralidad eléctrica en el sólido iónico.

Cuando el enlace iónico entre los átomos tiene lugar en el estado sólido, las energías de los átomos disminuyen debido a la formación de los iones y sus enlaces dentro de un sólido iónico. Los sólidos iónicos generalmente tienden a tener sus iones empaquetados tan densamente como sea posible para disminuir la energía global del sólido en lo mínimo posible. Dos de las limitaciones del empaquetamiento compacto son los tamaños relativos de los iones y la necesidad de mantener la neutralidad de la carga.

7.4 Procesamiento de los materiales cerámicos

Fuente: Los Autores



Figura 124: Métodos de procesamiento de Materiales Cerámicos

En general el esquema de la figura 126 nos muestra el procesamiento de los materiales cerámicos.

Fuente: Universidad Industrial de Santander. Ingeniería Química



Figura 125: Proceso de los materiales cerámicos

7.4.1 Moldeado seguido por horneado

Con éste método de procesamiento de cerámicos, se da forma, empleando diversos métodos y luego se completa el proceso horneando para darle resistencia. La fundición por revestimiento es una técnica interesante y casi única en cuanto que una suspensión de arcilla en agua se vierte en un molde.

Generalmente el molde se hace de yeso, cuya porosidad es controlada, de modo que parte del agua de la suspensión disminuye y se forma un sólido suave. El líquido sobrante es eliminado y la forma hueca es retirada del molde. La unión en este punto es arcilla-agua. Luego la pieza es sometida al fuego. Aunque este método comúnmente se emplea para producción en pequeña escala, es muy importante porque actualmente se le utiliza para obtener formas con dispersiones finas de polvos de metal refractario sobre superficies curvadas. Se emplea una técnica similar para formar una capa refractaria en la parte exterior de los modelos

en cera. En este caso en particular el modelo se derrite y la matriz se somete al calor a fin de dejar una cavidad precisa en el material refractario para fundir el metal posteriormente.

La proporción plástica en húmedo se efectúa por métodos diversos. En uno de los casos se apisona un refractario húmedo en un molde y luego se emplea el método de extrusión para que salga en una forma determinada. En otro ejemplo, se utiliza la extrusión para obtener formas más sencillas, tales como las de un ladrillo o un tubo. La masa plástica se fuerza a través de un troquel para originar una formación alargada que luego se corta a la longitud deseada. Por otra parte, cuando el objetivo es formar figuras circulares tales como platos, es colocada una masa de arcilla húmeda en una rueda rotativa de alfarero y se la conforma con una herramienta.

Este antiguo procedimiento está ahora altamente mecanizado.

7.4.2 Prensado con polvo seco

Esto se logra relleno un troquel con polvo y luego prensándolo. Generalmente el polvo contiene algún lubricante, tal como ácido esteárico o cera. Se pueden lograr diversas formas al diseñar troqueles multiuniformes.

Después de haber realizado cualquiera de los procesos anteriores, la pieza “fresca” o “verde” es sometida al horneado. Mientras es calentada, se va eliminando el agua y los ligantes volátiles, los fundentes de bajo punto de fusión se funden y se unen al material refractario y la sinterización de los granos refractarios se lleva a cabo en un rango de temperaturas de 700 a 2000°C.

La sinterización proporciona la solución, puesto que la difusión del material hace que se establezca una verdadera unión entre los granos.

El prensado en caliente involucra paralelamente las operaciones de prensado y sinterización. Las ventajas obtenidas sobre el prensado en seco son: mayor densidad y tamaño más fino del grano. El inconveniente es obtener una duración

adecuada del troquel a elevadas temperaturas, para lo cual muchas veces son empleadas atmósferas de protección.

La compactación isostática es una manera muy particular de prensar polvos en un fluido compresible, para evitar la compactación no uniforme que a veces se observa en los troqueles. El polvo se encapsula en un recipiente que se pueda prensar (de caucho, por ejemplo) y es sumergido en un fluido presurizado. Las formas del recipiente y de los corazones removibles establecen la forma del prensado. El prensado puede ser en caliente o en frío.

7.5 Productos cerámicos

7.5.1 Ladrillo y baldo

Se detalla las características especiales de los productos cerámicos, iniciando con el ladrillo y productos de barro cocido para la construcción. Como base de éstos es empleada la arcilla de bajo costo y de fácil fusión, la cual goza de un alto contenido de sílice, álcalis, alto FeO , materiales arenosos que se encuentran en depósitos naturales. Los productos se fabrican por proceso seco o húmedo de prensado y luego se hornean a temperaturas relativamente bajas.

Las especificaciones son sencillas; comprenden únicamente resistencia a la compresión que va desde 2000 hasta 8500 lb/pulg² (13.8 a 58.6 MPa.) (Dependiendo del grado) y tolerancia de dimensiones.

La baldosa de construcción (no vitrificada), tubos de arcilla y tajas de desagüe se fabrican de manera similar.

Materiales refractarios y aislantes. Para los hornos y para las cucharas son empleados recubrimientos ya sean de ladrillos o monolíticos (apisonados en el sitio). Para manipular metales líquidos y escoria es fundamental distinguir entre refractarios ácidos, neutros y básicos. Generalmente, los refractarios compuestos de MgO y CaO se denominan “básicos”, debido a que las soluciones en agua son básicas. Los refractarios sustentados en SiO_2 producen soluciones ácidas muy

débiles. El efecto verdaderamente importante es que las escorias ácidas atacarán los refractarios básicos y viceversa.

Las características más trascendentales de estos ladrillos son la resistencia a la escoria, resistencia a los efectos de temperatura y capacidad aislante.

Los ladrillos ácidos son menos costosos, pero en numerosos hornos son empleadas escorias con alto contenido de CaO y MgO para refinar el metal (eliminar fósforo y azufre). Estas escorias reaccionan con SiO_2 formando materiales de bajo punto de fusión que erosionan los ladrillos. Por consiguiente, cuando son empleadas escorias básicas, los refractarios deben ser básicos.

casos intermedios se utilizan ladrillos de alúmina y cromita. Los recubrimientos de los hornos y de las cucharas se hacen con ladrillos o apisonando barro refractario fuerte en su sitio y calentándolo con una llama de gas o de coque.

El ladrillo aislante contiene mucho espacio poroso y, por consiguiente, no es tan resistente a la escoria como el recubrimiento de trabajo. El ladrillo aislante para temperaturas más bajas es fabricado de asbesto y mezclas de yeso.

7.5.2 Loza de barro, loza de piedra, loza china, loza de hornear y porcelana.

En este grupo se encierra una extensa diversidad de productos, desde las formas más sencillas de loza de barro hasta la loza de china y las cerámicas eléctricas.

En cada caso veremos primero las materias primas utilizadas para hacer los productos y luego, las reacciones que se presentan durante el proceso.

La loza de barro se hace de arcilla (caolín, por ejemplo), aunque en algunos casos están presentes sílice (SiO_2) y feldespato, como el $\text{K(AlSi}_3\text{)O}_8$. La característica relevante es que es sometida al fuego a baja temperatura, contrastada con la de otros productos de este grupo. Ello produce una fractura terrosa relativamente porosa.

Calidades más finas, llamadas loza semivítrea, son fabricadas empleando mezclas de arcilla-sílice-feldespato, las cuales son denominadas triaxiales, por la presencia

de estos tres ingredientes. La temperatura de cocido es mayor, obteniendo por resultado la formación de vidrio, menor porosidad y mayor resistencia. Todos los grados pueden ser no vidriados o cubiertos con un material separado que forme una superficie vidriosa, lo cual da una superficie lustrosa.

La loza de piedra difiere de la loza de barro en que se emplea una mayor temperatura de cocido, lo cual produce una porosidad menor del 5% comparado con el 5 al 20% de la loza de barro. Por lo general la composición se vigila más cuidadosamente que en la loza de barro y el producto no lustroso tiene el acabado mate de la piedra fina. En algunas variaciones, como los tan conocidos cacharros jaspeados Wedgwood, se les añade compuestos de bario.

Este es un excelente material para la loza de hornear, tanques para sustancias químicas y serpentines. En la práctica no lo atacan la mayoría de los ácidos pero los corroen los álcalis.

La loza china es obtenida cociendo la mezcla triaxial antes mencionada u otras mezclas a alta temperatura para conseguir un objeto traslúcido. Es así como un experto sostendrá un plato contra la luz para ver qué tan claramente se nota la sombra de una mano y confirmar con base en esto la calidad de la loza. La razón de la translucidez, es que una gran parte de la mezcla de cristales de cuarzo, arcilla y feldespato han sido convertidos en vidrio claro. A veces es empleada el término porcelana de “pasta suave”. La temperatura de cocido es menor que para la porcelana “dura” debido a que una pequeña cantidad de CaO está presente como fundente.

La “porcelana inglesa” tiene una composición diferente, contiene cerca de un 45% de ceniza de hueso (de huesos de ganado), 25% de arcilla y el resto feldespato y cuarzo. El fosfato de calcio de los huesos produce un material con menor punto de fusión y el grupo fosfato sustituye en parte la sílice como formadora de vidrio. Otra porcelana china muy conocida, “beleek”, es fabricada añadiendo vidrio como fundente a la mezcla original, que suministra gran translucidez al producto terminado.

Son interesantes las especificaciones para la loza de hornear y la resistente a la llama. Se ha encontrado que la cerámica con un coeficiente de expansión de cerca de $4 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$ soportará el calentamiento en un horno y el enfriamiento al aire, pero es necesario un coeficiente por debajo de $2 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$ para piezas en contacto directo con una llama, como en un sartén. Como consecuencia de ello, algunas composiciones triaxiales con coeficientes de aproximadamente $4 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$, se emplean en el horno de cocina. Para obtener los coeficientes bajos es necesario adicionar Li_2O , tal como se halla en el mineral espodumeno o cordierita.

La temperatura de cocción de la porcelana corresponde a la más alta temperatura del grupo y está muy relacionada con la loza china anteriormente mencionada, en general, la no utilización de fundentes y las temperaturas más altas dan como resultado un producto denso y muy duro.

Debido a que el sistema arcilla-sílice-feldespato es tan importante para todos estos productos.

Con el bajo punto de fusión de la porcelana dental, es viable fundir la mayoría de los dientes y convertirlos en un material translúcido semejante al de un diente verdadero.

7.5.3 Materiales cerámicos para uso eléctrico.

Los productos cerámicos eléctricos se dividen en aisladores grandes como los que se emplean en las líneas de alta tensión y componentes electrónicos pequeños como condensadores e imanes.

Los aisladores grandes son producidos por una porcelana triaxial, del 60% de caolín, 20% de feldespato y 20% de sílice. Se usa fundición por revestimiento especializada o conformado plástico. Son empleados vidriados especiales por tres razones. Primera, el vidriado endurece la superficie debido a que el coeficiente de expansión de la superficie vidriada es menor que el de la porcelana, y por lo tanto

el vidriado se pone en compresión por enfriamiento desde su temperatura de sinterización. Segunda, en algunos casos es empleada una superficie vidriada semiconductora para igualar la carga. Finalmente, es útil observar que una superficie vidriada disminuye la porosidad, una ventaja importante cuando el aislador va a utilizarse donde el agua pudiera filtrarse y causar un cortocircuito.

La producción de cerámicas electrónicas especiales, los ferro-eléctricos, tales como la espinela de cobalto hierro, es similar en muchas formas a la de los materiales cerámicos que usan el prensado en seco y horneado. En otros casos el procesamiento es otro debido a la necesidad de que los materiales sean de alta pureza y, generalmente, para evitar una fase vidriosa en la sinterización. Además de que las tolerancias dimensionales son en extremo limitadas en muchos cerámicos usados en piezas electrónicas, del orden de 0.005 pulgadas (0.127 mm).

El material más usual de uso electrónico, titanato de bario ($BaTiO_3$), es producido al reaccionar $BaCO_3$ y TiO_2 , con eliminación de CO_2 . Una pequeña cantidad de SiO_2 o Al_2O_3 (2%), que podría soportarse en un refractario normal, rebaja apreciablemente la constante dieléctrica. En la fabricación de condensadores para circuitos miniaturizados, hay cápsulas (oblas) que son prensadas o fundidas por revestimiento y que apenas tienen 0.008 pulgadas (0.203mm) de espesor. Después de hornearlo a 1300°C se imprime un circuito conductor en la superficie, el cual consiste en una mezcla plata-vidrio. Se adicionan resistencias que se imprimen en una mezcla de carbono. Luego la pieza es horneada a baja temperatura, se le sueldan conductores y se encaja la pieza en plástico o cera resistentes al agua. Se puede montar un circuito completo en una cajita más pequeña que un sello de correos.

En la producción de ferritas magnéticas con estructura de espinela, son mezclados óxidos puros tales como MnO , CaO y Fe_2O_3 en un mezclador y luego son horneados en un horno-túnel entre 650 y 1048°C, dependiendo de la composición para la reacción de estado sólido. Luego de haber obtenido el compuesto

deseado, se vuelve a moler el material. Se prensa y se sinteriza bajo condiciones cuidadosamente controladas ($\pm 1^\circ\text{C}$), a fin de controlar el tamaño del grano, el cual determina las características magnéticas.

7.6 Ladrillo

El ladrillo es una pieza cerámica, ortoédrica, que se obtiene por moldeo, secado y cocción a elevadas temperaturas de una pasta arcillosa (material sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina), caolín, montmorillonita, e illita.

7.6.1 Proceso constructivo del ladrillo

Obtención de la materia prima

La arcilla se puede obtener de diferentes formas, ya sea a las orillas de un río o simplemente en superficie, contándola en bloques.

Fuente: www.ladillospiramide.com



Figura 126: Obtención de la materia prima

Maduración

La arcilla debe someterse a tratamientos de trituración, homogeneización y reposos en acopio (reposo a la intemperie), para adquirir una adecuada consistencia y uniformidad. Así se podrá obtener un material inerte.

En seguida se somete a un proceso mecánico con el fin de purificar y refinar la materia prima y así se deposita el material en lugares especiales donde se homogeiniza totalmente.

Fuente: www.ladrillospiramide.com



Figura 127: Homogeneización de la materia prima

Moldeado

El material obtenido después de la maduración, se mezcla por las diferentes líneas de producción, donde cada línea tiene un molde diferente del ladrillo que se va a fabricar, y así el ladrillo es cortado en serie.

Fuente: www.ladriillospiramide.com



Figura 128: Moldeado del ladrillo

Secado

Es una etapa muy importante en el proceso de fabricación del ladrillo. En el secado se elimina el agua agregada en la fase de moldeado, mediante unos tendales donde circula aire, lo que ayuda al ladrillo a perder peso y tomar consistencia antes de ser llevados a los hornos. Éste proceso puede tomar alrededor de 30 días.

Fuente: www.ladriillospiramide.com



Figura 129: Secado del ladrillo

Cocción

La cocción se realiza en hornos donde la temperatura oscila entre 900 y 1000°C. De ésta forma es como el ladrillo adquiere su color naranja.

Fuente: www.ladillospiramide.com



Figura 130: Cocción del ladrillo

Despacho

Los ladrillos salen del horno en perfectas condiciones para ser llevados en obra.

Fuente: www.ladillospiramide.com



Figura 131: Despacho del ladrillo

7.6.2 Tipos de ladrillo

En la industria del ladrillo se encuentran gran variedad de referencias para diferentes usos constructivos.

Ladrillo estructurales

Los ladrillos estructurales son hechos con geometrías y diseños apropiados para alcanzar determinadas resistencias. No se refiere a ladrillos divisorios no estructurales.

Los ladrillos estructurales oscilan dentro de los siguientes rangos de resistencia:

Ladrillos normales: 250 kg/cm², promedio aproximado

Ladrillos de resistencia alta: 280 a 350 kg/cm²

Ladrillos recocidos de muy alta resistencia: 350 a 450 kg/ cm² ó más.

A continuación se muestran los ladrillos estructurales comúnmente utilizados.

Tabla 57: Tipos de ladrillos estructurales

LADRILLO ESTRUCTURAL	Dimensiones (en cms)	Peso (en Kg)	Unidades por Mt2
Ladrillo Estructural H1	24 x 12 x 6	2.50	57
Ladrillo Estructural H2	24 x 12 x 7.5	5.0	48
Ladrillo Estructural H3	29 x 15 x 9	5.80	33
Ladrillo Estructural H4	29 x 15 x 9	5.30	33
Bloque Estructural Helimódulo	25 x 25 x 12	7.00	16
Bloque Estructural N°5	33 x 12 x 12	8.20	12.5
Bloque Estructural Helibloque 12 cms	39.5 x 19.5 x 12	8.50	12.5

Fuente: www.colombiaexport.com

Ladrillos para mampostería

El ladrillo utilizado en mampostería tiene una resistencia a la compresión comprendida entre los 100 y los 300 kg/cm². Los pesos específicos aparentes de los fragmentos cerámicos oscilan entre 1.7 y 2.0 kg/dm³.

Éstos son algunos de los tipos de ladrillos de mampostería utilizados:

Tabla 58: Tipos de ladrillos estructurales

LADRILLO ESTRUCTURAL	Dimensiones (en cms)	Peso (en Kg)	Unidades por Mt2
Extrublock	29x 9.5 x 11	3.4	36
Terminal	29 x 9 x 14.5	4.2	34
Ladrillo Horizontal 7cm (H7)	30 x 20 x 7	4.75	15
Ladrillo Horizontal 10cm (H10)	30 x 20 x 10	5.9	15
Ladrillo Horizontal 12cm (H12)	30 x 20 x 12	7.00	15
Ladrillo Horizontal 15cm (H15)	30 x 20 x 15	7.7	15

Fuente: www.ladrillos y tubos.com

7.7 Usos y aplicaciones

Una importante aplicación de los cerámicos avanzados en la aeronáutica son las losetas cerámicas del transbordador espacial. Las losetas cerámicas están elaboradas con carburo de silicio gracias a la capacidad de éste material para actuar como escudo térmico y volver rápidamente a temperaturas normales al ser retirada la fuente de calor. Estos materiales cerámicos resguardan térmicamente la estructura interna del transbordador durante al lanzamiento y su regreso a la atmósfera terrestre. Otra aplicación de los cerámicos avanzados que apunta a la versatilidad, importancia y crecimiento futuro de esta clase de materiales en su empleo como material para herramientas de corte. Por ejemplo, el nitruro de silicio, que tiene alta resistencia al choque térmico y resistencia a la fractura, es un excelente material para herramienta de corte.

Las aplicaciones de los materiales cerámicos son en verdad inmensas, dado que se hace en las industrias aeronáutica, metalúrgica, biomédica, automotriz y muchas más. Las dos principales ventajas de ese tipo de materiales son 1) la dificultad para elaborar con ellos productos terminados, y por tanto su alto costo, y 2) son frágiles y, comparados con los metales, tiene baja tenacidad. Si avanzan más las técnicas para fabricar materiales cerámicos de gran resistencia a la tenacidad, estos materiales podrían tener un enorme repunte en el campo de las aplicaciones de ingeniería.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las características comunes a la mayoría de los materiales cerámicos?

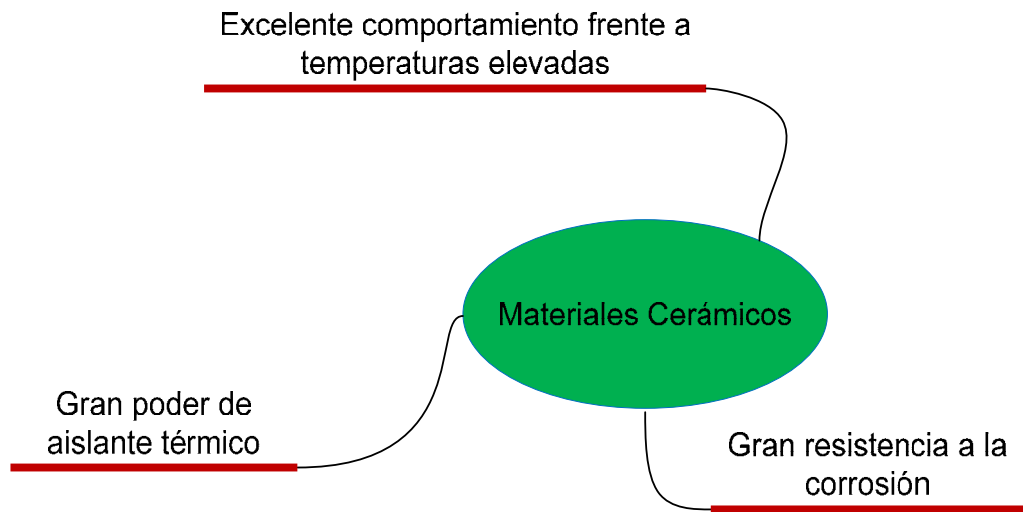


Figura 132: Características comunes de los Materiales Cerámico

2. ¿Qué finalidad tiene fabricar ladrillos con perforaciones?

La razón principal es para reducir su peso y el volumen del material utilizado en su fabricación. Aprovechando su bajo peso se construyen muros de mayor altura.

3. Mencione dos dificultades al utilizar Materiales Cerámicos.

- La dificultad para elaborar con ellos productos terminados, y por tanto su alto costo.
- Son frágiles y relatividad tiene baja tenacidad.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló éste material escrito, donde se logró recopilar los temas acordados en la asignatura de Materiales de Construcción, del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.
- En cada capítulo, se presenta una secuencia ordenada de los temas, para lograr ayudar al estudiante a desarrollar una comprensión completa de los diferentes tipos de materiales, usos y aplicaciones.
- Cada capítulo, presenta en primer lugar, la influencia de los Materiales de Construcción en el mundo, para después explicar su utilidad en el campo de la construcción.
- Los ejercicios de aplicación propuestos en los capítulos de Agregados Pétreos y Materiales Compuestos, han sido escogidos de situaciones próximas a la realidad y representados gráficamente, permitiendo al estudiante asociarlos al medio de la construcción.
- El cuestionario planteado al final de los capítulos de Aglomerantes Hidráulicos, Ligantes Bituminosos, Madera, Materiales Metálicos y Materiales Cerámicos, promueve la capacidad de razonamiento en el estudiante, aportando elementos de evaluación en el proceso de formación.

BIBLIOGRAFÍA

- BENITEZ ESPARZA, PEDRO LUIS. Técnicas Modernas en la Producción de Agregados Pétreos. FUNDEC A.C. 1986.
- HORNBOSTEL, Caleb. Materiales para construcción, Usos y Aplicaciones. 1^{ra} Edición. México D.F.: Editorial Limusa, S.A. de C.V., 2005.
- NOVO, Luciano de Miguel. El Yeso en la Construcción. 9^{na} Edición. Barcelona: Ediciones CEAC, S.A., 1968.
- BECKER, E. Cemento Portland, Características y recomendaciones de uso. Loma Negra C.I.A.S.A., 2001.
- ROGERS, Martín y WALLACE, Hugh. Pavimentos Asfálticos. 2^{da} Edición. Madrid: Aguilar, S.A. de Ediciones, 1963.
- MUÑOZ MUÑOZ, Harold Alberto. Construcción de Estructuras. Volumen 1. Bogotá. ASOCRETO. 2004.
- ROGERS, Martín y WALLACE, Hugh. Pavimentos Asfálticos. 2^{da} Edición. Madrid: Aguilar, S.A. de Ediciones, 1963.
- SMITH, WILLIAM F y JAVAD, HASHEMI. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 4^{ta} Edición. McGraw Hill/Interamericana de España S.A.U. 1998.
- SMITH, William F. Ciencia e Ingeniería de los materiales. 3^{ra} Edición. Madrid, España. McGraw Hill/Interamericana de España S.A.U. 1998.
- LASHERAS Y ESTEBAN, Jose maria. Tecnología del Acero. 2^{da} edición. Barcelona: Imprenta y litografía Octavio y felez, S.L. Cuellar, 1967.
- KEYSER, CARL A. Ciencia de Materiales para Ingeniería. Universidad de Massachusetts.
- COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones técnicas. 1998. Artículo 630.
- COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones técnicas. 1998. Artículo 450.

- COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente. I.N.V.E.-799-07.
- NORMA TECNICA COLOMBIANA # 176. Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso.
- NORMA TECNICA COLOMBIANA # 237. Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino.
- Videla. C. Tecnología del Hormigón. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento Ingeniería y Gestión de la Construcción. 2008.
- Cartilla práctica para el manejo de los asfaltos. Instituto Colombiano del Petróleo ECOPEL y Universidad del Cauca 1994.
- Manuel García, Jaime D. Beltrán Durán. Asfaltos Naturales en Colombia (Ponencia III Congreso Iberoamericano del Asfalto). Ciudad. Año.
- The Asphalt institute, Manual del Asfalto, Productos Asfálticos S.A., Madrid, España. 1962. Cap. I y II, pp 18-26, 271- 284, 70-82, 146-148.
- Manual, La construcción de viviendas en madera. CORMA, Corporación Chilena de la Madera. Capítulo 1.
- Castañeda, E. Dosificación del Concreto Hidráulico por el Método A.C.I. <Diapositivas de clase>. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil, 2008.
- Turf Diagnostics & Desing. <www.turfdiag.com> 2009.
- Acro-Tech Scientific Industries.<www.accrotechscientific.com> 2009.
- Oamaru Shingle Supplies Limited. <www.oamarushingle.co.nz> 2009.
- Ahorainfo, Información destacada desde Necochea al mundo. <www.ahorainfo.com.ar> Argentina. 2009
- Shanghai Shibang Machinery co., Ltd.<www.shibang-china.com> China. 2009.
- Shanghai Jianshe Luqiao Machinery Co; Ltd. <www.crusherinchina.es> España. 2009.
- Audited Suppliers. <www.made-in-china.com> 2009.

- Quality Spare Parts for Crushing, Screening & Asphalt Plants. <www.crusherspareparts.com> 2009.
- Impact Crushers. <www.impact-crushers.com> China. 2009.
- El Salón Virtual de la Industria. <www.directindustry.es> España. 2009.
- Break-Day. <www.trituradoras.net> 2009.
- Business to Business Marketplace. <www.tradekey.com> 2009.
- Mining and Construction Machinery <www.sbmchina.com> 2009.
- Degacor, Materiales para la construcción<www.wikimedia.org>2009.
- Yemsa, Yesos especializados de México S.A. de C.V. <www.yesosespecializados.com> 2009.
- Notes On Building Construction Vol3. Henry Fidler.<www.chestofbooks.com> 2009.
- Patio criollísimo. <<http://josma.blogia.com>.> 2009.
- Cal Albors de Vicenente Albors S.A.< www.calalbors.com.ar.> Argentina.2009.
- Uiminet, Información de negocios segundo a segundo. <www.quiminet.com/ar> Argentina. 2009
- Holcim. <www.holcim.es>. España. 2009.
- Argos. <www.argos.com.co>. Colombia. 2009.
- Asphalt Machineries and Equipment. <www.e-asfalto.com .>2008.
- <http://146.83.190.52/docpublic/ApuntesCC/Inovacion%20Tecnologica%20en%20Asfalto/02_Asfalto..pdf>
- Instituto Mexicano del Transporte. <www.imt.mx/ > México. 2009.
- El Observador en Línea. <www.elobse.com> México. 2009.

- Construmatica. Arquitectura, Ingeniería y Construcción. <www.construmatica.com> 2009.
- American Concrete Institute
- Cittys México. <http://mexico.cittys.com> 2009.
- Universidad Militar Nueva Granada.<www.umng.edu.co> Colombia. 2009.
- Britannica Student Encyclopedia.<www.student.britannica.com> 2009.
- Manual. La construcción de Viviendas en Madera. Capítulo I.pdf
- Patologías y Protección de madera en servicio. Unidad 2.pdf
- www.arqhys.com/arquitectura/acero-construir.jpg
- Wikipedia, La Enciclopedia Libre. <http://es.wikipedia.org/> España. 2009.
- Universidad Complutense de Madrid. <www.ucm.es> 2009.
- Departament de física i Enginyeria Nuclear. <www-fen.upc.es> 2009.
- Anexpa. <www.anexpa.org/> España. 2009.
- Resistencia de los materiales. Edison Ochoa. <www.procesosdmanufactura.tripod.com> Universidad Nacional de Colombia-Medellín. 2009
- Ladrillos Pirámide. <www.ladrillospiramide.com> Perú. 2009.
- El Salón Virtual de la Arquitectura. <www.archiexpo.es> 2009.
- Tecnología del asfalto. <http://146.83.190.52/docpublic/ApuntesCC/Inovacion%20Tecnologica%20en%20Asfalto/02_Asfalto..pdf > 2009.
- Catálogo Colombiano de exportadores. < www.colombiaexport.com > 2009.