

132



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

FACTORES DE DETERIORO EN ELEMENTOS
DE CONCRETO, ACERO Y MAMPOSTERIA.
MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PREVENTIVO Y CORRECTIVO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N

ALEJANDRO TIOZOL SANCHEZ
JOSE ARTURO CAMPUZANO MEJIA
JOSE JAIME CALNACASCO GALICIA
JOSE LUIS JIMENEZ MARTINEZ

DIRECTORA DE TESIS: M. I. A. ADRIANA CAFAGGI FELIX



CIUDAD UNIVERSITARIA

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/117/01

Señores
ALEJANDRO TIOZOL SÁNCHEZ
JOSÉ ARTURO CAMPUZANO MEJÍA
JOSÉ JAIME CALNACASCO GALICIA
JOSÉ LUIS JIMÉNEZ MARTÍNEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. A. ADRIANA CAFAGGI FÉLIX, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"FACTORES DE DETERIORO EN ELEMENTOS DE CONCRETO, ACERO Y MAMPOSTERÍA.
MANTENIMIENTO PREDICTIVO, PREVENTIVO Y CORRECTIVO"**

- INTRODUCCION**
- I. ASPECTOS GENERALES
 - II. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS DE CONCRETO SIMPLE Y SU MANTENIMIENTO
 - III. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO EN EDIFICACIONES Y SU MANTENIMIENTO
 - IV. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ACERO Y SU MANTENIMIENTO
 - V. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA Y SU MANTENIMIENTO
 - VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 5 de julio de 2001
EL DIRECTOR

M. C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

Agradezco a las instituciones y profesores que han hecho posible la conclusión de mis estudios profesionales, entre los más significativos se encuentran los siguientes:

Universidad Nacional Autónoma de México.

Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodesica, en especial a su Departamento de Construcción.

División de Educación Continua, programa apoyo a la titulación

En forma muy especial a mi directora de tesis M.I. Adriana Caffagi Félix



FACTORES DE DETERIORO EN ELEMENTOS

DE
CONCRETO, ACERO Y MAMPUESTRIA,

MANTEENIMIENTO

PREVENTIVO Y CORRECTIVO

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	16
CAPITULO I ASPECTOS GENERALES.....	17
1.1 Definiciones.....	18
1.1.1 <i>Daño estructural de los elementos</i>	18
1.1.2 <i>Deterioro de los materiales que constituyen los elementos</i>	18
1.1.3 <i>Durabilidad de una construcción</i>	20
1.1.4 <i>Vida útil de las estructuras</i>	20
1.2 Factores que causan daño estructural y deterioro.....	21
1.2.1 <i>Factores que causan daño estructural</i>	21
• Factores geofísicos.....	21
Sismos.....	21
Actividad Volcánica.....	23
• Factores meteorológicos.....	23
Ciclones.....	23
Huracanes.....	23
Trombas.....	25
• Factores humanos.....	25
Incendios.....	25
Explosiones.....	25
Estudios para diseño de estructuras, Topográfico, geotécnico e hidrológico.....	27
• Factores constructivos.....	29
• Factores de servicio y de operación.....	30
1.2.2 <i>Factores que causan deterioro</i>	30
• Factor climático.....	30
Definición de clima.....	30
La atmósfera.....	31
Contaminación de agua, suelo, aire.....	31
1.2.3 <i>Ambientes de exposición</i>	35
• Ambientes de exposición.....	35
1.3. Relación entre el daño estructural de elementos y el proceso de deterioro de los materiales.....	36

CAPITULO 2 ANALISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS DE CONCRETO SIMPLE Y SU MANTENIMIENTO.....	38
2.1 Materiales que componen el concreto simple.....	39
2.1.1 Antecedentes y materiales del concreto.....	39
2.1.2 Características del concreto.....	39
▪ El cemento.....	39
Antecedentes.....	39
▪ Agregados pétreos para el concreto.....	40
Granulometría: granulometría de los agregados finos.....	41
granulometría de agregados gruesos.....	41
▪ Factores que influyen en la calidad del concreto.....	42
Concreto recién mezclado, mezclado, consolidación.....	43
hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento.....	44
curado húmedo, velocidad de secado del concreto.....	45
▪ Propiedades del concreto.....	46
Resistencia, peso volumétrico,.....	47
resistencia a la congelación y al deshielo,.....	48
permeabilidad y hermeticidad, resistencia al desgaste.....	49
2.1.3 Características del asfalto.....	50
▪ El asfalto.....	50
Antecedentes.....	50
▪ Tipos de asfalto.....	51
Asfalto natural, de lago, roca asfáltica, gilsonita,.....	51
refinado con vapor, asfalto oxidado, refinado,.....	51
cemento asfáltico, pulverizado, mastique asfáltico.....	52
▪ Ensayos en asfaltos.....	52
Densidad del producto asfáltico,.....	52
destilación de los asfaltos rebajados, viscosidad,.....	52
penetración, punto de ignición, contenido de agua, ductilidad.....	52
▪ Emulsiones asfálticas.....	53
▪ Materiales pétreos para concreto asfáltico.....	53
Características.....	53
2.1.4 Usos del concreto simple.....	54
▪ Pavimentos de concreto asfáltico, de concreto hidráulico.....	54
▪ Pisos y firmes de concreto.....	57
Clasificación, pisos de adoquín, pisos industriales.....	58
2.2 Descripción de los elementos estructurales de un pavimento.....	70
2.2.1 Pavimentos flexibles o asfálticos.....	70
▪ Elementos de un pavimento flexible.....	70
▪ Subrasante, terracerías y terraplén.....	71
controles de calidad.....	71
▪ Base y sub-base.....	71
Características, funciones, materiales para la base y sub-base.....	71
Controles de calidad para la base y sub-base,.....	71
procedimiento constructivo.....	72
▪ Carpeta asfáltica.....	73
Componentes, controles de calidad,.....	73
regionalización de los productos asfálticos,.....	73
tipos de carpetas,.....	74
procedimiento constructivo de una mezcla asfáltica,.....	74
procedimiento constructivo de la carpeta.....	74
2.2.2 Pavimentos de concreto hidráulico.....	75
▪ Base.....	75
▪ Carpeta.....	75

2.3	Factores de deterioro y daño estructural.....	76
2.3.1	Factores geotécnicos.....	76
	• Deslizamiento superficial asociado a falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep).....	76
	• Fallas asociadas a procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionadas con perfiles geológicos desfavorables.....	77
	• Flujos.....	79
	• Fallas relacionadas a la estabilidad de taludes artificiales.....	79
	Falla rotacional, Falla traslacional,	79
	Fallas de superficie compuesta, Fallas múltiples.	81
2.3.2	Factores hidráulicos.....	83
2.3.3	Factores constructivos	83
	• Deterioro en pavimentos flexibles.....	83
	Rodadas, superficie de rodamiento lisa,	83
	pequeñas deformaciones transversales rítmicas,	83
	desintegración de la carpeta,	83
	grietas longitudinales a la orilla de la carpeta,	84
	presencia de calaveras, baches,	84
	agrietamiento en forma de piel de cocodrilo o mapeo,	84
	corrimento de la carpeta asfáltica,	84
	descamado de la carpeta,	84
	deformaciones de la corona junto a las cunetas,	84
	ondulamientos, ondulamientos eventuales,	84
	construcción defectuosa de las bases,	84
	deterioro mecánico por vegetación.....	86
2.3.4	Factores constructivos de deterioro en pavimentos rígidos de concreto hidráulico.....	86
	deterioro en pavimentos rígidos o de concreto hidráulico.	86
	descascarado de las orillas, grietas transversales,	87
	grietas longitudinales o transversales cercanas a las orillas o en esquinas de la losa, falla estructural, descamado de la superficie de rodamiento,.....	87
	factores climáticos, acabados.....	87
2.4	Casos y su mantenimiento	88
2.4.1	Antecedentes	88
2.4.2	Naturaleza del proyecto.....	88
2.4.3	Capacidad proyectada.....	89
2.4.4	Descripción de las obras a realizar.....	89
2.4.5	Programa de conservación preventivo y correctivo.....	108
2.4.6	Estado actual de las obras.....	108

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS AGENTES Y FACTORES QUE PROVOCAN DETERIORO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO..... 113

3.1.	El concreto reforzado como material de construcción.....	114
3.1.1	<i>El concreto reforzado</i>.....	114
	• Definición.....	114
3.1.2	<i>Materiales constitutivos</i>.....	114
	• Cemento.....	114
	• Agregados (arena y grava)	115
	• Agua.....	116
	• Aditivos.....	117
	• Acero de refuerzo.....	118
3.1.3	<i>El proceso de curado</i>	119
3.1.4	<i>Micro estructura del concreto</i>.....	121
	• Absorción.....	121
	• Red Capilar.....	121
3.1.5	<i>Agrietamiento del concreto</i>.....	122
	• Agrietamiento superficial.....	122
	• Agrietamiento.....	122
	Tipos y causas de agrietamiento antes del endurecimiento del concreto.....	123
	Tipos y causas de agrietamiento posteriores al endurecimiento.....	124
	Tipos de grietas por trabajo estructural.....	125
3.2	Descripción de los elementos de concreto reforzado.....	126
3.2.1	<i>Dados</i>.....	126
3.2.2	<i>Pilas y pilotes</i>.....	127
	• Pilas de cimentación.....	127
	• Pilotes de fricción.....	128
	• Pilotes de punta.....	128
	• Pilotes de control.....	129
3.2.3	<i>Trabes y Columnas</i>.....	129
	• Trabes.....	129
	• Columnas.....	130
3.2.4	<i>Muros</i>.....	132
	• Clasificación estructural.....	132
	• Clasificación en base a las cargas que soportan.....	133
3.2.5	<i>Ábacos y capiteles</i>.....	133
	• Ábacos.....	133
	• Capiteles.....	134
	Geometría.....	134
3.2.6	<i>Losas y cascarones</i>.....	135
	• Losas de concreto.....	135
	Tipos de losas.....	135
	• Cascarones.....	136
3.3	Estructuras de concreto reforzado	137
3.3.1	<i>Concepto de estructura de concreto reforzado</i>	137
3.3.2	<i>Aplicaciones del concreto reforzado</i>	137
	• El concreto en las obras de infraestructura del transporte.....	137
	• El concreto en las obras de infraestructura hidráulica.....	139
	• El concreto en las obras de infraestructura urbana.....	140

3.3.3	La aplicación del concreto en la construcción de estructuras urbanas.....	143
•	Subestructura.....	143
	Cimentaciones superficiales:	
	zapatas aisladas, zapatas corridas o continuas,	143
	losas de cimentación, cajón de cimentación.....	145
	Cimentaciones profundas:	
	a base de pilotes de punta, a base de pilotes de fricción.....	147
•	Superestructura: Edificios.....	148
	Tanques y cisternas	149
•	Muros de contención.....	150
3.4.	Deterioro	155
3.4.1	Agentes y factores que causan deterioro.....	155
3.4.2	Diferencia entre un agente y un factor.....	155
3.4.3	Agentes físicos.....	155
•	Heladas.....	155
•	Desgaste.....	156
•	Abrasión	156
•	Impacto.....	156
3.4.4	Agentes químicos.....	157
•	Eflorescencia.....	157
•	Lixiviación.....	157
•	Efecto del agua de mar.....	157
•	Ataque de sales de magnesio y amonio.....	158
•	Ataque de ácidos.....	159
•	Ataque de sulfatos.....	160
•	Ataque de cloruros.....	162
•	Carbonatación.....	165
•	Humedad del ambiente.....	165
•	Permeabilidad del concreto.....	165
•	Reacción álcali-agregado.....	166
•	Corrosión del acero de refuerzo.....	170
	Por ataque químico directo.....	171
	Por electrólisis.....	171
3.4.5	Factor biológico.....	174
3.4.6	Factores constructivos.....	175
3.4.7	Factores de mantenimiento.....	176
3.5	Mantenimiento preventivo.....	178
3.5.1	Medidas preventivas para proteger el concreto.....	178
•	Reparación de fisuras.....	178
3.5.2	Protección externa al concreto.....	183
3.5.3	Medidas preventivas para proteger el acero de refuerzo.....	184
•	Mediante aditivos inhibidores de la corrosión.....	185
•	Mediante protección directa al acero de refuerzo.....	185
	Revestimiento anticorrosivo.....	185
	Protección catódica.....	186
3.6	Mantenimiento correctivo.....	186
3.6.1	Técnica para el ataque de zonas dañadas por corrosión.....	190

3.7	Casos específicos.....	192
3.7.1	<i>Primer caso: edificio cinco niveles.....</i>	192
	Características generales.....	193
	Descripción del deterioro.....	193
	Resultado del análisis a elementos deteriorados.....	193
	Consecuencias.....	194
3.7.2	<i>Segundo caso: Puente carretero de más de 3 km. de longitud.....</i>	194
	Características generales.....	194
	Descripción del deterioro.....	194
	Resultado del análisis a elementos deteriorados.....	194
	Consecuencias.....	194
3.7.3	<i>Tercer caso: ataque químico por sulfatos en una cimentación a base de zapata corrida con contra trabe.....</i>	195

CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ACERO Y SU MANTENIMIENTO.....	197
4.1 El acero.....	198
4.1.1 Descripción.....	198
4.1.2 Propiedades.....	199
• Alta resistencia.....	199
• Uniformidad.....	200
• Elasticidad.....	200
• Ductilidad.....	200
• Tenacidad.....	202
4.1.3 Tipos.....	202
• Aceros al carbono.....	202
• Aceros aleados.....	202
• Aceros de baja aleación ultra resistencia.....	202
• Aceros inoxidables.....	203
• Aceros de herramientas.....	203
• Tipos de aceros y su resistencia.....	203
4.1.4 Materiales.....	205
• Producción de arrabio.....	205
• Procesos de acabado.....	205
4.2 Descripción de los elementos que conforman las estructuras de acero.....	206
4.2.1 Miembros estructurales.....	208
4.2.2 Tipos de cargas	208
• Tensión.....	208
• Compresión.....	211
• Flexión.....	213
• Torsión y cortante.....	215
4.2.3 Clasificación de las estructuras.....	216
• Clasificación de las estructuras metálicas	216
• Principios generales de diseño de estructuras metálicas.....	216
• División de las estructuras metálicas.....	216
4.2.4 Elementos estructurales.....	218
• Vigas.....	218
• Armaduras.....	218
• Sistemas de piso.....	221
• Columnas.....	221
• Marcos (pórticos y arcos).....	223
4.2.5 Conexiones.....	224
• Remaches.....	224
• Tornillos.....	224
• Tornillos de alta resistencia.....	225
• Conexiones por perno.....	225
• Soldadura.....	226
4.3 Factores de deterioro y daño estructural.....	229
4.3.1 Humedad.....	229

4.3.2	Viento.....	229
4.3.3	Fuego.....	229
4.3.4	Químicos.....	230
4.3.5	Factores biológicos.....	230
4.3.6	Contaminación.....	230
4.3.7	Acción del hombre.....	230
4.3.8	Daño Estructural.....	230
4.3.9	Efectos del deterioro y su tratamiento.....	231
	• La corrosión.....	231
	• La erosión por abrasión.....	234
	• El juego de las uniones.....	234
	• El efecto de la fatiga.....	235
	• El efecto de Impacto.....	235
	• Medidas de protección.....	235
4.4	Casos y su mantenimiento.....	246
4.4.1	Introducción.....	246
4.4.2	Objetivos.....	247
4.4.3	Factores.....	248
4.4.4	Caso y su mantenimiento.....	248
	• Procedimiento.....	251
	• Medidas tomadas.....	251
	• Conclusiones.....	254
	• Mantenimiento.....	255

CAPITULO 5. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA Y SU MANTENIMIENTO..... 257

5.1	Descripción de los componentes de la mampostería.....	258
5.1.1	Descripción de la Mampostería.....	258
5.1.2	Materiales.....	259
	• Materiales naturales:	259
	rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas.....	259
	Propiedades:	260
	estructura, densidad, porosidad, composición, dureza, durabilidad.	260
	Pruebas:	261
	resistencia a la compresión, propiedades hídricas,	261
	resistencia al impacto, a la tensión, a la flexotensión,	261
	color, facilidad de trabajo. Usos.....	263
	• Materiales artificiales o procesados.....	265
	Materia prima.....	266
	Clasificación de suelos.....	268
	Tipología de piezas:	269
	adobe, sillar, tabique de barro recocido,	270
	de barro extruido,	
	tabicón y block de cemento: arena, block sílico calcáreo.....	273
5.1.3	Cementantes y morteros.....	280
	• Cementantes:	281
	cal, cementos portland, blanco, de albañilería y puzolanico.	
	• Morteros:	
	de cemento: cal - arena, especiales, premezclados, en las juntas.....	285
5.2	Descripción de los elementos que conforman las estructuras de mampostería.....	288
5.2.1	Muros.....	288
	• Concepto de muro.....	288
	• Clasificación de muros:	289
	muro no estructural, estructural, de contención	
	no reforzados, confinados, reforzados interiormente, diafragma	
	• Aspectos constructivos de muros con diferentes tipos de piezas:	294
	enlace de piezas, muros de adobe, de sillar,	
	de tabique de barro recocido,	
	de tabicón de cemento: arena, de block,	
	de tabique de barro extruido, esmaltado, de block sílico	
	• Juntas:	298
	acabado, refuerzo, de control, en intersecciones entre muros	
	• Aplanados.....	301
5.2.2	Cimentaciones.....	302
	• Concepto de cimentación.....	305
	• Recomendaciones constructivas.	303
	• Rocas utilizadas en cimientos.....	304
5.2.3	Pilastras o pilares.....	304
	• Definición.....	304
	• Recomendaciones de diseño.....	305
	• Aparejos de roca en pilastras de tabique.....	305
5.2.4	Elementos decorativos.....	306
	• Muros decorativos, arcos, bóvedas, terrazas,	307
	• estanques, muros con piezas de celosía.....	307

5.3	Factores de deterioro y daño estructural.....	310
5.3.1	<i>Humedad.....</i>	310
5.3.2	<i>Viento.....</i>	311
5.3.3	<i>Fuego.....</i>	312
5.3.4	<i>Químicos.....</i>	312
5.3.5	<i>Factores biológicos.....</i>	314
	• Algas, líquenes, hongos, musgos, bacterias, vegetación, animales.	315
5.3.6	<i>Contaminación.....</i>	316
5.3.7	<i>Acción del hombre.....</i>	318
5.3.8	<i>Daño Estructural.....</i>	319
	• Índices de resistencia, comportamiento estructural de muros, refuerzo.....	319
5.3.9	<i>Efectos del deterioro y su tratamiento.....</i>	322
	• La pátina en la roca.....	322
	• Diferentes tipos de suciedad.....	322
	• Tratamientos de limpieza de la roca.....	323
	• Conservaciones en muros de mampostería de roca.....	326
	• Deterioro y Restauración en muros de adobe.....	326
	• Deterioro y Restauración en muros de tabique.....	327
	• Alteraciones y tratamientos en los aplanados.....	330
	• La cal en la restauración.....	331
	• El uso de aditivos.....	332
	• Recubrimientos (pinturas).....	333
	• La hidrofugación.....	333
	• Verteadoras en los muros.....	334
5.4	Casos y su mantenimiento.....	335
5.4.1	Introducción.....	335
5.4.2	Principios básicos para un comportamiento adecuado de elementos de mampostería.....	335
5.4.3	Comportamiento observado en edificaciones de mampostería.....	336
5.4.4	Evaluación y análisis en edificaciones de mampostería.....	337
5.4.5	Caso de detección de agrietamiento en elementos de mampostería.....	341
5.4.6	Rehabilitación de mampostería dañada.....	344
	• Modalidades de conexión a la mampostería existente.....	345
	• Reparación de grietas.....	346
	• Encamisado de muros.....	350
CAPITULO 6. CONCLUSIONES.....		357
BIBLIOGRAFÍA.....		363

Introducción

INTRODUCCIÓN

La actividad constructiva, formal o informal, se avoca al proyecto y construcción de espacios que se traducen en lugares de habitación, reunión, esparcimiento, instrucción, culto, producción, etc.

Todas las construcciones que vemos fueron alguna vez proyectadas, construidas y puestas en servicio. Asimismo, todas las estructuras que se construyen estarán expuestas, a lo largo de su vida, a factores que causan daño estructural: humanos, geofísicos, atmosféricos, o accidentes como explosiones e incendios, y a factores que provocan deterioro: atmosféricos, humanos y otros.

Todos estos factores tienen una relación directa con la durabilidad de las construcciones o dicho en otras palabras, todos estos factores contribuyen al daño y deterioro de los elementos que componen las estructuras y consecuentemente a la reducción de su seguridad estructural, funcionalidad y habitabilidad.

Este trabajo de tesis se dedica a identificar, agrupar y describir los factores que provocan daño y deterioro de los elementos estructurales de concreto, acero y mampostería que forman las múltiples construcciones. Se hace, también, una definición y descripción de los diversos elementos con los que se integran las estructuras.

Sin embargo, se hace un mayor énfasis en los agentes y factores que están más ligados al deterioro de los materiales que componen los elementos.

Se consideran, también, algunas estrategias preventivas y algunas maneras de reparar elementos deteriorados.

El tema del deterioro de estructuras y materiales es muy amplio y especializado, por ello este trabajo muestra los aspectos básicos de los procesos deletéreos.

Capítulo 1

Aspectos Generales

I. ASPECTOS GENERALES

1.1 DEFINICIONES.

Esta tesis se enfoca a identificar, agrupar y describir los agentes y factores que causan daño y abunda en los de deterioro o degradación de los elementos estructurales de concreto, mampostería y acero.

En este trabajo se emplean los términos de daño y deterioro. En ésta sección se precisan éstos términos con el objeto de asociar el vocablo daño a la pérdida de la resistencia de los elementos estructurales debido a causas mecánicas y el de deterioro a la pérdida de integridad de los materiales que constituyen los elementos de las construcciones.

1.1.1 Daño estructural de los elementos.

Se entenderá por daño estructural de un elemento a la pérdida de resistencia de éste debida a la acción de fuerzas externas permanentes o accidentales que rebasan su capacidad.

El daño estructural de un elemento no significa necesariamente que este haya alcanzado su máxima resistencia mecánica sino que la pieza alcanza algún grado de ella y el elemento solo acusa los efectos del trabajo estructural.

Las fuerzas externas permanentes (cargas muertas) o accidentales (sismo, viento o explosiones) engendran esfuerzos básicos de tensión, compresión y cortante y estos no actúan aisladamente, sino que pueden actuar de manera combinada. Por ejemplo, las columnas de un edificio soportan acciones de flexocompresión en uno o en dos sentidos del elemento, por acciones gravitacionales y accidentales, y además están sujetas a fuerzas cortantes de tipo directo y fuerzas cortantes generadas por torsión global de la estructura engendradas por acciones accidentales.

Por tanto, el daño estructural está relacionado a causas externas y mecánicas (físicas).

1.1.2 Deterioro de los materiales que constituyen los elementos.

Por deterioro de un elemento estructural se entenderá una degradación o afectación de la integridad del o los materiales que lo componen, siendo las causas de tal degradación agentes y factores de tipo físico: erosión, impacto, acción y efecto de los cambios de temperatura; químico: ataque de ácidos, sulfatos, dióxido de carbono, cloro, ciclos de humectación y desecación, hielo y deshielo; por condiciones internas: reacción química de los materiales constitutivos; y externas: brisa marina, insolación, efectos eólicos, lluvia, nieve.

Otra característica del proceso de deterioro de los elementos, y por tanto de las estructuras, es que estos están sometidos a acciones de tipo físico y químico, externas e internas, de manera constante, indefinida e inexorable.

En el proceso de deterioro, se presenta la acción simultánea de agentes y factores los cuales pueden afectar la totalidad de los elementos tanto interna como externamente.

La figura 1.1 muestra una columna con daño estructural por sismo y la figura 1.2 presenta el deterioro de un dado y pilote de cimentación por ataque de sulfatos.



Figura 1.1 Daño por sismo

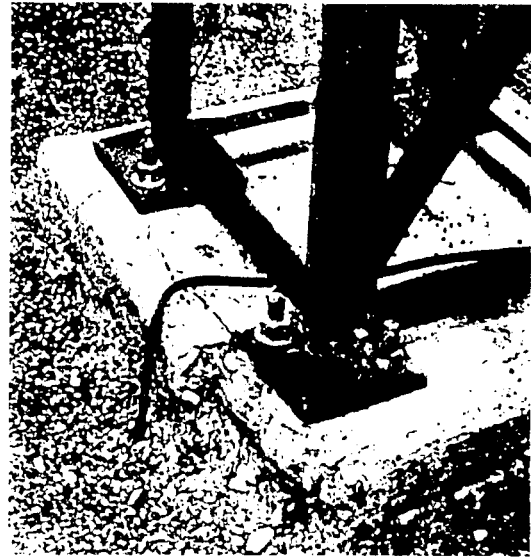


Figura 1.2 Dado y pilote de cimentación deteriorado por ataque de sulfatos

1.1.3 Durabilidad de una construcción.

Se define la durabilidad como la capacidad de una estructura para resistir o soportar la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Asimismo, la durabilidad implica el mantenimiento de la geometría original, calidad y características de servicio de los elementos y estructuras cuando están expuestos a procesos de degradación.

1.1.4 Vida útil de las estructuras.

Se entenderá por vida útil de una construcción al período en que ésta conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, habitabilidad, higiene, funcionalidad y estética, sin presentar costos inesperados de mantenimiento.

Actualmente se acepta el modelo de vida útil desarrollado por Tutti, mostrado en la figura 1.3 Este modelo está específicamente concebido para el caso de estructuras de concreto con problemas de corrosión del acero de refuerzo.

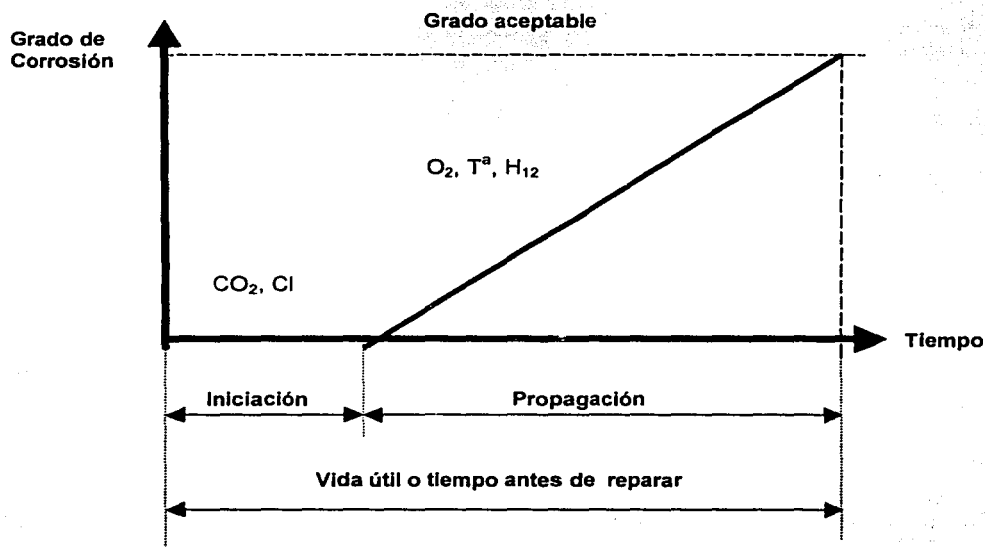


Figura 1.3 Modelo de vida útil de Tutti.

1.2. FACTORES QUE CAUSAN DAÑO ESTRUCTURAL Y DETERIORO.

1.2.1 Factores que causan daño estructural

Cada estructura se construye en un punto de determinadas características geográficas, geológicas y climáticas. Así, algunas construcciones están más expuestas a sufrir daños o fallas estructurales ante la ocurrencia de intensos fenómenos geofísicos; como un sismo o como la presencia de un huracán.

Al mismo tiempo, todas las construcciones están inmersas en condiciones ambientales que de manera constante, lenta e inexorable causan el deterioro de los materiales con los que se construyen las estructuras.

A continuación se analizan brevemente los factores que causan daño o falla estructural y en el siguiente subcapítulo se analizan los de deterioro.

Factores geofísicos.

Entre estos factores están los sismos, los efectos de la actividad volcánica, los meteorológicos y los hidrológicos.

Sismos

México es un país altamente sísmico debido a que su costa del Pacífico está en el borde de una zona de subducción. Durante la ocurrencia de un sismo (movimiento del terreno), las construcciones tienen una manera de reaccionar y resistir. Normalmente las construcciones de uno o dos niveles son poco sensibles a los efectos de sismo. Sin embargo, las construcciones más altas, dependiendo de su estructuración y ubicación, pueden ser más sensibles y por tanto más susceptibles de sufrir daño o incluso colapsar.

Algunos de los daños más comunes ocasionados por sismo son:

1. Agrietamiento de traveses, columnas y muros por esfuerzos de tensión compresión, corte y torsión.
2. Hundimiento de las construcciones.
3. Penetración de columnas en losas planas
4. Ante sismos intensos: volteo de construcciones, colapso parcial o total.

A continuación se muestra la regionalización sísmica de México y fotografías que ilustran mejor los daños que el evento sísmico ocasiona.

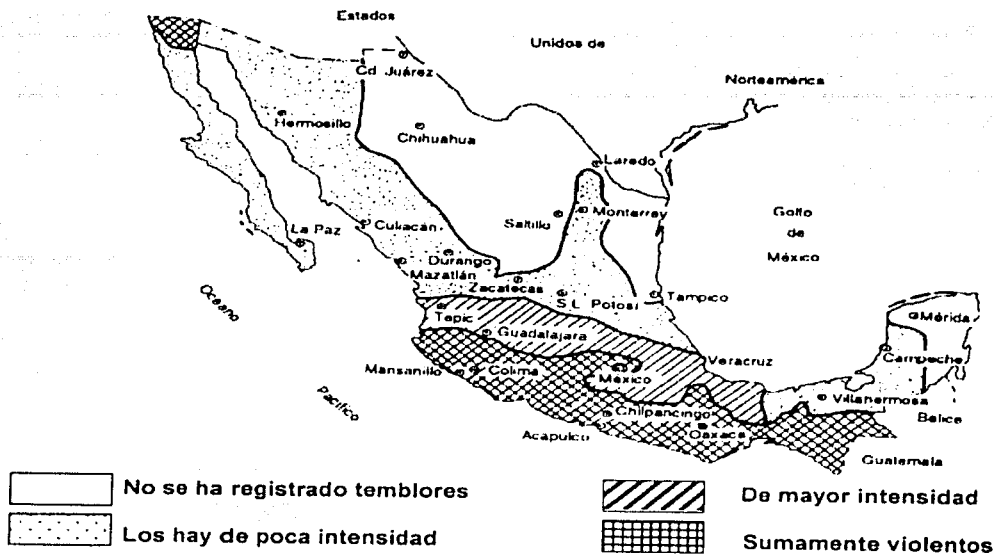


Figura 1 4 Regionalización sísmica de México



Figura 1 5 Daños provocados por sismo

Actividad volcánica.

México es un país que tiene volcanes y algunos de ellos están activos. Los efectos de la actividad de un volcán incluyen: sismos, derrames de lava, lanzamiento de materiales piroclásticos y emanaciones de cenizas, gases y vapor de agua.

Las poblaciones (personas, inmuebles e infraestructura) que se hallan más cerca de los volcanes activos son las que están en mayor riesgo de ser dañadas.

Un ejemplo del pasado evidencia el daño que puede ocasionar. En el año 79 d.J.C. una erupción del volcán Vesubio, en Italia, sepultó bajo sus cenizas las ciudades de Pompeya, Herculano y Estadias; ésta última situada cerca de lo que hoy es la ciudad de Nápoles. Los torrentes de lava y nubes de humo causaron tanto daño como el provocado por el sismo que antecedió a la erupción.



Figura 1.6 Cinturón volcánico. México

Meteorológicos: Ciclones, huracanes y trombas.

Ciclones y huracanes.

México cuenta con alrededor de 10,000 Km. de litorales y en un buen número de ellos se deja sentir el efecto de ciclones y huracanes.

Se estima que al año se forman en la costa del Pacífico un promedio de 14 a 16 ciclones tropicales, mientras que en la región del Caribe y el Golfo de México la cifra es de nueve. No todos los ciclones alcanzan a tocar tierra en el país y muy pocos de estos entran en la categoría de huracanes. Los ciclones tropicales no siempre se presentan en forma aislada, sino que pueden aparecer más de uno en forma simultánea.

Los ciclones se clasifican de acuerdo con la velocidad que alcanzan los vientos. Las depresiones tropicales se caracterizan por vientos cuya velocidad es de alrededor de 34 KPH, mientras que en las tormentas los vientos se ubican en el rango de los 61 y 113 KPH y los huracanes se forman a partir de los 114 KPH. Asociado a estos meteoros, aparece otro conocido como la surgencia de tormentas, causadas por la succión de agua de mar que produce un oleaje cuya altura es superior a la media de la marea alta y que ocasionan inundaciones y daños en las zonas costeras.

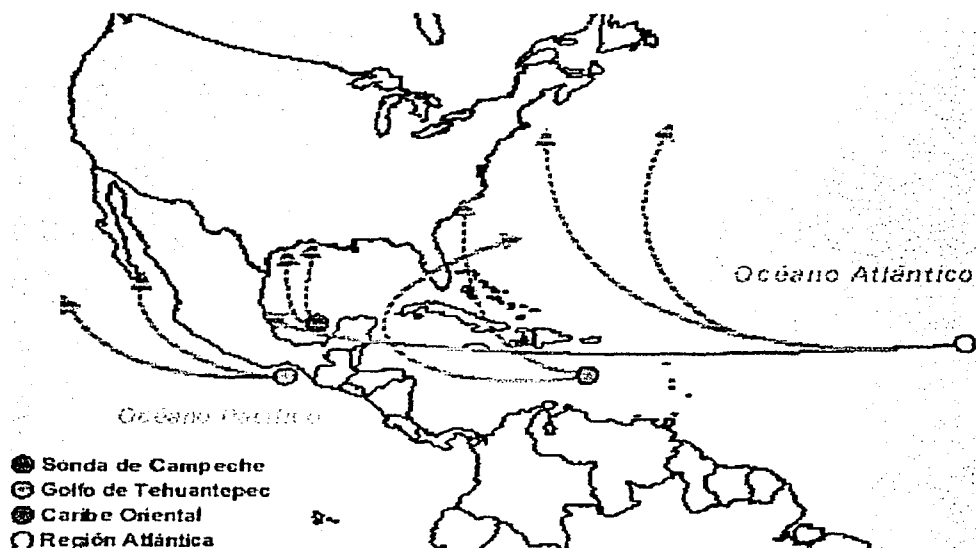


Figura 1.7. Rutas más comunes de ciclones

El 26 de octubre de 1998, un satélite climatológico monitoreo la posición y desarrollo del huracán Mitch, en esa fecha se hallaba frente a las costas de América Central. Aunque el Mitch alcanzó la categoría 5, la de mayor peligro, se disipó horas después, pero ocasionó fuertes vientos, de más de 250 KMP, e intensas lluvias, causando inundaciones, suficientes para causar la muerte de más de 12 000 personas y animales y además ocasionar enormes daños materiales.

No todos los huracanes llegan a disiparse, por ejemplo, el Gilbert, el mayor huracán del siglo XX, ocurrido en 1988 frente a las costas del Caribe, desarrolló vientos en ráfagas que alcanzaron los 350 KPH, devastó Jamaica y varias zonas de México, península de Yucatán. En territorio nacional causó enormes daños materiales y pérdida de vidas humanas a todo lo largo de su trayecto. Así, tras haber tocado la costa de Yucatán, se desplazó a lo largo de tierra continental más de 1 000 Km. hasta llegar al estado de Nuevo León en donde finalmente se desvaneció.

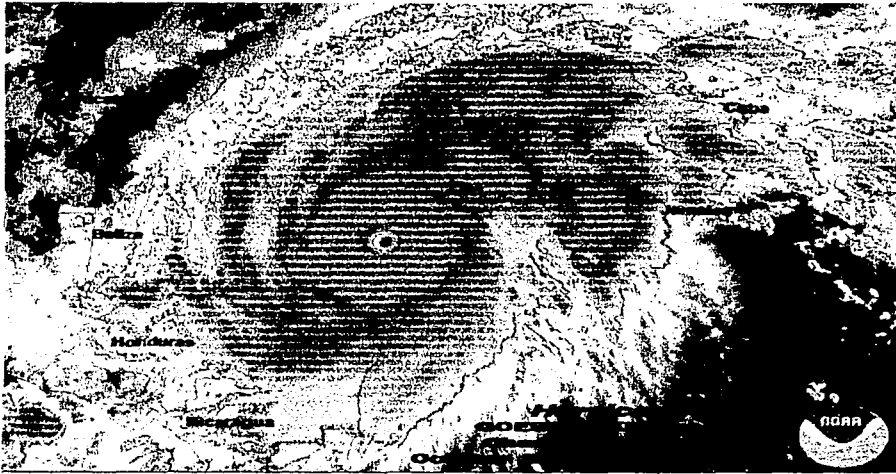


Figura 1.8. Huracán Mitch

Trombas.

Las trombas son fenómenos meteorológicos caracterizados por fuertes lluvias y acompañadas de gran cantidad de granizo. Las trombas son fenómenos que ocasionan entre otros problemas: derrumbes de taludes y construcciones ahí fincadas, inundaciones, daño a cubiertas o techos y arrastra lodos y saturación de drenajes.

La tromba ocurrida el 27 de marzo del 2001, azotó parte de la zona sur de la Ciudad de México. Este meteoro ocasionó el desplome de cubiertas de fábricas, comercios, centros educativos (entre ellos la cubierta del gimnasio de la ENEP José Vasconcelos), y techos de lámina de asbesto de casas, pues estas no soportaron el peso del granizo acumulado.

Factor humano.

Incendios y explosiones.

Los incendios y explosiones pueden ocurrir de manera intencional y accidental, en ambos casos esta presente un factor: El humano.

Un manual de seguridad industrial indica que la mayoría de los accidentes, entre ellos los incendios y explosiones, ocurren por descuidos. Un accidente se define como un acontecimiento no deseado que da como resultado una lesión a una persona, un daño a la propiedad; a las instalaciones, o daño al medio ambiente. Generalmente un accidente, que produce incendio o explosión, es consecuencia del contacto con una fuente de energía (eléctrica, cinética, térmica o mecánica) y se origina cuando este contacto rebasa la resistencia límite del cuerpo, de los equipos e instalaciones.

Las explosiones e incendios intencionales pueden ser muy destructores. El día martes 11 de septiembre del 2001, Estados Unidos sufrió una serie de atentados en cadena en sus centros financiero y político.

Dos aviones de pasajeros se estrellaron contra las dos torres del World Trade Center de Nueva York. Ambas torres, en las que se cree trabajan cerca de 50.000 personas, se desplomaron.



Figura 1.9. a) Daño ocasionado por explosión e incendio en Torres Gemelas de New York. Septiembre 11 del 2001

Según un grupo de ingenieros civiles, la solidez de los edificios, que soportaron el fuerte impacto de los aviones, salvó miles de vidas al permanecer de pie por mucho tiempo. Sin embargo, reconocieron que el colapso de las torres gemelas fue inevitable.

El fuego provocado por el choque de los aviones alcanzó una temperatura superior a los 800° centígrados, derritiendo los refuerzos de acero instalados en la estructura.

"Después de que la parte superior del World Trade Center cedió, se produjo una cadena de destrucción. Los pisos superiores acumularon un peso superior a las 100 toneladas venciendo la resistencia de los pisos inferiores".

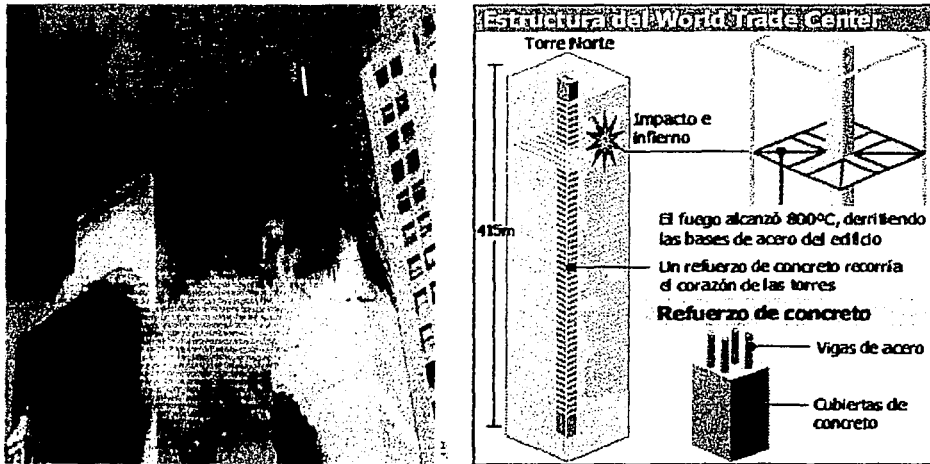


Figura 1.9. (b) Daño ocasionado por incendio

Estudios para diseñar estructuras:

Para llevar a cabo un proyecto es necesario contar con estudios preliminares como son: el topográfico, hidrológico y geotécnico. En estos estudios el hombre emplea tanto conocimientos, herramientas e instrumentos. El manejo erróneo de alguno de ellos conducirá a estudios deficientes o incompletos y, por tanto, al diseño y construcción de estructuras con riesgo de presentar daño prematuro durante su operación. Enseguida se mencionan solo algunos.

Estudio topográfico.

El estudio topográfico permite conocer las características físicas; accidentes del terreno y principales detalles naturales o artificiales del lugar donde se pretende ubicar las estructuras y permite hacer su construcción en la mejor posición.

En proyectos de unidades habitacionales, por ejemplo, es indispensable pues proporciona datos para elaborar los proyectos de conducción de aguas grises y pluviales y el de vialidades y andadores.

La carencia de este estudio no es un factor determinante que ocasione daño a las estructuras. Sin embargo, contar con él representará una ventaja al evitar construir estructuras en los puntos más bajos o críticos del terreno y evitar inundaciones.

Estudio geotécnico.

El objetivo principal del estudio geotécnico es brindar información del suelo: características físicas, geológicas y propiedades mecánicas, a fin de proponer el tipo de cimentación más apropiado para una edificación.

La carencia de este estudio causa que los ingenieros en estructuras supongan valores conservadores o erróneos de parámetros geotécnicos, tales como la capacidad de carga para diseñar cimentaciones superficiales o ángulos de fricción interna y empujes para diseñar muros de contención.

Diseñar estructuras sin información geotécnica conduce a dos situaciones:

- Diseñar estructuras conservadoras, las que estarán del lado de la seguridad estructural, pero con el inconveniente de tener un costo elevado.
- Diseño de estructuras deficientes lo que implicará un futuro daño prematuro de los elementos e inseguridad estructural, pues no soportarán las condiciones reales de trabajo.

Además, el estudio geotécnico del sitio detectará taludes inestables zonas minadas, zonas de rellenos o alguna otra anomalía geológica

Estudio hidrológico

Hay ciertos tipos de obras (colectores, subcolectores, puentes, represas, presas) que precisan para su diseño y construcción de un estudio hidrológico, la carencia de él pone en verdadero peligro la existencia y/o funcionamiento de éstas

Uno de los objetivos más importantes del estudio hidrológico es la obtención de avenidas de diseño: el volumen de agua de lluvia resultante de un proceso, bastante complejo, de precipitación-escurrimiento superficial-infiltración del agua en el terreno de una cuenca

La avenida de diseño determina la capacidad, por ejemplo de una obra de control, como el vertedor de una presa, pues, para seleccionarla se deben considerar por un lado, el costo de construcción de la obra, y por otro, los daños que se producirían en caso de que esta fallara

En otras obras como puentes carreteros o de vías ferreas, el estudio hidrológico proporciona información acerca de las fuerzas engendradas por la corriente de agua (como las erosivas) y determina los mejores lugares de construcción, la altura que estos deban tener y la profundidad de sus cimientos. Además el estudio hidrológico indica donde no se debe construir estructuras que eventualmente estarían expuestas a corrientes en cauces de agua de tipo intermitente

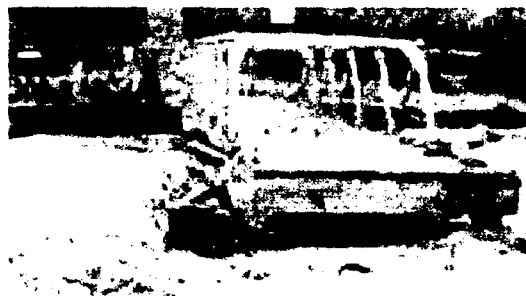


Figura 1 9 Daño sobre puentes carreteros por corriente de agua

Recursos humanos y empleo de software sofisticado.

Con el tiempo los criterios (reglamentación) de análisis y diseño de estructuras se han hecho más complejos. El avance en el conocimiento de las diferentes áreas de la ingeniería (estructural, geotecnia, hidráulica, sistemas y construcción) aunado al desarrollo de programa de cómputo, como herramientas para resolver una diversidad de problemas, requiere de una mayor capacitación de ingenieros; tanto en el conocimiento teórico como en el correcto manejo del software de ingeniería.

En el campo del diseño de estructuras; por un lado, el incorrecto manejo de programas de análisis y dimensionamiento y, por otro, la concepción de un modelo estructural erróneo, constituyen factores de riesgo para lograr diseños confiables.

Programas como el STADD III y métodos de análisis tan sofisticados como el método del elemento finito son herramientas poderosas, su uso apropiado requiere tiempo, dinero y esfuerzo. En la operación de ellos fácilmente se pueden cometer equivocaciones que conducen a errores; incorrecta captura de datos o incorrecta interpretación de resultados.

Por ello, este aspecto, junto con la carencia de diseño, deficiencias de la estructuración y deficiencia en el detallado de planos ejecutivos, son factores que puede ocasionar daño estructural prematuro.

Factores constructivos.

La historia registra que el hombre es constructor desde tiempos antiguos. En el pasado gran parte de las comunidades o sociedades se dedicaban a la actividad constructiva, y a otras de manera simultánea. En tiempos más modernos, solamente una fracción de la población de la sociedad se dedica a la construcción, formal e informal. La construcción formal, integrada en asociaciones o colegios de ingenieros y arquitectos, se caracteriza por poseer conocimientos teóricos y prácticos y se norma por reglamentos constructivos a fin de lograr funcionalidad, comodidad, higiene y seguridad en sus obras.

Sin embargo, a pesar de que las obras se proyectan y se construyen bajo conducción, aún es evidente que las construcciones muestran fallas (leves, moderadas o graves) ante fenómenos sísmicos, meteorológicos y gravitacionales y aún ante condiciones de servicio y operación.

La problemática se debe a un sinnúmero de factores, como se ha estado analizando, y en esta sección se aborda un factor: el constructivo.

Algunas razones de la presencia de fallas observadas y registradas son debido a algunos factores como:

1. Hoy se construye mucho más de lo que se ha construido.
2. Tendencia de una programación de construcción acelerada.
3. Se proyectan y construyen estructuras de mucha mayor complejidad.
4. Diversidad de materiales y técnicas de construcción.
5. Cambio del uso o destino de las estructuras.
6. Preponderancia de la productividad y el cumplimiento de programas de construcción en detrimento de la calidad del trabajo constructivo.

Numerosas obras, siendo perfectamente diseñadas para soportar las cargas de operación y servicio, no dejan, sin embargo, de tener y plantear graves problemas de conservación durante su uso. Por otra parte, los mismos problemas y fallas reaparecen regularmente en obras similares situadas en condiciones parecidas, lo que hace pensar que los desperfectos o fallas observados resultan probablemente del empleo involuntario, pero repetido, de detalles constructivos inadecuados, de métodos de proyecto o ejecución mal adaptados, o de ambas cosas a la vez.

Factores de servicio y operación.

Un caso que llama la atención por su frecuencia es el cambio del uso o destino de las construcciones. Es común que los inmuebles se alquilen o se vendan y que entonces se ajusten a las necesidades del nuevo propietario o poseedor para operarla y que, junto con ello, se pase por alto la capacidad que pueda tener la estructura.

Las situaciones más comunes pueden ser:

1. Destinar los pisos a grandes cargas muertas o de operación.
2. Construcción de muros divisorios, sobretodo de mampostería, sobre losas.
3. Abertura de vanos o huecos en losas para escaleras, tragaluces u otros usos sin reforzar convenientemente.
4. Demolición parcial o total de muros de rigidez o carga, con objeto de contar con más área para operación.
5. Demolición de columnas para contar con mayor área de operación.

1.2.2 Factores que causan deterioro

El factor climático.

La vida terrestre (animal, vegetal y humana), está condicionada al clima. Consecuentemente, todas las obras que el humano construye: edificios, puentes, puertos, presas, caminos están permanentemente expuestas a él y a un proceso que degrada su integridad, por esto todas las estructuras deben construirse tomando en cuenta los efectos del clima: tener una durabilidad a fin de brindar un servicio que beneficie al hombre por un periodo de tiempo determinado (vida útil de la estructura).

Puesto que el clima realmente es importante, se analizan aquí los aspectos más relevantes de él, pues, están bastante ligados a la vida en el planeta y al proceso de deterioro de las construcciones (de concreto simple y reforzado, mampostería, acero o madera).

Definición de clima.

El clima puede definirse como el conjunto de los fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto específico de la superficie terrestre. Los principales elementos del clima se clasifican en:

1. Termodinámicos: presión, temperatura y vientos.
2. Acuosos: humedad, nubosidad y precipitación.

El clima del planeta esta regulado por varios factores:

1. La radiación solar: insolación.
2. La atmósfera: una envoltura de oxígeno, nitrógeno y otros gases que rodean la tierra.
3. Vapor de agua: uno de los principales gases que atrapan calor.
4. Dióxido de carbono: otro gas que atrapa calor y esencial para la realización de la fotosíntesis.
5. Otros factores: distribución de los cuerpos de agua continental y oceánica, vegetación, relieve topográfico, composición mineral terrestre, casquetes polares, mecanismos orbitales de la Tierra.

La atmósfera:

La zona de la atmósfera más importante para el desarrollo de la vida es la troposfera. En ésta se efectúan fenómenos tan importantes como la regulación de la temperatura, la regulación de las radiaciones solares, provee de dióxido de carbono para la fotosíntesis y otros.

Esta capa está formada por diferentes gases, la tabla 1.1. muestra la composición química de ésta. De estos elementos, por ejemplo, el oxígeno causa la corrosión de los metales, sobretodo los ferrosos y el dióxido de carbono participa en las reacciones que producen la carbonatación en las estructuras de concreto.

Clase	Elemento	Contenido (%)
Primarios	Nitrógeno	78.0800
	Oxígeno	20.9400
Secundarios	Argón	0.9300
	Anhídrido Carbónico	0.1300
Terciarios	Neón	0.0018
	Helio	0.0005
	Criptón	*
	Xenón	*
Cuaternarios	Metano	*
	Ozono	*
	Hidrógeno	*
	Oxido nitroso	*
	Monóxido de carbono	*
		* Otros (suma) 0.0177

Tabla 1.1. Principales gases de la troposfera y composición química.

El estudio del clima abarca casi todas las ciencias terrestres y con base en el conocimiento teórico y estadístico de sus elementos, a lo largo del tiempo, se ha llegado a la definición de los climas del planeta.

En el caso de la República Mexicana se han estudiado y registrado la intensidad de los elementos acuosos y termodinámicos del clima y se han establecido básicamente seis grandes zonas que influyen sobre el territorio nacional. Estas son las proporciones aproximadas:

Zona	Porcentaje
Cálido húmedo	4.70
Cálido sub-húmedo	23.00
Templado húmedo	2.70
Templado sub-húmedo	20.50
Seco	28.30
Muy seco	20.80

Tabla 1.2. Clasificación de los climas de México

En las figuras 1.10, 1.11, 1.12. muestran los mapas de temperaturas, precipitación pluvial y climas de la República Mexicana.



Figura 1.11. Mapa de precipitación media anual



Figura 1.12. Mapa de climas República Mexicana

La actividad humana ha generado contaminación del agua, aire y suelo que afectan al clima. Con ello, altera los ciclos hidrológicos, del carbono, del nitrógeno, del fósforo y otros que sustentan la vida en la tierra y, consecuentemente, causan el deterioro de la salud humana, de las vidas vegetal, animal y marina y la de otra clase de vida: la vida útil de las estructuras de concreto reforzado, mampostería, de acero, asfalto y otras.

Algunos de los cambios que se han dado en la atmósfera como producto de la contaminación son:

1. La inversión térmica.
2. La lluvia ácida.
3. Generación de ozono.
4. Deterioro de la capa de ozono.

Contaminación del agua.

Toda actividad humana requiere agua, esta se contamina por diversos factores:

1. Agentes biológicos: las bacterias, virus y protozoarios y otros parásitos llegan a los depósitos de agua provenientes generalmente de los drenajes y los desechos animales.

2. Desechos orgánicos: los restos de alimentos o de organismos provocan la eutrofización afectando directamente la vida de ríos y mares.
3. Sustancias químicas inorgánicas: los desechos domésticos y sobretudo los industriales llevan en sus aguas residuales ácidos, óxidos o restos de metales y sustancias tóxicas como plomo y cadmio.
4. Sustancias químicas orgánicas: plaguicidas, fertilizantes, detergentes y hasta hidrocarburos.
5. Sustancias radioactivas: algunos radioisótopos son solubles en el agua al mezclarse con ella en ríos o mares

Contaminación del aire.

Las causas principales de la contaminación del aire son la actividad industrial y la generada por los medios de transporte, los contaminantes del aire se dividen en tres grupos:

1. Contaminantes mecánicos: Estos se originan del ruido causado por, entre otros, vehículos o maquinaria.
2. Partículas orgánicas e inorgánicas:
 - Orgánicas: polen, cabellos, pelo de animales, amebas y otros microorganismos;
 - Inorgánicas: tierra, polvo, ceniza o humo.
3. Contaminantes químicos: Se dividen a su vez en primarios y secundarios, los primeros son aquellos que entran en contacto directo e inmediato con la atmósfera como consecuencia de eventos naturales o actividades humanas; los segundos se forman por la reacción entre un contaminante secundario y los componentes de la propia atmósfera, como es el caso del ácido sulfúrico que se forma por la reacción de óxidos de azufre y otros elementos del aire, como el agua, algunos compuestos químicos que se emiten son:
 - * Monóxido y dióxido de carbono.
 - * Óxido nítrico, dióxido de nitrógeno y óxido nítrico.
 - * Dióxido y trióxido de azufre
 - * Hidrocarburos: metano, benceno, formaldehídos y clorofluoro-carbonos
 - * Sustancias radiactivas: radón, estroncio, plutonio y otros.
 - * Compuestos oxidantes: ozono y peróxido de hidrógeno.

Además, los medios de transporte generan contaminantes, los principales contaminantes son derivados de las combustiones de los motores, que utilizan como fuente de energía: gasolinas, diesel, combustóleo, gas natural o electricidad. Las emisiones más importantes generadas por vehículos con motor son: plomo, óxido de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono y partículas suspendidas.

Contaminación del suelo.

Los ecosistemas se mantienen en equilibrio debido a la interacción de los factores bióticos (los vivos) y los abióticos (no vivos). Esta interrelación se ve afectada integralmente por la acción de contaminantes, ya que ambos factores dependen unos de otros

No es posible ignorar y asilar los eventos que suceden en el aire de los que ocurren en el agua o en la tierra, entre estos tres medios existe una dependencia derivada de los ciclos biogeoquímicos (de tres componentes biológicos geológicos y químicos)

El suelo se puede contaminar de manera directa e indirecta. La primera es mediante el vertido de sustancias tóxicas. Son ejemplo los basureros tradicionales y los de material radioactivo.

El suelo puede contaminarse de manera indirecta a través de la ocurrencia de los ciclos del agua, oxígeno y carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, pues estos "arrastran" contaminantes.

Desde la perspectiva de la construcción de estructuras, estas entran en contacto con el suelo mediante su cimentación

1.2.3 Ambientes de exposición

Ambientes de exposición.

Los estudios de ingeniería sobre el impacto del ambiente atmosférico, en las estructuras, ha requerido tipificar los ambientes y correlacionarlos con el grado de agresividad y deterioro que tienen las construcciones que están inmersas en ellos. Por ejemplo, el deterioro de una estructura es mayor y se da más rápidamente en un ambiente marino que en uno templado. Precisar el ambiente al que estarán expuestas las estructuras permite tomar las medidas preventivas y correctivas adecuadas para hacer durable una construcción

Ignorar las condiciones ambientales reinantes en un sitio determinado llevará a criterios tradicionales de diseño de estructuras para hacer resistentes estas a fenómenos sísmicos o eólicos pero no a condiciones atmosféricas agresivas



Figura 1 13. Deterioro de una estructura expuesta a condiciones ambientales

La tabla 1.3. presenta una clasificación de los ambientes de exposición para este fin.

CLASE DE EXPOSICIÓN		CONDICIONES AMBIENTALES
1 Ambiente seco		Humedades relativas constantes inferiores al 70%
2 Ambiente húmedo	A (sin heladas)	Humedades relativas constantes con poco riesgo de condensación
	B (Con heladas)	Humedades relativas variables con riesgo de condensación
3 Ambiente húmedo con heladas		Componentes externos expuestos al viento y a agentes de hielo-deshielo
4 Ambiente marino	A (sin heladas)	Zonas de niebla salina, salpicaduras e inmersión.
	B (Con heladas)	
5 Ambiente químicamente agresivo		A) Baja agresividad media B) Media agresividad C) Alta agresividad

Tabla 1.3. Clasificación de ambientes a los que están expuestas las construcciones

1.3. RELACIÓN ENTRE EL DAÑO ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS Y EL PROCESO DE DETERIORO DE LOS MATERIALES.

Las estructuras están expuestas, a lo largo de su construcción y de su vida útil, a factores geofísicos (sismos, huracanes), factores humanos (incendios, explosiones) y factores de operación y servicio.

Todos estos factores, de un modo u otro, producen fuerzas. Algunas de estas fuerzas engendradas son: térmicas, sísmicas, gravitacionales, friccionantes, de frenaje, hidroestáticas, eólicas, explosivas, flotacionales.

Estas fuerzas, de tipo externo, actúan sobre las estructuras y producen esfuerzos internos (básicamente de tensión, compresión y cortante) en cada uno de los elementos que las conforman. Así, cada elemento con función estructural, o sin función estructural, tiene una manera de responder, de resistir y de fallar.

En general, cuando la suma de las fuerzas externas son mayores que la fuerza interna, resistencia del elemento, entonces, se desarrolla agrietamiento en los elementos de concreto y mampostería y fluencia del material en los elementos de acero. De esta manera las fuerzas externas causan daño, de tipo estructural, a los elementos o provocan su falla total.

Independientemente de que los elementos estén o no dañados, están expuestos permanentemente a la acción de agentes y factores físicos, químicos y biológicos cuyo efecto, gradual en el tiempo, ocasiona reacciones en los materiales y conduce al deterioro de las estructuras.

Quando una estructura de concreto o mampostería, dañada en alguno de sus elementos, no es reparada, entonces el agrietamiento (por falla mecánica) facilita la penetración y la acción más franca de agentes físicos y químicos, circunstancia que puede acelerar el deterioro de los materiales y más aún si los factores externos (temperatura, humedad, concentración de químicos, grado de exposición y medio de contacto) son favorables.

Ignorar el proceso de deterioro de los materiales de construcción de las estructuras conduce, paulatinamente, a la reducción de la seguridad estructural de las construcciones, pues se magnifican problemas de reducción de secciones o perfiles, corrosión del acero estructural y del acero de refuerzo y desprendimiento del recubrimiento de los elementos de concreto.

Así, una estructura en una condición deteriorada pudiera no resistir las fuerzas engendradas por fenómenos sísmicos o meteorológicos. En el caso de las construcciones derrumbadas por el huracán Gilberto, muchas de ella presentaban deterioro por la acción del ambiente marino.

De esta manera, el daño estructural y el proceso de deterioro están estrechamente relacionados. Una construcción con materiales poco durables será más vulnerable a la acción de los agentes y factores de deterioro y consecuentemente influirá en su capacidad estructural para soportar fuerzas externas.

Capítulo 2

Análisis de los factores que provocan el deterioro en elementos de concreto simple y su mantenimiento

2. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS DE CONCRETO SIMPLE Y SU MANTENIMIENTO

2.1 EL CONCRETO SIMPLE

2.1.1 Materiales del concreto.

Para tener un panorama más claro de lo que es el concreto simple en sus modalidades de concreto asfáltico e hidráulico primero se exponen las características y propiedades de los materiales que los componen, tales como son el asfalto, cemento Portland y agregados pétreos en general.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: Pasta y agregados.

La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

La pasta esta compuesta de cemento portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. El volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21 %. El contenido de aire y concreto con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60 al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado esta completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

2.1.2 Antecedentes y características del concreto.

Cemento.

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, a aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Templos, palacios, museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero mezcla de arena con materia cementosa para unir bloques y lozas de piedra al erigir sus asombrosas construcciones.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada.

Un material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Puzzuoli y que aun actualmente se conoce como puzolana.

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, conducen a principios del siglo antepasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, la que al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba se molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo del cemento que actualmente se utiliza.

El nombre del cemento Portland le fue dado por la similitud que este tenía con la piedra de la isla de Portland del canal inglés. La aparición de este cemento y de su producto resultante el concreto a sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente.

Edificios, calles, avenidas, carreteras, presas y canales, fábricas, talleres y casas, dentro del mas alto rango de tamaño y variedades proporcionan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza donde realizar los más ansiados anhelos, un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir.

1824: James Parker, Joseph Aspdin patentan al Cemento Portland, materia que obtuvieron de la calcinación de alta temperatura de una Caliza Arcillosa.

1845: Isaac Johnson obtiene el prototipo del cemento moderno quemado, alta temperatura, una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del "clinker".

1868: Se realiza el primer embarque de cemento Portland de Inglaterra a los Estados Unidos.

1871: La compañía Coplay Cement produce el primer cemento Portland en los Estados Unidos.

1904: La American Standard For Testing Materials (ASTM), publica por primera vez sus estándares de calidad para el cemento Portland.

1906: En Ciudad Hidalgo Nuevo León se instala la primera fabrica para la producción de cemento en México, con una capacidad de 20,000 toneladas por año.

1992: Cemex se considera como el cuarto productor de cemento a nivel mundial con una producción de 30.3 millones de toneladas por año.

Agregados pétreos

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% *en peso*), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm.

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 38mm. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, río, lago o lecho marino.

El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, gujarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Un material es una sustancia sólida natural que tiene estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de los límites muy estrechos. Las rocas (que dependiendo de su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios materiales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros cuantos minerales; la mayor parte de las calizas consisten en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo, y arcilla.

El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistosas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tiene baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

Granulometría.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, mas otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

Granulometría de los agregados finos,

Depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua - cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía. Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30mm (No. 50) y de 15mm (No. 100) sean reducidos a 15% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

1. El agregado que se emplee en un concreto que contenga mas de 296 Kg. de cemento por metro cúbico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.

2. Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, el agregado fino se deberá rechazar a menos que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones el agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 0.15 mm (No. 100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto.

El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado.

El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

Granulometría de agregados gruesos.

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso.

El número de tamaño de la granulometría (o tamaño de la granulometría). El número de tamaño se aplica a la cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un arreglo mallas.

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado la malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

1. Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
2. Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
3. Un tercio del peralte de las losas.

Factores que influyen en la calidad del concreto

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de cemento.

A continuación se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto – a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; pero con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación.

Los aditivos se usan comúnmente para:

- Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento,
- Reducir la demanda de agua,
- Aumentar la trabajabilidad,
- Incluir intencionalmente aire, y ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, resistente al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento. El concreto también es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturizados para ser usado en un numero ilimitado de aplicaciones.

Concreto recién mezclado.

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colocarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición de "plástico" aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para moldear.

En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra quedan encajonados y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona si no que fluye como líquido viscoso sin segregarse.

El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la práctica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos del concreto fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables, pero jamás de mezclas similares a una sopa, para tener facilidad en su colocación. Se necesita una mezcla plástica para tener resistencia y para mantener su homogeneidad durante el manejo y la colocación. Mientras que una mezcla plástica es adecuada para la mayoría con trabajos con concreto, se puede utilizar aditivos superfluidificantes para adicionar fluidez al concreto en miembros de concretos delgados o fuertemente reforzados.

Mezclado.

La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora representa un papel importante en la uniformidad del producto terminado. Sin embargo, se puede variar esa secuencia y aun así producir concreto de calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el tiempo de adicionamiento de agua, en el numero total de revoluciones del tambor de la mezcladora, y en la velocidad de revolución.

Otros factores importantes en el mezclado son el tamaño de la revoltura en la relación al tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre la dosificación y el mezclado, el diseño, la configuración y el estado del tambor mezclador y las paletas. Las mezcladoras aprobadas, con

operación y mantenimiento correcto, aseguran un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una acción de rolado, plegado y amasado de la revoltura sobre sí misma a medida que se mezcla el concreto

La facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado. Se denomina trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos—cemento, arena y piedra dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se lleva a cabo las operaciones de acabado mientras este presente el agua de sangrado. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo más cerca posible de su posición final. El aire incluido mejor a la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

Consolidación

La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de la mezcla dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento es necesaria. Con una consolidación adecuada de las mezclas más duras y ásperas pueden ser empleadas, lo que tiene como resultado una mayor calidad y economía.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho, tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas. Solo al emplear mezclas más duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado.

El vibrado mecánico tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que no son fáciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

Hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento.

La propiedad de liga de las pastas de cemento portland se debe a la reacción química entre el cemento y el agua llamada hidratación.

El cemento portland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% o más del peso del cemento Portland y son: el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminio ferrito tetracálcico. Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los tipos de cemento Portland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Cuando el clinker (el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland) se examina al microscopio, la mayoría de los compuestos individuales del cemento se pueden identificar y se puede determinar sus cantidades. Sin embargo, los granos más pequeños evaden la detección visual. El diámetro promedio de una partícula de cemento típica es de aproximadamente 10 micras, o una centésima de milímetro. Si todas las partículas de cemento fueran las promedio, el cemento Portland

contendría aproximadamente 298,000 millones de granos por kilogramo, pero de hecho existen unos 15 billones de partículas debido al alto rango de tamaños de partícula. Las partículas en un kilogramo de cemento Portland tienen una área superficial aproximada de 400 m^2 .

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen cerca del 75% del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio. Este último es con mucho el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional - principalmente depende del gel del hidrato de silicato de calcio. Es la médula del concreto.

En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.

Cuando el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia esta en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcla el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. Aún entonces, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima agua - cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22 a 0.25.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida de que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción. En invierno, el calor de hidratación ayudara a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser dañino en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer. El cemento Portland tipo 1 libera un poco mas de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar mas de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El uso de cemento tipo 4, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe de tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque la velocidad de terminada el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del Clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado

Curado húmedo.

El aumento de resistencia continuara con la edad mientras este presente algo de cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de resaturar.

Velocidad de secado del concreto.

El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto (o de manera precisa, el cemento en el contenido) requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente esta relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho de que este seco, no es indicación de que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, tal como se menciona, el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el periodo de curado para que el cemento pueda hidratarse. El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida de que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuará a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

La superficie de un piso de concreto que no ha tenido suficiente curado húmedo es una muestra común. Debido a que se seca rápidamente, el concreto de la superficie es débil y se produce descascamiento en partículas finas provocado por el tránsito. Asimismo, el concreto se contrae al, secarse, del mismo modo que lo hacen la madera, papel y la arcilla (aunque no tanto). La contracción por secado es una causa fundamental de agrietamiento, y el ancho de las grietas es función del grado del secado.

En tanto que la superficie del concreto se seca rápidamente, al concreto en el interior le lleva mucho mas tiempo secarse.

Luego de 114 días de secado natural el concreto aun se encuentra muy húmedo en su interior y que se requiere de 850 días para que la humedad relativa en el concreto descienda al 50%.

El contenido de humedad en elementos delgados de concreto que han sido secado al aire con una humedad relativa de 50% a 90% durante varios meses es de 1% a 2% en peso del concreto, del contenido original de agua, de las condiciones de secado y del tamaño del elemento de concreto.

El tamaño y la forma de un miembro de concreto mantiene una relación importante como la velocidad de secado. Los elementos del concreto de gran área superficial con relación a su volumen (tales como losas de piso) se secan con mucho mayor rapidez que los grandes volúmenes de concreto con áreas superficiales relativamente pequeñas (tales como los estribos de puentes).

Muchas otras propiedades del concreto endurecido se ven también afectadas por su contenido de humedad; en ellas incluye la elasticidad, flujo plástico, valor de aislamiento, resistencia al fuego, resistencia al desgaste, conductividad eléctrica, durabilidad.

Propiedades del concreto

Resistencia.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kg/cm^2 a una edad de 28 días se le designe con el símbolo f_c . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas de especímenes de mortero o de concreto; en los Estados Unidos, a menos que se especifique de otra

manera, los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm de arista. en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puente, de edificios y otras estructuras. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm². Un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm² y pueden ser hasta de 1,400 kg/cm².

La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

El valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

La resistencia a la torsión para el concreto esta relacionada con el modulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto.

La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existe entre la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre.

El modulo de elasticidad, denotado por E , se puede definir como la relación del esfuerzo normal la deformación correspondiente para esfuerzos de compresión por debajo del limite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140,600 y 422,000 kg/cm², y se puede aproximar como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación agua-cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero.

Para una trabajabilidad y una cantidad de cemento dadas, el concreto con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el concreto sin aire incluido. La menor relación agua-cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedio.

Peso Volumétrico.

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso volumétrico dentro del rango de 2,240 y 2,400 kg/m³. El peso volumétrico del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo tiene un peso volumétrico 2400 kg/m³.

El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua permanece retenida herméticamente en poros y capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora al aire a una humedad relativa del 50% es de aproximadamente 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo del contenido inicial de agua del concreto, de las características de absorción de los agregados, y del tamaño de la estructura.

Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos volumétricos de 2400 kg/m³, a concretos pesados con pesos específicos de 6400 kg/m³, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

Resistencia a la congelación y al deshielo.

Del concreto utilizado en estructuras y pavimentos, se espera que tenga una vida larga y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo más destructivo es la congelación y el deshielo mientras el concreto se encuentra húmedo, particularmente cuando se encuentra con la presencia de agentes químicos descongelantes. El deterioro provocado por el congelamiento del agua en la pasta, en las partículas del agregado o en ambos.

Con la inclusión de aire es sumamente resistente a este deterioro. Durante el congelamiento, el agua se desplaza por la formación de hielo en la pasta se acomoda de tal forma que no resulta perjudicial; las burbujas de aire en la pasta suministran cámaras donde se introduce el agua y así se alivia la presión hidráulica generada.

Cuando la congelación ocurre en un concreto que contenga agregado saturado, se pueden generar presiones hidráulicas nocivas dentro del agregado. El agua desplazada desde las partículas del agregado durante la formación del hielo no puede escapar lo suficientemente rápido hacia la pasta circundante para aliviar la presión. Sin embargo, bajo casi todas las condiciones de exposición, en una pasta de buena calidad (de baja relación agua-cemento) evita que la mayor parte de las partículas de agregado se saturen. También, si la pasta tiene aire incluido, acomodará las pequeñas cantidades de agua en exceso que pudieran ser expulsadas por los agregados, protegiendo así al concreto contra daños por congelación y deshielo.

1. El concreto con aire incluido es mucho más resistente a los ciclos de congelación y deshielo que el concreto sin aire incluido,
2. El concreto con una relación agua-cemento baja es más durable que el concreto con una relación agua - cemento alta.
3. Un periodo de secado antes de la exposición a la congelación y el deshielo beneficia sustancialmente la resistencia a la congelación y deshielo del concreto con aire incluido, pero no beneficia de manera significativa al concreto sin aire incluido. El concreto con aire incluido con una relación agua-cemento baja y con un contenido de aire de 4% a 8% soportara un gran número de ciclos de congelación y deshielo sin presentar fallas.

La durabilidad a la congelación y deshielo se puede determinar por el procedimiento de ensaye de laboratorio ASTM C 666, " Estándar Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing". A partir de la prueba se calcula un factor de durabilidad que refleja el numero de ciclos de congelación y deshielo requeridos para producir una cierta cantidad de deterioro. La resistencia al descascaramiento provocado por compuestos descongelantes se puede determinar por medio del procedimiento ASTC 672 "Estándar Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals".

Permeabilidad y Hermeticidad

El concreto empleado en estructuras que retengan agua o que estén expuestas a mal tiempo o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se define a menudo como la capacidad del concreto de refrenar o retener el agua sin escapes visibles. La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.). Generalmente las mismas propiedades que convierten al concreto menos permeable también lo vuelven más hermético.

La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la permeabilidad de la pasta, de la permeabilidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto a la restauración, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro.

La permeabilidad también afecta la capacidad de destrucción por congelamiento en condiciones de saturación. Aquí la permeabilidad de la pasta es de particular importancia porque la pasta recubre a todos los constituyentes del concreto. La permeabilidad de la pasta depende de la relación agua-cemento y del agregado de hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere de una relación agua-cemento baja y un periodo de curado húmedo adecuado. La inclusión de aire ayuda a la hermeticidad aunque tiene un efecto mínimo sobre la permeabilidad aumenta con el secado.

La permeabilidad de una pasta endurecida madura mantuvo continuamente rangos de humedad de 0.1×10^{-12} cm/s. para relaciones agua-cemento que variaban de 0.3 a 0.7. La permeabilidad de rocas comúnmente utilizadas como agregado para concreto varía desde aproximadamente 1.7×10^{-9} hasta 3.5×10^{-13} cm/s. La permeabilidad de un concreto maduro de buena calidad es de aproximadamente 1×10^{-10} cm/s.

Los resultados de ensayos obtenidos al sujetar el disco de mortero sin aire incluido de 2.5 cm de espesor a una presión de agua de 1.4 kg/cm^2 . En estos ensayos, no existieron fugas de agua a través del disco de mortero que tenía relación agua - cemento en peso iguales a 0.50 o menores y que hubieran tenido un curado húmedo de siete días. Cuando ocurrieron fugas, estas fueron mayores en los discos de mortero hechos con altas relaciones agua - cemento. También, para cada relación agua - cemento, las fugas fueron menores a medida que se aumentaba el periodo de curado húmedo. En los discos con una relación agua cemento de 0.80 el mortero permitía fugas a pesar de haber sido curado durante un mes. Estos resultados ilustran claramente que una relación agua - cemento baja y un periodo de curado reducen permeabilidad de manera significativa.

Las relaciones agua-cemento bajas también reducen la segregación y el sangrado, contribuyendo adicionalmente a la hermeticidad. Para ser hermético, el concreto también debe estar libre de agrietamientos y de huecos.

Ocasionalmente el concreto poroso, concreto sin finos que permite fácilmente el flujo de agua a través de sí mismo se diseña para aplicaciones especiales. En estos concretos, el agregado fino se reduce grandemente o incluso se remueve totalmente produciendo un gran volumen de huecos de aire. El concreto poroso ha sido utilizado en canchas de tenis, pavimentos, lotes para estacionamientos, invernaderos estructuras de drenaje. El concreto excluido de finos también se ha empleado en edificios a sus propiedades de aislamiento térmico.

Resistencia al desgaste.

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste esta estrechamente relacionada con la resistencia

la compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación agua-cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con lana de metal resistente más el desgaste que una que no lo ha sido.

Se pueden conducir ensayos de resistencia a la abrasión rotando balines de acero, ruedas de afilar o discos a presión sobre la superficie (ASTM 779). Se dispone también de otros tipos de ensayos de resistencia a la abrasión (ASTM C418 y C 944).

2.2 EL ASFALTO

2.2.1 Antecedentes

Los asfaltos son componentes naturales de muchos petróleos en los cuales se encuentra disuelto y su historia data de hace más de cinco mil años ya que las recientes excavaciones arqueológicas muestran que de 3200 a 540 años antes de Cristo se empleó mucho el asfalto en Mesopotamia como cemento para ligar mamposterías, así como también como capa impermeabilizante en los baños de los templos y tanques de agua. Posteriormente tenemos que 300 años antes de Cristo el asfalto es empleado en la momificación. En el año de 1802 en Francia se emplea la roca asfáltica para formar pisos y banquetas. En el año 1838 se importa la roca asfáltica de Filadelfia para ser empleada en pisos. En 1876 se construye el primer pavimento de lámina asfáltica en Washington haciendo uso del asfalto de lago importado. A fines del año de 1902 ya se había refinado en los Estados Unidos de América alrededor de 20 000 barriles de asfalto de petróleo. Desde entonces a la fecha, la producción de asfalto en diferentes partes del mundo ha ido en aumento produciéndose en la actualidad muchos millones de toneladas anuales de asfalto nada más entre México, Venezuela y los Estados Unidos de América.

2.2.2 Tipos de asfalto

La mayor parte del asfalto que se emplea hoy día en América proviene de la refinación del petróleo.

El asfalto refinado se produce en una gran variedad de tipos desde los sólidos, duros y quebradizos, hasta los fluidos casi tan líquidos como el agua. La forma semisólida conocida como cemento asfáltico es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo.

Disolviendo el cemento asfáltico en diferentes destilados volátiles del petróleo, o emulsificándolo con agua, se obtienen los productos asfálticos los cuales muy pronto adquieren un alto valor cementante al usarse.

A continuación se enuncian los asfaltos más utilizados en la construcción de pavimentos:

1. Asfalto de fraguado lento, se compone de cemento asfáltico y aceites de volatilización lenta.
2. Asfaltos de fraguado medio, con cemento asfáltico y Kerosina.
3. Asfalto de fraguado rápido, contiene cemento asfáltico y gasolina.
4. Emulsión asfáltica, sus elementos son, cemento asfáltico emulsor y agua.

Además de los asfaltos mencionados, que se conocen como asfaltos rebajados y emulsión asfáltica se cuenta con los siguientes:

Asfalto natural

Es un asfalto que se obtiene por el proceso natural de evaporación o destilación, y se forma cuando el petróleo crudo sube hasta la superficie de la tierra a través de grietas. Ya en la superficie, la acción conjunta del sol y el aire separa los aceites ligeros y los gases dejando un residuo que es el asfalto, el cual generalmente está impregnado con un cierto porcentaje de arcilla o arena muy fina que se adhiere al petróleo crudo durante el trayecto ascendente por las grietas a la superficie.

Asfalto de lago

Es un asfalto que se encuentra en depósitos superficiales en las depresiones de tierra.

Roca asfáltica

Es una roca que se encuentra en la naturaleza con cierto grado de impregnación asfáltica.

Gilsonita

Es un asfalto natural duro y quebradizo que se encuentra en las hendiduras de las rocas, o en vetas de donde se extrae.

Asfalto refinado con vapor

Es el asfalto que se refina en presencia de vapor durante el proceso de destilación.

El asfalto oxidado o soplado

Es aquel asfalto al cual se le ha modificado alguna de sus características naturales, debido a que se le ha inyectado aire a temperatura elevada durante su destilación, este asfalto tiene un punto de fusión más alto que el asfalto de la misma consistencia elaborado por simple destilación o evaporación.

Asfalto refinado

Es cualquier asfalto sometido a un proceso de refinación.

Cemento asfáltico

Es un asfalto refinado por destilación al vapor de los residuos más pesados del proceso de fraccionación, continuándose la destilación hasta obtener la penetración deseada.

Asfalto pulverizado

Es el asfalto duro el cual ha sido molido hasta reducirlo a polvo.

Mastique asfáltico

Es una mezcla de cemento asfáltico y material mineral en proporciones tales que al calentarse se vuelve una masa espesa, de lenta fluidez que puede vaciarse y compactarse con cuchara de albañil hasta obtener una superficie lisa.

Ensayes en asfaltos

Los asfaltos deben ser sometidos a pruebas de laboratorio con el fin de conocer sus características y ver si se encuentran dentro de las especificaciones marcadas por la fuente de producción. Los asfaltos deben cumplir con los requisitos que marcan las especificaciones de Petróleos Mexicanos que se enuncian a continuación.

Densidad del producto asfáltico

La determinación de la densidad de los productos asfálticos es de mucha importancia como un medio para hacer correcciones de volumen cuando se miden éstos a temperaturas altas. En el laboratorio, la densidad de un asfalto se determina llenando una botella pequeña con agua y pesándola; después, llenando la misma botella con asfalto a 15 °C y pesándolo. El peso neto del asfalto dividido entre el peso neto del agua es la densidad del asfalto.

Destilación de los asfaltos rebajados.

El objeto de la prueba de destilación es determinar la cantidad de disolvente que contiene el producto asfáltico y conocer sus características en lo referente a la volatilización.

Viscosidad de los asfaltos rebajados y de las emulsiones asfálticas.

El objeto de la prueba de viscosidad es determinar el grado de fluidez de un asfalto líquido a determinada temperatura.

Penetración en el residuo de la destilación de los asfaltos rebajados y en los cementos asfálticos.

La prueba de penetración tiene por objeto el determinar el grado de dureza del residuo de la destilación de los asfaltos rebajados o la dureza del cemento asfáltico original.

Punto de ignición de asfaltos rebajados y en cementos asfálticos.

El punto de ignición mínimo de un asfalto representa la temperatura crítica arriba de la cual deberán tomarse precauciones para eliminar los peligros de incendio durante el calentamiento y manipulación del mismo.

Contenido de agua en asfaltos rebajados.

Esta prueba se lleva a cabo con el objeto de determinar la cantidad de agua presente en los asfaltos rebajados, agua que generalmente da origen a la formación de espuma al calentar el producto asfáltico provocando con ello dificultad en su manejo.

Ductilidad en el residuo de la destilación de asfaltos rebajados y en cementos asfálticos.

La ductilidad de un asfalto es la distancia a la que puede estirarse, sin romperse, una muestra patrón de asfalto a la temperatura de 25 °C, tirando de los extremos de la muestra hacia fuera a la velocidad de cinco centímetros por minuto.

Una ductilidad alta es deseable en caminos para que no se agriete la carpeta el presentarse algún desplazamiento.

Emulsiones asfálticas

En la evolución que durante el tiempo han tenido los productos cementantes en los pavimentos flexibles, aparecieron hace algunos años las emulsiones asfálticas, trajeron consigo grandes ventajas constructivas por la facilidad de su empleo, pues permitían dejar de usar los primitivos medios de calentamiento de los asfaltos viscosos hasta entonces empleados. Sin embargo, en la actualidad los métodos de calentamiento se han perfeccionado de tal manera que los productos viscosos vuelven a resultar cómodos, aunque para ello es necesario disponer de equipo especial, mientras que para el uso de emulsiones éste se reduce a los elementos indispensables para el transporte y colocación en obra.

Las emulsiones asfálticas son líquidos color chocolate casi tan fluidos como el agua y de la cual contienen entre 40 y 50%, siendo ésta un factor importante en el conjunto.

Para conseguir que el agua y el cemento asfáltico queden perfectamente emulsionados es necesario reducir el cemento asfáltico a pequeñas gotas de tal manera que queden flotando en el agua. La estabilidad de esta suspensión se logra proporcionándole a las gotas de cemento asfáltico una fuerza repulsiva que impida la unión de unas gotas con otras, lo que trae como resultado que las dos fases agua y cemento asfáltico, se mantengan separadas.

El emulsor empleado es generalmente, un agente químico constituido por productos tenso activos que rebajan la tensión interfacial entre agua y cemento asfáltico, y carga, a la vez eléctricamente a las pequeñas gotas de este (micelas) con lo que se consigue que haya una repulsión entre ellas. De este signo que recubre a la micela sea negativo o positivo, nace la diferencia fundamental entre las emulsiones ácidas y básicas (catiónicas y aniónicas.)

El agua contenida en la emulsión asfáltica puede constituirse en un problema al entrar en contacto con el agregado pétreo y presentar falta de adherencia, sin embargo, las cargas eléctricas que recubren a las micelas de cemento asfáltico pueden favorecer dicha adherencia siempre que exista la diferencia de signos entre los agregados pétreos y las micelas, por ejemplo, los agregados básicos como las calizas, que están recubiertos de cargas positivas sentirán una gran atracción hacia las micelas de cemento asfáltico recubiertas con cargas eléctricas negativas o sea emulsiones básicas.

Materiales pétreos para concreto asfáltico

Características.

Para conocer las características físicas de los agregados que se pretendan emplear en la elaboración de carpetas asfálticas es necesario aplicarles pruebas de laboratorio tales como peso volumétrico seco y suelto, granulometría, densidad, absorción, desgaste, adherencia con el asfalto, índice de plasticidad, contracción lineal, etc. En general los materiales pétreos para concretos asfálticos deben llenar los siguientes requisitos:

- a. No deben emplearse agregados pétreos que presenten más del 5 % en peso de fragmentos en forma de lascas (alargados) o que tengan una tendencia marcada a romperse en forma de lascas cuando se les tritura. Generalmente se considera como lascas las que tengan una longitud mayor de tres veces la dimensión menor del agregado.
- b. No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en grumos.
- c. Los agregados pétreos no deben tener más del 20 % de fragmentos suaves.
- d. Los agregados pétreos deben emplearse de preferencia secos o cuando mucho con una humedad igual a la absorción de ese material.
- e. El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.
- f. Tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas del equipo de compactación.
- g. La porción que pase la malla N ° 40 no debe tener una contracción lineal mayor de tres.
- h. Los materiales pétreos deben llenar características granulométricas para composición granulométrica y granulometría para mezclas en el lugar.
- i. El desgaste determinado con la máquina Los Ángeles no debe ser mayor de 40 %.
- j. La absorción del material pétreo no debe ser mayor al 3 %.
- k. La densidad aparente del material pétreo no debe ser menor de 2.3.
- l. El material pétreo debe tener buena adherencia con el asfalto.
- m. El material pétreo debe resistir la prueba de intemperismo acelerado.

2.1.3 Usos del concreto simple

Pavimentos de concreto asfáltico y de concreto hidráulico.

Pavimento

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando se determina el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

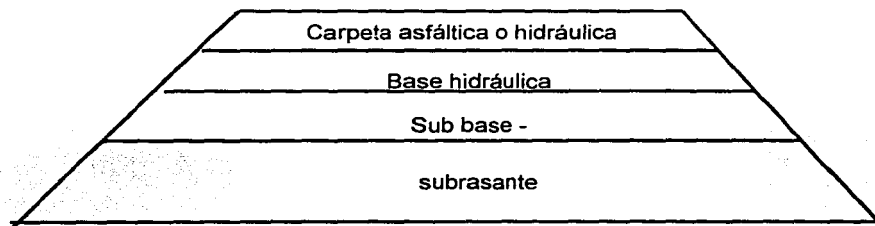


Figura 2.1 Capas más usuales en un pavimento

Básicamente existen dos tipos de pavimentos: rígidos y flexibles. El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas. El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.

Pavimentos de concreto hidráulico

Este tipo de pavimentos tienen la característica principal de que la carpeta o superficie de rodamientos es de concreto hidráulico y las capas estructurales con las que cuenta generalmente son dos, la base hidráulica y carpeta hidráulica además de contener juntas para control de agrietamiento, las cuales pueden estar solo indicadas o incluso contener acero de refuerzo.

Pisos y firmes de concreto.

Pisos

Para efecto de este capítulo solo se consideran los pisos de concreto simple, cuyos elementos que lo componen por lo general son: "subrasante", base de mortero, acabado con mortero o con piezas de cerámica.

La "subrasante" que estrictamente puede hasta llegar a ser toda una estructura de pavimento con todas sus capas, esto puede ocurrir por ejemplo en un estacionamiento de camiones de carga, los esfuerzos transmitidos al suelo podrían absorberse con un elemento de concreto pero este elemento puede ser de un espesor importante e igualmente los costos pueden ser muy altos, de ahí la necesidad de construir un pavimento. Otro caso un tanto extremo es el de un piso destinado al uso peatonal en una vivienda, en este caso no se tienen cargas altas, sin embargo para el peso mismo de los materiales y para mantener en buenas condiciones de servicio el piso es que se construye una al menos una base de material inerte que generalmente es toba volcánica (conocido como tepetate), después de esta capa existen varias posibilidades una es que se construya el piso de concreto de

espesores que pueden variar de 5 cm. hasta 15 cm. dependiendo del uso al que se destine dándole el acabado igualmente según su uso.

Otra posibilidad es que sobre la capa de material inerte se coloque un firme de mortero que puede ser desde los 5 cm. hasta los 10 cm. para después colocar un acabado cerámico hecho también de mortero de los cuales en el mercado se cuenta con gran variedad de tamaños y calidades, incluso existen pisos que se utilizan en las salas de operación de un hospital con propósito de aislar la energía eléctrica y así evitar la energía electrostática que se genera por ejemplo cuando se camina por una alfombra.

Firmes

El firme propiamente se refiere a toda la estructura que se encuentra por abajo del acabado u otro elemento ya que en entortados para impermeabilización de azoteas se considera como un firme que servirá para recibir al enladrillado. Las estructuras de las que se compone generalmente son una base que puede ir desde una cama de tepetate compactado hasta y estructuras de un pavimento en forma, después se encuentra lo que en el uso cotidiano se le denomina firme y que puede ser de concreto o mortero de cemento portland, si el caso es que esta capa tenga el acabado para ser utilizada entonces lo conveniente es que sea un firme de concreto y contará con propiedades de acabado y resistencia adecuados para el uso final, si en cambio se pretende dar un acabado con material cerámico y dependiendo de su uso lo más adecuado será un firme de mortero que tiene propiedades de calidad y resistencia menores pero que sin embargo se mejorarán con el acabado que se coloque o como en el caso de un entortado no estará sujeto el firme a grandes cargas y por lo tanto no sea tan exigida la calidad de este elemento.

clase	transito	Uso	Consideraciones especiales	Acabado del concreto
1	Peatonal ligero	Residencial o cubierto con mosaico	Pendiente para drenaje; nivelación para colocar mosaico	Llana de acero mediana.
2	Peatonal	En oficinas, iglesias, escuelas, hospitales, de ornato residencial	Agregado antiderrapante; mezcla en la superficie. Color mezclado especial	Llana de acero, acabado especial antiderrapante Llana de acero, color, agregado expuesto; lavar si el agregado va a estar expuesto.
Una capa 3	Peatonal ligero y vehículos ligeros.	Para las entradas de autos, pisos de cocheras y banquetas de residencias.	Corona, bombeo, juntas, inclusión de aire.	Llana de madera, de acero y escoba.
4	Peatonal ligero y vehículos ligeros.	Comercial en industrial ligero	Curado cuidadoso	Llana de acero duro y cepillado para antiderrapantes
5	Peatonal y vehículos uso abrasivo.	Industrial de una capa superficie de desgaste integral.	Curado cuidadoso	Agregado especial metálico o mineral, llana de madera y de acero
6 dos capas	Peatonal y de vehículos con ruedas duras, abrasión considerable.	Industrial pesado en dos capas ligadas.	Superficie texturizada y ligada Capa de desgaste. Agregado especial y/o tratamiento superficial metálico o mineral	Superficie nivelada por medio de maestras. Aplanadoras mecánicas especiales y aplanado repetido con llana de acero.
7	Clases 3, 4, 5, 6	Capas de desgaste no ligadas.	Refuerzo de malla, lubricante sobre superficies de concreto antiguas: 2.5 pulgadas (64 mm nominales)	

Tabla 2.1 Clasificación de pisos

Pisos de Adoquín

El Adoquín es una pieza modular precolada de cemento y arena que se utiliza como piso o pavimento, dándole al constructor una solución práctica y efectiva con las siguientes ventajas:

1. Variedad de formas
2. Diferentes resistencias
3. Facilidad de instalación
4. Acceso a redes subterráneas
5. Uso inmediato
6. Combinación de colores
7. Durable y antiderrapante

Fundamentalmente podemos clasificar los adoquines en dos grupos:

- Peatonales
- De tránsito ligero y de pavimento.

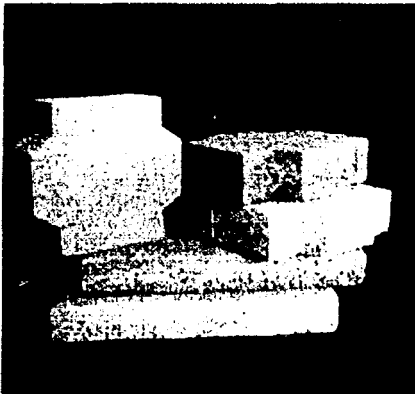
Es por ello que primero se deberá considerar:

- Su tipo de uso-Intensidad de tránsito (Peatonal o vehicular)-Su capacidad de carga y la velocidad del tránsito

Una vez definidos los puntos anteriores, podemos proponer el adoquín más adecuado tomando en cuenta

- Tipo de colocación Espesor-Intención visual-Forma del adoquín-Resistencia-Color

El adoquín cruz de tabasco (bicapa) se pueden colocar en lugares de tráfico pesado, estacionamientos, avenidas, calles, explanadas, carreteras, jardines y otras aplicaciones arquitectónicas de urbanización. Contamos con mitades tanto a lo largo como ancho del producto para evitar cortes en algunos casos. Somos los únicos fabricantes en sistema bicapa dando más textura fina. Cada pieza pesa 8 Kg. y tiene un rendimiento de 20 piezas por m^2 . Tiene una resistencia de 400 kg/cm^2 . Puede tenerse hasta una capacidad de producción de 700 m^2 por día.



Figuras 2. 2 y 2.3 Adoquín cruz de tabasco (bicapa)

El adoquín rectangular se utiliza en zonas de tráfico ligero, banquetas, andadores. Se puede combinar como cenefa con otros adoquines, por su tamaño tiene mayor rendimiento. Cada pieza pesa 11 Kg. y tiene un rendimiento de 12.5 piezas por m². Tiene una resistencia de 300 kg/cm². Los colores que manejamos son gris natural, rosa, negro y sobre pedido se puede fabricar cualquier otro color.

El adoquín cruz de tabasco (bicapa) se pueden colocar en lugares de tráfico pesado, estacionamientos, avenidas, calles, explanadas, carreteras, jardines y otras aplicaciones arquitectónicas de urbanización. Se cuenta con mitades tanto a lo largo como ancho del producto para evitar cortes en algunos casos. Con el sistema bicapa se una textura más fina. Cada pieza pesa 8 Kg. y tiene un rendimiento de 20 piezas por m². Tiene una resistencia de 400 kg/cm². Contamos con una capacidad de producción de 700 m² por día. Los colores que existen son, gris natural, rosa, negro y sobre pedido se puede fabricar cualquier color.

El adoquín rectangular se utiliza en zonas de tráfico ligero, banquetas, andadores. Se puede combinar como cenefa con otros adoquines, por su tamaño tiene mayor rendimiento. Cada pieza pesa 11 Kg. y tiene un rendimiento de 12.5 piezas por m². Tiene una resistencia de 300 kg/cm².

El principal uso de la Guarnición es en banquetas de fraccionamientos, plazas, centros comerciales, estacionamientos, calles, topes y andadores. Su colocación es muy rápida, presenta un ahorro en la cimbra y da presentación a las obras. Cada pieza pesa 43 Kg. y tiene un rendimiento de 2 piezas por metro lineal.

Tiene una resistencia de 400 kg/cm². Se puede tener una capacidad de producción de 700 metros lineales por día. Los existentes son, gris natural, rosa, negro y sobre pedido se puede fabricar cualquier otro color.

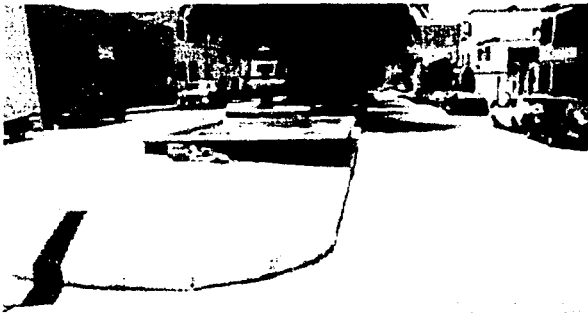


Figura 2.4 y 2.5 El adoquín cruz de tabasco (bicapa) se pueden colocar en lugares de tráfico pesado, estacionamientos, avenidas, calles, explanadas, carreteras, jardines y otras aplicaciones arquitectónicas de urbanización.

Recomendaciones para la ejecución de pavimentos flexibles (base compuesta de arena)

Se recogen en este apartado una serie de útiles consejos de interés para el proyecto, la dirección y ejecución de firmes de adoquín cerámico sobre cama de arena (firmes flexibles), destinados a soportar tráfico peatonal o bien de vehículos pesados.

Pavimentos flexibles. Ventajas

El sistema constructivo para la ejecución de firmes flexibles con adoquín cerámico, consiste en la colocación de las piezas sobre una camada de arena gruesa, precompactada sin aglomerantes y el relleno posterior de las juntas con arena de menor diámetro y compactación del conjunto.

La colocación de los adoquines cerámicos únicamente con arena tiene una serie de ventajas que la hacen aconsejable en la mayoría de los casos, con las únicas excepciones de zonas de fuerte pendiente (superiores al 9%), expuestas a frecuentes e intensas proyecciones de agua, como lavaderos de vehículos, bordes de piscinas, etc. (en este caso es aconsejable el relleno de la junta con mortero). Fuera de este caso, se recomienda la solución normal de firme flexible por las siguientes razones:

- 1.- La utilización de arena supone una disminución en los costos, tanto en materiales al evitar el empleo de morteros, como en mano de obra, ya que los rendimientos de ésta aumentan de forma considerable.
- 2.- No es necesario realizar juntas de dilatación en este tipo de adoquinado, lo que confiere una continuidad al pavimento que mejora el aspecto estético y permite al proyectista una mayor libertad en el diseño del espacio.
- 3.- Con una base bien calculada y eligiendo el modelo de adoquín adecuado, permite con total garantía, la pavimentación de viales que soporten tráfico de vehículos pesados.
- 4.- Facilita cualquier tipo de cambio que quiera hacerse al pavimento con posterioridad. Esto es especialmente útil cuando se necesite realizar reparaciones en las redes de servicio enterradas bajo el pavimento, pues permite la reutilización de las piezas que hayan de levantarse en su misma posición. Esto no-solo es un ahorro económico, sino que evita los habituales "parches" que se producen en otros pavimentos.
- 5.- La puesta en servicio de estos pavimentos es inmediata, sin tener que esperar a que los aglomerantes adquieran la resistencia necesaria

COMPOSICIÓN DEL FIRME

Para garantizar el correcto funcionamiento de cualquier tipo de pavimento, es fundamental realizar un soporte adecuado en función de las solicitaciones que va a soportar. De la buena ejecución de la base y en su caso de la sub-base, así como de un acertado examen del suelo natural sobre el que se va a actuar, dependerá en buena medida la duración del adoquinado.

La sección del firme se dimensionará en función del tipo de tráfico previsto. Habitualmente, bajo los adoquines cerámicos se sitúan los siguientes elementos:

- subrasante.
- Sub-base granular.
- Base artificial, concreto hidráulico o gravacemento.
- Cama de arena.

Además de esta sección de firme tipo, se pueden ejecutar pavimentos de adoquín sobre cualquier estructura resistente, como forjados o losas. También existe la posibilidad de utilizar bases de aglomerado asfáltico.

Subrasante

La subrasante la compondrá el material natural existente en el terreno, debidamente desbrozado y rasanteado de acuerdo con las pendientes previstas en proyecto.

En caso de tratarse de suelos clasificados como inadecuados para servir de subrasante, de acuerdo con lo prescrito por la SCT, se procederá a su sustitución o consolidación.

Sub-base granular.

Es aconsejable la introducción de esta capa, siempre que el adoquinado vaya a soportar tráfico pesado. En caso de zonas peatonales, dependiendo de la naturaleza de la subrasante y del tipo de base que se proyecte, puede resultar necesaria igualmente la inclusión de sub-base.

El material a emplear estará compuesto por áridos naturales o procedentes del triturado de piedra de cantera o grava natural, escorias, suelo seleccionado o materiales locales exentos de arcillas, margas o materia extraña, el material será no plástico.

Una vez extendido el material en obra se procederá a su humectación adecuada para ser compactado. La densidad alcanzada tras la compactación será superior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado.

Base

En la ejecución de esta capa del firme se cuidará de forma especial el que se produzcan las mínimas desviaciones sobre la rasante proyectada, en caso contrario pueden producirse discontinuidades en la camada de arena que afectaran al comportamiento homogéneo del adoquinado, sobre todo durante la compactación del mismo.

Pueden utilizarse, debidamente dimensionados, cualquiera de los siguientes materiales:

a) Con materiales pétreos.

El material a emplear procederá del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, deberá contener al menos un 50% en peso de elementos que presenten dos caras o más de fractura. Estará exento de materia orgánica polvo, arcillas y cualquier otra materia perjudicial. El material será no plástico.

La curva granulométrica de los áridos se adaptará a uno de los usos definidos la SCT.

Una vez extendido el material se humectará de forma adecuada para proceder a su compactación, que deberá alcanzar el 100% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado. En ocasiones es aconsejable el relleno con arena y su compactación para evitar pérdidas posteriores de la camada de arena, o bien interponer una lamina de material geotextil.

b) Gravacemento

Los áridos a emplear en la mezcla procederán del machaqueo de piedra de cantera o de gravas naturales. La granulometría se acomodará a lo dispuesto por la SCT,

Los áridos empleados serán no plásticos, estarán exentos de materia orgánica y la proporción de terrones de arcilla será inferior al 2% en peso.

La dosificación de cemento no superará el 4,50% en peso respecto al total de áridos.

La resistencia a compresión de probetas a siete días, fabricadas en obra con el molde y compactación del Proctor modificado no será inferior a 35 kg/cm².

La puesta en obra se efectuará siguiendo las recomendaciones de la SCT, con especial cuidado en la humectación adecuada del soporte y evitar segregaciones de la mezcla en el transporte. Se procurará la continuidad de los trabajos, en caso de interrupciones de importancia se ejecutaran las oportunas juntas constructivas.

La compactación se efectuará en una sola capa, recomendándose alcanzar el 100% de la densidad máxima del Proctor modificado de la mezcla con cemento, y en ningún caso inferior al 97%.

Una vez terminada la compactación, se mantendrá húmeda la capa de gravacemento y con posterioridad es recomendable aplicar un riego con ligante bituminoso sobre el que se espolvoreará arena de 0 - 5 mm.

c) Mortero

Se recomienda la utilización de concretos en masa de resistencia característica no inferior a 100 kg/cm², pudiéndose emplear áridos con tamaño máximo de 40 mm. que cumplan las especificaciones de la SCT.

Se cuidará durante la ejecución la humectación del soporte o bien la interposición de membranas plásticas que eviten la deshidratación de la mezcla. La superficie se alisará con llana, evitándose resaltes y rehundidos de importancia, pero sin alisarla por completo. Se dispondrán las juntas de dilatación y constructivas. Por último, se efectuará un adecuado curado del concreto por los métodos que se estimen convenientes.

Cama de arena

Se recomienda la utilización de arena natural bien lavada. La granulometría estará comprendida entre 5 y 0.4 mm. no debiendo existir más de un 10% de material que exceda o esté por debajo de estos márgenes. En general las arenas naturales gruesas dan buenos resultados.

El material no contendrá mas de un 3% de arcillas y limos y estará exento de materias extrañas y sales perjudiciales.

El espesor de esta capa estará comprendido entre 3 y 5 cm., una vez compactada.

Antes de iniciar el extendido de la arena en una zona, se habrán ejecutado los bordillos y demás elementos de contención del pavimento, así como los drenajes necesarios, en su caso, para evacuar aguas de filtración.

Los pavimentos flexibles de adoquín cerámico, terminan comportándose como pavimentos impermeables, ya que el polvo y la suciedad acaban por llenar las juntas entre piezas impidiendo infiltraciones de agua por las mismas, por lo que se proyectarán con elementos de drenaje superficial. De todas formas, a fin de evitar posibles saturaciones de la cama de arena en la primera etapa de utilización, cuando la base es impermeable, pueden preverse drenajes en aquella. En estos caso se tomará la precaución de interponer membranas de tipo geotextil entre la arena y el elemento de drenaje a fin de evitar asientos por pérdida de arena.

La arena se extenderá en una capa uniforme, suelta y sin compactar, hasta la altura necesaria para obtener, una vez compactada, las rasantes fijadas. El sistema habitual para rasantear esta capa es la utilización de reglas corridas sobre maestras en las que se han registrado las rasantes. La precompactación de la arena se efectuará mediante apisonadoras de rodillos

Colocación de adoquines

Una vez rasanteada y precompactada la capa de arena, se procederá a colocar sobre ella los adoquines cerámicos de acuerdo con el aparejo proyectado.

Existen multitud de posibilidades para el diseño de pavimentos, combinando los distintos aparejos posibles para cada modelo, los diferentes formatos y colores. Para firmes destinados a soportar tráfico de vehículos pesados se desaconsejan aquellos aparejos que presenten juntas continuas en el adoquinado, especialmente si éstas se disponen paralelas al eje longitudinal de la calzada. Para este tipo de solicitaciones está especialmente indicado el uso de aparejo en espiga, bien disponiendo la pieza en paralelo con los ejes de la calzada o bien girándola 45° respecto a los mismos, para lo que se dispone de piezas complementarias que evitan los laboriosos cortes en los bordes.

A la hora de proyectar firmes flexibles con adoquín cerámico, se tendrá en cuenta la adecuada previsión de pendientes y elementos de desagüe superficial. La pendiente transversal no será en ningún caso inferior al 1%, recomendándose pendientes de al menos un 2%. Cuando se proyecten tramos de pendiente superior al 9% se recomienda utilizar soluciones de pavimento rígido.

Se obtienen mejores resultados tomando adoquines de varios paquetes a la vez, lo que minimiza la influencia de pequeñas diferencias de calibre o tono de las piezas.

Es fundamental realizar un perfecto replanteo del pavimento; para conseguirlo se tomarán las piezas necesarias y se presentarán en el lugar en que van a colocarse, con la separación de junta real, con el objeto de ajustar en lo posible los bordes de contención a medidas de piezas completas; realizar correctamente esta operación evitará cortes de piezas innecesarios que encarecen la ejecución y disminuyen la calidad del acabado.

No es aconsejable colocar piezas de tamaño menor de 1/4 del adoquín, pudiéndose solucionar los encuentros de borde con la inclusión de medias piezas o piezas a 3/4.

Si la pieza tiene poca estabilidad, como puede ser el adoquín de 20x5x5 cm. o similar, se deberá colocar como pavimento rígido. No obstante utilizando el adoquín de 20x10x5cm. de canto puede colocarse como pavimento flexible y presentar la espiguilla del de 20x5x5 cm..

La junta ideal entre adoquines estará comprendida entre 3 y 5 mm. (con adoquines prensados puede llegarse a fijar una junta mínima de 2 mm., si bien esto necesitará un mayor esmero en la colocación). No deben colocarse en ningún caso piezas a tope. Sobre estas dimensiones, el colocador podrá realizar ligeras modificaciones al objeto de mantener las alineaciones correctas. Estas alineaciones se comprobarán de forma sistemática, mediante reglas, cordeles o cualquier sistema apropiado. Igualmente se vigilarán las rasantes del pavimento, para lo que se registrarán los puntos de nivelación en maestras, que servirán de referencia para correr los hilos o reglas.

La colocación del adoquín se realizará evitando pisar la capa de arena, para lo que se trabajará sobre la parte ya ejecutada del pavimento, procurando no concentrar cargas debidas a apilamiento de material o a los mismos operarios cerca del borde de trabajo.

No se colocarán adoquines sobre camas de arena encharcadas o excesivamente húmedas. Para evitar problemas en caso de lluvia, se aconseja no extender capas de arena en superficies muy superiores a las que puedan cubrirse en una jornada.

Una de las grandes ventajas del pavimento flexible es la rapidez de su ejecución. Para mejorar los rendimientos aconsejamos seguir las siguientes recomendaciones:

1. Colocar los adoquines simplemente dejándolos caer sobre la camada de arena, alineándolos de forma aproximada, una vez se haya avanzado un tramo de dos a tres metros, se corrigen las desviaciones del tramo completo colocando un tablón contra los cantos del borde libre y golpeando con una maceta o un marro hasta llevar las piezas a la alineación requerida. Para aparejos en espiga pueden colocarse provisionalmente piezas de remate de borde para conseguir una línea recta sobre la que apoyar el tablón o bien preparar una madera con la forma de los dientes de sierra que encaje en los huecos.
2. Cuando se pretendan corregir alineaciones en paños encajados entre bordes de contención ya ejecutados y no se pueda seguir el método anterior, o bien para alinear piezas en aparejos donde alguna de las juntas es corrida y en la dirección de ésta, pueden utilizarse uñetas y palancas, que introducidas en las juntas desplazarán fácilmente las hiladas a la posición correcta; en este caso solo hay que tener la precaución de encajar estos útiles de forma que no despostillen los bordes de las piezas.
3. Cuando las piezas se colocan por varios operarios a la vez, especialmente si el aparejo es en espiga, es conveniente que vayan alternando sus posiciones. De esta forma se corrigen las diferencias entre los tramos.

Utilizando estos sistemas no solo se aumenta el ritmo de ejecución, sino que el resultado final mejora de forma perceptible, al absorberse las ligeras diferencias de calibre de las piezas y las imperfecciones de colocación de las mismas.

Tampoco es preciso comprobar la nivelación del pavimento pieza a pieza de forma exacta, siempre que se sitúen sobre una camada de arena bien rasanteada, pues en el proceso de compactación posterior quedarán corregidas las pequeñas irregularidades que pudieran existir. Sin embargo, es conveniente que las piezas no queden demasiado "cabeceadas", lo que se consigue fácilmente golpeando con mazo de goma los bordes que sobresalgan de manera anormal antes de compactar; de esta forma evitaremos roturas en el apisonado.

Una vez colocada una superficie suficiente de adoquines, se procederá al relleno de juntas, utilizando arena de granulometría comprendida entre 0 y 2 mm., exenta de sales perjudiciales. Se desaconseja la utilización de arenas de machaqueo calizas, ya que suelen presentar un alto contenido de polvo que empañaría la superficie del pavimento; las arenas muy limpias facilitan el relleno de estas juntas, pero pueden tener el defecto de quedar algo sueltas en una primera etapa, apelmazándose poco a poco con el paso del tiempo; las arenas con un contenido moderado de limos mejoran este sellado inicial del adoquinado. La arena se extenderá sobre el pavimento, barriéndose posteriormente sobre el mismo hasta conseguir el relleno satisfactorio de las juntas; la arena sobrante se retirará de la superficie a compactar.

Antes de proceder al compactado estarán totalmente rematados los encuentros de los adoquines con los elementos de sujeción y no se compactará a menos de un metro de distancia de bordes sin contención del pavimento. El tipo de compactador a utilizar dependerá de las dimensiones de la obra. Para paños reducidos pueden usarse bandejas vibrantes provistas de suelas de neopreno u otro material que amortigüe los impactos sobre esquinas salientes, que podrían despostillar los bordes de los adoquines. Para superficies mayores se aumenta el rendimiento empleando compactadores de rodillos vibrantes; en estos casos se tendrá la precaución de extender sobre el pavimento, a modo de alfombra, una lámina de fieltro o cualquier otro material que disminuya los impactos directos; será necesario en todo caso hacer una comprobación de la fuerza útil que deberá transmitir el rodillo para obtener la compactación requerida sin dañar las piezas. Para grandes extensiones pueden utilizarse junto a los rodillos vibrantes de llanta metálica, compactadores de ruedas de goma. Los elementos utilizados deberán transmitir una fuerza útil comprendida entre 50 y 75 kg/m² a frecuencias entre 60 y 100 Hz. Habitualmente se requieren dos o tres pasadas con los apisonadores para conseguir la

compactación adecuada. Tras cada una de las pasadas se comprobará el estado de las juntas, añadiéndose arena a medida que ésta se va introduciendo en las intersecciones.

Completada la compactación, se comprobarán los niveles del adoquinado, rectificándose, caso de ser necesario, las piezas que hayan quedado fuera de rasante. Se recebarán las juntas que no estén llenas. Una vez retirados los sobrantes de arena es conveniente regar el pavimento para facilitar el apelmazamiento del árido. Tras esta operación, el pavimento estará listo para ser utilizado.

Recomendaciones para la ejecución de pavimentos rígidos (con base de concreto)

Los adoquinados cerámicos colocados como pavimento rígido son aconsejables en los siguientes casos:

- Pavimentos con pendiente superior al 9%.
- Zonas donde se prevean proyecciones continuadas de agua, como lavaderos de vehículos carreteras, bordes de piscinas y zonas de duchas, industrias en que se requieran frecuentes lavados a presión del pavimento.etc.

En cuanto a la preparación del soporte, es válido lo que se ha indicado para pavimentos flexibles en los apartados de subrasante y sub-base; Se recomiendan anchos de junta de al menos 8 mm.

Se dejarán previstas juntas de dilatación en todo el perímetro siempre que las dimensiones de los lados sobrepasen los 5 m., la separación entre juntas de dilatación no superará esta misma distancia de 5m. y se procurará que los paños resultantes sean de lados sensiblemente iguales; en zonas expuestas a fuertes variaciones de temperatura puede ser necesario reducir estas dimensiones a 4 m. Se procurará hacer coincidir las juntas del pavimento con las de la base. También es necesario colocar juntas en los encuentros con elementos rígidos, como cajas de registro, luminarias, pilares y cualquier elemento anclado a la base.

Sobre la base de concreto se extenderá una capa de mortero de unos 3 cm. Se aconseja utilizar un mortero con dosificaciones 1:3, o bien 1:1/4:3 si se quiere adicionar cal. El mortero se colocará con consistencia dura; en ocasiones se utilizan morteros de consistencia seca completándose su hidratación por regado, a medida que se van colocando las piezas; esta última solución sin embargo no es recomendable por las dudas que puede ofrecer la correcta hidratación del mortero y por tanto la homogeneidad de su comportamiento.

Existen otros métodos para conseguir pavimentos semi-flexibles, en los que se utilizan bases de mortero pobre, con lo que pueden espaciarse a mayor distancia las juntas de dilatación, aunque no se aconseja su empleo, por los problemas que comportan, especialmente de limpieza. Básicamente consisten en colocar los adoquines sobre una capa de mortero pobre y seco; en estos casos se suele compactar y rasantear las piezas mediante mazos de goma, aunque también podrían utilizarse, siempre que se tenga la seguridad de que el mortero aun no ha empezado a fraguar, bandejas vibrantes con suela forrada de goma o rodillos de pequeño o mediano tamaño, en este caso, protegiendo las piezas de impactos directos interponiendo fieltros u otra lámina adecuada; posteriormente se procede a la hidratación del mortero mediante riego abundante. Una vez seca la superficie, se procede al relleno de las juntas, para lo que se utiliza una mezcla pobre de arena y cemento en seco, que se introduce por barrido con cepillos en las juntas, se retiran entonces los sobrantes y se procede a su riego, cuidando no lavar la mezcla de las juntas. Con este método los restos de cemento manchan la superficie del pavimento y la limpieza del mismo resulta difícil, puesto que la poca resistencia del material con que se rellena la llaga puede ocasionar su desprendimiento y arrastre en este proceso de limpieza. Por otra parte, es difícil conseguir una hidratación homogénea del mortero, lo que puede traducirse en comportamientos variables del pavimento entre unas zonas y otras.

Se recomienda mezclar adoquines de varios paquetes a la vez, tomándolos en tandas verticales, para igualar las ligeras diferencias de calibre o tono que pudieran aparecer. Un buen replanteo previo, teniendo en cuenta las auténticas dimensiones de adoquines y llagas, es fundamental para evitar cortes de piezas no deseados y para marcar ejes y referencias de nivel que servirán de guía al colocador.

Para el asiento de los adoquines sobre la capa de mortero se emplearán mazos de goma y reglas metálicas o de madera con las que se irán igualando las piezas de cada paño. Una vez colocados los adoquines correctamente alineados y nivelados, se procederá a completar el relleno de las juntas, para lo que se utilizará un mortero de igual dosificación que el de asiento pero con consistencia blanda o fluida, en este último caso pueden utilizarse recipientes con embocadura tipo jarra, lo que permitirá menor ensuciamiento de los adoquines.

Se procurará manchar lo menos posible el adoquín durante la tarea de rejuntado, limpiando en lo posible las manchas a medida que se ejecuta el relleno, mediante trapos o estropajos limpios y sin extender el mortero por la cara de la pieza. A pesar de que se sigan estos consejos, es previsible que queden restos de mortero sobre la superficie de la cerámica, por lo que se procederá posteriormente a una limpieza del pavimento, una vez endurecido suficientemente el mortero de las intersecciones para evitar su desprendimiento. Para limpiar los restos de mortero fraguado se procederá de la siguiente forma:

1. Se regará con agua limpia la superficie a tratar, lo que disminuirá la succión de la llaga de mortero.
2. Utilizando una mezcla de una parte de ácido clorhídrico comercial (agua fuerte) y de ocho a diez partes de agua, se procederá a limpiar el pavimento, bien proyectándola a presión, (método más rápido y que aporta resultados más homogéneos) o bien frotando con cepillos de raíces.
3. A continuación se volverá a regar abundantemente con agua limpia para arrastrar la suciedad y los residuos de ácido.
4. Completada la limpieza y una vez alcanzadas las resistencias mínimas del mortero, el pavimento estará listo para ser utilizado.

Pisos industriales

Las industrias de hoy en día requieren un piso que resista el más pesado y abrasivo tráfico ocasionado por dichas actividades industriales y tecnológicas de nuestra era moderna.

Para mantener el elevado nivel de eficiencia en producción que exige el mundo competitivo actualmente las superficies deben ser resistentes a varios de los siguientes factores:

1. Abrasión
2. Impacto
3. Corrosión
4. Cargas puntuales altas
5. Penetración de aceites
6. Desgaste
7. Fracturas
8. Desprendimiento de polvos
9. Desmoronamiento

Debido estas demandas de las industrias se han desarrollado sistemas de pisos diferentes y especiales. Ningún sistema de pisos podrá cumplir con las necesidades de todas las industrias pero todos tienen un común denominador: La superficie del piso deberá ser durable y útil.

Hay que tener en cuenta que una vez que el tráfico destruye la superficie, la utilidad del sistema de pisos es afectada.

Los sistemas de pisos más comunes son los de concreto los cuales se convirtieron en toda una tecnología desde la aparición del cemento portland.

Actualmente los sistemas de pisos pueden ser diseñados para soportar el tráfico más pesado, muy por encima de los bloques de madera y las placas de acero utilizadas antiguamente.

Como consecuencia inmediata se desarrollaron métodos de prueba para medir la efectividad de varios sistemas de pisos, agregados y tratamientos de superficies. El National Bureau of Standards da las especificaciones de uno de los aparatos que simula las condiciones de desgaste en una muestra de piso o directamente en el mismo en forma rápida y reproducible.

En la prueba se utiliza un piso de concreto bien curado y de muy alta calidad. Cualquier piso con menor resistencia tendrá un valor inferior al 100 % y al contrario, cualquiera con una resistencia superior al testigo tendrá un valor superior al 100%.

Observando primero un concreto simple bien curado con una resistencia del 100%, este tendrá una adecuada vida útil pero sometido a un tráfico industrial moderado o pesado, presenta cuatro problemas básicos: deterioro en las juntas, desmoronamiento, descascamiento y desprendimiento de polvo.

Adicionalmente cuando este piso no es curado eficientemente, su resistencia a la abrasión se baja al 33%. Es importante por lo tanto usar un sistema de curado efectivo, bien sea con abundante agua o con una membrana diseñada para ello. Esta membrana deberá cumplir con la norma ASTM C-156 .

La superficie de un piso (3 mm) es la parte más crítica del mismo. Es esta la que soporta el uso y el abuso del hombre y las máquinas. A través de los años los productos han sido desarrollados para que puedan ser incorporados a la superficie del concreto para endurecerla y densificarla.

Uno de los resultados de esta necesidad son los "Dry Shakes" los cuales consisten en una combinación de agregados, cemento portland y otros ingredientes que facilitan su incorporación a la superficie del concreto fresco convirtiéndolo en parte integral del mismo.

El "Dry Shake" de agregados naturales o también conocido como endurecedor de cuarzo ofrece algunas ventajas cuando es usado apropiadamente y el material es de buena calidad. Estos mejoran la gradación en la superficie del concreto haciéndolo denso y menos absorbente. Cuando se mezcla el material bajo la superficie se disminuye la relación agua-cemento y se aumenta 3 o 4 veces su resistencia a la compresión con respecto al concreto que la conforma.

Cuando los agregados son demasiado alargados éstos son más difíciles de incorporar y por lo tanto se deben echar cuando el concreto está aún muy fresco. Algunas inversiones en Dry Shake son pérdidas ya que quedan por debajo de la capa de 3 mm de la superficie y además no reduce la relación agua-cemento en forma considerable. Como resultado no se logra nunca una abrasión del 200%. Por otra parte el cemento varía ampliamente su calidad, este deberá ser estrictamente analizado y tener una alta capacidad de adhesión.

Finalmente, la capacidad de absorción es fundamental ya que esta determina la humedad necesaria para la aplicación del Dry Shake y por lo tanto la relación agua-cemento en la superficie.

Aunque este tipo de piso ofrece el doble de la resistencia a la abrasión que el concreto normal, este tiene sus límites. El cuarzo es duro pero a su vez frágil y al recibir un impacto se fractura perdiéndose así la protección.

Este material debe ser usado en un área de tráfico liviano.

El agregado de hierro es otra alternativa que apareció en el mercado aún antes que el cuarzo.

En 1911 Master Builders lo inventó así como el método de mezclado en seco. Con estos dos logros tecnológicos se mejoraron y crearon el piso de hierro. En ese entonces el Dry Shake era mezclado en obra con cualquier cemento portland disponible y lo colocaban sobre el concreto para integrarlo a mano.

Con el desarrollo de pruebas, correcciones e investigación se fueron desarrollando productos más sofisticados así como métodos de aplicación adecuados.

Al aplicar un Dry Shake de agregado metálico con las características adecuadas el piso adquiere una resistencia del 800% u ocho veces superiores al concreto testigo. Visto con respecto al agregado natural el agregado metálico es cuatro veces más resistente.

La razón de ello es que el hierro no es frágil sino todo lo contrario, es blando o maleable y se aplana bajo tráfico pesado, en consecuencia la superficie de hierro no presenta desprendimiento de polvo y además resiste el impacto.

Nuevamente el producto debe ser de alta calidad y tener capacidad de ser incorporado a la superficie en el último momento. Adicional a las características del Dry Shake de agregado natural, el hierro debe ser adecuadamente martillado gradado a la máxima densidad y debe estar libre de moho, metales no ferrosos, aceites y grasas.

Estos pisos son ampliamente utilizados en la industria ya que el costo de mantenimiento es nulo y la inversión se paga a largo plazo.

Los Dry Shake tanto de agregado de cuarzo como metálico, se encuentran disponibles en el mercado en una amplia gama de colores, lo que permite hacer pisos resistentes y a la vez decorativos.

Una de las causas de fracaso prematuro de un piso es el deterioro de juntas constructivas. Cuando el tráfico se desplaza sobre las juntas de las placas, el impacto de las ruedas fractura los agregados naturales, para evitar ese problema se puede blindar la junta con un mortero de agregado metálico el cual reemplaza el concreto de la misma.

Hacia el año 1953 se diseñó el primer recubrimiento de agregado metálico el cual simplemente se mezcla con agua y se coloca como "Topping" o coronamiento sobre concreto fresco o sobre placas viejas para mantenimiento, este material es a base de agregados metálicos y soporta abrasión extrapesada e impactos severos, se está hablando de materiales capaces de soportar el paso frecuente de un bulldozer D9, son usados también para hacer reparación en la industria durante la noche de manera que a la mañana siguiente se pueda utilizar el piso.

Como última alternativa existen los productos a base de poliuretano y epóxicos, estos materiales son ejemplo de moderna tecnología desarrollada para obtener productos que satisfagan las necesidades específicas como estética, resistencia a los ácidos y las bases, asepsia, higiene, alguna resistencia a la abrasión, aislamiento eléctrico y muchos usos más.

Recomendaciones para la construcción de pisos industriales.

1. Llevar a cabo una junta previa a la construcción para establecer una buena ejecución de la instalación y la colocación de la losa sobre rasante.
2. Facilitar la comunicación en el sitio entre el proveedor y los contratistas, con visitas continuas al sitio por los consultores y los servicios de supervisión / pruebas.

3. Seleccionar un contratista experimentado en la construcción de pisos con un registro probado de construcción de pisos de concreto reforzado con fibras de acero.
4. Exigir el cumplimiento de las tolerancias especificadas y rechazar productos defectuosos.
5. Reducir costos sin comprometer la calidad y la seguridad, mejorando el programa de construcción.
6. Insistir en un lugar de trabajo limpio, con áreas de almacenamiento bien organizadas.
7. Retener a supervisores y coordinadores entrenados y responsables e insistir en la supervisión de campo por el contratista general.
8. Coordinar la entrega oportuna de materiales.
9. Revisar los detalles de las juntas, el tamaño de la colocación y la secuencia de actividades, antes de la programación de cada colocación. Corregir las interferencias y resolver las limitaciones del sitio antes de la colocación del concreto.
10. perfeccionar la mezcla del concreto sobre una base cuantitativa para mejorar la productividad de la construcción, así como para reducir el costo. Usar un tamaño máximo de agregado grueso de 1-1/2 pulg. (40 mm) y una relación de 50 / 50 de una combinación de 1-½ y 3/8 de pulg. (40-10 mm) de agregados gruesos.
11. Esforzarse por obtener una relación consistente de agua / materiales cementantes (a/mc) de 0.45, más o menos 0.02.
12. Tratar de mantener un contenido de cemento consistente para reducir el ajuste posterior a las proporciones de arena.
13. Lograr la durabilidad de la superficie usando roca trapeana y sellador / endurecedor líquido.
14. Usar el concreto reforzado con fibras de acero para lograr un concreto con mayor resistencia a la tensión, mayor dureza y ductilidad.
15. Usar el patrón de juntas de contracción de pasador para aislar columnas y para controlar grietas irregulares por contracción.
16. Diseñar un menor número de juntas de construcción para reducir el costo de la construcción y controlar el ondulamiento en las juntas.
17. Usar un tamizado de cal de una hilada delimitadora de 13 mm como hoja de derrape entre la losa sobre rasante y la subrasante.
18. Diseñar usando un material granular compactable para la subrasante y el espesor apropiado.
19. Usar concreto de 30 MPa con el contenido mínimo de cemento de 330 kg/m³.
20. No usar ceniza volante en lugar de un contenido de cemento portland en la aplicación de losas de piso.
21. Mantener una superficie de la subrasante y la sub-base compactada, lisa y bien nivelada.
22. Permitir el tiempo de mezclado suficiente entre el aditivo reductor de agua de alto rango y la fibra de acero.

23. Usar una enrasadora láser para obtener una superficie plana y libre de fibras, reducir el número de colados y colocar áreas más grandes.
24. Insistir en operadores hábiles y técnicos que utilicen nuevas herramientas y equipo con buen mantenimiento.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE UN PAVIMENTO

2.2.1 Pavimentos flexibles o asfálticos.

Elementos de un pavimento flexible

Antes de colocar las estructuras propias de un pavimento, se deben realizar cortes o rellenos al terreno natural para cumplir con una geometría que permita transitar dicho pavimento, a estas acciones se les conoce como la construcción de cortes y terraplenes. Los cortes y terraplenes se realizan con material existente y a volteo sin más tratamiento, con el único objetivo de cumplir con propiedades geométricas para el camino y en ocasiones se le da utilidad para alejar las capas superiores del nivel freático.

Las sub-base y base tiene funciones principalmente estructurales (para absorber esfuerzos) y también para impedir el paso del agua que pudiera existir cerca del concreto asfáltico, el agua no es deseable en los productos asfálticos ya que al lavarlos se pierde producto asfáltico lo que ocasiona la desintegración de las capas superiores de un pavimento.

En la parte superior de un pavimento se tiene la carpeta asfáltica que es la capa que recibe el mayor trabajo estructural y esta en contacto con los vehículos o con el usuario del pavimento, esta capa debe presentar características de resistencia, impermeabilidad y ser antiderrapante.

Terracerías.

Se llama tercería al conjunto de obras compuestas de cortes y terraplenes, formadas principalmente por la sub-rasante y el cuerpo del terraplén, constituida generalmente por materiales no seleccionados y se dice que es la subestructura del pavimento. Cuando se va a construir un camino que presente un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) mayor a 5000 vehículos, es necesario que se construya bajo la sub-rasante una capa conocida como subyacente, la cual deberá tener un espesor mínimo de 50 cm.

Subrasante.

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: tamaño máximo del agregado de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30 cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un tránsito diario promedio medio anual mayor de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Terraplén

La finalidad del cuerpo del terraplén es proporcionar la altura necesaria para cumplir con el proyecto, deberá resistir las cargas de las capas superiores y distribuir las adecuadamente en el terreno natural. Por normatividad no se acepta material del tipo MH, OH, y CH cuando su límite líquido sea mayor del 80%, deberá tener un valor relativo de soporte (VRS) mínimo de 5%. Si este compuesto de rocas, se recomienda formar capas del espesor del tamaño máximo y se pasará un tractor de oruga en tres ocasiones por cada lugar con un movimiento de zig-zag que se conoce como bandedado, el grado de compactación mínima será del 90% y si es necesario realizar modelos en barrancas donde no es fácil el empleo del equipo, se permite que el material se coloque a volteo hasta una altura donde ya pueda operar la maquinaria. Se recomienda el compactador pata de cabra con equipo de vibrado y un peso aproximado de 20 a 30 toneladas.

Controles de calidad para terraplén y subrasante.

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Peso volumétrico seco máximo y grado de compactación
- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg.
- Control. Peso volumétrico seco máximo y grado de compactación.
- Diseño. VRS, cuerpo de ingenieros de los EU y prueba de placa.

Las bases y sub-bases

Características

De acuerdo con el criterio usado en la actualidad se tiene que para carreteras con un tránsito menor a 1000 vehículos pesados, se recomienda que el espesor de las bases sea de 12 cm. Y cuando el tránsito sea mayor, se recomienda que el espesor mínimo sea de 15cm. Para las sub.-bases la SCT recomienda un espesor mínimo de 10 cm.

Funciones

Sub-base. Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub.-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las tercerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub.-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las tercerías.

Base. Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico.

Materiales para la base y sub-base.

Los materiales para sub-base y base se sujetan a los tratamientos mecánicos que lleguen a requerir para cumplir con las especificaciones adecuadas, siendo los más usuales: la eliminación de desperdicios, el disgregado, el cribado, la trituración y en algunas ocasiones el lavado, les podemos encontrar en cauces de arroyos de tipo torrencial, en las partes cercanas al nacimiento de un río y en los cerros constituidos por rocas andesíticas, basálticas y calizas. Es de gran importancia conocer el tipo de terreno con el que se va a trabajar ya que sobre la base de esto se elige el tipo de maquinaria y el personal suficiente para trabajar en forma adecuada. El material que se manda del banco para efectuar el análisis correspondiente, deberá traer las etiquetas adecuadas y al llegar a laboratorio se le efectuará un secado, su disgregación y se le cuarteará. En pavimentos se realizan básicamente 3 tipos de ensayos que serán para clasificar el suelo, para controlar la obra y para proyectar el espesor y los porcentajes óptimos de aglutinante de las diferentes capas que se enlistan a continuación:

Controles de calidad para la base y sub-base.

Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg

Control. Valor cementante, índice de durabilidad, peso volumétrico seco máximo (PVSM), grado de compactación (GC), equivalente de arena y expansión, adherencia con asfalto. Diseño. Prueba de placa, VRS, y cuerpo de ingenieros.

Procedimiento constructivo de base y sub-base

El primer paso consiste en ubicar el banco de préstamo, de donde se traerá el material, pudiendo emplearse en estas capas gravas, arenas de río, depósitos de roca (aglomerados) o materiales ligeramente o fuertemente cementados (conglomerados), se recomienda no usar tezontles ya que estos materiales tienden a desmoronarse y pueden provocar cambios volumétricos, en caso de que sea necesario su empleo deberán mezclarse con algún tipo de material fino como los tepetates (60% tepetate y 40% tezontle); en algunos casos se deberán aplicar tratamientos previos y estos podrán ser: el cribado, la trituración y en algunas ocasiones se les estabiliza en planta con cemento

Cuando el material de banco tiene cierta humedad, ésta se calcula para saber si está por debajo o por encima de la humedad óptima de compactación, con ello se logra saber que cantidad de agua se debe adicionar, o bien, voltear el material para que por evaporación pierda el agua sobrante. El material acamellonado se abre parcialmente y se humedece con una cantidad de agua cercana a la óptima para la compactación, siendo para los caminos una humedad menor a la obtenida en laboratorio. El agua no se riega de una sola vez, sino que, se distribuye en varias pasadas, se hace un primer riego y la moto-niveladora abre una nueva cantidad de material, el cual coloca sobre el húmedo para que vuelva a pasar la pipa; esto se hace comúnmente en tres etapas, para después con la misma maquinaria, homogenizar la humedad. Cuando se llega a esto se distribuye el material en toda la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario, debiendo cuidar que no se separe el material fino del grueso. Ya extendido se compacta con un rodillo liso o de neumáticos, o con una combinación de ambos hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto.

Cuando en las bases se alcanza la compactación de proyecto, ésta se deja secar superficialmente, se barre para retirar basura y partículas sueltas. Después de esto se le aplica un riego de emulsión asfáltica de fraguado lento o superestable que se conoce como riego de impregnación. Este elemento sirve para impermeabilizar y estabilizar la base y le ayudará a protegerla de la intemperie cuando no se va a colocar una carpeta en poco tiempo, además favorece la adherencia entre la base y la futura carpeta. La cantidad por regar variará de acuerdo con la abertura de poro que presente la base, para conocer cual es la cantidad adecuada se recomienda efectuar mosaicos de prueba, los cuales variarán de 0.6 a 1.2 l/m² de emulsión. La SCT recomienda que este asfalto penetre dentro de la base de 3 a 5 mm, no debiendo quedar charcos o natas de asfalto que puedan desestabilizar la capa superior. " Se

recomienda no efectuar este tratamiento cuando amenace lluvia, cuando la temperatura sea menor de 5 °C o bien, cuando exista mucho viento. La base impregnada puede abrirse al tránsito con un tiempo de reposo de 24 horas como mínimo, pero si lo ordena la Secretaría se abrirá antes, esta capa se puede cubrir con arena para evitar que los vehículos se lleven la película de asfalto

Carpeta asfáltica. Componentes

Está compuesta de:

Material asfáltico. Puede ser cemento asfáltico (AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30 y AC-40. los AC-5 normalmente son emulsiones.

Emulsión asfáltica. Aniónicas (-), catiónicas (+) y de rompimiento rápido, medio y lento.

Agregados pétreos. Controles de calidad.

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Adherencia con asfalto, equivalente de arena, intemperismo, forma de la partícula, desgaste, densidad y absorción. Todas las pruebas que se realizan a los asfaltos.
- Diseño. Marshall, compresión simple.

Regionalización de los productos asfálticos.

El asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse, se obtiene de la destilación del petróleo. En México este tipo de producto se emplea para la construcción de carpetas desde aproximadamente 1920; anteriormente se le clasificaba de acuerdo a su dureza, siendo el cemento asfáltico más usado el que tenía una dureza media (CA-6).

Con la entrada de México al TLC se tuvieron que adecuar las normas Mexicanas a las de la ACTM y a las especificaciones del SEP (Programa Estratégico de investigación de Carreteras.) de la ASTM (American Standard Test Materials.) de ese tiempo a la fecha, los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad que presentan. A continuación se anotarán las recomendaciones generales para cada uno de los productos asfálticos con la finalidad de darles un mejor uso.

ASFALTO	REGIÓN RECOMENDADA
AC-5	Sirve para elaborar emulsiones y concretos asfálticos que se utilicen en la zona de la sierra madre occidental, en Durango o Chihuahua, y en algunas regiones altas de los estados de México, Morelos y Puebla.
AC-10	Se recomienda para la región central y el altiplano de la república mexicana.
AC-20	Para el sureste de la república y las regiones costeras del golfo y el pacifico, pasando por Sinaloa e inclusive hasta Baja California.
AC-30	Norte y noreste del país, excluido el estado de Tamaulipas.

Figura 2.6 Recomendaciones generales para cada uno de los productos asfálticos

Tipos de carpetas.

- realizadas en planta o en caliente con tránsito de hasta 2000 vehículos (AC-20, material pétreo y temperatura de 140 a 160° C.)
- Carpetas de riegos (emulsión y material pétreo.)
- Carpetas asfálticas en frío o en el lugar.
- Revestimientos. Se puede circular todo el año (espesor de 15cm) con material seleccionado (en desiertos arenas con emulsión asfáltica en una cantidad de 6lt/m² de pétreo; después de compactado se debe efectuar un poreo para tapar oquedades.) (en la costa arena con 100lt/m² y sin poreo), para un régimen pluvial alto se recomienda estabilizar con cemento la terracería y colocar fragmentos de roca chica.)

Procedimiento constructivo de una mezcla asfáltica en planta o en caliente.

En la planta de concreto asfáltico se deberá tener el material pétreo del diámetro adecuado (menor de una pulgada) que de preferencia deberá estar triturado y cumplir con las especificaciones que marca la SCT. Este material se eleva a un cilindro de calentamiento y secado hasta llegar a una temperatura de 160 a 175° C, de ahí se pasa a la unidad de mezclado donde se criba para alimentar 3 o 4 tolvas con material de diferente tamaño, se pesa la cantidad de material necesaria de pétreo y se depositan en las cajas mezcladoras donde se le provee de cemento asfáltico AC-20 el cual deberá estar a una temperatura de 130 a 150° C, se recomienda no exceder estos valores para evitar que se pierdan propiedades, se realiza la mezcla hasta su homogenización y ésta se vacía a los vehículos a una temperatura de entre 120 y 130° C, de preferencia esta mezcla se cubre con una lona para evitar se enfríe en el trayecto.

Procedimiento constructivo de la carpeta.

En el lugar donde se va a colocar la carpeta, unas dos horas antes de que llegue el concreto asfáltico, se efectúa un riego de emulsión asfáltica de rompimiento rápido que se conoce como riego de liga, esta capa de asfalto nos ayudará a que exista una adherencia adecuada entre el suelo de la base y la

carpeta, este riego se efectúa en una proporción de 0.7 l/m², se barren los charcos de asfalto excesivo y se elimina el total de la basura y materiales extraños, para evitar que este riego sea desprendido por las ruedas de los vehículos, se recomienda efectuar un riego de arena.

La mezcla asfáltica deberá llegar a una temperatura de 115 a 125° C, esto se verifica con un termómetro de varilla. La mezcla se vacía en la máquina finisher o extendedora que formará una capa de mezcla asfáltica, se recomienda tener una cuadrilla de rastrillos que aseguren una textura conveniente en la superficie y que borren las juntas longitudinalmente entre franjas. A una temperatura de entre 110 y 120 °C se le aplica una compactación con un rodillo ligero de entre 8 y 10 toneladas de peso; los rodillos se moverán paralelamente al eje del camino y de la orilla hacia el centro, y del lado interior hacia el exterior en las curvas. En los aeropuertos además de lo anterior se pasa el equipo en la dirección perpendicular y oblicua con respecto al eje del camino. Después de hacer esto con el rodillo ligero, se compacta con un rodillo más pesado hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto (min. 95%.) la compactación deberá terminar cuando se llegue a esta posición y para comprobarlo se efectuarán calas, para esto se corta en frío usando un chaflán y procurando no dañar la base, para de esa manera realizar los ajustes necesarios. Durante el tendido y compactación de la mezcla pueden aparecer grietas y desplazamientos motivados por diferentes causas, tales como la aplicación de un riego de liga defectuoso, ya sea en exceso o escaso, falta de viscosidad del asfalto producida por el calentamiento excesivo, o bien, porque el material pétreo no perdió completamente la humedad.

Para conocer la permeabilidad de la carpeta, se realizará en ella una prueba de campo, la cual consiste en colocar un aro de lámina galvanizada de 250mm de diámetro y una altura de 50mm, se sella el aro y se coloca al centro un cono de bronce de 25mm de altura, se agrega agua hasta el ras del cono observando que no baje este nivel en un tiempo de 10 min.

La carpeta deberá presentar un índice de permeabilidad menor del 10%. Por último en la carpeta se agrega un riego de sello, el cual consiste en una emulsión, la cual se cubre con un material pétreo del tipo 3E, esto se compacta para que penetre en la carpeta y con ello evitar que se introduzca el agua en ella, además protege del desgaste y proporciona una superficie antiderrapante. En algunos casos se puede emplear un mortero asfáltico que consiste en la mezcla de una emulsión y un material pétreo (arena) que se emplea comúnmente cuando se va a utilizar un camino que ya ha tenido cierto uso.

2.2.2 Pavimentos de concreto hidráulico.

Base

Los pavimentos de concreto hidráulico requieren igualmente de capas inferiores a la carpeta de rodamiento para poder soportar los esfuerzos a que serán sometidos, para pavimentos de concreto hidráulico se requieren de menos capas inferiores ya que con la carpeta de concreto hidráulico se pueden obtener mayores resistencias y por lo general la estructura de este tipo de pavimento consta solo de una base y carpeta de concreto hidráulico.

Carpeta

La carpeta de concreto hidráulico tiene la función de servir como superficie de rodamiento o estar en contacto con las peatones y con los elementos para los que fue creado, al ser de concreto hidráulico esta carpeta tiende a ser de mejores características respecto a una concreto asfáltico, por ejemplo el agua no genera demasiados deterioros como en el asfalto y en general se tienen varias ventajas.

Una desventaja que tiene la carpeta de concreto hidráulico, es que no soporta los cambios de temperatura y que presentan a su vez cambios de volumen, estos cambios provocan agrietamiento y después fracturas y deterioro. Por tal motivo en los procedimientos constructivos se incluye al

pavimento juntas por temperatura, que a su vez en cada junta se coloca acero de refuerzo para que el acero sea el material que absorba las tensiones de dilatación y la junta las compresiones.

2.3 FACTORES DE DETERIORO Y DAÑO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS.

2.3.1 Factores geotécnicos

Deslizamiento superficial asociado a falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep)

Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo y por lo general lento de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales.

El creep suele afectar a grandes áreas y el movimiento superficial se produce sin una transición brusca entre la parte superficial móvil y las masas inmóviles más profundas. No se puede hablar de una superficie de deslizamiento. El creep suele deberse a una combinación de las acciones de la fuerza de la gravedad y de otros agentes varios. La velocidad del movimiento ladera debajo de un creep típico puede ser muy baja y rara vez excede algunos centímetros por año.

Existen dos tipos de creep según Terzaghi; el estacional, que afecta sólo a la corteza superficial de la ladera que sufre la influencia de cambios climáticos en forma de expansiones y contracciones térmicas o por humedecimiento y secado, y el masivo, que afecta a capas de tierra más profundas, no interesados por efectos ambientales, y que en consecuencia sólo se puede atribuir al efecto gravitacional. El espesor al que afecta el creep estacional es sumamente bajo y su dimensión máxima puede estimarse en un metro. No están claras todavía las causas por las que una ladera natural entre en creep másico, a causa de la cual una costra superficial, cuyo espesor puede ser en este caso de varios metros, comienza a moverse lentamente ladera abajo. Se ha hablado de una "resistencia fundamental" que representa un límite tal que, si los esfuerzos actuantes quedan debajo de él, la parte superficial de la ladera permanecerá en reposo, y que si los esfuerzos actuantes lo sobrepasan, se producirá el creep masivo.

Aún cuando no están del todo definidos los conceptos de resistencia fundamental o las causas del creep, parece cierto que este movimiento se produce bajo niveles de esfuerzos actuantes bajos, muy inferiores a los que corresponden a la máxima resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

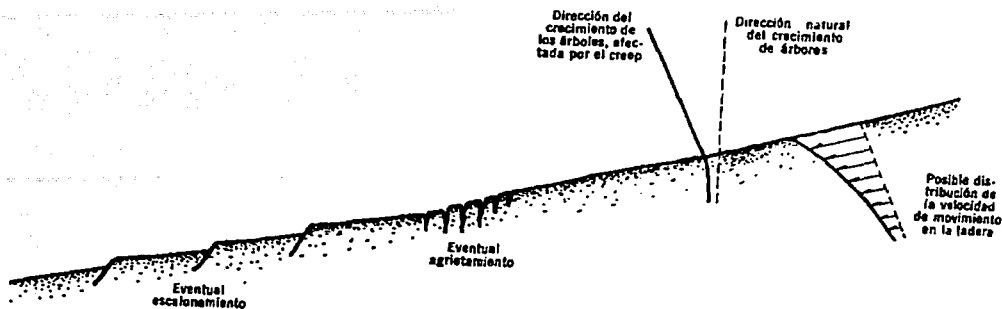


Figura 2.6 Deslizamiento superficial asociado a falta de resistencia por baja presión de confinamiento

Fallas asociadas a procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionadas con perfiles geológicos desfavorables.

Se refiere este título al tipo de fallas que se producen en las laderas naturales como consecuencia de procesos de deformación acumulativa, por la tendencia de grandes masas a moverse ladera abajo. Este tipo de fallas quizá es típico de laderas naturales en depósitos de talud o en otras formaciones análogas en cuanto a génesis geológica, formada por materiales bastante heterogéneos, no consolidados y bajo la acción casi exclusiva de las fuerzas gravitacionales. Dado el largo tiempo que tales esfuerzos gravitacionales actúan en los materiales del interior de la ladera, la resistencia al esfuerzo cortante podrá degradarse por procesos de deformación acumulativa.

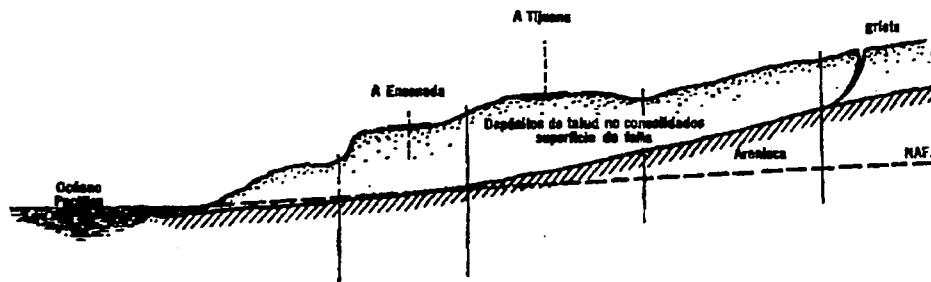
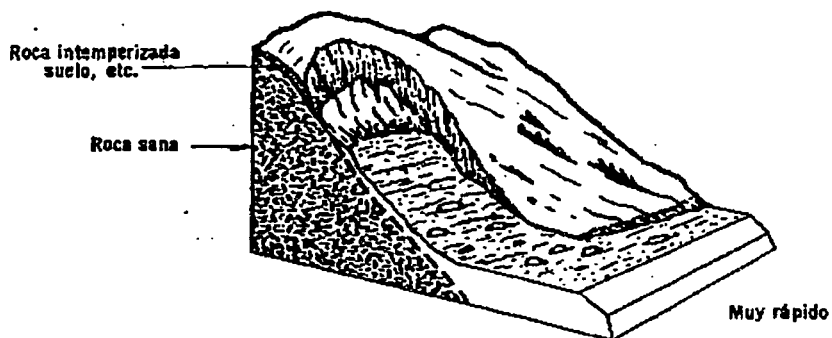


Figura 2.7 Fallas asociadas a procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionadas con perfiles geológicos desfavorables.

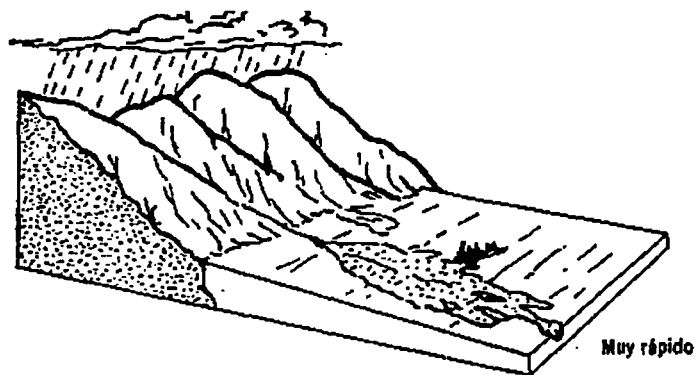
Flujos

Se refiere este tipo de falla a movimientos más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos recuerda el comportamiento de un líquido viscoso. La superficie de deslizamiento o no es distinguible o se desarrolla durante un lapso relativamente breve; es también frecuente que la zona de contacto entre la parte móvil y las masas fijas de la ladera sea una zona de flujo plástico.

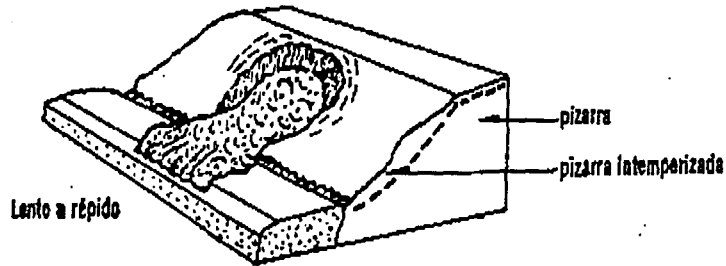
El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada, así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas; son frecuentes los flujos de lodo.



a) En fragmentos de roca



b) Depósitos de talud



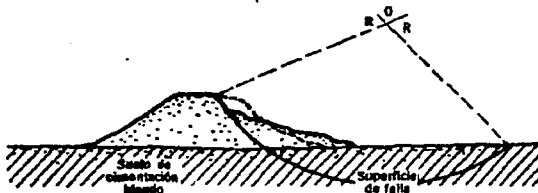
c) Suelos granulares finos o arcillas francas

Figura 2.8 Se observa los tipos de flujo de una parte de ladera natural, según el tipo de material que esté compuesta.

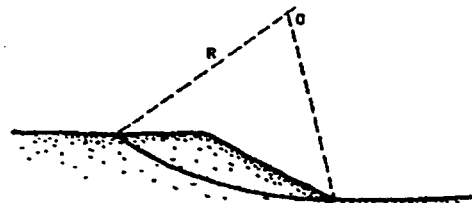
Fallas relacionadas a la estabilidad de taludes artificiales

Falla rotacional

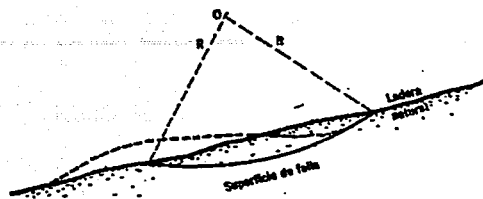
Se describen ahora los movimientos rápidos o prácticamente instantáneos que ocurren en los taludes y que afectan las masas profundas de los mismos, con deslizamiento a lo largo de una superficie de falla curva que se desarrolla en el interior del cuerpo del talud, interesando o no al terreno de cimentación. Se considera que la superficie de falla se forma cuando en la zona de su futuro desarrollo actúan esfuerzos cortantes que superan la resistencia del material. Así pues en el interior del talud existe un estado de esfuerzos cortantes que vence en forma más o menos rápida la resistencia la esfuerzo cortante del suelo; a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento, a lo largo de la cual se produce la falla. Estos movimientos son típicos de los cortes y los terraplenes de una vía terrestre. Las fallas rotacionales pueden producirse a lo largo de superficies de falla identificables con superficies cilíndricas cuya traza con el plano del papel sea un arco de circunferencia, estas fallas ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido por su fracción arcillosa.



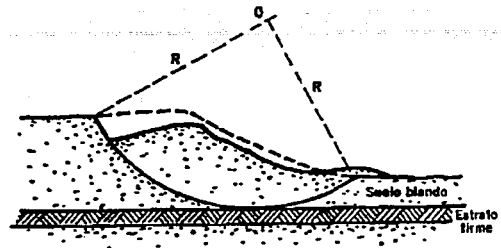
a) Falla de base



b) Falla por el pie del talud



c) Falla superficial



d) Falla limitada por un estrato firme

Figura 2.9 Fallas rotacionales

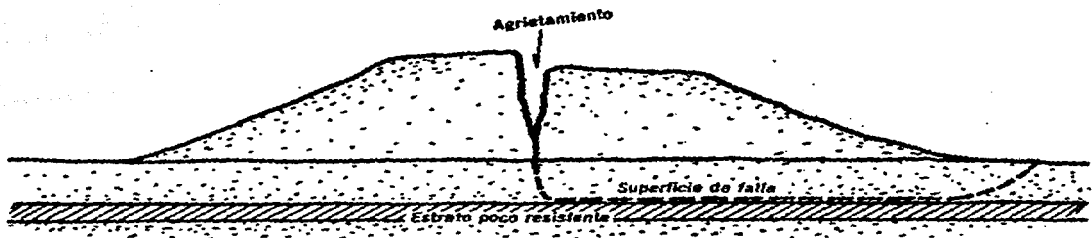
Falla traslacional

Estas fallas por lo general consisten en movimientos traslacionales importantes del cuerpo del talud sobre superficies de falla básicamente planas, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad bajo el talud.

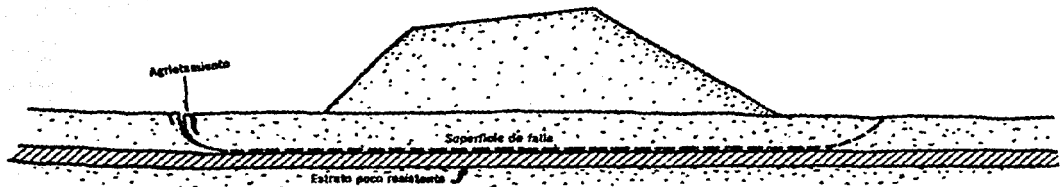
La superficie de falla se desarrolla en forma paralela al estrato débil y se remata en sus extremos por dos cantiles, por lo general formados por agrietamiento. Los estratos débiles que fomentan estas fallas son por lo común arcillas blandas o arenas finas o limos no plásticos sueltos. Con mucha frecuencia, la debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poro en el agua contenida en las arcillas o a fenómenos de elevación de presión de agua en estratos de arena (acuíferos). En este sentido, las fallas pueden estar ligadas también al calendario de temporada de lluvias de la región.



a) En bloque



b) Falla en bloque propiciada por la estratificación del terreno natural



c) Desprendimiento superficial

Figura 2.10 Fallas traslacionales

Fallas de superficie compuesta.

Este tipo de fallas abarca movimientos en que se combina la rotación y la traslación, dando lugar a superficies de falla compuestas en las que se desarrollan zonas planas a la vez que tramos curvos, asimilables a arcos circulares.

En general, cuanto menor sea la profundidad a que la heterogeneidad aparezca (fallas, juntas, un estrato débil, etc.) mayor será la componente traslacional de la falla. Las fallas compuestas suelen producir la distorsión de los materiales que es típica de las fallas circulares

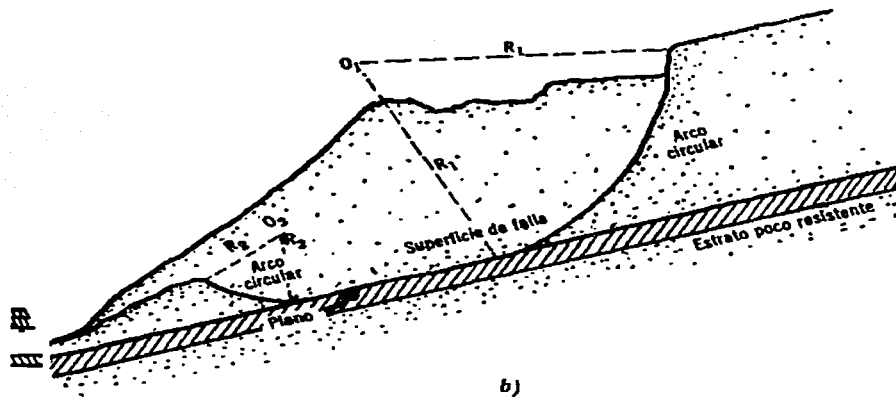
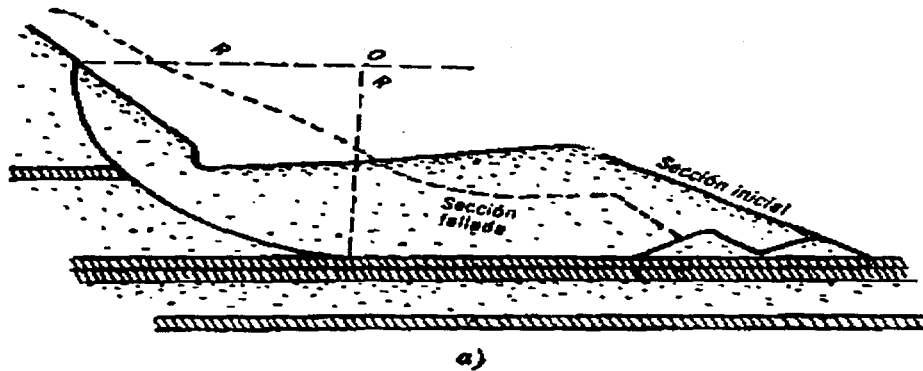


Figura 2.11 Fallas de superficie compuesta

Fallas múltiples.

Son aquellas fallas que se producen con varias superficies de deslizamiento, sean simultaneas o en rápida sucesión.

2.3.2 factores hidráulicos

Cuando el agua fluye por el interior de una masa de suelo, por definición lo hace con una presión hidrodinámica, superior a la hidrostática correspondiente a la condición de equilibrio. Este hecho produce varios efectos importantes. En primer lugar, según la dirección del flujo la presión hidrodinámica puede alterar el peso volumétrico sumergido del suelo; por ejemplo, si el flujo ocurre verticalmente hacia arriba, se ejerce un efecto boyante sobre las partículas del suelo, que equivale a una disminución del peso volumétrico. En segundo lugar el aumento en la presión del agua produce una disminución correspondiente en la presión efectiva y, por lo tanto, en la resistencia al esfuerzo cortante de la masa a través de la cual ocurre la filtración, de modo que, por ejemplo, un talud estable en condición exenta de flujo, podrá no serlo si se presenta dicha condición.

El agua capilar, cuyo flujo presenta gran importancia en algunas cuestiones de mecánica de suelos, tales como el humedecimiento de un pavimento por flujo ascendente

2.3.3 Factores constructivos de deterioro en pavimentos flexibles

Rodera

Son deformaciones longitudinales que se presentan en la superficie de rodamiento, en la zona de mayor incidencia de las ruedas de los vehículos, si son menores a un cm. se deben a la deformación de la carpeta asfáltica, pero si son mayores se deben a una insuficiencia en la base o a que no es de la calidad adecuada.

Superficie de rodamiento lisa

Este defecto se debe a un exceso de asfalto en el riego de liga, en la mezcla asfáltica o en el riego de sello. El exceso de asfalto por acción del tránsito se bombea hacia la superficie de rodamiento, provocando así su alisamiento, pero aún de esta manera se puede tener una capa de asfalto de 1 o 2 mm. En forma de nata; esto es muy peligroso, pues los vehículos derrapan con facilidad.

Pequeñas deformaciones transversales rítmicas

Esta falla es muy molesta al tránsito, se presenta cuando la base no está bien cementada o cuando se construyó solo con materiales inertes. Se debe a deformaciones en esta capa, producidas por la vibración y los esfuerzos tangenciales que provocan los vehículos y que se reflejan hacia la superficie de rodamiento y se agrieta en forma rápida.

Desintegración de la carpeta

Se presenta en carpetas antiguas por oxidación del asfalto, o en carpetas relativamente recientes con escaso contenido de asfalto; se da también en carpetas elaboradas con material pétreo deleznable.

Grietas longitudinales a la orilla de la carpeta.

Este problema se presenta en las terracerías, ya sea por contracciones que ocurran en ellas o por estar construidas sobre terrenos blandos; también puede deberse a que el tránsito se acerca mucho a las orillas cuando la carpeta cubre toda la corona de la vía en cuyo caso no hay suficiente confinamiento lateral, de igual manera estas deformaciones aparecen cuando las ampliaciones no se realizan en forma adecuada, pues se utilizan materiales sin compactación o sin anclaje adecuado en la parte antigua; con el tiempo a veces corto, estas grietas surgen en la superficie de rodamiento y se propagan al centro.

Presencia de calaveras

Las calaveras son huecos que se forman en la superficie de rodamiento e incluso llegan a ser muy numerosos; su tamaño no es mayor a 15 cm. Se deben a la calidad insuficiente en la base, a carpetas con contenido de asfalto menor al óptimo o por colocar una carpeta sobre otra agrietada y calaverada que se refleja en la nueva.

Baches

Se deben a la desintegración de la carpeta y de la base por mala calidad de los materiales inferiores, incluidas las terracerías con alto contenido de agua. Ocurren también por presencia de grietas y calaveras que no se trataron en forma adecuada y oportuna.

Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo o mapeo

Se debe a una carpeta de mala calidad o colocada sobre una base con rebote; en las carpetas de asfalto esta falla resulta de que no-se rigidizó bien. Asimismo, aparece en carpetas con asfalto oxidado.

Corrimiento de la carpeta asfáltica

Ocurre cuando la mezcla es de baja estabilidad, ya sea por exceso de asfalto o por usarse un asfalto blando en zonas de alta temperatura, se presenta también en el carril de subida en tramos de pendiente marcada y en curvas en donde los esfuerzos de tracción de los vehículos son muy grandes.

Descamado de la carpeta.

Resulta de usar aditivos inadecuados en las mezclas y se presenta en las zonas de grandes esfuerzos horizontales provocados por el tránsito, como en la zona de arranque y de frenado, en avenidas o calles de ciudades.

Deformaciones de la corona junto a las cunetas

Las provoca un exceso de humedad en el terreno natural cuando no existen cunetas revestidas y a falta o mal funcionamiento del subdrenaje.

Ondulamientos

Los Ondulamientos o deformaciones de las superficies de rodamiento podemos dividirlo en dos grupos, atendiendo a su origen de formación en eventuales y periódicos.

Ondulamientos Eventuales

Estos pueden deberse a las siguientes causas; insuficiencia de la subrasante. Si el subsuelo es malo o la subrasante no tiene el valor de soporte necesario, o si el espesor de las bases es insuficiente, las presiones transmitidas a las subrasantes son muy elevadas y causan deformaciones de mayor o menor cuantía en cualquiera de los sentidos de la carretera. En este caso es común en las orillas de los caminos en los cuales se encuentran bajos de compactación.

La superficie de una base puede también deformarse bajo la influencia del agua que penetra a la subrasante cuando los materiales que la componen son atacados por la humedad (en el caso de algunas arcillas), y en el caso de ciertos climas muy calurosos pueden ocasionar agrietamientos en las bases, debidos al límite de contracción de los materiales que forman los cementantes, permitiendo por este concepto la introducción del agua a las subrasantes que llega a debilitar su poder de soporte. En el caso de las bases abiertas al tránsito, este defecto no se nota a simple vista por encontrarse cubiertas con el polvo, pero en cambio es muy notable cuando se encuentran protegidos por una superficie bituminosa y en ocasiones llega a presentar grietas que alcanzan anchos de 2 o 3 centímetros, dependiendo del límite de contracción de los materiales usados.

Irregularidades de la subrasante.

Las irregularidades de la subrasante, aparecen siempre en la superficie en un tiempo más o menos grande, por efecto del tránsito que tiende a efectuar una compactación homogénea en las superficies de rodamiento, al encontrarse con espesores variables, por esta razón para construir la base se requiere que la capa inferior esté libre de surcos u ondulamientos y que en caso de poner una capa de material de bases, sobre otra para efectuar un mejoramiento, se exija la escarificación previa de la capa vieja y la compactación de la misma.

Construcción defectuosa de las bases

Una mala distribución del material que forma las bases permitiendo la segregación de las partículas, lo que ocasiona deficiencia en la compactación.

Una mala conformación.

Una mala operación del equipo de compactación, los arranques bruscos de una aplanadora ocasionan movimientos de los materiales que provocan las ondulaciones. Hay que tener en cuenta que una mala operación ocasiona que los ondulamientos que se forman delante de las ruedas de las aplanadoras, al iniciarse la compactación y encontrándose el material suelto, si no se tiene especial cuidado al ligar un tramo con otro, produce posteriormente defectos difíciles de corregir.

Una compactación deficiente, si la compactación de los materiales que forman las subrasantes y las sub-bases es deficiente, los vacíos que quedan entre la masa se llenan de agua o de aire, que en algunas ocasiones el tránsito por la vibración que produce

Deterioro mecánico por vegetación

Este tipo de deterioro se refiere al que se presenta en los elementos de concreto, ya sea de concreto simple, armado e incluso elementos de mampostería y que pueden ser deformaciones en los elementos o la rotura de los mismos.

El proceso de deterioro se inicia cuando se plantan o siembran especies vegetales al lado de guarniciones, firmes, pavimentos, bardas e incluso cimentaciones y cuando estas especies crecen requieren espacio para sus troncos y raíces, ocasionándose así deformaciones y roturas de estos elementos. La colocación de vegetación es prácticamente indispensable en todo tipo de proyectos y por tanto una de las soluciones más viables para proteger a los elementos de concreto es seleccionar las especies adecuadas, es decir que por ejemplo plantas o árboles que no desarrollen dimensiones elevadas en cuanto a tronco y raíces, algunas especies como el árbol llamado "trueno" a pesar de ser un árbol pequeño desarrolla raíces de gran tamaño y por el contrario con el "pino" que es de mayor tamaño no desarrolla grandes raíces, en general el control del tamaño de las raíces independientemente de la especie de que se trate se puede controlar podando las ramas de los árboles y así al no tener gran cantidad de hojas que alimentan al árbol no tiene la necesidad de desarrollar grandes raíces.



Figura 2.12 Deterioro mecánico por vegetación

2.3.4 Factores constructivos de deterioro en pavimentos rígidos o de concreto hidráulico.

Descascarado de las orillas

Se debe a la presencia de partículas duras introducidas en las juntas por calafateo insuficiente y que producen esfuerzos concentrados muy grandes.

Grietas transversales

Las provocan las losas demasiado largas sin pasajuntas o sin armado continuo; pueden ser fallas estructurales incipientes.

Grietas longitudinales o transversales cercanas a las orillas o en esquinas de la losa.

Se deben a que la losa se construyó sobre material fino, lo que ocasionó el fenómeno de bombeo porque se carece de sub-base a raíz de la mala compactación de las capas inferiores, incluida esta última.

Falla estructural

Ocurre cuando concluye la vida útil del pavimento, si la falla se presenta después de 25 años de construido. O se debe al mal proyecto, si se trata de un pavimento reciente.

Se presenta muy a menudo en calles o avenidas donde, sin haberlo tomado en cuenta en el proyecto, se permite el paso de numerosos vehículos pesados. Se presenta en forma prematura en zonas con fuerte pendiente longitudinal y con sub-bases naturales, que se tubifiquen fácilmente con el agua que escurra bajo la losa.

Descarnado de la superficie de rodamiento

Se debe a que, durante la construcción, se proporcionó un fuerte vibrado al concreto fresco, lo cual propició un ascenso de la lechada (mortero fluido) y formó una pequeña película que más tarde se agrietó y se desgastó con el tránsito, dejando a los agregados sin protección superficial.

Factores climáticos

El clima, principalmente la lluvia, ya que si se está en proceso de construcción colocando mezcla de concreto fresco esto propicia daños en la mezcla, también la lluvia puede anegar áreas en donde se colocará provocando variación en la cantidad de agua adecuada para un buen desempeño.

La mala compactación o compactación irregular de la subrasante o capas inferiores donde se coloca el pavimento puede provocar asentamientos que induce a la formación de baches hasta fractura de alguna sección.

Acabados

Una de las principales causas de la existencia de defectos en la superficie de las losas de concreto, se debe a la aplicación del acabado mientras existe agua de sangrado en la superficie; ya que cualquier operación de acabado realizada en la superficie de cualquier losa de concreto mientras esté presente el agua de sangrado causará graves agrietamientos, levantamiento de polvos y descascaramientos.

2.4 CASO ESPECIFICO

Ejemplo de mantenimiento en el Paseo Tollocan en la ciudad de Toluca en el Estado de México.

2.4.1 Antecedentes

El Paseo Tollocan se localiza en las afueras de la ciudad de Toluca en el estado de México y abarca los municipios de Toluca, Metepec, San Mateo Atenco y Lerma. Inicia su recorrido en dirección Poniente – Oriente en los 99°37.642' LW y 19°16.875' LN y lo termina, 12 Km. más adelante en los 99°30.571' LW y 19°17.162 LN y cuenta con dos carriles centrales y dos laterales para entrar a la ciudad de Toluca igualmente para salir se tienen dos carriles centrales y dos laterales,

El paseo Tollocan inicia en la puerta Tollotzin de la ciudad de Toluca y recorre 12 kilómetros hacia la salida a la Ciudad de México, iniciando una descripción desde el kilómetro 12 hacia Toluca se tiene que en los carriles laterales norte se tenía un parque industrial muy importante el cual debe contar con servicios de la vialidad que van desde tránsito intenso, camiones de pesados, vías de ferrocarril incluso la vialidad tiene que convivir con torres de electricidad que conducen cables de alta tensión y ductos subterráneos de telefonía o que conducen alguna sustancia química.

En los carriles laterales sur la vialidad tenía usos de suelo al inicio de hoteles de cadenas reconocidas y al final viviendas comercios e incluso campos destinados a la ganadería y cultivo de ese lado sólo se construiría un nuevo canal y se rectificaría el existente para drenar lluvia y construir nuevo drenaje en el tramo final por lo demás no requería de un pavimento excepcional como en los carriles laterales norte que se colocarían losas de concreto.

La necesidad de dar mantenimiento a esta vialidad surge por el crecimiento industrial y de población de la ciudad de Toluca y siendo dicha vialidad el más importante acceso a la ciudad de Toluca, al momento de iniciar los trabajos de mantenimiento se tenía daños causados a los pavimentos en la zona industrial debido al gran peso de los camiones de carga en la zona que correspondía al municipio de San Pedro Tultepec en cada temporada de lluvias se inundaba la vialidad, esto debido a deficiencias del proyecto original, además de que tenía retornos en las vialidades de alta velocidad lo que ocasionaba en estos retornos muchos accidentes y daños a los árboles, guarniciones, pasos a desnivel y en general a la vialidad.

Este es un caso de mantenimiento mayor ya que en algunos casos se trata de reconstruir el pavimento existente y guarniciones, y en otros se trata de obra nueva como es el caso de la construcción de puentes nuevos, carriles aceleración y deceleración, además de que en algunos tramos en que se tenía concreto asfáltico se colocó concreto hidráulico.

El mantenimiento en este caso es de forma muy general ya que hasta el proyecto de esta vialidad fue rectificado se agilizó la vialidad con puentes vehiculares, en algunos tramos se contaba con un solo carril lateral y producto de las obras se construyó un nuevo carril para tener dos carriles laterales para cada sentido en la vialidad, además el nuevo proyecto contempla vueltas es "u" continuas para retornar por los carriles laterales y varias obras complementarias de drenaje como canales, alcantarillas y pozos.

2.4.2 Naturaleza del Proyecto

El proyecto consistió en ampliar y modernizar el Paseo Tollocan, para alojar el incremento vehicular que se ha tenido en los últimos años, así como el esperado para los próximos 10 años. Además, se busca elevar el nivel de servicio, con mejores condiciones de seguridad y circulación.

Estas obras se llevarán a cabo de la siguiente manera:

- En los cuerpos laterales norte y sur (que cuentan con dos carriles de 4.5 m. cada uno) se realizarán obras consistentes en la reconstrucción del pavimento y construcción en tramo donde los carriles laterales no existan.
- En la dirección para entrar a la ciudad de Toluca (desde México DF) se denominan los carriles de alta velocidad y carriles laterales norte, para el caso contrario, es decir salir de Toluca rumbo a la Ciudad de México se hace por los carriles de alta velocidad o laterales sur.
- En los carriles centrales se construirán tres puentes vehiculares nuevos y se acondicionarán los puentes vehiculares existentes, las mejoras que se planea hacer en los puentes existentes son la reconstrucción de pavimento de las vialidades bajo puente, así como la construcción de retornos (dos carriles) en cada uno de los puentes existentes y en los tres puentes nuevos; estos carriles de retorno tendrán las siguientes características: se considera que el retorno inicia desde un carril de deceleración (que se construirá) en el camellón que separa los carriles laterales de los centrales, después no se ingresa a los carriles laterales para no adicionar vehículos a estos carriles, en lugar de esto se ampliará en un pequeño tramo un tercer carril utilizado únicamente para el retorno, continuando por debajo del puente; estando ya en la dirección opuesta, se llega a la ampliación del breve tercer carril lateral, se cruza el camellón para finalmente tomar el carril de aceleración (que se construirá).
- En los carriles centrales se rehabilitará el pavimento de los acotamientos y en las salidas hacia los carriles laterales se construirán unos carriles de deceleración con longitud de 105 m. en las entradas a los carriles centrales se construirán carriles de aceleración con longitud de 160 m. Además se modernizará el pavimento en los acotamientos y en los puentes existentes, se ampliará la sección a tres carriles utilizando el acotamiento del lado izquierdo. Finalmente, se aplicará a todos los carriles de los cuerpos centrales un recubrimiento de tipo "Open Graded".
- Otras obras a realizar dentro del Paseo Tollocan son las de drenaje pluvial, en donde se plantea: revestir canales existentes, desazolver algunos tramos de canales, construcción de nuevos canales, colocación de tubos para alcantarillas etc.

2.4.3 Capacidad proyectada

La capacidad proyectada de acuerdo al estudio de vialidad que se realizó y tomando como horizonte de proyecto 10 años, y se tienen los siguientes valores: para los carriles laterales se estima que se tendrá un T.P.D.A de 9,556 vehículos, contra el promedio de 7,184 en la actualidad.

Para los carriles centrales, se calcula a lo largo de todo el Paseo Tollocan un T.P.D.A de 37,965 vehículos, contra el actual de 28,545.

2.4.4 Descripción de las obras a realizar

Carriles laterales norte

Trabajos por ejecutar

Este tramo comprende del Km. 0+000 al Km. 10+ 400.. Así como la construcción de obras complementarias. Los trabajos se realizarán de acuerdo con lo que fije el proyecto y/o ordene la dependencia.

Se deberán colocar en los lugares que indique la Dependencia dos letreros informativos, por cuenta de quien ejecute la obra.

El material que se utilizará para terracerías, sub-bases y bases deberá proceder de los bancos indicados en el proyecto.

I. Terracerías

a. Excavación en caja.

Se abrirá caja cuyas dimensiones están indicadas en el proyecto, el piso de la caja deberá compactarse a noventa y cinco por ciento (95 %) de su PVSM con profundidad de 20 centímetros.

b. Recompactación.

Se procederá a la recompactación de la capa existente en un espesor de 20 centímetros y compactándola 95% de su PVSM

c. Sub-rasante.

Una vez terminada la compactación de la excavación en caja se procederá a la construcción de la capa de subrasante de 30 cm. de espesor, compactada al noventa y cinco por ciento 95% de su PVSM, con material de banco.

II. Obras de drenaje

a. Rellenos para construcción de banquetas

Se rellenarán los sitios donde se van a construir las banquetas con material de calidad y características de cuerpo de terraplén, en capas no mayores de 20 cm. y compactada 90% de su PVSM.

b. Concreto hidráulico para guarniciones y banquetas

Se construirán guarniciones y banquetas con concreto hidráulico simple con una resistencia a la compresión f_c de 150 kg/cm².

c. Demoliciones de guarniciones existentes

Se demolerán las guarniciones existentes, siguiendo los lineamientos fijados en la especificación complementaria correspondiente.

III. Pavimentos

a. Fresado y desperdicio del material del pavimento existente

El fresado y desperdicio del material del pavimento existente en este tramo se realizará empleando equipo ROTOMILL del tipo PR-750, ROADTEC RX68 ó similares, para poder efectuar correctamente los trabajos correspondientes.

Se deberá cortar en frío (fresado) el material que constituye las capas superiores del pavimento en un espesor variable y desperdiciarlo, efectuando los trabajos en primer lugar en un carril y posteriormente en el carril contiguo.

El material producto del fresado se depositará donde lo ordene la Dependencia.

Durante el proceso, las pendientes longitudinales y transversales se harán de acuerdo a lo marcado en el proyecto.

- b. Construcción de base hidráulica** Se construirá sobre la capa de sub-base una base hidráulica de 25 cm. de espesor, compactada al cien 100% de su PVSM, con material de banco.
- c. Riego de impregnación** Se deberá aplicar en la zona de la construcción del pavimento con emulsión asfáltica de rompimiento medio (RM-2K) a razón de 1.5 lt/m². Una vez limpia la superficie de la base hidráulica se procederá a dar el riego de emulsión asfáltica por medio de una petrolizadora.
- d. Riego de liga** Se deberá aplicar emulsión asfáltica de rompimiento rápido (RR-2K) a razón de 0.7 lt/m². para ligar la carpeta de concreto asfáltico con la base hidráulica. Una vez limpia la superficie por tratar, se procederá a dar el riego de emulsión asfáltica por medio de una petrolizadora.
- e. Carpeta de concreto asfáltico** Cuando el producto asfáltico de riego de liga tenga la consistencia conveniente, se construirá una carpeta con concreto asfáltico de 15 cm. de espesor en el ancho de un carril para dejarlo listo para circulación y posteriormente en el otro, compactándola al 95 % del peso volumétrico máximo determinado en el laboratorio con el método Marshall. El concreto asfáltico deberá elaborarse utilizando cemento asfáltico AC-20 y material pétreo de tamaño máximo de 19 milímetros procedentes de bancos.
- f. Losas de concreto hidráulico** Las losas de concreto hidráulico se colocarán en los carriles laterales
- En las entradas de las industrias se dejaran ventanas en las cuales se tenderá en forma manual el concreto hidráulico con acelerante de resistencia a 24 horas, utilizando para ello reglas vibratorias o vibradores de inmersión.
- g. Carpeta de concreto hidráulico** Se construirá una carpeta de concreto hidráulico con cemento Portland en las áreas y con la forma, dimensiones, resistencias, procedimientos, calidad, tolerancias y acabados indicados en el proyecto.
- La superficie sobre la que se colocará el concreto fresco deberá estar perfectamente limpia, ligeramente humedecida y libre de sustancias ajenas al concreto. La pavimentadora a emplear deberá estar diseñada para el propósito de espaciar, consolidar y dar forma al concreto fresco en una sola pasada del equipo.

IV. Obras y dispositivos diversos

- a. Renivelación de brocales** Se procederá a la renivelación de brocales de los pozos de visita donde lo indique el proyecto.

Tramos 10+400 – 10+630 y 10+880 – 12+200

Trabajos por ejecutar

Este tramo comprende del Km. 10+400 al 10+630 y construcción del pavimento del Km. 10+880 al 12+200 de la Lateral Norte del Paseo Tollocan.

El material que se utilizará para terracerías, sub-bases y bases deberá proceder de los bancos que indique el proyecto.

Se deberán colocar en los lugares que indique la Dependencia dos letreros informativos.

I. Terracerías

- a. Excavación en caja** Se abrirá caja cuyas dimensiones están indicadas en el proyecto, el piso de la caja deberá compactarse a 95% de su PVSM en una profundidad de 20 cm.
- b. Terraplén.** Se construirá terraplén con un espesor variable, según proyecto, compactado al 95% de su PVSM, con material de banco.
- c. Recompactación** Se procederá a la recompactación de la capa existente en un espesor de 15 cm. y compactándola al 95% por ciento de su PVSM.
- d. Sub-rasante** Una vez terminada la compactación de la excavación en caja se procederá a la construcción de la capa de subrasante de 30 cm. de espesor, compactada al 95 % de su PVSM, con material de banco.

II. Obras de drenaje

- a. Rellenos para construcción de banquetas** Se rellenarán los sitios donde se van a construir las banquetas con material de calidad y características de cuerpo de terraplén, en capas no mayores de 20 cm. y compactada al 90 % de su PVSM.
- b. Concreto hidráulico para guarniciones y banquetas** Se construirán guarniciones y banquetas con concreto hidráulico simple con una resistencia a la compresión $f'c$ de 150 kg/cm^2 .
- c. Demoliciones de guarniciones existentes** Se demolerán las guarniciones existentes.

III. Pavimentos

- a. Fresado y desperdicio del material del pavimento existente**

Se deberá cortar en frío (fresado) el material que constituye las capas superiores del pavimento en un espesor variable y desperdiciarlo, efectuando los trabajos en primer lugar en un carril y posteriormente en el carril contiguo.

El material producto del fresado se depositará donde lo ordene la dependencia.

Durante el proceso, las pendientes longitudinales y transversales se harán de acuerdo a lo marcado en el proyecto.

- b. Construcción de base hidráulica**

Se construirá sobre la capa de sub-base una base hidráulica de 25 cm. de espesor, compactada al 100 % por ciento de su PVSM, con material de banco.
- c. Riego de impregnación**

Se deberá aplicar en la zona de la construcción del pavimento con emulsión asfáltica de rompimiento medio (RM-2K) a razón de 1.5 lt/m². para impregnar la base hidráulica. Una vez limpia la superficie por tratar, se procederá a dar el riego de emulsión asfáltica por medio de una petrolizadora.
- d. Riego de liga**

Se deberá aplicar en la zona de rehabilitación y en la zona de la construcción del pavimento con emulsión asfáltica de rompimiento rápido (RR-2K) a razón de 0.7 lt/m² para ligar la carpeta de concreto asfáltico con la base hidráulica. La superficie deberá estar limpia.
- e. Carpeta de concreto asfáltico**

Se construirá una carpeta con concreto asfáltico de quince 15 cm. de espesor en el ancho de un carril para dejarlo listo para circulación y posteriormente en el otro, compactándola al 95% del peso volumétrico máximo determinado en el laboratorio con el método Marshall.

IV. Obras y dispositivos diversos

- a. Colocación de coladeras de banqueta**

Se colocarán coladeras de banqueta con rejilla de fierro.

**Carriles laterales sur.
Procedimiento constructivo.
Tramo: cuerpo lateral sur
Subtramo: Km. 0+000 a Km. 10+120**

Trabajos por ejecutar

- a. Recorte de la carpeta asfáltica**

Con equipo de recuperación en frío para pavimentos del tipo Wirtgen 2100 VCR, Roto-Mill PR-750, Roadtec RX 68, se recortarán por franjas, los 25 cm (20 de carpeta y 5 de base hidráulica) existentes de la carpeta asfáltica.
La primera franja se iniciará en el lado izquierdo de la lateral sur en el sentido del cadenamamiento (poniente - oriente). El material cortado podrá emplearse en la construcción de las terracerías de la ampliación de la corona de los cuerpos centrales o bien se colocará donde la supervisión indique.
- b. Estabilización de la base hidráulica existente.**

Con el equipo de recuperación en frío del tipo Wirtgen 2100 VCR, Roto-Mill PR-750, Roadtec RX 68, o algún otro que la empresa constructora proponga y acepte la supervisión, se efectuará el procedimiento siguiente: Se estabilizaran 20 cm de la capa de base

hidráulica actual, se le añadirá el 5% de cemento portland con respecto al peso volumétrico seco suelto del material de la base, se añadirá la cantidad de agua necesaria para el fraguado del cemento y la compactación del material, mezclará los materiales, conformará la capa para que con el equipo de compactación adecuado se obtenga en promedio el 95% del peso volumétrico seco máximo de la mezcla de materiales.

c. Riego de Impregnación

Una vez terminada la compactación de la base y estando ésta con la superficie ligeramente húmeda, barrida y sin material suelto, se procederá a colocar un riego de impregnación empleando emulsión asfáltica del tipo RR-3K o similar en cantidad de 0.8 a 1.2 lt/m². No deberá permitirse el tránsito de vehículos en las 24 horas siguientes a la terminación del trabajo.

d. carpeta de concreto hidráulico

Se construirá la carpeta empleando concreto hidráulico elaborado en planta la cual propondrá el contratista y autorizara la supervisión. El concreto hidráulico tendrá una resistencia a la tensión por flexión a los 28 días de 45 kg/cm² el suministro deber ser continuo y la colocación se hará con equipo de cimbra deslizante del tipo SLIP FORM PAVER marca CMI, modelo Challenger 2000, 450 (CMI-SF-450) o al algún otro similar que proponga la constructora y autorice la supervisión, el ancho de la franja por colarse será de 4.5 m y el espesor mínimo de 25 cm. El acabado debe ser micro texturizado longitudinal y se dará con una tela de yute arrastrada a lo largo de la losa debiendo estar el concreto aun fresco. También se dará un texturizado transversal con peine metálico que tendrá separación entre dientes de 1.9 cm debiendo tener profundidad máxima de 6.4 mm y mínima de 3 mm, este trabajo se realizara una vez que el concreto este suficiente mente seco para que no fluya hacia los surcos que forme el peine.

e. Membrana de curado

El concreto se curara con membrana base agua y parafina de pigmentación blanca del tipo Seal Tight Meadows, Cure EB Sonneborn o similar utilizando aspersores manuales

f. Juntas longitudinales

Serán del tipo machihembrado y llevaran barras de amarre a base de varilla corrugada de 1.25 cm de diámetro y 75 cm de longitud, colocadas a la mitad del espesor de la losa y espaciadas 75 cm una de otra se colocaran manualmente una vez que haya pasado el equipo de colocación del concreto.

g. Juntas transversales.

Irán a cada 5 m y para formarlas se usaran cortadoras mecánicas con disco de diamante del tipo Magnum 38 Special o alguna otra que la constructora proponga y autorice la supervisión. El corte se efectuara inmediatamente que se inicie el fraguado inicial del concreto la profundidad del corte será de 1/3 del espesor de la losa y el ancho de 3 mm. Posteriormente se ensanchara a 6 mm y la profundidad será de 2 cm esto es para alojar el sellador. Llevaran barra pasa junta a base de varilla lisa con diámetro de 3.17 cm longitud de 46 cm y separación de 30 cm estarán ubicadas en la mitad de su longitud y soportadas por una estructura que garantice su colocación horizontal y al centro de la losa.

h. Junta transversal de construcción.

Estas se formaran al terminar el día de trabajo y llevaran barras pasajuntas de acero liso de 46 cm de longitud y diámetro de 3.17 cm se colocaran a la mitad del espesor de la losa a cada 30 cm.

i. Sellado de las juntas.

El sellado de las juntas se efectuara una vez que se limpien con agua y aire a presión. Estando seca y limpia la junta se colocara una tirilla de respaldo a base de espuma de poliuretano y tendrá un diámetro de 5/16". A continuación se colocará un sellador a base de silicón o poliuretano auto nivelantes del tipo Somomeric - 1 Sonneborn o similar.

Procedimiento constructivo.

SUBTRAMO: Km. 10+120.00 a Km. 10+920.0

a. Recorte de la carpeta asfáltica

Con equipo de recuperación en frío para pavimentos del tipo Wirtgen 2100 VCR u otro que la empresa constructora proponga y acepte la supervisión, se recortarán por franjas, los 20 cm existentes de la carpeta asfáltica.

La primera franja se iniciará en el lado izquierdo de la lateral sur en el sentido del cadenamiento (poniente - oriente). El material cortado podrá emplearse en la construcción de las terracerías en la capa subyacente o bien se colocará donde la supervisión indique. La longitud del tramo por recortar se fijará de común entre la supervisión y la empresa constructora.

b. Recorte de la base hidráulica.

Una vez retirada la carpeta asfáltica existente, con el mismo equipo que se retiro la carpeta se proceda a retirar la base hidráulica existente en un espesor de 0.25 m. El material cortado podrá emplearse en la construcción de las terracerías, o en la capa subyacente mezclado con el material de carpeta o bien se colocará donde la supervisión indique.

c. Corte en caja.

Una vez retirada la base hidráulica existente, se abrirá caja con profundidad mínima de 0.90 m. El material recortado se desperdiciará colocándolo donde la supervisión indique. De no encontrarse presencia de nivel freático desde la superficie descubierta por la caja del corte se compactará capa de 0.15 m hasta alcanzar el 90% del pesos volumétrico seco máximo del material. De encontrarse indicios de nivel freático se procederá a colocar la malla geotextil.

d. Colocación de malla geotextil.

Determinada la presencia del nivel freático, se procederá a colocar la membrana geotextil, cuidando que no presente arrugas, los traslapes o costuras de acuerdo a lo especificado por el fabricante.

e. Capa rompedora de capilaridad.

Esta se construirá empleando material de los Bancos indicados de la zona de Calimaya, el que tendrá tamaño máximo de 0.25 m a malla No 4, se acarreará al tramo y se acomodara por bandeado con equipo de orugas del tipo Caterpillar D8 o similar, en dos capas hasta alcanzar el espesor mínimo de proyecto de 0.50 m.

- f. Capa subyacente.** Esta se construirá empleando el material producto del fresado de la carpeta y la base hidráulica existente mezclados, se le añadirá agua y se le compactará al 90% del PVSM en capas hasta alcanzar el espesor mínimo de proyecto de 0.15 m.
- g. Capa subrasante.** Se construirá con material de banco indicado, el que se acarreará y en el tramo se le retirarán por papeo las partículas mayores a 7.5 cm. se le añadirá el agua y se le compactará al 95% del peso volumétrico seco máximo en capas hasta alcanzar un espesor mínimo de 0.30 m.
- h. Capa de base hidráulica.** Esta se construirá empleando también material de los Bancos indicados en el anexo de la zona de Calimaya. Los materiales se cribaran a tamaño máximo de 3.7 cm, el que se acarreará al tramo donde se colocara de tal manera que al extenderse se le pueda añadir el agua por medio de riegos y mezclados sucesivos. A continuación se extenderá en una capa cuyo espesor garantice que al ser compactado al 100% del peso volumétrico seco máximo del material, se obtenga un espesor mínimo de 0.15 m.
- i. Riego de Impregnación** Una vez terminada la compactación de la base y estando ésta con la superficie ligeramente húmeda, barrida y sin material suelto, se procederá a colocar un riego de impregnación empleando emulsión asfáltica del tipo RR-3K o similar en cantidad de 0.8 a 1.2 lt/m². No deberá permitirse el tránsito de vehículos en las 24 horas siguientes a la terminación del trabajo. En caso de que la base requiera abrirse al tránsito, el riego de impregnación se protegerá con un poreo de arena con tamaño máximo de 5 mm, aplicándolo en proporción de 4 a 6 lt/m². El riego de impregnación puede omitirse si se mantiene húmeda la superficie y se construye la carpeta de concreto hidráulico inmediatamente.
- j. carpeta de concreto hidráulico** Se construirá la carpeta empleando concreto hidráulico elaborado en planta.
- El concreto hidráulico tendrá un modulo de ruptura a los 28 días de 45 kg/cm² el suministro deber ser continuo y la colocación se hará con equipo de cimbra deslizante del tipo CMI Challenger 2000 o al algún otro similar, el ancho de la franja por colarse será de 4.5 m y el espesor mínimo de 25 cm. El acabado debe ser micro texturizado longitudinal y se dará con una tela de yute arrastrada a lo largo de la losa debiendo estar el concreto aun fresco. También se dará un texturizado transversal con peine metálico que tendrá separación entre dientes de 1.9 cm debiendo tener profundidad máxima de 6.4 mm y mínima de 3 mm, este trabajo se realizara una vez que el concreto este suficiente mente seco para que no fluya hacia los surcos que forme el peine.
- k. Membrana de curado** El concreto se curara con membrana base agua y parafina de pigmentación blanca del tipo Seal Tight Meadows, Cure EB Sonneborn o similar utilizando aspersores manuales.

- i. Juntas longitudinales** Serán del tipo machihembrado y llevarán barras de amarre a base de varilla corrugada de 1.25 cm de diámetro y 75 cm de longitud, colocadas a la mitad del espesor de la losa y espaciadas 75 cm una de otra se colocaran manualmente una vez que haya pasado el equipo de colocación del concreto.
- m. Juntas transversales.** Irán a cada 5 m y para formarlas se usaran cortadoras mecánicas con disco de diamante del tipo mágnun 38 Special o alguna otra que la constructora proponga y autorice la supervisión. El corte se efectuara inmediatamente que se inicie el fraguado inicial del concreto la profundidad del corte será de 1/3 del espesor de la losa y el ancho de 3 mm. Posteriormente se ensanchara a 6 mm y la profundidad será de 2 cm esto es para alojar el sellador. Llevaran barra pasa junta a base de varilla lisa con diámetro de 3.17 cm longitud de 46 cm y separación de 30 cm estarán ubicadas en la mitad de su longitud y soportadas por una estructura que garantice su colocación horizontal y al centro de la losa.
- n. Junta transversal de construcción.** Estas se formaran al terminar el día de trabajo y llevaran barras pasajuntas de acero liso de 46 cm de longitud y diámetro de 3.17 cm se colocaran a la mitad del espesor de la losa a cada 30 cm.
- o. Sellado de las juntas.** El sellado de las juntas se efectuara una vez que se limpien con agua y aire a presión. Estando seca y limpia la junta se colocara una tirilla de respaldo a base de espuma de poliuretano y tendrá un diámetro de 5/16". A continuación se colocará un sellador a base de silicón o poliuretano auto nivelantes del tipo Somomeric - 1 Sonneborn o similar.

Obras a realizar en los carriles centrales Procedimiento constructivo

1.- Terracerías.

- a. Despalme** En las áreas para la construcción de los carriles se retirará una capa de 0.50m del terreno que contiene materia orgánica. El producto del despalme se empleará como arroje de los terraplenes o se colocará donde la supervisión indique.
- b. Corte** Se abrirá caja con profundidad mínima de 0.75 m el material recortado se empleará como arroje de los terraplenes o se desperdiciará colocándolo donde la supervisión indique. En de la superficie descubierta por la caja del corte se compactará una capa de 0.15 m hasta alcanzar el 90 % del peso volumétrico seco máximo del material.
- c. Capa subyacente** Esta se construirá empleando material de banco, que se acarreará y en el tramo se le retirarán por papeo las partículas mayores a 7.5 cm, se le añadirá el agua y se compactará al 95% del peso volumétrico seco máximo en capas hasta alcanzar un espesor mínimo de 0.30 m.
- d. Capa subrasante.** Esta se construirá empleando material de banco, que se acarreará y en el tramo se le retirarán por papeo las partículas mayores a 7.5 cm, se le añadirá el agua y se compactará al 100% del peso volumétrico seco máximo en capas hasta alcanzar un espesor mínimo de 0.30m.

3. Pavimento

Ampliación en las rampas de ascenso y descenso de los pasos a desnivel Pilares y Comonfort.

- a. Rastreo de la superficie** Con el equipo conveniente se retirará de la superficie del acotamiento interior mediante rastreo la basura y la materia vegetal existente, colocando el material donde la supervisión lo indique.
- b. Base estabilizada** Con el equipo de recuperación del tipo CMI RS500, Wirtgen 2100 VCR o Bitelli ST200Rc se efectuará el trabajo que consiste en recortar los 0.20 m superiores del área del acotamiento. En el caso de que sea necesario se añadirá material pétreo en el volumen suficiente para que se compacte una capa con espesor mínimo de 0.20 m y se tenga una diferencia de espesor con relación a la superficie de la corona actual de 0.10 m. La mezcla de materiales tendrá calidad de base hidráulica y el material que se añade provendrá de algún banco de materiales. La mezcla de materiales o el material recuperado se mezclará con el 5% de cemento Portland con respecto al peso volumétrico seco suelto, se le añadirá el agua necesaria, se perfilará y compactará hasta alcanzar en promedio el 95% de su peso volumétrico seco máximo.
- c. Riego de Impregnación** Una vez terminada la compactación de la base y estando ésta con la superficie ligeramente húmeda, barrida y sin material suelto, se procederá a colocar un riego de impregnación empleando emulsión asfáltica en cantidad de 0.8 a 1.2 lt/m². No deberá permitirse el tránsito de vehículos en las 24 horas siguientes a la terminación del trabajo. En caso de que la base requiera abrirse al tránsito, el riego de impregnación se protegerá con un poreo de arena con tamaño máximo de 5 mm, aplicándolo en proporción de 4 a 6 lt/m². El riego de impregnación puede omitirse si se mantiene húmeda la superficie y se construye la carpeta en un máximo de 48 hr.
- d. Riego de liga.** Antes de construir la carpeta y una vez fraguado el riego de impregnación, con la superficie seca, barrida y sin polvo, se colocará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido del tipo RR-3K en cantidad de 0.6 a 1.0 lt/m².
- e. Carpeta asfáltica.** La granulometría del material pétreo será de 1.9 cm, a finos y cemento asfáltico del tipo AC-20. La mezcla de materiales se hará en planta estacionaria y en caliente, se acarreará al tramo y tenderá en cantidad suficiente con terminadora mecánica, para que una vez que se compacte con el equipo conveniente hasta alcanzar el 95% de su peso volumétrico máximo se obtengan 10 cm, de espesor.
- La carpeta deberá tenderse a una temperatura mínima de 120° e iniciarse la compactación a temperatura de 110°. A continuación se usará compactador de llanta neumática e inmediatamente después se usará plancha de rodillo liso para borrar la huella de la llanta neumática.

- f. Carpeta tipo open grade.** Se colocará una carpeta asfáltica del tipo de granulometría abierta (open grade) únicamente sobre la superficie de los tres carriles de circulación con el fin de nivelar la junta de construcción ocasionada por la ampliación de la sección. El material provendrá del banco que se menciona en la relación anexa. Los materiales pétreos y asfálticos cumplirán las normas de calidad de los materiales indicadas en el Libro 4 de las especificaciones técnicas de la SCT Federal.

Carriles de aceleración y deceleración

- a. Base hidráulica.** Se construirá con materiales pétreos de los bancos indicados en la relación anexa, los cuales cumplen satisfactoriamente con las indicaciones del Libro 4 de la SCT Federal. Los materiales se cribarán a tamaño máximo de 3.7cm. se acarrearán al tramo donde se colocarán de tal manera que al extenderse se pueda incorporar el agua por medio de riegos y mezclados sucesivos. A continuación se extenderá en una capa cuyo espesor garantice que al ser compactado al 100% del Peso volumétrico seco máximo del material, se obtengan 0.18 m.
- b. Base estabilizada.** Se construirá con materiales pétreos que provendrán del banco indicado en la relación anexa, los materiales se triturarán y cribarán en el banco para obtener un tamaño máximo de 3.7cm, a finos. El material se acarreará al tramo donde se colocará de tal manera que al extenderse se pueda incorporar el 5% de Cemento Portland con respecto al peso volumétrico seco suelto del material y el agua necesaria mediante riegos y mezclados sucesivos. Se conformará el material estabilizado en un espesor tal que al compactarse al 95% de su peso volumétrico seco máximo se obtenga como mínimo 0.12 m, la base estabilizada obtenida cumplirá las Normas de Calidad indicadas en el Libro 4 de la SCT Federal.
- c. Riego de Impregnación** Una vez terminada la compactación de la base y estando ésta con la superficie ligeramente húmeda, barrida y sin material suelto, se procederá a colocar un riego de impregnación empleando emulsión asfáltica en cantidad de 0.8 a 1.2 lt/m². No deberá permitirse el tránsito de vehículos en las 24 horas siguientes a la terminación del trabajo. En caso de que la base requiera abrirse al tránsito, el riego de impregnación se protegerá con un poreo de arena con tamaño máximo de 5mm, aplicándolo en proporción de 4 a 6 lt/m². El riego de impregnación puede omitirse si se mantiene húmeda la superficie y se construye la carpeta en un máximo de 48h.
- d. Riego de liga.** En la superficie limpia, se colocará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido del tipo RR-3K en cantidad de 0.6 a 1.0 lt/m².
- e. Carpeta asfáltica.** La granulometría del material pétreo será de 1.9 cm, a finos y cemento asfáltico del tipo AC-20. La mezcla de materiales se hará en planta estacionaria y en caliente, se acarreará al tramo y tenderá en cantidad suficiente con terminadora mecánica, para que una vez que se compacte con el equipo conveniente hasta alcanzar el 95% de su peso volumétrico máximo se obtengan 10 cm, de espesor. La carpeta deberá tenderse a una temperatura mínima de 120° e iniciarse la compactación a temperatura de 110°, si la mezcla se desplaza se dejará enfriar pero no

deberá iniciarse la compactación a temperatura menor de 90°. Se planchará con aplanadora tipo tandem para el acomodo inicial. A continuación se usará compactador de llanta neumática y se darán pasadas suficientes hasta alcanzar la densidad anteriormente indicada. Inmediatamente después se usará plancha de rodillo liso para borrar la huella de la llanta neumática. El planchado y compactación se harán paralelamente al eje, de las orillas de la carpeta hacia el centro en las tangentes y del lado exterior al interior en las curvas.

Rehabilitación de los acotamientos

- a. Recorte de Carpeta.** Se perfilará el ancho del acotamiento, recortando la carpeta asfáltica que se encuentre en el área del mismo, el material recortado, la materia vegetal y escombros que exista en el acotamiento, se recolectará y se colocará donde la supervisión indique.
- b. Recompactación de la base** Se escarificarán en promedio los 0.10 m superiores de la base hidráulica, se añadirá la humedad necesaria y se compactará el material hasta alcanzar como mínimo el 95% de su peso volumétrico seco máximo.
- c. Riego de Impregnación** Una vez terminada la compactación de la base y estando ésta con la superficie ligeramente húmeda, barrida y sin material suelto, se procederá a colocar un riego de impregnación empleando emulsión asfáltica en cantidad de 0.8 a 1.2 lt/m². No deberá permitirse el tránsito de vehículos en las 24 horas siguientes a la terminación del trabajo. En caso de que la base requiera abrirse al tránsito, el riego de impregnación se protegerá con un peneo de arena con tamaño máximo de 5mm, aplicándolo en proporción de 4 a 6 lt/m². El riego de impregnación puede omitirse si se mantiene húmeda la superficie y se construye la carpeta en un máximo de 48 h.
- Riego de liga.** Antes de construir la carpeta y una vez fraguado el riego de impregnación, con la superficie seca, barrida y sin polvo, se colocará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido del tipo RR-3K en cantidad de 0.6 a 1.0 lt/m².
- E. Carpeta asfáltica.** La granulometría del material pétreo será de 1.9 cm, a finos y cemento asfáltico del tipo AC-20. La mezcla de materiales se hará en planta estacionaria y en caliente, se acarreará al tramo y tenderá en cantidad suficiente con terminadora mecánica, para que una vez que se compacte con el equipo conveniente hasta alcanzar el 95% de su peso volumétrico máximo se obtengan 5cm, de espesor. La carpeta deberá tenderse a una temperatura mínima de 120° e iniciarse la compactación a temperatura de 110°, si la mezcla se desplaza se dejará enfriar pero no deberá iniciarse la compactación a temperatura menor de 90°. Se planchará con aplanadora tipo tandem para el acomodo inicial. A continuación se usará compactador de llanta neumática e Inmediatamente después se usará plancha de rodillo liso para borrar la huella de la llanta neumática.

Obras a realizar en puentes
Puente vehicular
Procedimiento constructivo

Zapatas

Materiales:

Los materiales que se emplearán en la construcción de las zapatas son los siguientes: Concreto hidráulico, clase I, $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Las excavaciones para alojar estas estructuras serán las mínimas posibles, se realizarán a cielo abierto con un talud que permita la estabilidad del material.

El desplante de las zapatas será al nivel N+ 2588.51 para las zapatas del cuerpo Norte y al nivel N + 2588.20 para las zapatas del cuerpo Sur. Las excavaciones podrán hacerse a mano o con máquina.

Una vez concluida la excavación se colocará una plantilla con concreto $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ y de 5 cm de espesor.

El acero de refuerzo en las zapatas se colocará como se indica en el plano respectivo del proyecto estructural.

El acero para concreto hidráulico que no cumpla con la calidad estipulada, deberá ser rechazado, marcado y retirado de la obra.

El acero para refuerzo deberá almacenarse bajo cobertizos, clasificado según su tipo y sección, debiendo protegerse cuidadosamente contra la humedad y alteración química.

Las cimbras deberán tener la rigidez suficiente para evitar las deformaciones debidas a la presión de la revoltura, al efecto de los vibradores y a las demás cargas y operaciones correlativas al colado o que puedan presentarse durante la construcción. Además, deberán ser estancos, para evitar la fuga de la lechada y de los agregados finos, durante el colado y la compactación de las revolturas.

El proporcionamiento del concreto se realizará en peso según lo indicado por el laboratorio de materiales para una resistencia de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, se deberá llevar un adecuado control de calidad del concreto.

Durante el colado la revoltura se vaciará colocándola por capas horizontales, continuas, de veinticinco a treinta centímetros de espesor. Cada capa se acomodará y compactará en toda su profundidad, para obtener un concreto que llene completamente los moldes y cubra en forma efectiva el acero de refuerzo. El tiempo transcurrido entre el colado de una capa y la siguiente no deber ser mayor de treinta minutos.

El curado del concreto, necesario para lograr un fraguado y endurecido correctos, se obtendrá conservando la humedad superficial aplicando a las superficies expuestas una membrana impermeable que impida la evaporación del agua contenida en la masa de concreto.

Se dejará transcurrir un mínimo de 7 días entre la conclusión de la zapata y la iniciación del relleno de la cepa. Las capas de relleno, en la zona de las zapatas, tendrán un espesor máximo de 30 cm y se compactarán al 95% de su peso volumétrico óptimo, según pruebas especificadas por la secretaría.

Columnas y trabe cabezal

La superestructura podrá apoyarse en las zapatas a los 28 días del último colado en éstas, si se utilizó cemento Normal en el concreto; en ningún caso antes de que el concreto haya alcanzado una resistencia de 200 kg/cm² (0.80 f'c), como mínimo

Los materiales que se emplearán en la construcción de las columnas y trabe cabezal son los siguientes

Concreto hidráulico, clase I, f'c = 250 kg/cm²

Acero de refuerzo f'y = 4200 kg/cm²

El desplante de las columnas será al nivel N+ 2589.21 para las columnas del cuerpo Norte y al nivel N + 2588.90 para las columnas del cuerpo Sur.

El acero de refuerzo tanto en columnas como en la trabe cabezal se colocará como se indica en el plano respectivo del proyecto estructural, con los recubrimientos, empalmes, dobleces y demás detalles especificados.

El acero para refuerzo deberá almacenarse bajo cobertizos, clasificado según su tipo y sección, debiendo protegerse cuidadosamente contra la humedad y alteración química.

Las cimbras deberán tener la rigidez suficiente para evitar las deformaciones debidas a la presión de la revoltura, al efecto de los vibradores y a las demás cargas y operaciones correlativas al colado o que puedan presentarse durante la construcción. Además, deberán ser estancos, para evitar la fuga de la lechada y de los agregados finos, durante el colado y la compactación de las revolturas.

El proporcionamiento del concreto se realizará en peso según lo indicado por el laboratorio de materiales para una resistencia de f'c = 250 kg/cm², se deberá llevar un adecuado control de calidad del concreto.

El curado del concreto, necesario para lograr un fraguado y endurecido correctos, se obtendrá conservando la humedad superficial aplicando a las superficies expuestas una membrana impermeable que impida la evaporación del agua contenida en la masa de concreto.

La superestructura podrá apoyarse en las zapatas a los 28 días del último colado en éstas, si se utilizó cemento Normal en el concreto; en ningún caso antes de que el concreto haya alcanzado una resistencia de 200 kg/cm² (0.80 f'c), como mínimo.

Vigas y diafragmas

Materiales.

Los materiales que se emplearán en la construcción de las vigas son los siguientes:

Acero estructural A.S.T.M. A-36 f'y = 2 530 kg/cm²

Soldadura de la Serie E-70

Las trabes se fabricarán en planta. Las del claro central en dos tramos de 12.45 m, que serán trasladadas al sitio para su conexión, para lograr la longitud total de proyecto y, las de los claros extremos en su longitud total de 12.20 m.

Las características y dimensiones de los elementos y de sus partes, así como los procedimientos de montaje, deberán estar de acuerdo con lo especificado en el proyecto.

Los cortes en las piezas se realizarán con soplete, el soplete deberá ser guiado mecánicamente.

Previo a la aplicación de la soldadura, el contratista deberá recabar, previamente, la aprobación de la Secretaría para el equipo que pretenda utilizar.

Las superficies por soldar deberán limpiarse de escamas sueltas, escoria, óxido, grasa, humedad o cualquier otro material extraño, debiendo quedar tersas, uniformes y libres de rebabas, y no presentar desgarraduras, grietas u otros defectos que puedan disminuir la eficiencia de la junta soldada.

Las partes por soldar se mantendrán en su posición correcta hasta terminar el proceso de soldadura mediante el empleo de prensas, tirantes, puntales u otros dispositivos adecuados o también mediante puntos provisionales de soldadura.

Los puntos provisionales de soldadura se limpiarán y fundirán completamente con la soldadura definitiva. Los puntos de soldadura que se consideren defectuosos se quitarán antes de hacer la soldadura definitiva.

No deberá soldarse cuando el metal base por soldar esté húmedo, expuesto a la lluvia, vientos fuertes u otras condiciones meteorológicas desfavorables.

Durante el proceso de soldadura el metal base deberá precalentarse de acuerdo con las temperaturas especificadas en las Normas de Construcción e Instalaciones.

Después de haber sido inspeccionados y aprobados los elementos estructurales, se les aplicará la pintura o capa de protección de acuerdo con las especificaciones de proyecto, debiendo limpiarse previamente de todas las escamas, óxido, escorias, grasa, aceite y otras materias extrañas.

Losa, guarniciones y parapeto

Materiales

Los materiales que se emplearán en la construcción de las losas son los siguientes:

Concreto hidráulico, clase I, $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
Acero de refuerzo $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

La cimbra podrá apoyarse directamente en los patines de las trabes, deberán tener la rigidez suficiente para evitar las deformaciones debidas a la presión de la revoltura, al efecto de los vibradores y a las demás cargas y operaciones correlativas al colado o que puedan presentarse durante la construcción. Además, deberán ser estancos, para evitar la fuga de la lechada y de los agregados finos, durante el colado y la compactación de las revolturas.

El acero para concreto hidráulico que no cumpla con la calidad estipulada, deberá ser rechazado, marcado y retirado de la obra.

El acero deberá llegar a la obra sin oxidación perjudicial, exento de aceite o grasas, quiebres, escamas, hojeaduras y deformaciones de la sección.

El acero para refuerzo deberá almacenarse bajo cobertizos, clasificado según su tipo y sección, debiendo protegerse cuidadosamente contra la humedad y alteración química.

Previo al colado de la losa se realizará la colocación de drenes en la posición indicada en el proyecto ejecutivo.

El proporcionamiento del concreto se realizará en peso según lo indicado por el laboratorio de materiales para una resistencia de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, se deberá llevar un adecuado control de calidad del concreto.

El concreto se colocará en forma longitudinal al puente. El colado se realizará en una sola operación teniendo cuidado de dar los espesores indicados.

Se deberá poner cuidado en dejar las preparaciones (anclas) que permitirán el anclaje de la guarnición así como de las pilastras de los parapetos y formando depresiones en los sitios en que se hayan colocado los drenes.

Para dar el bombeo especificado por el proyecto a la losa durante el colado de la misma, se hará uso de un escantillón.

Una vez colocado el concreto, vibrado y compactado, se regará una capa de arena húmeda, de 2 o 3 cm de espesor, en todo el ancho de la calzada, con objeto de prevenir calentamientos excesivos del sol y contracciones del concreto. El proceso de curado se llevará a cabo durante 7 días humedeciendo continuamente la capa de arena.

Para remover los moldes y la obra falsa, no deberán usarse procedimientos que dañen las superficies del concreto o que incrementen los esfuerzos a que estará sujeta la estructura.

En caso de haber utilizado concreto normal la cimbra se retirará a los 14 días de haber concluido el colado de la losa.

La guarnición y el parapeto se construirán después del descimbrado de la losa. La guarnición, banquetas y parapeto se construirán de acuerdo con las especificaciones de proyecto.

La superficie de rodamiento será de una mezcla asfáltica o material bituminoso, será del espesor indicado en proyecto y se le dará un acabado satisfactorio.

Previo al desplante del terraplén se escarificará la superficie existente de concreto asfáltico.

Los terraplenes se compactarán, en capas sensiblemente horizontales, al 90% de la prueba Proctor Modificada en el cuerpo del terraplén y en la capa subrasante (los 30 cm. superiores del terraplén) al 95% de la misma prueba. Para el refuerzo del terraplén, dentro de la masa del suelo del macizo, solamente se admitirán mallas electrosoldadas, soleras de acero, barras electrosoldadas de acero, geomallas y polímeros en refuerzos extendibles. Los refuerzos metálicos (mallas electrosoldadas, barras o soleras) se protegerán contra la corrosión con una capa de galvanizado en zinc por inmersión en caliente con un espesor mínimo de 86 mm. o con pintura epóxica de 450 mm. mínimo de espesor relativos a los factores adicionales de seguridad que se deben cumplir en los conceptos de: degradación química, daños de instalación, elongación o deformaciones, incertidumbre de materiales y daño bacteriológico para muros mecánicamente estabilizados.

Este concepto incluye el suministro de los materiales; la apertura y conservación de los caminos de acceso al banco o a los bancos; los desmontes y despalmes necesarios; el acarreo y colocando los materiales resultado de las dos operaciones anteriores en los sitios y forma ordenados por el supervisor de la obra; la carga de los materiales a los equipos de transporte; los tiempos de los equipos de transporte durante las maniobras, cargas, descargas y demoras en el tránsito o desviaciones; cualquier clase de desperdicio; el suministro, transporte, almacenajes, colocación, fijación y toda clase de maniobras del refuerzo de los terraplenes; el suministro y transporte del agua de compactación; la incorporación del agua de compactación; el mezclado, tendido y compactación de los terraplenes al grado especificado; todos los afines, escarificaciones y rastreos; los reemplazos de los refuerzos dañados y todos los gastos necesarios hasta la correcta terminación de los terraplenes.

Paneles para recubrimiento de los terraplenes mecánicamente estabilizados:

Serán de concreto armado, $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Cualquier elemento metálico de anclaje para fijar los paneles al terraplén será protegido contra la corrosión con una capa de galvanizado en zinc por inmersión en caliente con un espesor mínimo de 86 mm. o con pintura epóxica de 450 mm. mínimo de espesor, los recubrimientos de P.V.C. no se aceptarán. Cualquier panel que no cumpla estas tolerancias o sea dañado será rechazado antes de colocar o se reemplazará si ya está colocado. Igualmente será rechazado y reemplazado si se mueve fuera de estas tolerancias después de construido el terraplén.

Este concepto incluye el suministro de los paneles; el uso de los equipos de montaje; todos los almacenajes, maniobras y transportes, tanto locales como a distancia; plantillas y/o zapatas de cimentación; la colocación de los paneles a cualquier altura; obras falsas y andamiajes; cualquier clase de desperdicios; las reposiciones o reemplazos de paneles defectuosos o mal colocados; todos los gastos necesarios hasta la correcta colocación de los paneles y las limpiezas parciales y finales de la obra. Incluirá también el cargadero (losa y muro) para apoyar las traveses de la superestructura.

Obras de drenaje pluvial

Diseño de las obras de drenaje pluvial cruce bajo puentes:

Estas se realizaron considerando que se rehabilitaran los puentes Pilares y Comonfort y se construirán los nuevos puentes Tecnológico, Aeropuerto y Zapata. Consisten en conductos de concreto reforzado, con rejilla tipo Irving.

Obras de drenaje pluvial

Diseño de los canales:

A partir de los gastos obtenidos y las pendientes se propusieron las secciones de proyecto considerándose canales revestidos de concreto. Las secciones son trapeciales con taludes 1.5:1 y anchos de plantilla, que varían de 0.70 m a 1.00 m y de altura de 0.70 a 1.00m, de acuerdo a las tablas de proyecto.

Los canales propuestos son:

Canal Lateral Norte.- Canal nuevo revestido para la lateral Norte del Km. 0+000 al Km. 10+400. Este se localizará entre la lateral norte y las vías. Aproximadamente a 5.0 m de la orilla derecha del pavimento. En caso de que no se realice esta obra, se deberá desazolver en colector entubado en esta misma longitud.

Canal vías-carril central norte.- Revestimiento del canal ubicado al norte del carril central norte del Km. 0+000 al Km. 10+400. Debido a que este canal es casi en su totalidad existente, se propone llevarlo por el eje del canal ya construido. En caso de no llevarse a cabo en una primera etapas solo requerirá su desazolve en la misma longitud

Canal central.- Revestimiento del canal ubicado entre los carriles centrales del Km. 0+000 al Km. 10+400. Este se localizará paralelo a 3.0 m a la derecha aproximadamente del canal existente, del Km. 0+000 al Km. 8+000, debido a que será afectado por la ampliación a tres carriles, que en caso de no llevarse a cabo en una primera etapas solo requerirá su desazolve en la misma longitud. Del Km. 8+000 al Km. 10+000 se seguirá por el mismo canal construido, o su desazolve en su caso.

Canal Lateral Sur.- Canal nuevo revestido para la lateral Sur del Km. 0+000 a Km. 7+600 y revestimiento del canal ubicado al norte de la lateral sur del Km. 7+600 al Km. 10+200. Igual que en los casos anteriores, si no se lleva a cabo esta obra en una primera etapa, se requerirá el desazolve del colector existente del Km. 0+000 al Km. 7+600 y del canal del Km. 7+600 al 10+200. Adicionalmente se ejecutará el desazolve del colector de la CEAS del Km. 3+724 al Km. 11+000.

Canal Zapata.- Se ubica entre el monumento a Zapata y el río Lerma, para el cual se contempla un conducto de 340 m de longitud, de concreto reforzado, para cubrir el canal Zapata. después del puente Zapata.

Procedimiento constructivo del drenaje pluvial del paseo Tollocan.

- Excavaciones.** Estas se llevarán a cabo con máquina hasta los niveles indicados en el proyecto y de acuerdo al capítulo 3.01.02.022-H.01. El equipo que se utilice será el que apruebe la Secretaría. Los taludes en los canales serán 1.5 : 1 .
La excavación se hará para materiales A, B y C, a cualquier profundidad, en seco. Las actividades que se incluyen son: remoción, extracción, afinamiento, carga, acarreo libre, descarga y depósito del material en el lugar y forma que fije el proyecto.
- Rellenos.** Serán con material de banco de preferencia o de acuerdo a lo que ordene la Secretaría siguiendo el capítulo 3.01.02.023-H.01.
- Mamposterías.** Serán de tercera clase con mortero cemento - arena con proporción 1.5 a 1 .
- Zampeados.** Pueden ser de mampostería de tercera clase junteados con mortero de cemento - arena 1 a 5 o de concreto simple de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.
- Concreto Hidráulico.** El concreto que se requiera será premezclado, tanto para los canales como las estructuras, bajo la supervisión del personal de laboratorio que indique la Secretaría
- Acero para concreto hidráulico.** El acero se utilizará en las estructuras de cruce de los canales con las entradas y salidas de los carriles centrales de la vialidad y serán de una resistencia $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Alcantarillas tubulares de concreto.** Estas se colocarán en donde lo marque el proyecto.
- Demoliciones.** Estas se llevarán a cabo donde lo indique la Secretaría.
- Coladeras pluviales de piso y banquetas.** Se utilizará rejilla de hierro fundido donde lo indique la Secretaría, incluyéndose además el suministro del tubo prefabricado de concreto (arenero) de (38) cm de diámetro y 90 cm. de altura, los materiales para la fabricación del concreto $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$. mortero arena - cemento 4 a 1, acarreo, carga, descarga, tiempo de los vehículos empleados en el transporte, mermas y desperdicios, la mano de obra para la excavación, apisonado, movimiento local de los materiales, fabricación del mortero, junteo, amacizado del brocal, rejilla y limpieza, la herramienta y el equipo necesarios para la correcta ejecución del trabajo.

Rejilla Irving en pasos bajo puentes.	Será del tipo IS – 02 con solera de carga de 4.8 x 50.8 mm. (3/16" x 1 ½ "). Se concluirá el acarreo hasta el sitio de la obra, su colocación de acuerdo a los niveles de proyecto.
Brocales de fierro para pozo de visita.	Donde lo indique el proyecto se llevará a cabo la reinstalación de brocales en pozos de visita, incluyéndose el suministro de los materiales para la mezcla cemento arena en proporción 1:3, materiales menores de consumo, carga, acarreos hasta el lugar de su utilización, descarga y desperdicios, la mano de obra para la fabricación del mortero, formación de los chaflanes, reinstalación del brocal, al nivel ordenado, nivelado, amacizado, retiro de materiales sobrantes y limpieza final, la herramienta y equipo necesario para la ejecución del trabajo.
Malla de 10 x 10 cm para refuerzo de canal.	Será de alta resistencia f'y mayor de 4200 Kg/cm ² . Se incluirá su transporte hasta el sitio de la obra y los trabajos necesarios para su correcta instalación en los canales para drenar el Paseo Tollocan.
Desazolve	Esta actividad será junto con las excavaciones una de las primeras en realizarse, por medios mecánicos que incluyen los materiales menores de consumo, la mano de obra para la extracción y acomodo del material producto de la limpieza, el equipo y herramientas necesarios para la correcta ejecución del trabajo.

2.4.5 Programa de conservación preventiva y correctiva según la S.C.T.

1. Prever el programa quincenal inicial de conservación preventiva y correctiva, que deberá ser actualizado anualmente.
2. Obtener índice de servicio actual o IRI de la superficie de rodamiento, para delimitar los tramos homogéneos. Para la evaluación del pavimento proceder como lo indica el Sistema de Administración de Pavimentos de la Junta de Caminos del Estado de México.
3. Evaluar las obras de drenaje y subdrenaje que presenten problemas en el momento de la inspección.
4. Identificar terraplenes y cortes que presenten en el momento de la inspección, problemas de inestabilidad, movimientos inaceptables, derrumbes de terraplén, erosiones, etc.
5. Inspeccionar las condiciones físicas de las estructuras que presenten problemas. Inspeccionar los sitios y señales con problemas.
6. Contratar la ejecución de los estudios del estado de las vialidades. Elaborar el estudio terminado, indicando la alternativa de solución que considere más adecuada.
7. Preparar el programa de obra de la alternativa aprobada por la Junta de Caminos para los trabajos de reconstrucción en caso de ser necesaria, de acuerdo a los resultados de los estudios. Acordar su ejecución con la SCT.
8. Supervisar los trabajos durante su proceso de ejecución de manera permanente hasta concluirlos, realizando el control de calidad de la obra.

Programa de conservación rutinaria

Realizar inspecciones diariamente en la vialidad para detectar problemas y corregirlos en:

1. Cercado e invasión del derecho de vía. Reforestación en su caso.
2. Retiro de derrumbes, basura y limpieza de la superficie de rodamiento.
3. Falta de señales que pongan en peligro al usuario o lo desorienten.
4. Destrozos en jardinería.

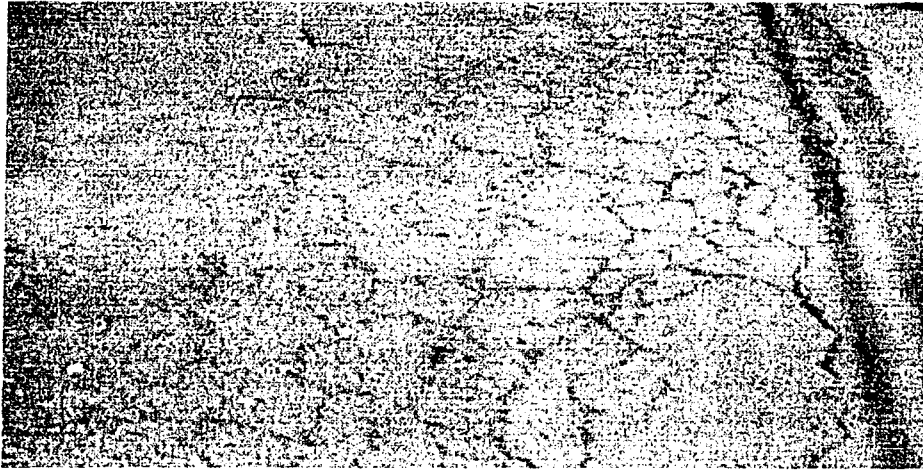
Realizar inspecciones semanales o cuando se requiera en la vialidad o de acción inmediata si fuera necesario para detectar problemas y corregirlos en:

1. Defensas y señales de tipo normal
2. Obras de drenaje
3. Obras complementarias de drenaje
4. Baches, calavereo, grietas, deformaciones, etc., en el pavimento.
5. Colocación de propaganda no autorizada
6. Limpieza de cunetas y derecho de vía
7. Daños en el camino por efecto de accidentes
8. Contracunetas y subdrenajes
9. Cajas y/o canales de entrada y salida de obras de drenaje
10. Deslave en terraplenes
11. Fallas locales de cortes
12. Postes y fantasmas
13. Desyerbe y poda de vegetación
14. Terraplenes de acceso a estructuras, principalmente en el área de juntas Apoyo y juntas de estructura
15. Pintura en general

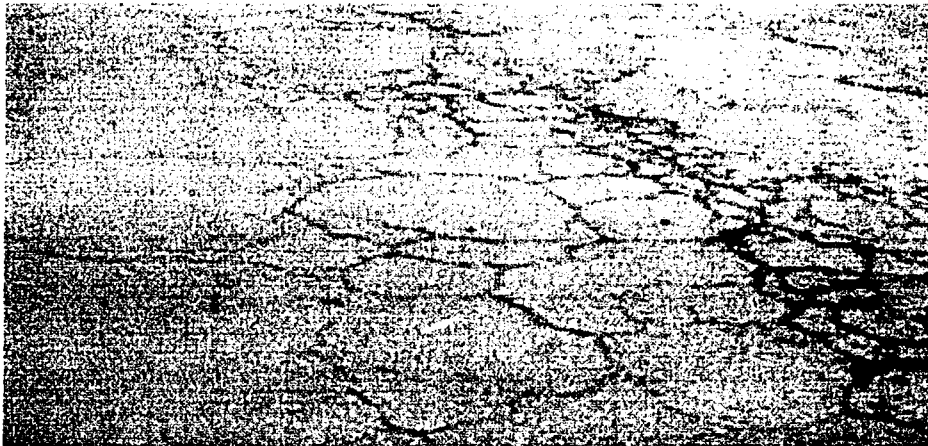
2.4. 6 Estado actual de las obras de mantenimiento

La ampliación y modernización de lo que se conoce como Paseo Tollocan abarca desde la puerta Tolotzin en la ciudad Toluca hasta el monumento a Emiliano Zapata "el Zapata".

Esta vialidad consta de dos carriles laterales y dos carriles centrales para cada sentido de circulación y es una importante vía de salida de Toluca hacia la ciudad de México.

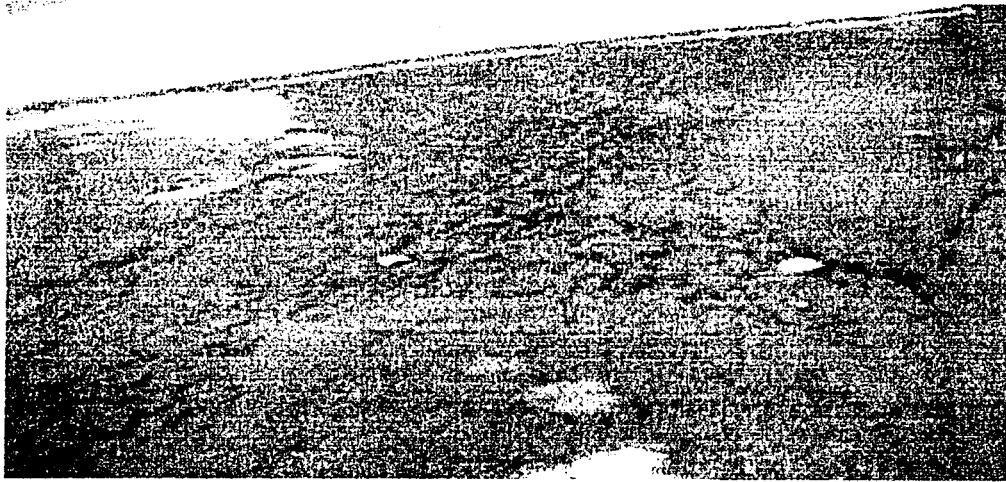


a) Estado de agrietamiento en pavimento



b) Condiciones de deterioro

Figura 2 13 Se puede apreciar el deterioro en la carpeta asfáltica, que han ocasionado principalmente los camiones de carga que ingresan a los parques industriales localizados al costado del paseo Tollocan



a) Desprendimiento parcial



b) Desprendimiento total

Figura 2.14 Aquí se aprecia desprendimiento de asfalto que pudo ser ocasionado por las lluvias o por inundaciones debidas al mal funcionamiento del drenaje en un tramo de la vialidad



Figura 2 15 Se aprecia que cruzan las vias del tren los carriles laterales para ingresar a un **parque industrial** lo que ocasiona obras de mantenimiento en esta zona

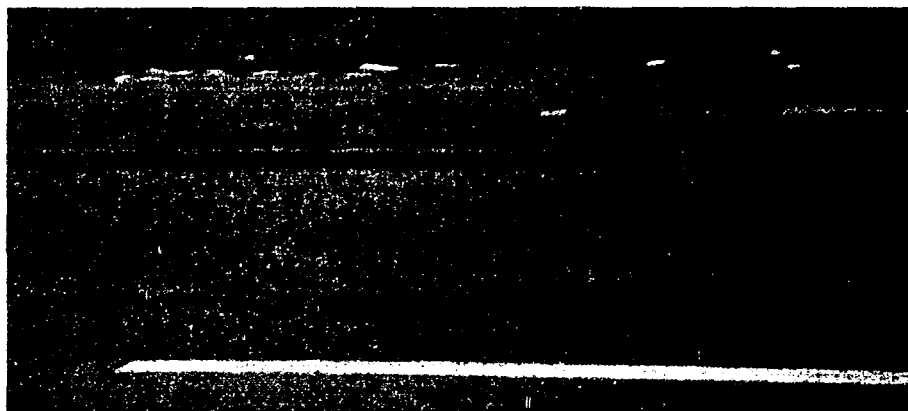


Figura 2 16 Se observa el acabado que se dio a los carriles laterales y se aprecia la **junta longitudinal** en la cual lleva acero transversalmente

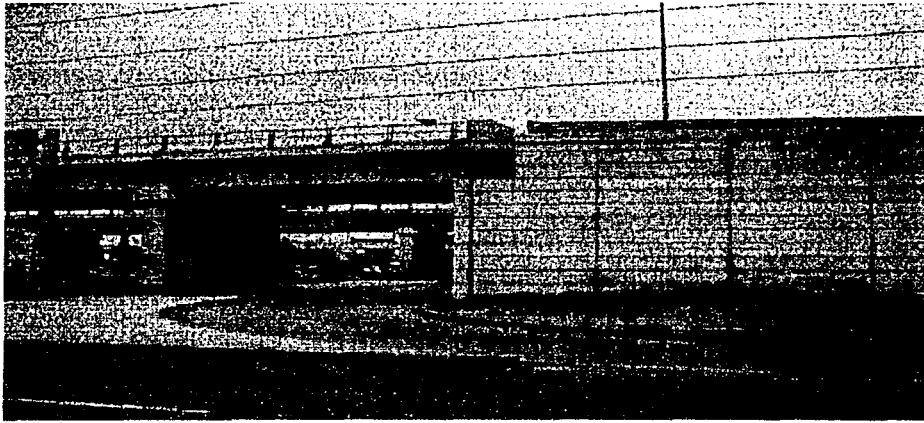


Figura 2 17 Muestra uno de los nuevos puentes que se construyeron, además del carril de retorno y el terraplen estabilizado mecánicamente

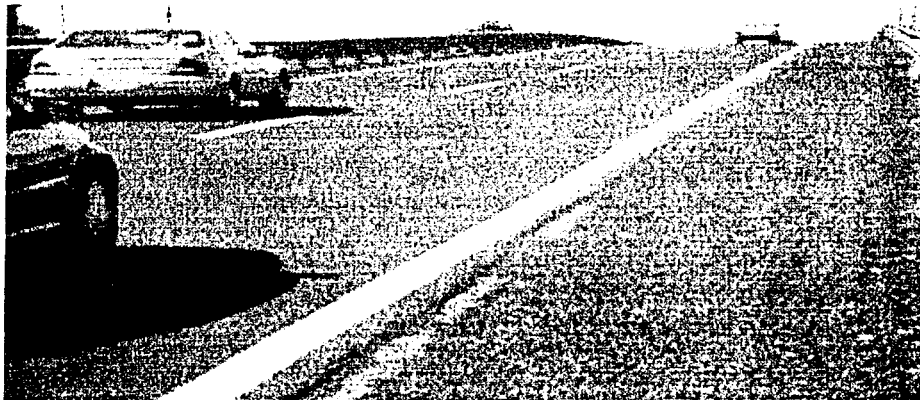


Figura 2 18 Aspecto final del mantenimiento efectuado

Capítulo 3.

Análisis de los agentes y factores que causan deterioro en elementos estructurales de concreto reforzado.

3.1. EL CONCRETO REFORZADO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

3.1.1 *El concreto reforzado*

El concreto reforzado es un material que surge como tal a finales del siglo XVIII y como una aplicación del cemento portland, patentado en el año de 1824 por Joseph Aspdin.

Aunque el cemento tiene, un inventor, en el caso del concreto reforzado no se conoce a su inventor, tampoco la fecha de su invención. Este material nació, posiblemente en Francia o Inglaterra, cuando alguien sumergió barras de acero en una mezcla de cemento, agregados y agua, obtuvo un material rígido: una piedra artificial.

Así, arena y grava, cemento portland y agua debidamente dosificados y acero colocado apropiadamente fueron los ingredientes principales del nuevo material de construcción. Su nacimiento y uso fue desplazando gradualmente a materiales tradicionales como la madera y las piedras naturales. El concreto reforzado se distinguió desde el principio por requerir dosificación, su comportamiento mecánico, moldeabilidad y configuración del acero de refuerzo.

Han pasado más de dos siglos y el concreto reforzado se sigue elaborando con los mismos ingredientes, sólo que hoy se cuenta con diferentes tipos de cemento, se tiene más cuidado al seleccionar los agregados, el concreto se elabora mediante varios métodos de fabricación, se dispone de barras de acero de refuerzo de varias calidades y diámetros, y se ha incorporado un nuevo ingrediente: el aditivo. Toda esta evolución ha permitido obtener un material de construcción de más calidad.

El concreto reforzado es uno de los materiales más importantes en la construcción de estructuras y después del acero, ocupa el segundo lugar de preferencia.

El concreto reforzado es por tanto un conglomerado pétreo artificial, resultado de mezclar apropiadamente cemento portland, agua, arena, grava y la eventual adición de aditivos, en combinación con barras de acero.

3.1.2 *Materiales constitutivos del concreto reforzado.*

Cemento.

El cemento es el ingrediente fundamental del concreto ya que, por un lado, aglutina a toda la masa al mezclarse con agua y, por otro, ya como concreto, se integra para trabajar y dar protección al acero de refuerzo.

En el capítulo 2 se han mencionando las características del cemento portland y del concreto elaborado con él. Tomando en cuenta lo anterior, aquí se recalca la composición química básica del cemento y agregados pues precisamente sus compuestos reaccionarán con agentes químicos y físicos de deterioro.

Nombre del compuesto	Composición del óxido	Abreviatura
Primarios: Silicato tricálcico Silicato dicálcico Aluminato Tricálcico Aluminoferrito tetracálcico	3CaO SiO ₂ 2CaO SiO ₂ 3CaO Al ₂ O ₃ 4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₃ S C ₂ S C ₃ A C ₄ AF
Secundarios: Cal libre Magnesia libre Sulfato	CaO MgO SO ₄	CaO MgO SO ₄

Tabla 3.1 Composición química del cemento.

Agregados (arena y grava)

Los agregados empleados en la fabricación del concreto son de importancia, la deficiencia en la calidad de estos propicia la aparición de propiedades indeseables tales como bajo módulo de elasticidad, excesivas deformaciones diferidas bajo cargas sostenidas (flujo plástico, o creep) y elevados cambios volumétricos por secado.

Los agregados: arena y grava, son aglutinados por la pasta de agua y cemento. Puesto que en un concreto lo agregados ocupan el 80% del volumen de la masa, es importante cuidar varios aspectos físicos y químicos para obtener un producto de calidad. Algunos aspectos a investigar son:

1. Composición mineralógica.
2. Dureza y resistencia mecánica.
3. Granulometría.
4. Textura.
5. Porosidad.
6. Sanidad.
7. Contenido de finos, en el caso de las arenas.

Aunque es deseable contar con agregados de calidad, en la práctica no es posible, factores de tipo económico y ecológico determinan el empleo de agregados existentes en la región y técnicamente se usan y toleran y se hace un esfuerzo por reducir los efectos negativos que estos pudieran generar. Así, ante la imposibilidad de contar con buenos agregados se sugieren las siguientes recomendaciones para elegirlos y mejorar las propiedades del concreto:

1. Emplear gravas provenientes de rocas sanas, con densidad superior a 2.6 y de baja absorción, menor al 2%
2. Granulometría de la grava: 35% de un tamaño entre 5 a 10 mm y 65% de un tamaño entre 10 a 20 mm.
3. Para gravas obtenidas por trituración: verificar que la forma de las partículas sea tal que su coeficiente volumétrico sea 0.2
4. Emplear arenas, pueden ser de origen andesítico, limitando la cantidad de finos a un 10 %, especialmente los finos plásticos.

Agua

En cuanto al agua, la más recomendable para elaborar el concreto es la potable. La calidad y la cantidad de agua tienen una influencia significativa en las propiedades del concreto fresco y endurecido. La tabla 3.2 indica la calidad recomendada.

Característica	Máximo	Observaciones
PH	5	Con uso de cemento normal
Sulfatos	1 g/l	Con uso de cemento resistente a sulfatos
Sulfatos	5 g/l	Para concreto reforzado
		Para concreto pretensado
Cloruro	3 g/l	
Cloruro	1 g/l	
Sustancias solubles	15 g/l	
Sustancias orgánicas	15 g/l	

Tabla 3.2. Calidad del agua para mezclado

Por otro lado, la calidad del concreto depende de la cantidad de agua de mezclado. La tendencia al uso de mezclas bastante fluidas ocasiona sangrado excesivo en el concreto recién colocado y produce una mayor contracción por secado del concreto endurecido.

La relación de las cantidades de agua y cemento (relación a/c) de la mezcla es un parámetro muy importante y bastante ligado a la resistencia mecánica y a la durabilidad del concreto.

La resistencia y la durabilidad del concreto dependen, de hecho, de esta relación: a mayor relación agua/ cemento, menor resistencia y menor durabilidad. La figura 3.1 muestra el efecto de esta relación en la resistencia a la compresión (f_c) y en la deformación unitaria (ϵ_c).

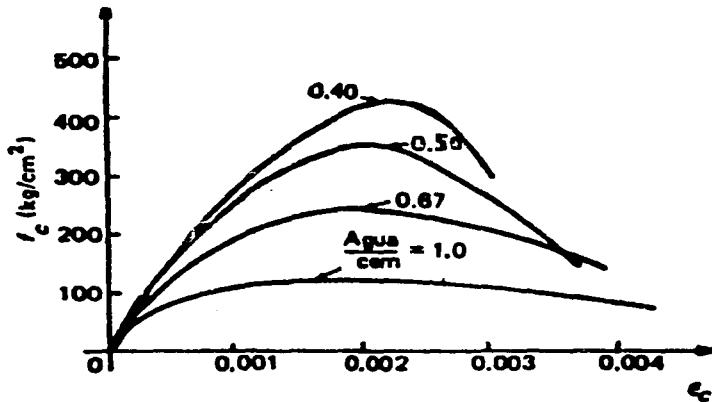


Figura 3.1. Efecto de la relación agua / cemento

Aditivos.

Los aditivos son sustancias orgánicas o inorgánicas solubles en agua que se agregan a la mezcla de concreto, revoltura, inmediatamente antes o durante el proceso de mezclado. Su principal función es la de modificar las propiedades del concreto para hacerlo más trabajable en su colocación y/o para lograr un concreto más resistente a la acción de los agentes y factores que causan deterioro.

En la tabla 3.3 se presenta una clasificación de los aditivos más usados, en ella se indican los efectos primarios deseados, en el apéndice se resumen los aditivos disponibles en México.

Aditivo	Compuestos químicos	Efecto primario
Plastificantes	Lignosulfonatos Ácidos hidrocarboxílicos Carbohidratos	Manteniendo la misma docilidad permiten reducir el contenido de agua: un 6.5% (Europa).
Superplastificantes	Compuestos de Melamina y formaldehído Compuestos de Naftaleno sulfonado Lignosulfonatos modificados Copolímeros acrílicos	Manteniendo la misma docilidad permiten reducir el contenido de agua: un 12% (Europa) un 16% (Japón).
Retardadores de fraguado	Azúcares Ácidos hidrocarboxílicos Lignosulfonatos	Modifican la velocidad de fraguado. Su acción depende de la cantidad de aditivo, del tipo de cemento y de la temperatura.
Aceleradores de fraguado y Aceleradores de resistencia	Nítrito cálcico Nitratos Tiosulfatos Tritenolamina	Ídem
Agentes aireantes	Ácidos y sales de resina de la madera Sales orgánicas Hidrocarburos sulfonados	Forman burbujas de aire por reacciones de adsorción en la interfase aire-agua
Inhibidores de corrosión	Nítrito cálcico	Control de la corrosión

Tabla 3.3. Clasificación de los aditivos para concreto

El uso correcto de aditivos tiene la intención de modificar significativamente la microestructura del concreto, pues reducen la porosidad y la fase acuosa del concreto. En el apartado de propiedades y microestructura se abundará en este punto.

La dosificación de los aditivos debe ser precisa en obra, por ello, su uso es recomendable en obras donde exista control en los materiales, en la dosificación y en la ejecución.

El empleo de aditivos no presenta problemas en el caso de concretos premezclados en planta o concretos fabricados en obras o sitios donde se tenga laboratorio de materiales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se enumeran algunas consideraciones útiles que reducen errores en su uso:

1. Cuando haya que usar aditivos en obra, asegurarse de sus bondades y dosificación correcta.
2. Usar aditivos de calidad y de los cuales se tenga experiencia.
3. Tener cuidado con las condiciones de almacenamiento de aditivos.
4. No usar aditivos caducos.
5. Asegurarse de la compatibilidad química de los aditivos y el tipo de cemento a usar en la fabricación de un concreto.
6. Recordar que el uso de aditivos no transforma un concreto pobre en un concreto de calidad.

Acero de refuerzo.

El acero estructural tiene una composición básica de hierro (más del 95 %) y un contenido mínimo de otros elementos como carbono, manganeso, azufre y fósforo.

Las varillas o barras de acero para refuerzo del concreto se hacen a partir de acero relaminado y de acero de lingotes. Existen tres grados de este último: estructural, intermedio y duro.

Aunque el acero relaminado tiene características físicas similares a las del acero grado duro, es más frágil y difícil de doblar. El grado intermedio del acero de lingote es el más utilizado para refuerzo.

La tabla 3.4, 3.5, 3.6 muestran la variedad de barras y productos preformados o prearmados.

Acero de refuerzo	Fy kg/cm ²	Diámetros ó Tamaños	Observaciones
Barras tradicionales	4,200	5/16" a 1 1/2"	Grado G 42
Alambrón tradicional	2,530	1/4"	Grado G 30
Barras tipo Tec 60 y DA 6000	6,000	5/32", 3/16", 1/4", 5/16"	Grado G 60
Castillo prefabricado	6,000	tabla 3.5	Grado G 60
Malla electrosoldada	5,200	tabla 3.6	Grado G 52

Tabla 3.4 Productos de acero para refuerzo de concreto.

No. Varillas	TPO	Selección del concreto (cm)	Selección de la armadura (cm)	Peso por tramo (kg)
4 varillas	15 x 10.4	15 x 10	11 x 6	7.92
	15 x 15.4	15 x 15	11 x 11	8.34
	15 x 20.4	15 x 20	11 x 16	8.76
	15 x 25.4	15 x 25	11 x 21	9.24
	15 x 30.4	15 x 30	11 x 26	9.66
	12 x 12.4	12 x 12	8 x 8	7.92
	12 x 20.4	12 x 20	8 x 16	8.52
	12 x 25.4	12 x 25	8 x 21	8.94
	12 x 30.4	12 x 30	8 x 26	9.36
	3 varillas	10 x 10.3	10 x 10	7 x 7
15 x 15.3		15 x 15	11 x 12	6.60
2 varillas	12 x 2	12 x variable	8 x 2	4.17
	15 x 2	15 x variable	11 x 2	3.96

Tabla 3.5 Acero de refuerzo prearmado (para dalas y castillos)

TABLA DE ESPECIFICACIONES				
Electromalla No. Comercial	Diámetro		Área de acero en cm ² /m	Peso kg/m ²
	mm	Cal.		
66/44	5.72	4	1.687	2.688
66 6/6	4.88	6	1.225	1.950
66 8/8	4.11	8	0.872	1.391
66 10/10	3.43	10	0.605	0.966

Tabla 3.6 Malla electrosoldada

3.1.3 El proceso de curado

Mezclar cemento, agregados, agua y aditivos, combinar la revoltura con el acero de refuerzo para formar elementos estructurales se lleva a cabo rutinariamente, lo hacen el pequeño y el gran constructor. Pero hay un proceso estrechamente asociado al manejo de este material de construcción: el de curado del concreto, proceso que algunas veces es pasado por alto en las obras chicas y en las grandes.

En este tema se analiza cómo la relación agua / cemento, las prácticas correctas en el manejo del material y el curado, tienen importancia e influyen directamente en propiedades como son: la permeabilidad, la resistencia mecánica y el intemperismo.

En el capítulo 2 se mencionó que el concreto requiere la presencia de humedad y de temperatura favorables para que se den las reacciones químicas, de las que depende no solo el incremento de la resistencia mecánica sino otras cualidades asociadas a la durabilidad del concreto.

El curado del concreto es el mantenimiento de un ambiente favorable para la continuación de las reacciones de los compuestos del cemento con el agua. Este ambiente se logra suministrando humedad al concreto o permitiéndole mantener el que ya tiene, y dándole protección contra temperaturas extremas.

Hay diversos procedimientos para conservar la humedad del concreto, algunos de ellos son:

1. Inundación
2. Riego continuo de agua
3. Protección con mantas mojadas
4. Película de polietileno
5. Membranas de curado
6. Camas de arena húmeda

En lugares donde se presentan bajas temperaturas se implementan protecciones como:

1. Cubrir los elementos con lonas o paja.
2. Construyendo un recinto y manteniendo caliente y húmedo su interior.

Cuidar la relación agua cemento del concreto es básico, pero es insuficiente si se pasa por alto un buen sistema de curado. La figura 3.2 muestra la influencia de la relación a/c y el curado en la permeabilidad superficial del concreto.

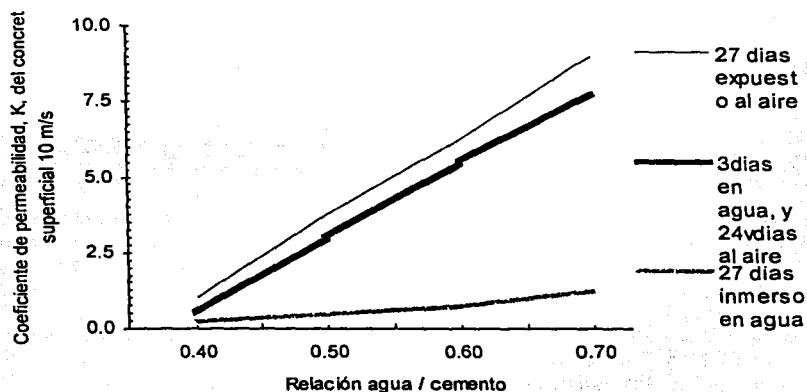


Figura 3.2 Influencia de la relación a/c y el curado.

3.1.4 Microestructura del concreto

El concreto endurecido es un material sólido. No obstante, resulta permeable a líquidos y gases en mayor o menor medida. La facilidad de penetración está en función de características físicas interiores y superficiales de la masa de concreto. Al conjunto de todas estas características se le conoce como la microestructura del concreto.

Una característica importante: la absorción.

La absorción es la penetración íntima de un líquido o un gas en un cuerpo sólido de estructura porosa y la capacidad de este para retenerlo.

La fuerza conocida como tensión capilar, que actúa en los tubos o poros capilares, facilita transportar líquidos hacia el interior de la masa. La cantidad de líquidos y sustancias que se introducen depende de las propiedades del líquido: densidad, tensión superficial y porosidad del sólido. A la cantidad de líquido o gas que pasan a través de la estructura porosa se le conoce como permeabilidad.

Una característica interna: la red capilar.

Entre las características interiores está la red capilar causada por el agua. El agua empleada en la fabricación del concreto es siempre mayor que la necesaria para la hidratación completa de los compuestos del cemento. Después del fraguado y endurecimiento del concreto, el agua en exceso, conocida como la fase acuosa, queda aprisionada en el interior; una parte envuelve al gel o grano de cemento y la otra tiende a evaporarse formando conductos (poros), que junto con las burbujas de aire ocluido y el aire incluido, mediante aditivos, forman una red de capilares: el camino de acceso de los agentes físicos y químicos externos que degradan al concreto.

Los poros o conductos capilares tienen una diversidad de tamaños, los poros varían desde unos cuantos nanómetros (microporos) a micrómetros (mesoporos o capilares) llegando algunas veces a tener milímetros (macroporos) Dentro de la masa de concreto, todos estos poros pueden estar conectados entre sí (porosidad abierta), o no (porosidad cerrada)

De estos, los mesoporos (poros capilares), son de relevancia pues constituyen alrededor de dos tercios de la porosidad total del concreto. Estos son los poros que inciden en mayor medida en todos los fenómenos de transporte de líquidos y gases.

El volumen total de poros y su distribución afectan la calidad del concreto, pues influyen en dos propiedades importantes de este: resistencia mecánica y permeabilidad.

La resistencia mecánica (a la compresión, a la abrasión o al impacto) se logra ajustando la relación agua / cemento de la mezcla. Esta misma relación actúa como parámetro del grado de permeabilidad de la pasta de cemento hidratada. De esta manera, a menor relación agua / cemento corresponde mayor resistencia mecánica y mayor impermeabilidad.

Es pertinente indicar que el empleo de una baja relación agua / cemento es una medida necesaria pero insuficiente para lograr una baja permeabilidad del concreto. Para lograr una baja permeabilidad o lo que es lo mismo para lograr una estructura poco porosa, se requiere además llevar a cabo prácticas constructivas adecuadas y eficaces, entre las que destaca un buen sistema de curado.

La figura 3.3 muestra los elementos de la microestructura y considera lo que hoy se conoce como la fase acuosa, la interfase agregado-pasta y la interfase acero-pasta.

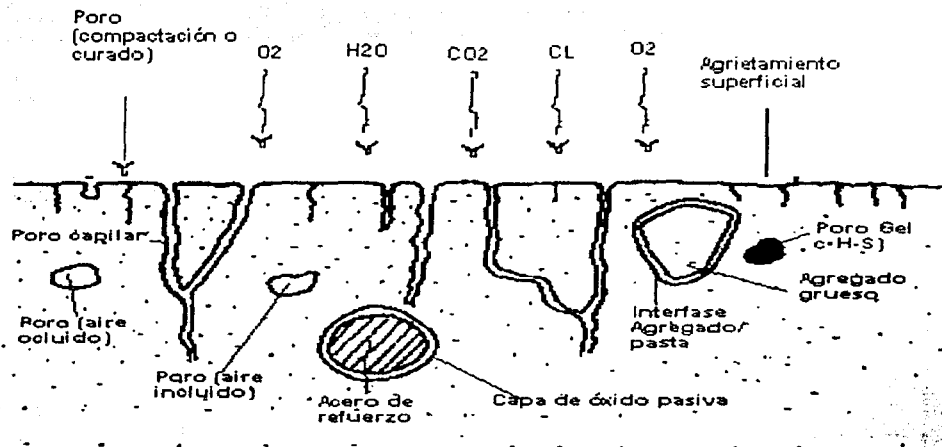


Figura 3.3 Microestructura del concreto.

Agrietamiento superficial

Las superficies de concreto pueden desarrollar agrietamiento en sus caras expuestas, pudiendo ser una causa la alta relación agua / cemento de la mezcla. De cualquier modo, su presencia pasa a formar parte de la microestructura y el efecto de este agrietamiento incrementa la acción deletérea de líquidos y gases presentes en el medio ambiente.

Agrietamiento

Además de la porosidad del concreto (suma de poros ocluidos, poros y aire incluido), este el agrietamiento, otra vía de acceso de los agentes físicos y químicos deletéreos.

Son diversas las causas que producen el agrietamiento, siendo las principales las deformaciones debidas a cambios volumetricos (ocasionados por variaciones de la temperatura y por el fenómeno de la contracción) y los esfuerzos generados por fuerzas de tensión, por momentos flexionantes, por fuerzas cortantes o por momentos torsionantes.

Los grados de agrietamiento y porosidad afectan la integridad del concreto y a mayor grado, el concreto y su refuerzo son altamente deteriorables.

Es fundamental conocer las causas del agrietamiento, pues, ello permite cuidar los aspectos de fabricación, colocación y mantenimiento del concreto de las estructuras, haciéndolas más perdurables. Las figuras 3.4 y 3.5 presentan las diversas causas de agrietamiento y se agrupan en dos etapas, antes y después del endurecimiento del concreto. En cada una de ellas se hacen dos clasificaciones, se identifica el origen, los factores que inciden en su formación y se indica su remedio. La figura 3.6 muestra los diferentes tipos de fisuras o grietas que se desarrollan por esfuerzos generados por trabajo estructural. La aparición y crecimiento de grietas coincide con el agotamiento de la resistencia de los elementos, lo que representa un peligro para la estabilidad de los elementos y de la estructura en general. Mas adelante se verán los factores causantes de daño estructural y su relación con el deterioro.



Figura 3.4 Tipos y causas de agrietamiento antes del endurecimiento del concreto.

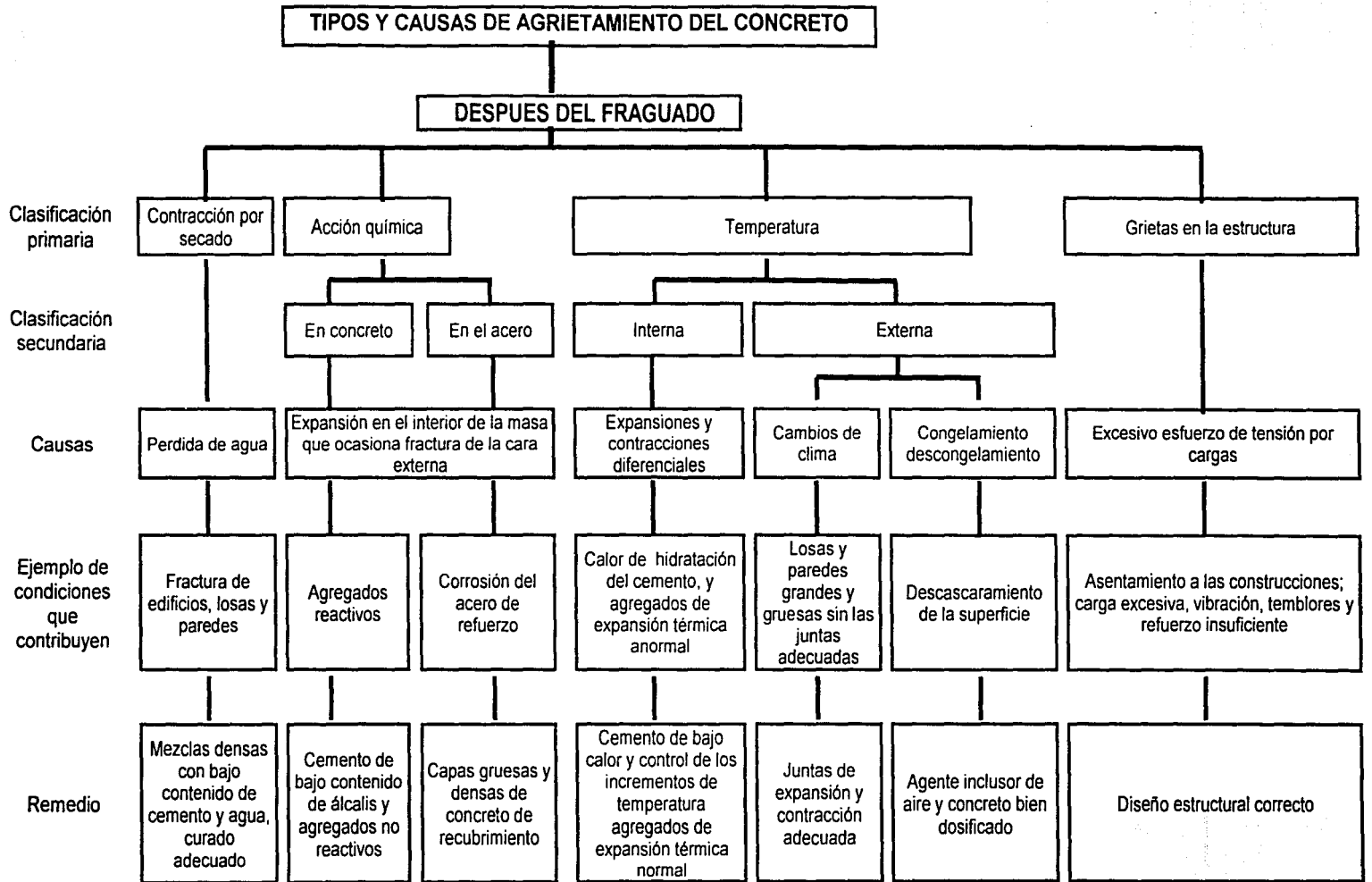
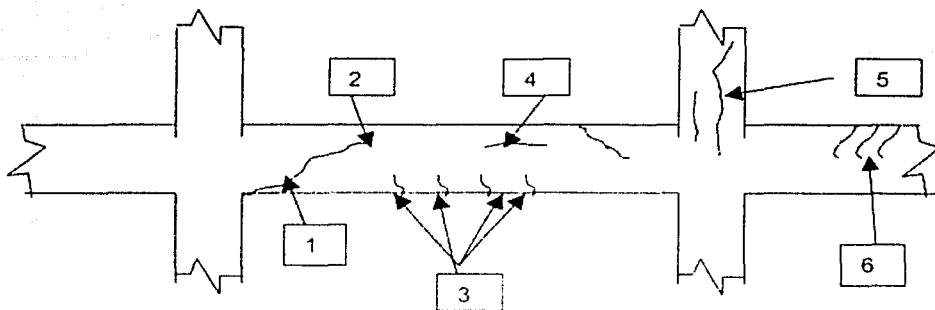
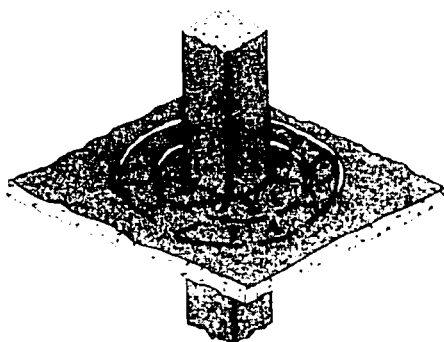


Figura 3.5 Tipos y causas de agrietamiento posteriores al endurecimiento de concreto

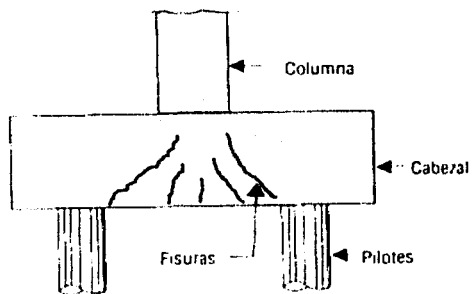


a) Agrietamiento en traves

1) Fisuras de cortante; 2) Fisura de anclaje; 3) Fisuras de flexión (positivos); 4) Fisuras de deslizamiento de anclaje; 5) Por compresión; 6) Fisuras de flexión (negativa).



b) Agrietamiento en losas planas: Punzonamiento



c) Agrietamiento en dados de cimentación: flexión y cortante

Figura 3.6 Tipos de grietas por trabajo estructural.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO.

3.2.1 Dados de cimentación.

Los dados son elementos prismáticos de sección cuadrada, rectangular o circular, normalmente, su tamaño varia de 10 a 20 cm mas por lado con respecto al tamaño de la columna.

Las funciones de los dados de cimentación son varias, una de ellas es de absorber esfuerzos debidos a momento flexionante generados por excentricidades de la descarga.

Otra función es proteger al acero de refuerzo de las columnas contra el proceso de corrosión, cuando las estructuras están sumergidas o están en contacto con suelos saturados de agua y soluciones químicas.

Una mas es la de trabajar como una columna, soportando esfuerzos de flexocompresión y cortante, cuando se combina con zapatas aisladas desplantadas a cierta profundidad.

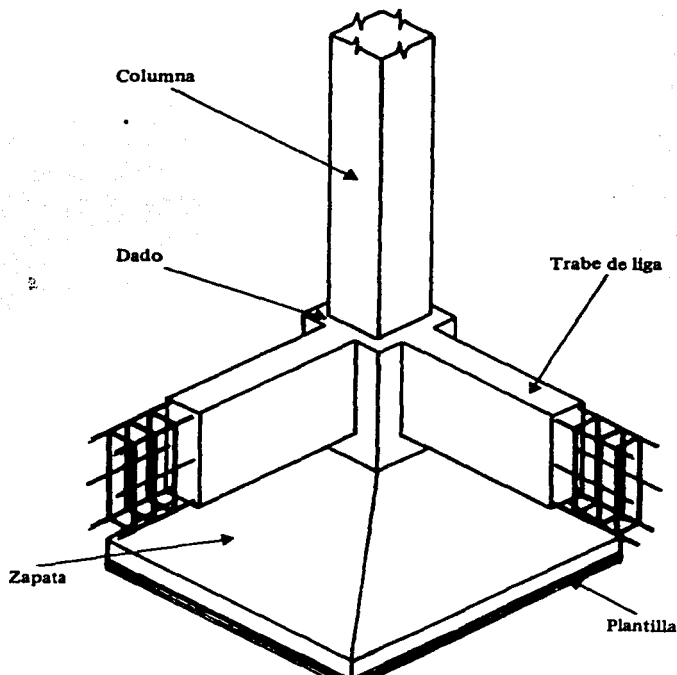


Figura 3.7 Dado de cimentación.

3.2.2 Pilas y pilotes

Pilas de cimentación

Las pilas de concreto reforzado son elementos lineales para trabajar en posición vertical o inclinada. Comúnmente son de sección circular o cuadrada, de un diámetro o peralte comprendido entre 40 a 80 cm o más.

Las pilas transmiten las descargas del edificio a estratos de suelo resistentes; en el ámbito de la construcción nacional, se usan para cimentar edificios de más de siete niveles, y se hacen llegar hasta profundidades de entre los 18 a 20 metros.

Se usan normalmente para cimentar en zonas denominadas de transición, en zonas minadas y en terrenos inclinados.

En general, las pilas se ligan, por su extremo superior, a la estructura de cimentación mediante un sistema de contratraves.

Esencialmente estos elementos trabajan a compresión transmitiendo cargas de gravedad, debido a esto se diseñan de manera que tengan la capacidad para soportar esfuerzo de flexión y cortante debidos a desplazamientos horizontales del edificio o superestructura y de la masa de suelo que confina a estas.

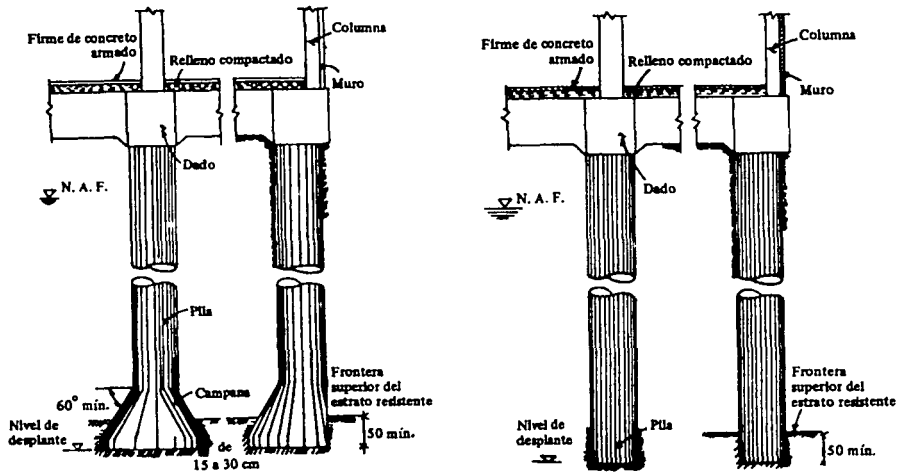


Figura 3.8 Pilas de cimentación: de extremo inferior recto y acampanado.

Pilotes de fricción, de punta y de control

Los pilotes de fricción y de punta de concreto reforzado son elementos lineales dispuestos en posición vertical o inclinada. Comúnmente son de sección circular o cuadrada, de un diámetro o peralte comprendido entre 30 a 40 cm o un poco más.

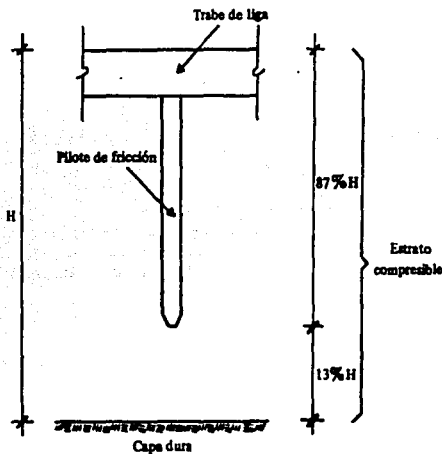
Los pilotes de fricción y de punta están totalmente inmersos en substratos blandos. La capacidad de los primeros depende de la adherencia que se desarrolla en la superficie lateral del fuste; en el caso de suelos cohesivos o de la fricción entre suelo y fuste; en el caso de suelos friccionantes.

En el caso de los pilotes de punta, transmiten las cargas verticales apoyándose directamente sobre el estrato de suelo resistente.

Estos elementos se pueden fabricar en el lugar de la obra o fabricarse en planta, precolados. En cualquier caso, se colocan en su posición, debajo de columnas, muros o contratraveses, mediante una máquina pilotadora, que los hinca o inserta en el terreno.

Al igual que las pilas están sujetas a las mismas acciones y para su diseño se consideran como columnas cortas.

Las figuras 3.9 y 3.10 muestran a estos elementos así como una regla, no general, relativa al tamaño máximo del pilote de fricción.



$$\phi = \frac{110 A}{2n \pi L}$$

donde:

- ϕ = diámetro del pilote, en cm
- A = área construida, en m²
- n = número de pilotes en toda la cimentación
- L = longitud del pilote sin incluir la punta, en m

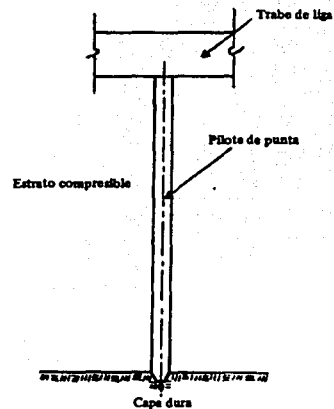


Figura 3.9 Pilote de fricción.

Figura 3.10 Pilote de punta.

Los pilotes de control creados por Manuel González Flores (1964), para estar apoyados en una capa dura, el control de deformación tipo Picoso lo proporciona un conjunto de celdas de caobilla.

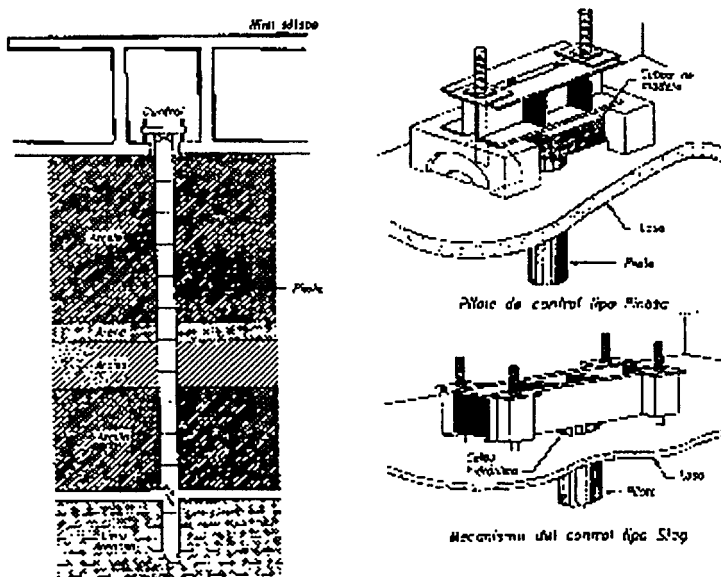


Figura 3.11 Pilote de control.

3.2.3 Trabes y columnas.

Las trabes y las columnas son los elementos de soporte en una estructura, las trabes como elementos horizontales y las columnas como verticales. Las columnas soportan a las trabes, y el conjunto de trabes y columnas conforman un "esqueleto" que trabaja como una retícula capaz de soportar las cargas gravitacionales así como las cargas de tipo accidental.

Trabes.

Las trabes son elementos estructurales, lineales o curvos, que realizan su función en una posición horizontal o inclinada.

En cuanto a su posición en la estructura se clasifican en trabes principales y secundarias, normalmente las primeras se unen a columnas y las secundarias se colocan entre los ejes para reducir el tamaño de los tableros de losas.

Las trabes empleadas en la cimentación reciben el nombre de contratrabes y/o trabes de liga.

Básicamente estos elementos están sometidos a esfuerzos de flexión y cortante y algunas veces a torsión.

Por otro lado, su geometría puede ser de cualquier forma y tamaño, aunque se prefieren traveses de sección regular; prismas rectangulares, por su facilidad de construcción y de diseño, aunque las puede haber de sección circular, cuadrada, I, L ó T. (figura 3.12).

En general, se recomienda que su peralte, h , varíe de $1/10$ a un $1/12$ del claro a salvar, y que su ancho (b) oscile entre $1/3$ a $1/2$ de su peralte.

En ocasiones se presentan estructuras en donde, por diversos motivos, no es posible proporcionar un mismo tamaño, en especial un mismo peralte, a lo largo de toda la pieza, razón que obliga a tener de vigas acarteladas o de sección variable.

El principal objetivo del acartelamiento es el de incrementar la sección transversal de la trabe en su unión con las columnas, para así proporcionar al elemento una mayor rigidez y mayor capacidad de tomar momentos flexionantes en tales puntos. Al mismo tiempo, se disminuye la sección en su parte central para permitir el paso de instalaciones mecánicas o de tuberías.

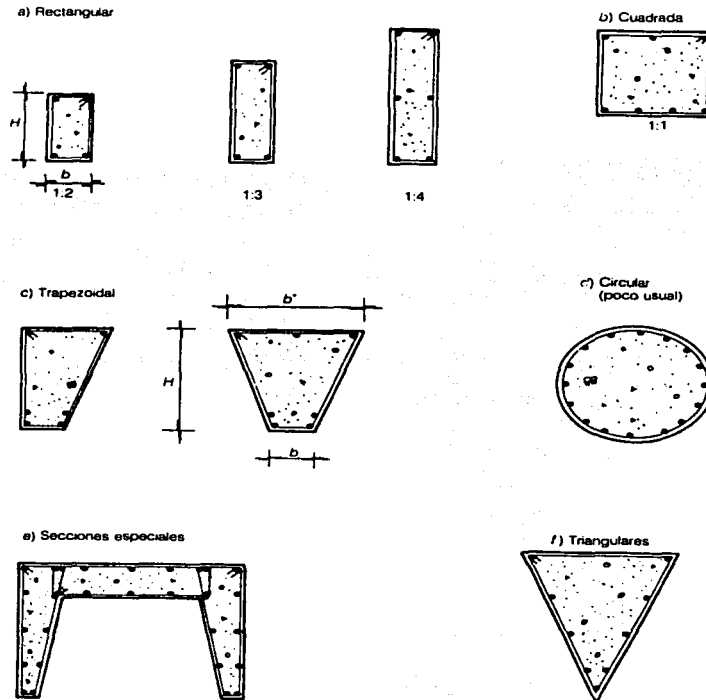


Figura 3.12 Secciones transversales de traveses y armados típicos.

Columnas.

Las columnas de concreto reforzado constituyen el elemento vertical de apoyo para la mayoría de las estructuras a base de marcos. Básicamente están sometidas a esfuerzos de flexocompresión y cortante en una o dos direcciones.

La adecuada selección de su tamaño, forma, espaciamiento y posición influyen directamente tanto en su capacidad como elemento, como en la capacidad de la estructura en general.

Las columnas de concreto se clasifican en cortas y largas. Las columnas cortas son aquellas en donde la relación altura a dimensión mínima, H/d , es menor de 10 y las columnas largas aquéllas en donde esta relación varía entre valores de 10 a 15.

Por lo que respecta a su geometría, esta puede ser muy diversa. Las columnas de concreto pueden variar en su sección transversal y además variar a lo largo de su altura, sin embargo, las secciones cuadradas tienen la ventaja de presentar el mismo momento de inercia en dos direcciones ortogonales, con lo que su resistencia, se puede decir, es similar tanto en una como en otra. Además, presentan las mismas proporciones en ambas caras y son tan fáciles de modular en relación con otros elementos de construcción.

Las columnas de sección rectangular presenta momentos de inercia diferentes entre el eje de mayor dimensión y el eje de menor dimensión.

Las columnas de sección circular tienen características de simetría en sus ejes, los cuales se pueden suponer perpendiculares entre sí, hecho que las hace similares en su comportamiento a las cuadradas. La geometría circular requiere de consideraciones especiales de diseño en relación con las cuadradas y las rectangulares.

Las figuras 3.13 y 3.14 muestran las formas más comunes de secciones transversales y armados típicos para secciones cuadradas.

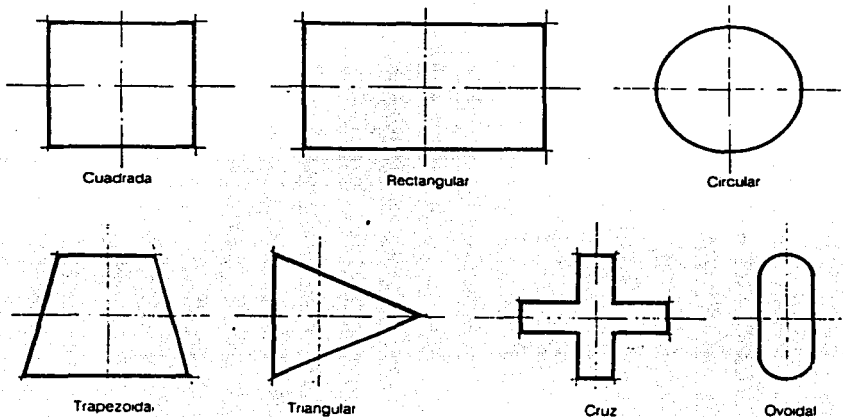


Figura 3.13 Armado y detalles típicos de una columna

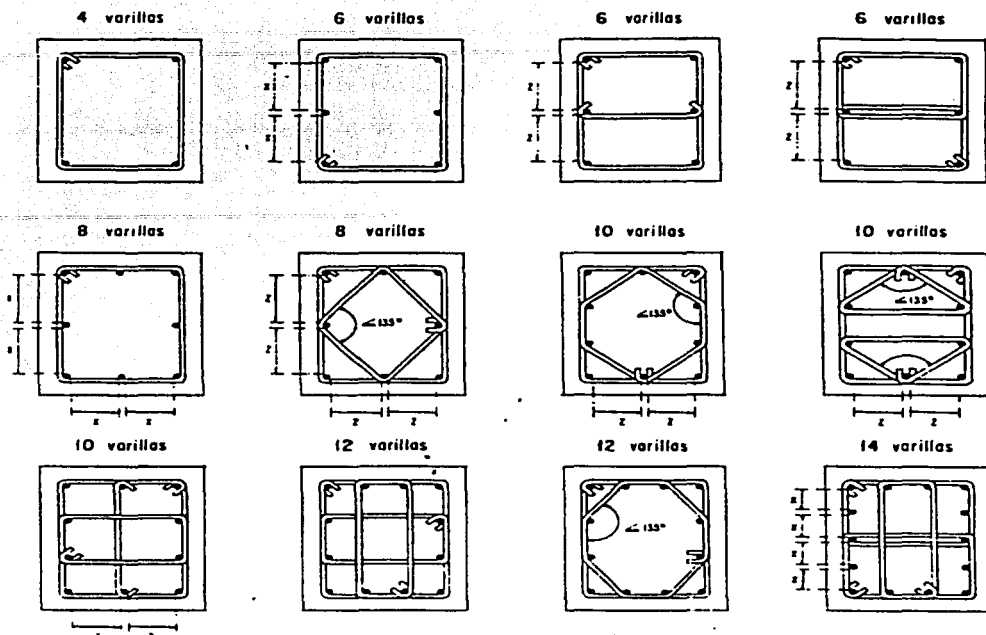


Figura 3.14 Arreglos típicos de estribos en columnas de concreto

3.2.4 Muros

Los muros de concreto reforzado son elementos verticales planos, tienen una longitud y altura mayores que su espesor.

Los muros de concreto empleados en los edificios tienen la función de soportar cargas verticales y acciones generados por sismo o viento.

Cuando estos muros soportan exclusivamente fuerzas de sismo o viento, reciben el nombre de muros de cortante o de rigidez.

Estructuralmente se clasifican en:

1. Muros restringidos lateralmente.
2. Muros no restringidos.

Los primeros son aquellos que en sus extremos se dispone o integran columnas de cierta geometría que garantiza la reducción al riesgo de pandeo y reducen el momento flexionante, lo que permite dar menor espesor a los muros. Los segundos son aquellos que no tienen columnas en los extremos.

Asimismo, para el diseño, se da otra clasificación de los muros dependiendo de las cargas que soportan:

1. Muros con cargas verticales considerables y cargas horizontales pequeñas.
2. Muros con cargas verticales pequeñas y cargas laterales de consideración.

El diseño de los primeros se hacen por flexocompresión, como si fueran columnas y el de los siguientes se realiza tomando en cuenta el momento de volteo y la fuerza cortante.

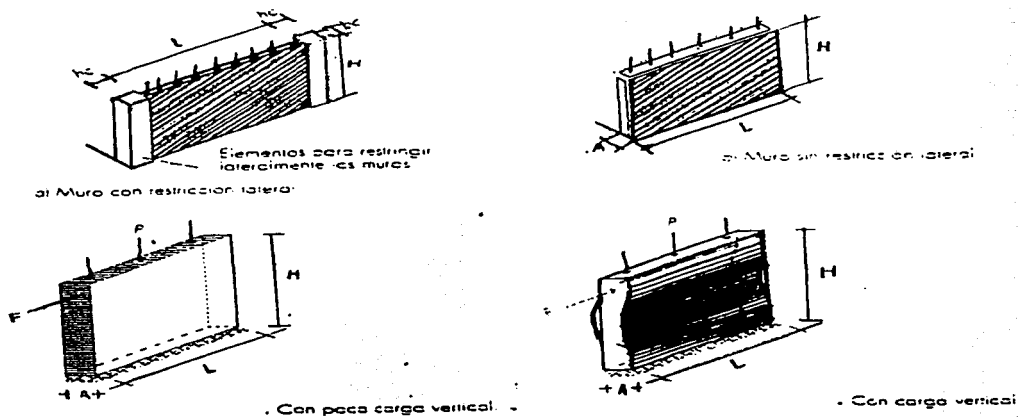


Figura 3.15 Muros de concreto.

3.2.5 Ábacos y capiteles

Ábacos

Los ábacos son placas sólidas o sólidos de geometría de cono truncado, de concreto, dispuestas en la parte superior de las columnas. Los ábacos se ubican por encima de los capiteles y permiten dar mas apoyo a las losas planas. El uso de los ábacos se remonta mas allá de las construcciones de las culturas griega y romana. Desde entonces su uso ha representado un papel importante como refuerzo que permite al capitel equilibrar la parte de la losa que se apoya en la columna.

Capiteles

Los capiteles son placas o zonas macizas, su empleo es común en losas planas aligeradas. Constituyen la zona sólida que se emplea para resistir momentos de flexión y cortante. Pueden estar en el mismo plano de la losa o pueden sobresalir, hacia abajo del nivel inferior de la losa.

Su geometría, dimensiones en planta, está en función del tamaño de uno de los lados de columna en que se apoyan y del peralte de la losa plana y su espesor y refuerzo de acero están determinados por las magnitudes de momento flexionante y fuerza cortante que toman.

Tanto capiteles y ábacos forman un elemento sólido y amplio en la parte superior de las columnas que tienen el objetivo de dar más apoyo al sistema de piso a base de losas planas aligeradas, (Figuras 3-16 y 3.17).

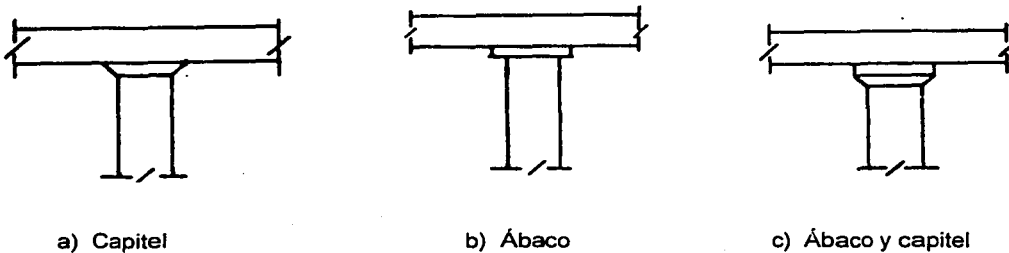


Figura 3.16 Capiteles y ábacos

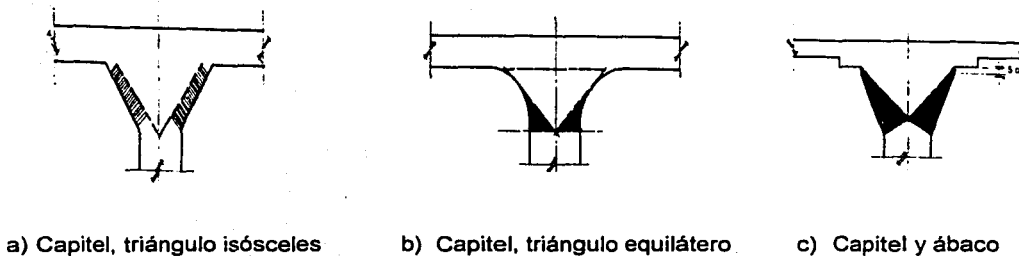


Figura 3.17 Capiteles, geometrías

3.2.6 Losas y cascarones

Losas de concreto.

Las losas son elementos estructurales planos cuyas dimensiones en planta, largo y ancho, son relativamente más grandes en comparación con su peralte o espesor.

Sus funciones principales son las de brindar un plano en el espacio para ser útil o habitado, transmitir a traves, columnas o muros las cargas de tipo gravitacional y fuerzas generadas por sismo o viento.

Existe cierta variedad de tipos de losas que emplean concreto, a saber:

1. Losas de concreto macizas o losas perimetralmente apoyadas en traveses o muros.
2. Losas nervadas o losas planas apoyadas normalmente en columnas o muros.
3. Losas a base de vigueta y bovedilla de poliestireno o de casetón de cemento-arena.
4. Losas a base de semivigueta y bovedilla de poliestireno o de casetón de cemento-arena.

Las losas pueden ser de entrapiso o de azotea. Dependiendo del destino del piso o losa será el tipo de factores de deterioro a los que puede estar expuesta.

Las losas de pisos sin recubrimiento o acabado, destinados a procesos industriales, inevitablemente estarán expuestas a sustancias químicas como aceites, ácidos, soluciones de agua y sustancias químicas, a tránsito de personas y vehículos.

En cambio los pisos destinados a oficinas, comercios, sitios de reunión y habitación estarán sometidos a una acción menos agresiva que los pisos industriales pues casi siempre tienen un recubrimiento que protege la superficie.

En el caso de las losas de azotea estas estarán más expuestas a los efectos de la intemperie y aunque se suelen impermeabilizar son casi siempre las más olvidadas en cuanto a mantenimiento preventivo.

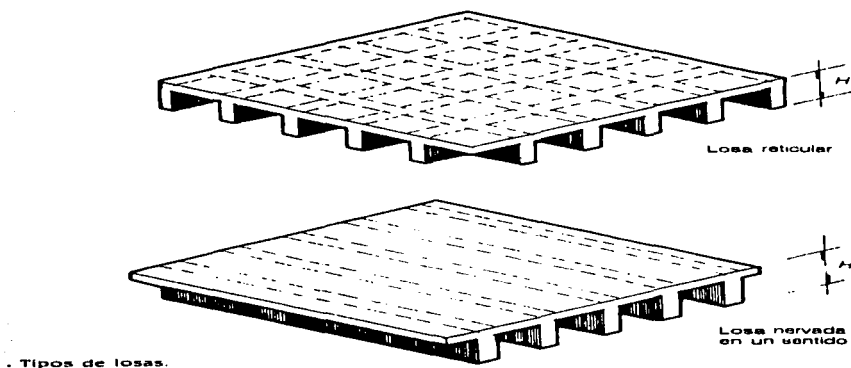


Figura 3.18 Losas nervadas, para trabajo estructural en dos y un sentido.

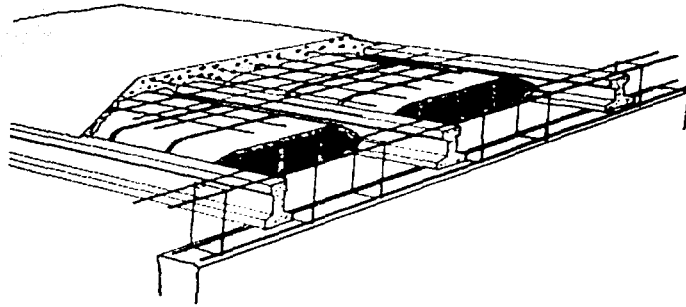


Figura 3.19 Losa de vigueta y bovedilla

Cascarones.

Los cascarones son elementos de superficie curva que resisten esencialmente esfuerzos de compresión

Estos elementos se caracterizan por su gran eficiencia estructural, por ello, su espesor es pequeño, sin embargo, los cascarones presentan concentraciones de esfuerzos de compresión y flexión en los apoyos y bordes, requiriendo estos de mas grosor o de la inclusión de elementos de rigidización como traves curvas

Estos elementos pueden tomar formas muy variadas y se prestan a crear estructuras de gran belleza. Las de geometria más sencilla son los cascarones de tipo cilíndrico

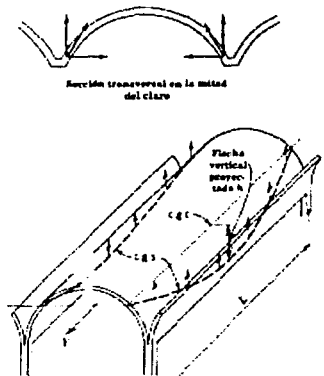
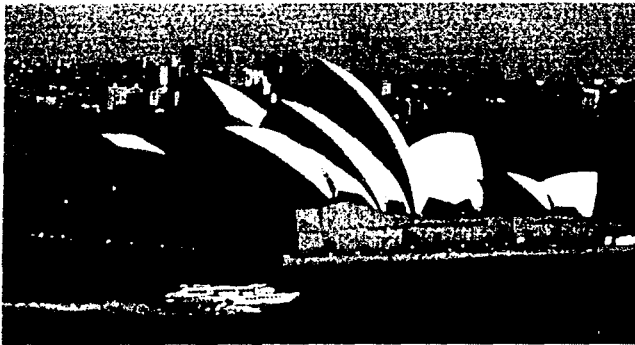


Figura 3 20 Cascarones.

3.3 ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.

3.3.1 *Concepto de estructura de concreto reforzado*

Se entenderá por una estructura de concreto reforzado a la combinación y ensamble de elementos estructurales para conformar un cuerpo o forma cuya función sea la de soportar acciones externas y brindar un servicio. En general se tendrán las subestructuras y superestructuras

Se considera que las subestructuras son aquellas que se proyectan y construyen del nivel del terreno natural hacia abajo

Contrariamente, las superestructuras son aquellas que se ubican del nivel del terreno natural hacia arriba.

3.3.2 *Aplicaciones del concreto reforzado.*

El concreto reforzado es el segundo material en importancia. Sus aplicaciones en el mundo de hoy es muy variada, a continuación se muestran las más conocidas.

El concreto en las obras de infraestructura del transporte.

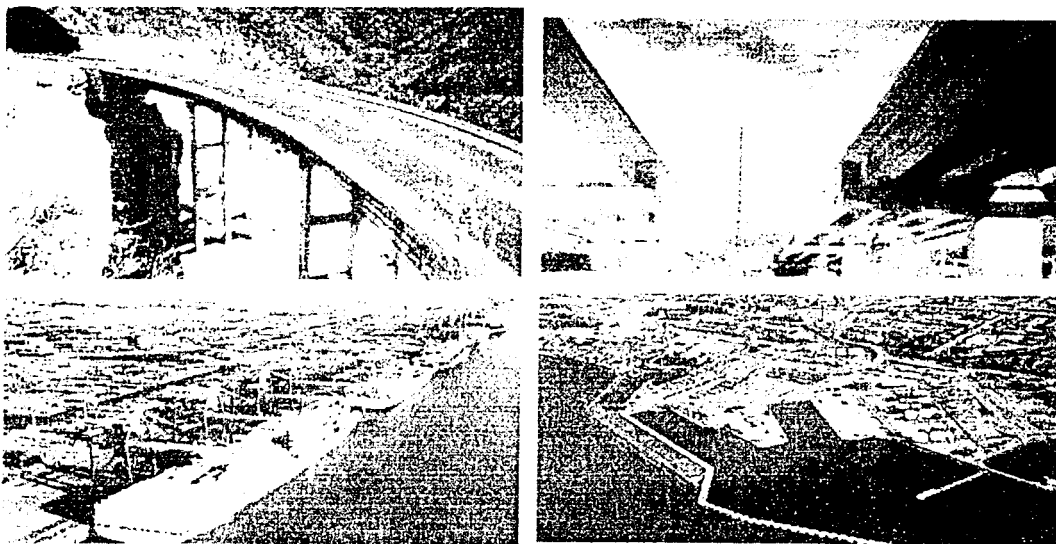
El uso del concreto hidráulico (del concreto reforzado y pretensado) en tales obras es de importancia pues el logro de estas construcciones facilita el transporte de bienes de lugares de producción a lugares de consumo. Además permite el tránsito de personas de un lugar a otro.

Las principales aplicaciones en las obras de infraestructura son:

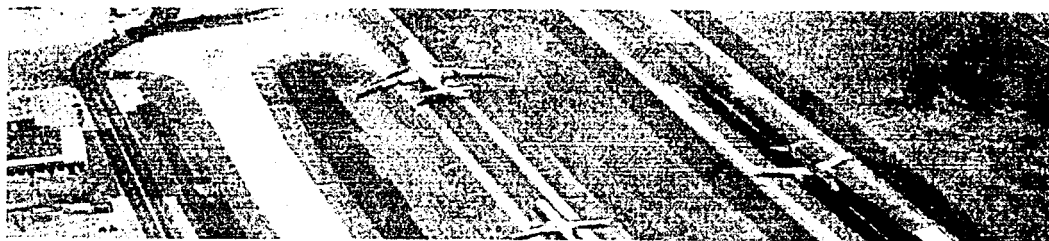
- Carreteras
- Vías férreas
- Puentes
- Obras marítimas
- Aeropuertos
- Sistema metropolitano de transporte metro.



a) Carreteras



b) Puentes y obras marítimas



c) Aeropuertos

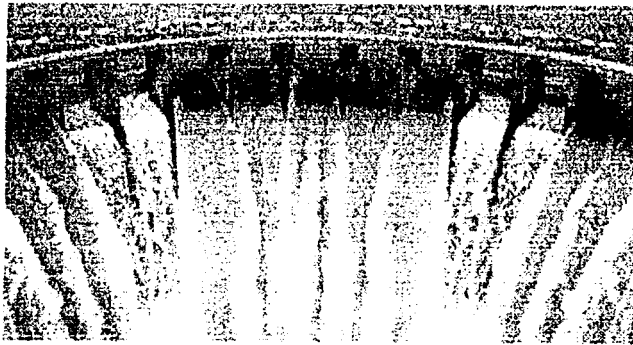
Figura 3 21 El concreto en las obras de infraestructura del transporte.

El concreto en las obras infraestructura hidráulica.

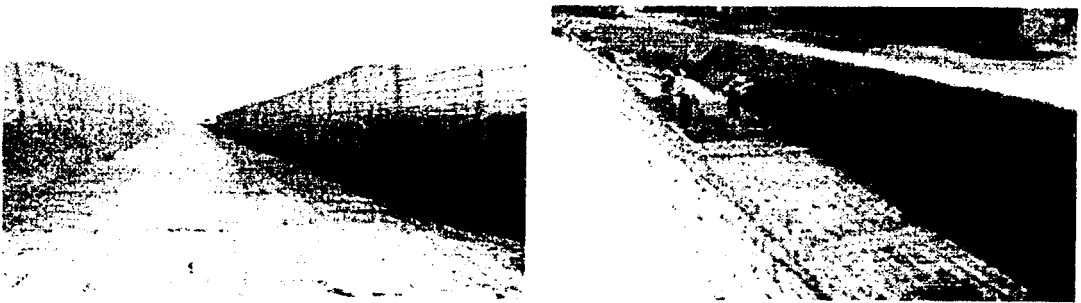
Con el advenimiento del cemento y del concreto reforzado, en algunos los países del mundo, como México, se inicia el uso de estos en las obras de infraestructura hidráulica y se elaboran concretos masivos para la construcción de obras relacionadas con la agricultura y generación de energía y posteriormente los relacionados al desalajo de aguas negras y extracción de hidrocarburos.

Las principales aplicaciones en las obras de infraestructura hidraulica son:

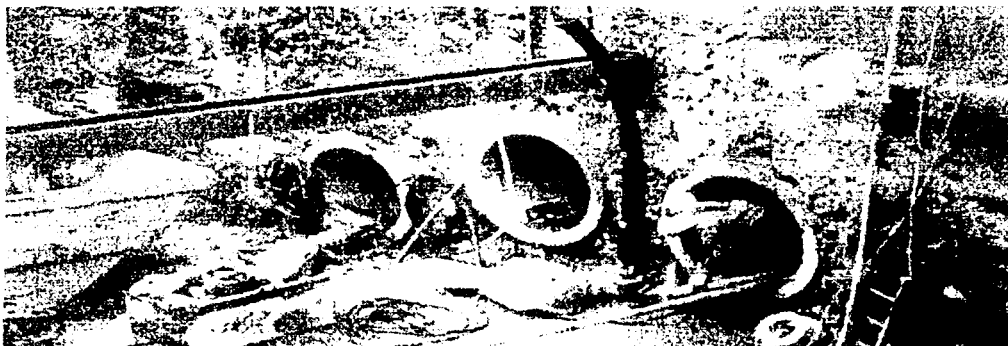
- Presas
- Canales
- Obras de drenaje profundo
- Plataformas petroleras



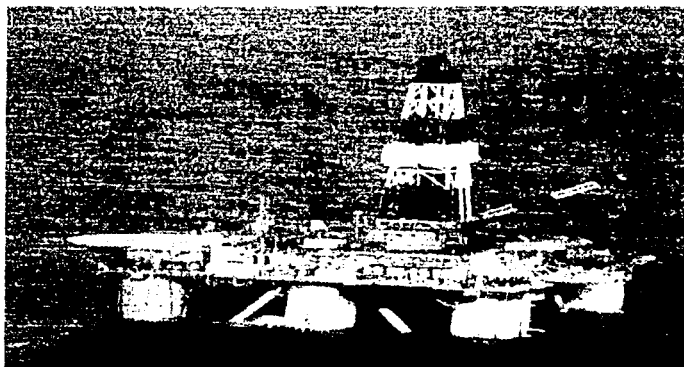
a) Presas



b) Canales



c) Obras de drenaje



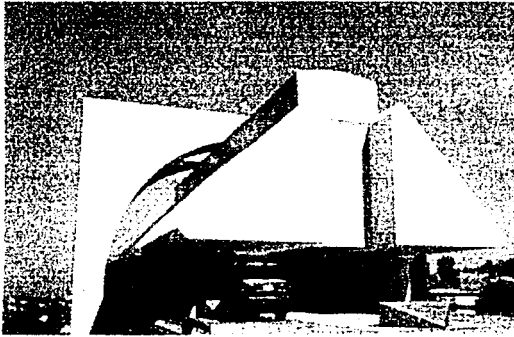
d) Plataformas Petroleras

Figura 3.22 Aplicaciones del concreto reforzado en las obras de infraestructura hidráulica

El concreto en las obras de construcción urbana.

En las obras de edificación el concreto reforzado tiene una amplia gama de aplicaciones. Las principales son:

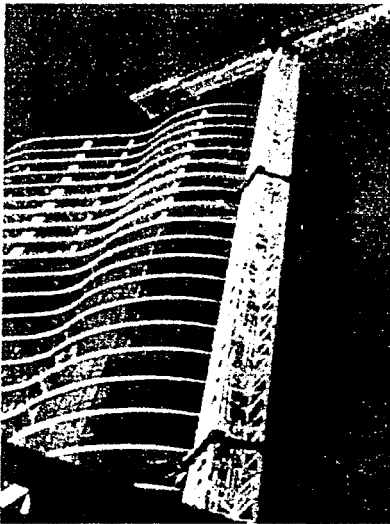
- Edificios de Departamentos, oficinas, almacenes, comercios, hoteles, escuelas, institutos, cárceles, hospitales, laboratorios, gimnasios, bibliotecas, cines, teatros, restaurantes, estacionamientos, fábricas, deportivos, etc
- Estadios
- Puentes peatonales y vehiculares
- Muros de contención
- Pavimentos
- Monumentos
- Depósitos de agua, superficiales y elevados



a) Casa habitacion



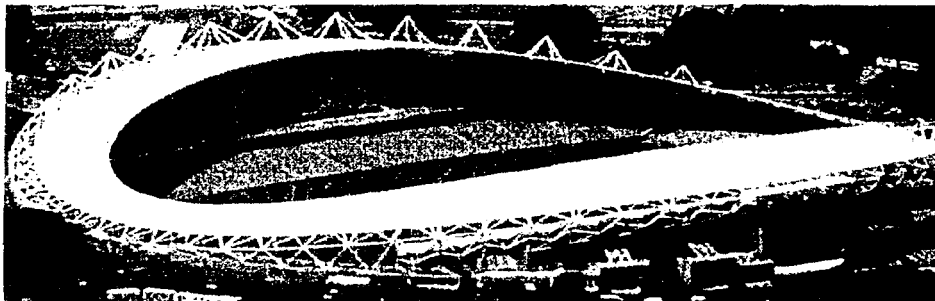
b) Hospitales



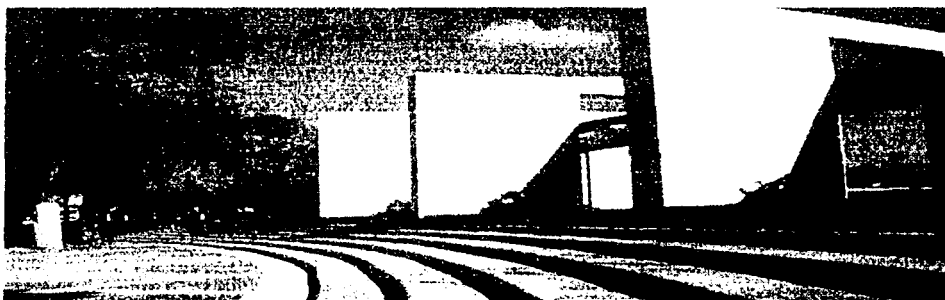
c) Oficinas



d) Hoteles



e) Estadios



f) Monumentos

Figuras 3 23 Aplicaciones del concreto reforzado en las obras de edificación.

3.3.3 Aplicación del concreto en la construcción de estructuras urbanas.

El concreto tiene aplicación principalmente en la construcción de estructuras correspondientes a edificios urbanos.

Subestructura: cimentaciones.

Las cimentaciones de concreto reforzado son estructuras cuya función es transmitir las cargas de la superestructura, edificio, y el peso propio de ellas al terreno.

Las cimentaciones se clasifican en superficiales y profundas.

Cimentaciones superficiales:

- Zapatas aisladas.
- Zapatas corridas o continuas.
- Losas de cimentación.
- Cajón de cimentación.

Zapatas aisladas.

Las zapatas aisladas suelen ser placas macizas de concreto reforzado, de planta cuadrada o rectangular. Trabajan principalmente a esfuerzos de cortante y flexión generados por cargas gravitacionales transmitidas por las columnas. Asimismo, sobre ellas actúan momentos producidos por cargas horizontales y verticales excéntricas.

Comúnmente, estas estructuras se combinan con dados, para de esta manera brindar apoyo a columnas de acero o constituir un engrosamiento de la sección en el caso de columnas de concreto.

Asimismo, las zapatas aisladas se estructuran con traveses de liga a fin de resistir momentos flexionantes producidos por cargas excéntricas y absorber asentamientos diferenciales entre zapatas contiguas.

Normalmente las zapatas aisladas se desplantan a una profundidad mínima de 60 cm.

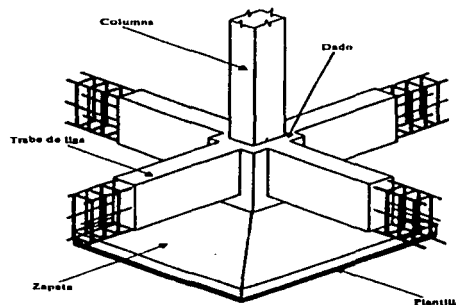


Figura 3.24 Cimentación a base de zapatas aisladas

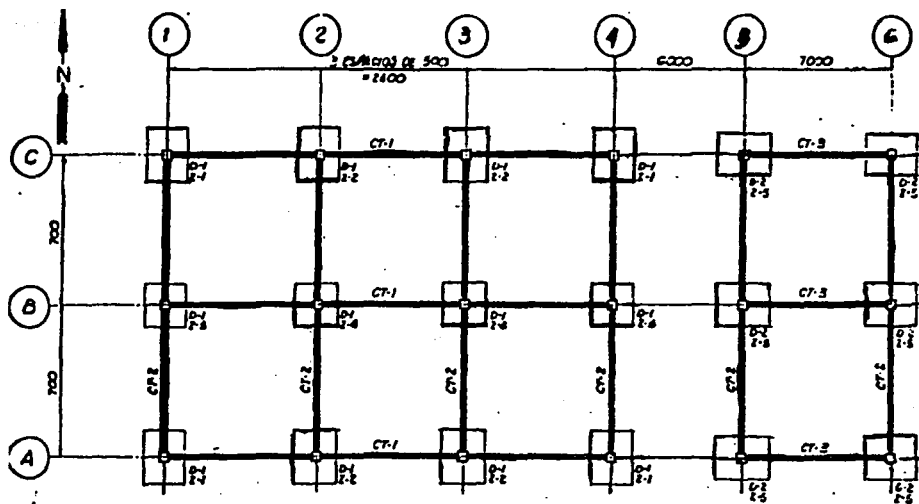


Figura 3.25 Planta de cimentación a base de zapatas aisladas, ligadas con traveses

Zapatas corridas o continuas.

Las zapatas continuas combinan tres elementos: una placa, dados y contratraveses, figura 3.26.

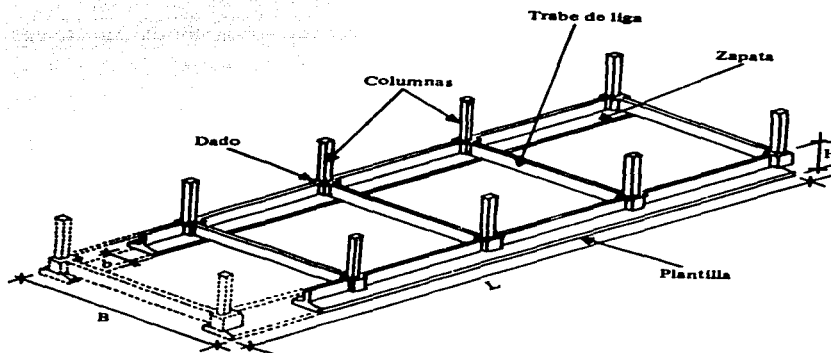


Figura 3.26 a. Cimentación a base de zapatas corridas en una dirección

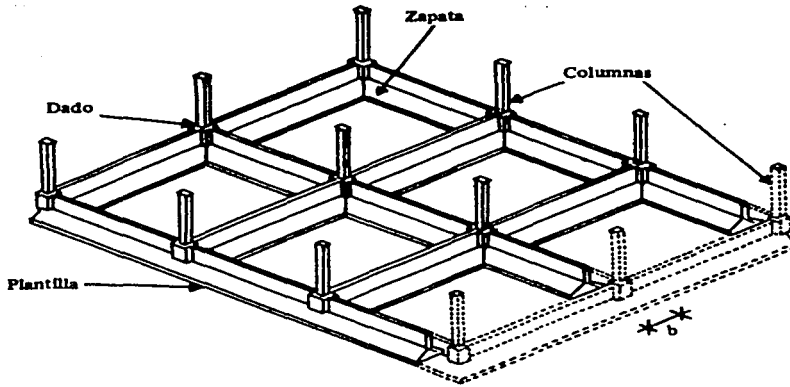


Figura 3.26 b. Cimentación a base de zapatas corridas en dos direcciones.

Dependiendo de la capacidad de carga del terreno y de la magnitud de las descargas, las zapatas se proyectan en una o en dos direcciones, normalmente de manera perpendicular, arreglo conocido como retícula de contratrabes.

En ambos casos, la contratrabe tiene el objetivo de rigidizar la estructura e inducir que la placa transmita las descargas al terreno.

Este sistema; placa, contratrabe y dados, deben dimensionarse para minimizar los efectos de los asentamientos inmediatos y diferidos, que en suelos compresibles dichos efectos llegan a ser determinantes.

Normalmente las zapatas corridas en una dirección o en dos direcciones se desplantan a una profundidad mayor a los 70 cm.

Losas de cimentación o losas corridas.

Esta estructura combina una losa; que se extiende en toda el área de la construcción, una retícula de contratrabes principales y secundarias y dados, figura 3.27.

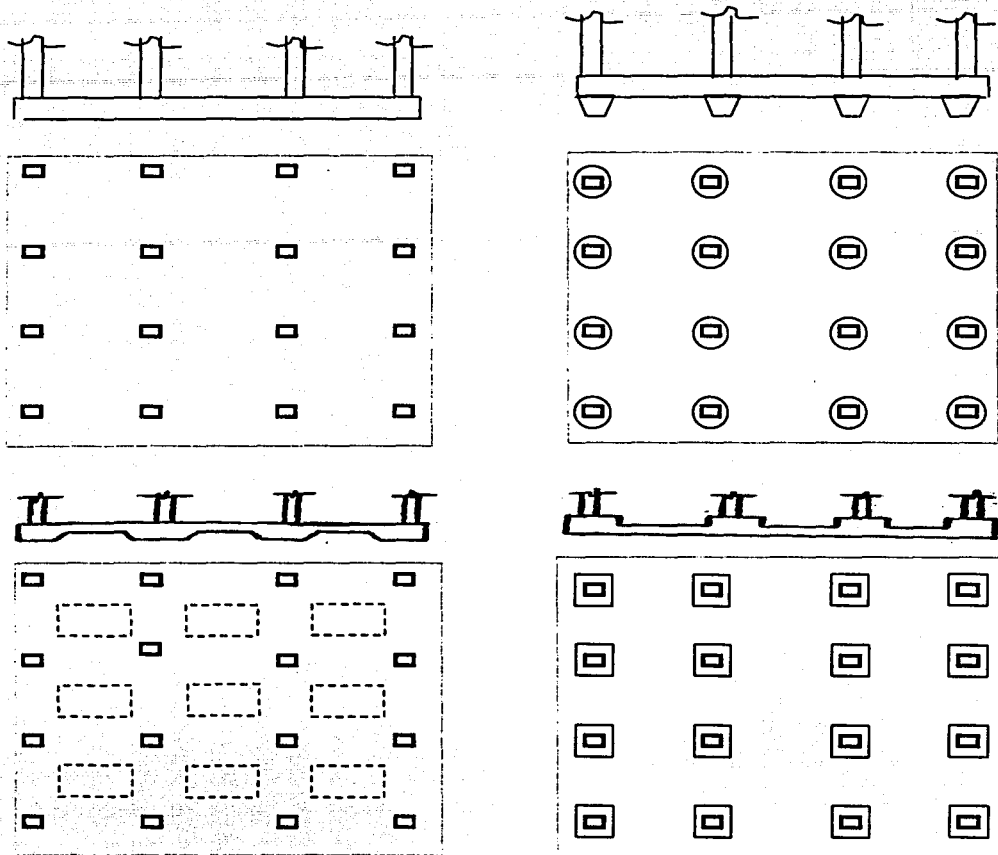


Figura 3.27 Cimentación a base de losa corrida.

La losa de cimentación se construye superficialmente, muchas veces uno o dos escalones por arriba del nivel del terreno circundante y a veces se hace un mejoramiento del terreno antes de su construcción.

La losa continua tiene la ventaja de que una de sus caras, la superior, constituye el piso de la planta baja de la construcción.

Cajones de cimentación.

Los cajones de cimentación son una variación de las losas corridas, combinan los mismos elementos sólo que se desplantan de manera invertida y a cierta profundidad, figura 3.28.

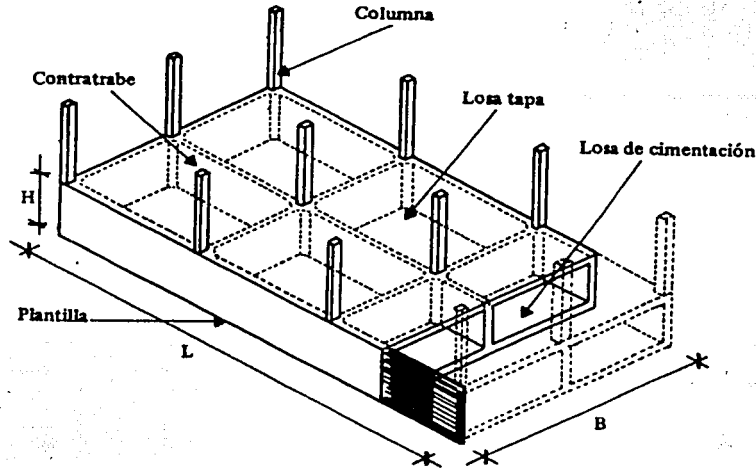


Figura 3.28 Cimentación a base de cajones.

Algunas veces la superficie superior de concreto del cajón constituye el piso para estacionamientos, en otros casos se construye una losa tapa para usarse como piso de la planta baja del edificio. Los cajones de cimentación se construyen a profundidades de más de un metro. En edificios de cierta altura es común que se combine el cajón de cimentación con pilotes de fricción.

Cimentaciones profundas.

Las cimentaciones profundas suelen emplear pilotes de concreto reforzado, acero estructural y, raramente, de madera tratada. Su empleo se justifica técnicamente en suelos blandos de baja capacidad y económicamente para edificio de más de cuatro niveles.

Existen dos modalidades de cimentar con pilotes, una es empleando pilotes de fricción y otra con pilotes de punta.

En los pilotes de fricción, el peso del edificio y de la cimentación se transmite al suelo blando por fricción generada en toda la superficie lateral del pilote en contacto con el subsuelo.

En los pilotes de punta, figura 3.29, el peso del edificio y de la cimentación se transmite al terreno, a un manto de alta resistencia, a través de la punta del pilote. Este tipo de pilote es empleado cuando el manto resistente se halla entre los 10 a 30 metros de profundidad.

Tanto los pilotes de fricción como los de punta se colocan debajo de columnas y contratrabes.

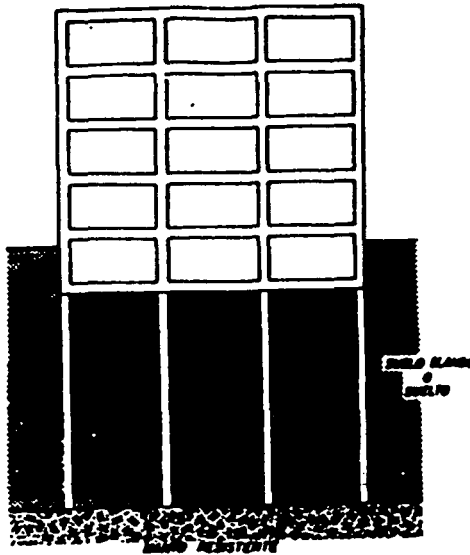


Figura 3.29 Cimentación profunda a base de pilotes de punta.

Superestructura: En Edificios

Por superestructura se entenderá el cuerpo formado por diversos elementos estructurales; columnas, trabes, muros, losas y otras, que se ensamblan y disponen o arreglan en el espacio y por encima del nivel del terreno circundante, de una manera determinada para conformar un todo con el objeto de:

1. Brindar un espacio habitable que sea cómodo, seguro e higiénico.
2. Resistir fuerzas de tipo gravitatoria y accidental.
3. Resistir la acción de agentes y factores de deterioro.

Existe una gran diversidad de superestructuras, por ello las siguientes figuras ilustran sólo las más comunes.

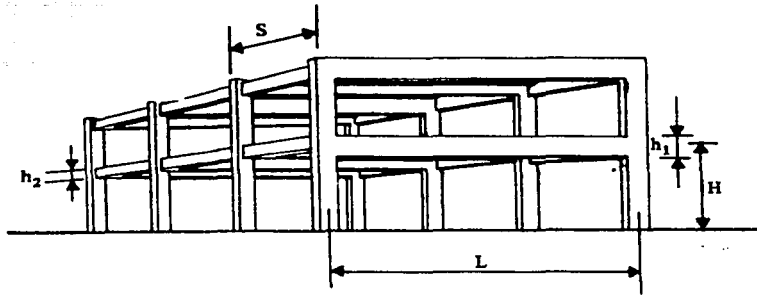


Figura 3.30 Estructura de concreto reforzado a base de columnas, traveses y losas perimetralmente apoyadas.

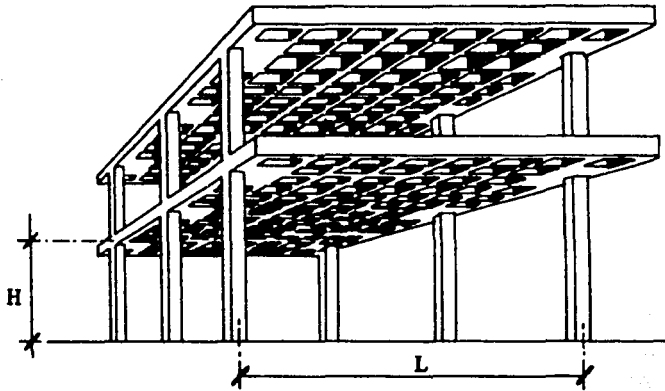


Figura 3.31. Estructura de concreto reforzado a base de columnas y losa plana.

Tanques y cisternas.

Cisternas

Las cisternas son estructuras prismáticas de planta rectangular o cuadrada que están alojadas bajo el terreno y su función principal es ser un depósito de agua. Estas cisternas, dependiendo de su tamaño, se pueden construir de mampostería o concreto reforzado.

Estas estructuras están constituidas por elementos estructurales como son la losa de fondo y su cárcamo de bombeo, la losa tapa y su paso-hombre y muros de concreto así como chaffanes horizontales y verticales que permiten un sello entre, principalmente, losa de fondo y muros. Si la profundidad de la cisterna es mayor a 1.0 metros normalmente se dispone de escalera marina para permitir bajar. La figura 3.32 muestra los elementos de estos depósitos.

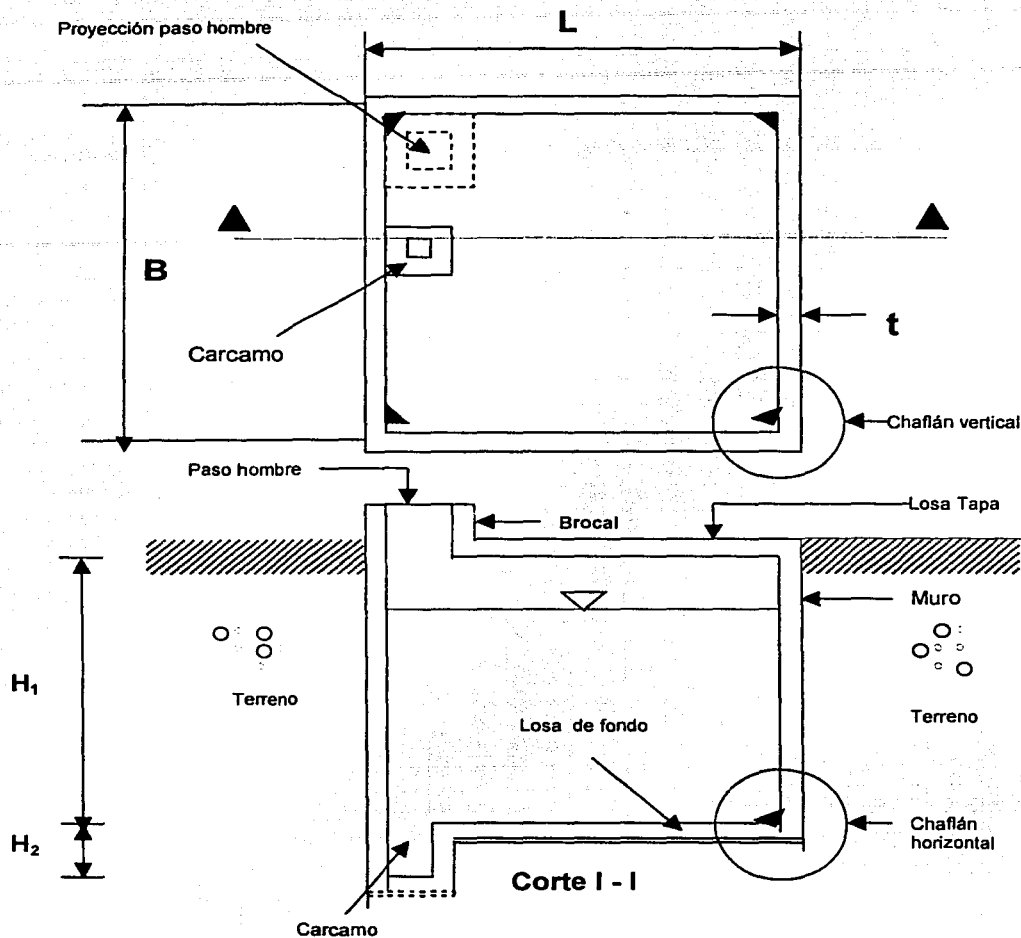


Figura 3.32 Elementos de cisternas y tanques

El tamaño de éstas esta gobernada por las necesidades de los usuarios. Por ejemplo bastará una cisterna de 4 m³ de capacidad para una casa unifamiliar o se requerirá de una mucho mayor capacidad para un fraccionamiento en cuyo caso podrá estar dividida en compartimientos interiores para facilitar su estructuración.

Normalmente, las cisternas alojan agua limpia y otras veces agua gris, como lo puede ser el caso de una fosa séptica.

Así, puesto que estas estructuras están en contacto con el terreno y, al mismo tiempo, alojan agua limpia o grises sus elementos estarán expuestos a las soluciones de agua y químicos. Por tanto los factores de deterioro a los que podrá ser vulnerable una cisterna serán constructivos y químicos.

Tanques

Los tanques son estructuras de forma más variada. Para comenzar se pueden distinguir dos tipos: los tanques superficiales y los tanques elevados o torres.

Los tanques superficiales se asemejan mucho a las cisternas con la excepción de que se desplanta sobre el terreno.

Los tanques elevados tienen mas variedad. La figura 3.33 muestra algunas formas de tanques elevados, la figura 3.34 muestra la sorprendente anatomía de un caso particular.

Los tanques superficiales o elevados también tienen el propósito de almacenar agua y forman parte de una compleja red de abastecimiento de agua potable para unidades habitacionales o plantas industriales.

Los tanques elevados tienen una estructura más compleja para soportar el depósito. Sin embargo, si se trata de un depósito de planta rectangular, cuadrada o circular tendrá los mismos elementos que la cisterna.

En ambos casos, los tanques se verán sometidos a factores de deterioro y estarán expuestos a agentes asociados a las condiciones climatológicas reinantes en el lugar que estén construidos y a la acción del agua almacena

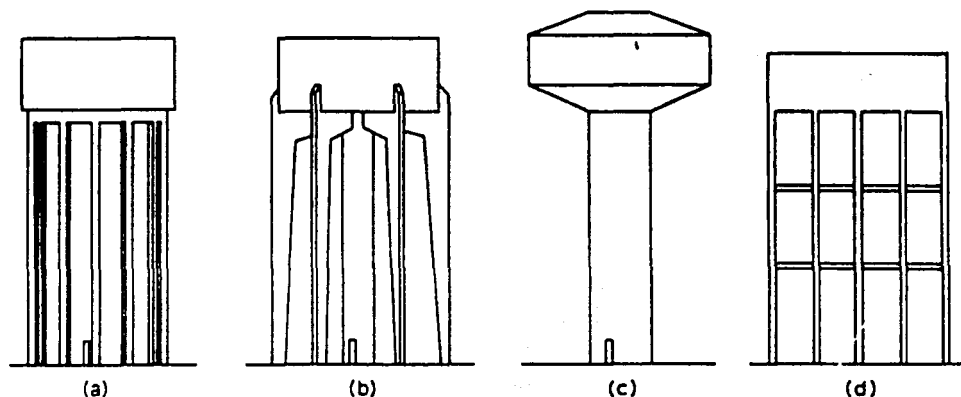


Figura 3.33 Formas de tanques elevados

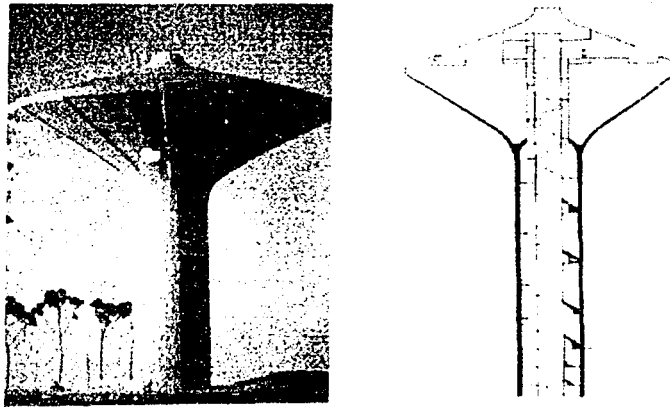


Figura 3.34 Estructuración de un tanque elevado

Muros de contención

Durante la construcción de obras es necesario la inclusión de muros de contención, por ello, se hace ahora una breve descripción de estos.

Un muro de contención o retención es una estructura construida de mampostería o de concreto reforzado que sirve para mantener una diferencia en la elevación del terreno de un lado a otro de la misma

Los elementos involucrados en la construcción de muros son tres: la estructura (zapatas, muro y contrafuertes), terreno de cimentación y el relleno

El terreno de cimentación es un factor de importancia pues soporta las acciones del muro y relleno. Las propiedades más relevantes de este son su resistencia al esfuerzo cortante, a partir del cual se determina la capacidad del terreno, su compresibilidad y permeabilidad

El relleno es el material situado tras la cara interior del muro y ejerce un empuje sobre esta cara. La magnitud del empuje depende de la altura H que tenga el muro, del ángulo de fricción interna y del peso volumétrico del material de relleno

Estas estructuras de retención deben tener estabilidad, pues la presencia del relleno las somete a acciones de deslizamiento y volteo. Los factores de seguridad ante tales sollicitaciones son de 1.5 para el primero y de 2 a 3 para el segundo, definiéndose el factor de seguridad como la razón de la fuerza resistente a la fuerza actuante

Por razones de seguridad y economía se recomienda incluir un sistema de drenaje que reduzca la posibilidad de tener un empuje hidrostático. Este sistema normalmente se constituye de un filtro de grava, localizado entre la cara interior del muro y el cuerpo del relleno, y una serie de tubos embebidos en el muro y separados una distancia del orden de 3.00 metros

En cuanto a la forma geométrica, la figura 3.35 muestra los elementos de los muros de contención, la 3.36 la variedad de ellos y en la figura 3.37 y 3.38 el armado típico.

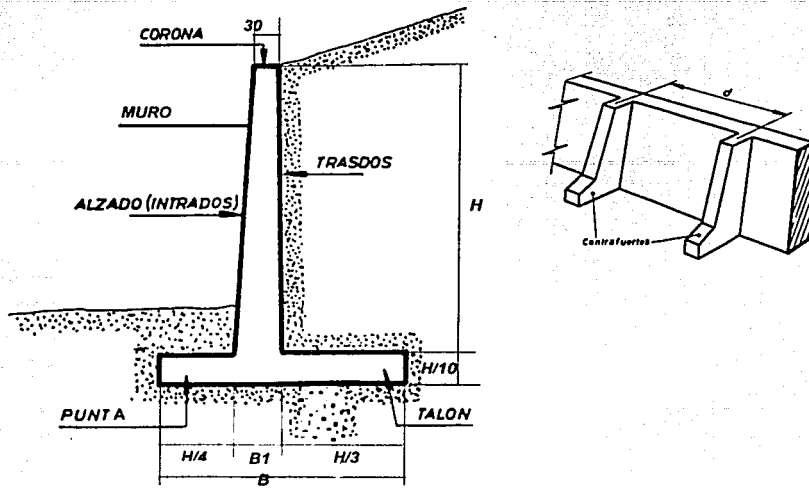


Figura 3.35 Muro de contención.

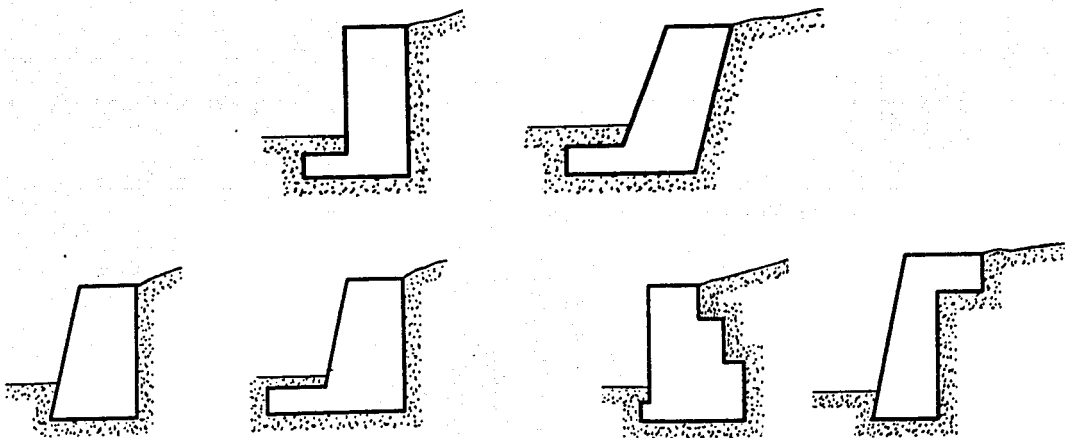


Figura 3.36 Tipos de Muros de contención

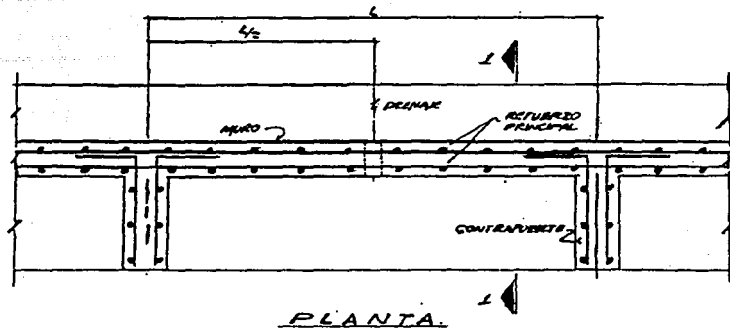


Figura 3.37. Planta de la geometría y armados de un muro de contención de concreto reforzado

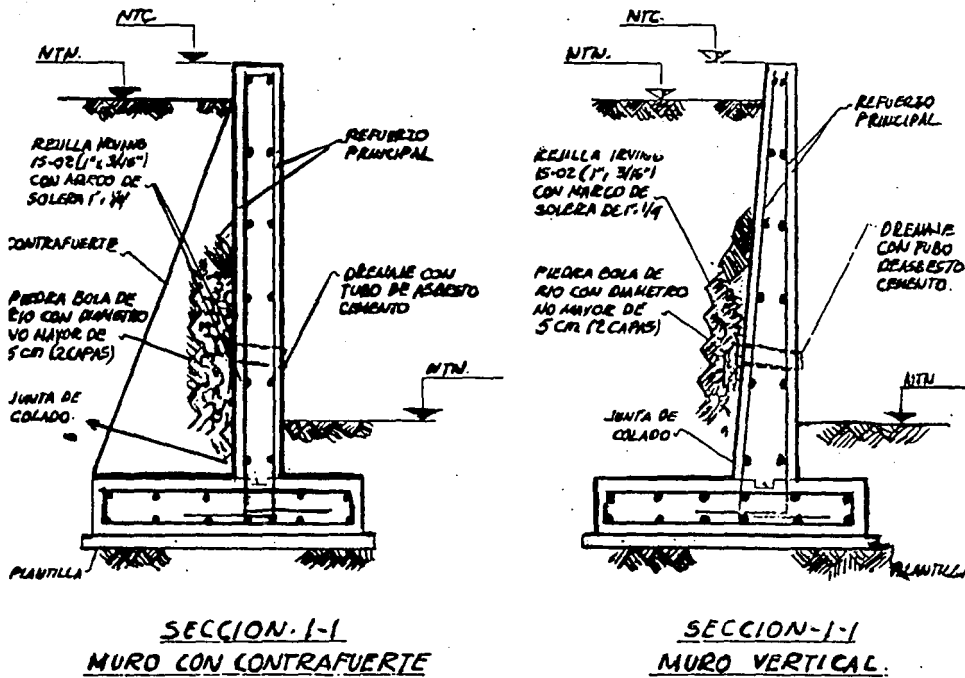


Figura 3.38. Detalle de armado de un muro de contención, en elevación.

3.3 DETERIORO

3.4.1. Agentes y factores que causan deterioro

En este subcapítulo se analizarán los agentes y factores causantes de deterioro del concreto reforzado.

3.4.2. Diferencia entre agente y factor de deterioro.

Se entenderá por agente al sujeto que es responsable de una acción, de deterioro, sobre un objeto o cuerpo. Por factor se entenderá la condicionante que influye o favorece el deterioro, en una medida determinada, la acción del sujeto sobre el objeto o cuerpo.

Por ejemplo, el concreto, el objeto, es susceptible al dióxido de carbono atmosférico, el sujeto. Sin embargo, una estructura ubicada en un ambiente rural acusará menor daño por carbonatación que una ubicada en una zona industrial con ambiente contaminado, con alto contenido de dióxido de carbono. En ambos casos, la cantidad de humedad o una temperatura elevada en el ambiente, será un factor que propicie rápidamente la carbonatación por la reacción del dióxido de carbono con el hidróxido de calcio, presente en el concreto.

3.4.3 Agentes físicos.

Es importante diferenciar entre una alteración del concreto por un proceso físico y uno químico.

Un proceso de deterioro físico envuelve un proceso de desintegración solamente mecánica de los materiales, mientras que un proceso de deterioro químico involucra un cambio en la composición interna de los materiales.

De esta manera, un elemento deteriorado por un agente físico pudiera tener una reparación sencilla, sin embargo, cuando el deterioro se da por un agente que propicia un proceso químico, la reparación ya no es tan sencilla y entraría en el rango de una reparación mayor del elemento.

Acción de heladas.

En climas fríos, el concreto puede presentar descascaramiento superficial o presentar agrietamiento debido a esfuerzos internos de expansión generados por el congelamiento del agua contenida en los poros de la interfase acuosa. Las situaciones más comunes que producen este tipo de daños son la exposición a ciclos de hielo-deshielo y la exposición a temperaturas bajo cero en presencia de sales de deshielo.

El agua al pasar de su fase líquida a sólida aumenta de volumen en alrededor de un 10% este aumento de volumen genera presiones que pueden o no ser resistidas por el concreto. Cuando el concreto no es capaz, entonces se producen los daños antes citados.

Existe una clara relación entre la calidad del concreto (su microestructura) y su capacidad para resistir las acciones del ciclo hielo-deshielo. Esta relación consiste en que, por un lado, la cantidad y tamaño de los poros va a condicionar el efecto de la temperatura de solidificación de la fase acuosa y, por otro, el grado de saturación de los poros es variable, esto es, si un poro no está saturado, se dispondrá de un espacio suficiente para que se produzca la solidificación de la fase acuosa sin que se produzca presiones internas perjudiciales. Ver figura 3.39.

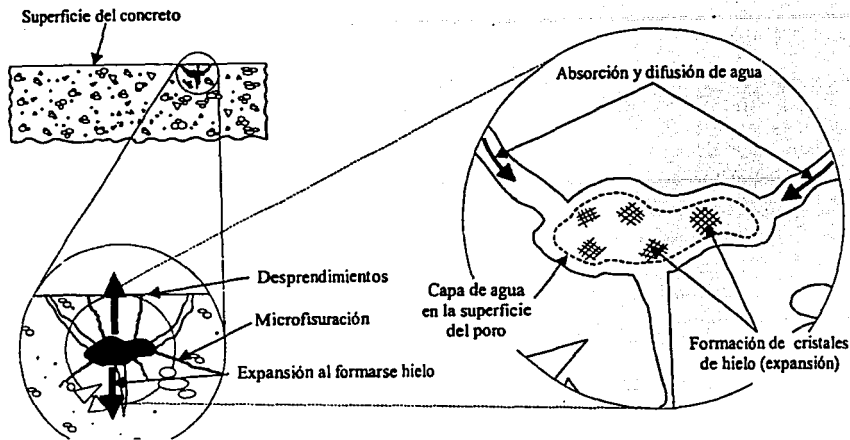


Figura 3.39. Efecto de la formación del hielo en el concreto.

En general, los tubos capilares de poco diámetro influirán más en la acción de hielo-deshielo, en tanto que los poros de mayor tamaño pueden operar como cámaras de expansión, a diferencia de los poros capilares, estos normalmente no se saturan totalmente de agua.

Con el propósito de reducir el efecto de las heladas se indican medidas preventivas prácticas tendientes a mejorar la microestructura tales como:

1. Uso de aditivos inclusores de aire; en un mínimo del 4.5% del peso del cemento;
2. Empleo de concreto de calidad; con contenido mínimo de cemento de 300 kg/m³ y una resistencia mínima a la compresión de 300kg/cm²;
3. Una buena colocación de concreto.

Acciones de abrasión, erosión e impacto.

La acción de la abrasión se da cuando se producen roces o fricción sobre la superficie expuesta del concreto, como por ejemplo el movimiento de vehículos o la fricción con máquinas. Este desgaste se incrementa debido a la presencia de partículas finas sobre el concreto que actúan como agentes abrasivos. La resistencia a la abrasión está dada por la resistencia del agregado grueso, principalmente de la grava de gran tamaño y dureza.

El impacto consiste en el golpeo continuo o discontinuo, al que se ven sometidos algunos elementos de concreto en situaciones tales como el flujo de agua en tuberías o por caída libre de un objeto pesado sobre un elemento. En estos casos es la fracción fina de agregados es la que influyen en la resistencia.

3.4.4 Agentes químicos.

Lixiviación por aguas puras.

La lixiviación es una forma leve de deterioro. Es un desarreglo que ocurre cuando el agua disuelve compuestos del concreto. El cemento portland hidratado tiene un contenido normal del 25 al 30% de hidróxido de calcio, el cual es soluble en agua. Este componente es comúnmente disuelto o lixiviado. Por otro lado, el hidróxido de calcio es más soluble en agua fría, y más agresivo, por tanto, estructuras de concreto expuestas a corrientes de agua fría proveniente de riachuelos de montaña o de presas serán lixiviadas más rápidamente. El mismo efecto causará también, aguas carbónicas o con disoluciones ácidas.

La lixiviación produce una apariencia arenosa y eflorescencias en las superficies expuestas del concreto. La apariencia arenosa se debe a la disolución de la pasta cementante, dejando expuestos a los agregados y la eflorescencia o manchas blanquecinas, son sales insolubles constituidas generalmente por carbonatos o sulfatos alcalinos que "afloran" a la superficie.

Así mismo, el paso del agua a través de grietas, oquedades o juntas ocasiona inevitablemente la erosión del concreto interior.

En el concreto poroso, la lixiviación removerá suficiente hidróxido de calcio para reducir la resistencia del concreto.

La lixiviación suele considerarse un problema cosmético. Pero no prestarle atención en el tiempo oportuno puede conducir a un deterioro aún más grave del concreto.

Una medida preventiva para reducir la lixiviación es mejorar la impermeabilidad del concreto. La elaboración de concreto de baja permeabilidad, el uso de aditivos y prácticas constructivas sanas serán aspectos claves no-solo para reducir los desarreglos cosméticos, para reducir el efecto de la acción de agentes químicos más agresivos.

El empleo de aditivos puede ayudar a controlar la lixiviación a través de dos formas: reduciendo la permeabilidad y convirtiendo el hidróxido de calcio soluble en hidróxido de silicato de calcio insoluble.

Los aditivos reductores de agua, superfluidizantes e inclusores de aire, dosificados apropiadamente, permiten al concreto bien compactado controlar significativamente la lixiviación.

Los aditivos como el humo de sílice y cementantes complementarios con propiedades puzolánicas reducen la permeabilidad.

Efecto del agua de mar.

El agua marina difiere en contenido químico respecto del agua pura, la tabla 3.7 muestra los principales componentes del agua de mar y permite comprender el porqué de su agresividad.

Compuesto	Símbolo	Concentración (g/l)
Cloruro de sodio	NaCl	27.00
Cloruro de magnesio	MgCl ₂	3.20
Sulfato de magnesio	MgSO ₄	1.60
Sulfato de calcio	CaSO ₄	1.30
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	0.80
Cloruro de potasio	KCl	0.50
Carbonato de calcio	CaCO ₂	0.10
Varios(bromuro, fosfatos)		0.50
	Suma	35.00

Tabla 3.7. Compuestos del agua de mar

En la acción del agua de mar se conjugan:

- 1) Ataque de compuestos y elementos químicos: sulfatos, cloruros, magnesio y álcalis.
- 2) Acciones físicas: acción de mareas, ciclos de humectación-secado, erosión y abrasión
- 3) Factores biológicos: acción de algas y organismos marinos.

El efecto combinado de compuestos químicos y acciones físicas y biológicas, aparentemente agresivas, no resulta ser tan perjudicial como se pudiera pensar inicialmente. Por ejemplo, el magnesio al precipitarse en forma de hidróxido (de magnesio, orucita) tapa los poros del concreto mejorando de esta manera la impermeabilidad del concreto frente a la acción y difusión de otros iones potencialmente agresivos.

Los cloruros por su parte se disputan con los sulfatos el reaccionar con el aluminato tricálcico, lo que reduce la posible formación de etringita expansiva. En estos casos se produce un ataque combinado de los iones sulfato y magnesio.

Ataque de sales de magnesio y amonio.

Las sales de magnesio actúan sobre la masa de concreto produciendo un intercambio de iones de magnesio por iones de calcio presente en la fase líquida del concreto. Este intercambio provoca una redisolución del hidróxido de calcio y de los hidratos cálcicos a fin de mantener el equilibrio del calcio en disolución y, por tanto, se produce una pérdida de calcio en la pasta de cemento, es decir una pérdida de la alcalinidad.

Las sales de amonio actúan en el concreto de manera similar a como lo hacen las sales de magnesio. Sin embargo, el efecto del intercambio de iones de amonio por iones de calcio es más perjudicial ya que esta reacción forman compuestos más solubles que las sales de magnesio y consecuentemente que el concreto reduzca su alcalinidad.

Ataque de ácidos.

Las estructuras de concreto pueden hallarse expuestas a los ácidos como resultado de formar parte de instalaciones que manejan sustancias ácidas; plantas industriales o fábricas, o bien porque todas las construcciones están inmersas en la atmósfera y en contacto con suelos y en estos hay sustancias químicas como ácidos, sulfatos, dióxido de carbono, óxidos de azufre, sales de magnesio y amonio, etc.

Los ácidos reaccionan con los componentes básicos del concreto formando sales y agua. En general, los concretos elaborados con cemento portland no resisten bien la acción de los ácidos. La masa de concreto se disuelve literalmente y el acero de refuerzo queda sin protección.

Los ácidos dañan al concreto disolviendo los productos de hidratación del cemento a través de reacciones químicas ácido-base. Un producto de reacción que se disuelve rápidamente; aún en soluciones con bajo contenido de ácido, es el hidróxido de calcio.

Los elementos de concreto expuestos a ellos se deterioran y la velocidad de deterioro depende de factores como la concentración de la sustancia ácida, su temperatura, la solubilidad de los componentes reactivos del cemento y la condición estática o en movimiento de la sustancia ácida.

Asimismo, los ácidos más fuertes y más concentrados disolverán a todos los hidratos de silicato de calcio. Entre los ácidos más agresivos están: el sulfúrico, el clorhídrico, el nítrico, el fórmico, el oxálico y el fosfórico; presente incluso en el excremento de las aves.

En el caso de las soluciones, su agresividad se incrementa al tener más contenido de ácido y al tener más temperatura. Las soluciones que están en contacto con elementos de concreto y que además están en movimiento son, también, más agresivas que las soluciones que permanecen estáticas, debido a que constantemente llega nuevo ácido para estar en contacto con el concreto. Y los ácidos y soluciones que forman productos solubles reactivos, generalmente son más agresivos que los ácidos y soluciones que forman productos insolubles de reacción.

Por otro lado, en la atmósfera se encuentran sustancias. Dos de ellas son los óxidos de azufre; de 6 a 10 mg por litro de agua de lluvia, y el dióxido de carbono; de 600 a 1000 mg por m³. Además del ataque químico citado arriba, estas sustancias causan la pérdida de pH en el concreto incidiendo en los procesos de carbonatación y corrosión.

Ante la realidad de que los concretos a base de cemento portland no son inmunes al ataque de los ácidos, se pueden emplear aditivos como una medida preventiva para sólo disminuir la tasa de deterioro.

El empleo de aditivos reductores de agua, incluyendo los superfluidificantes, reducen la relación agua / cemento y, por lo tanto, la permeabilidad. También, el uso de puzolanas puede incrementar la vida útil del concreto.

Se ha experimentado el uso del humo de sílice para mejorar la resistencia al ataque de ácidos, mediante de la conversión del hidróxido de calcio soluble en hidróxido de silicato de calcio insoluble. Sin embargo, los estudios al respecto reportaron que en algunas pruebas de exposición de probetas a ácidos, el concreto con una alta dosificación de humo de sílice; 30% de humo de sílice en peso del cemento empleado, se deteriora tan rápidamente que la elevada tasa de dosis no proporciona beneficios palpables.

Ataque de sulfatos.

Las estructuras de concreto reforzado en contacto con terrenos secos con contenido de sulfatos, normalmente no sufren daño. Sin embargo, cuando están en contacto con suelos húmedos, en particular con el agua freática con contenido de sulfatos, están en riesgo de ser deterioradas rápidamente.

Las soluciones con contenido de sulfatos pueden desintegrar, mediante reacciones químicas o físicas, los elementos de concreto en tan solo unos cuantos años.

Los sulfatos reaccionan químicamente con los componentes del concreto y los disuelven. Los sulfatos reaccionan especialmente con el hidróxido de calcio y con el hidróxido cálcico de aluminio, para así formar un mineral expansivo que descompone el concreto.

Los iones sulfato reaccionan con los aluminatos cálcicos hidratados del clinker de cemento portland formando sal de etringita que es muy poco soluble en agua y provoca un gran aumento de volumen; del orden del 250% con relación a los compuestos reactivos iniciales.

Esta expansión produce grandes esfuerzos internos que, normalmente, no pueden ser absorbidos por la masa de concreto y entonces desencadena la aparición de fisuras y desprendimientos.

Por otro lado, los frecuentes ciclos de hidratación y secado del concreto, en un medio con sulfatos, pueden desarrollar cristales de sales de sulfato, los cuales lo desintegrarán.

Hoy se sabe mas acerca del origen de la presencia de los sulfatos, tanto en el suelo como en el concreto. En el concreto, el sulfato esta presente en el cemento, pues proviene del yeso que se emplea como regulador del fraguado del cemento y de las materias primas. Los iones sulfatos pueden provenir, también, de distintas sales: sulfatos de calcio, sulfatos alcalinos, sulfatos de magnesio, etc.

Ya sea que el mecanismo de desintegración sea químico o físico, se podrán tomar medidas preventivas. Una de ellas será el empleo de concretos de baja permeabilidad. Con ello se mejorará la resistencia de estos a los sulfatos, pues se evitará la entrada de soluciones de sulfato. Como se ha estado viendo, la baja permeabilidad del concreto es clave para resistir el deterioro.

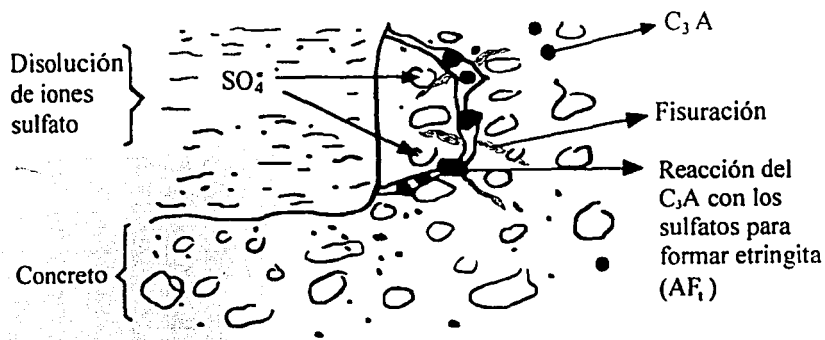


Figura 3.40. Acción de los sulfatos

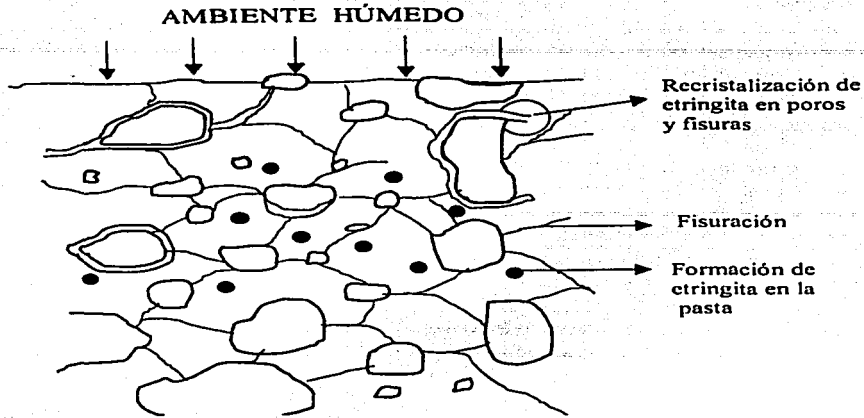


Figura 3.41. Expansión de la etringita diferida (DEF) en el mortero

Una medida, será emplear el humo de sílice que es, en este caso, muy efectivo para mejorar la resistencia a los sulfatos mediante la conversión de los compuestos de reacción solubles en compuestos insolubles. La otra, es el empleo de otras puzolanas, tal como la ceniza volante, pero es necesario tomar cierta precaución. Hay dos clases de ceniza volante la F y la C.

La ceniza volante clase F con bajo contenido de calcio es adecuada contra el ataque de sulfatos. Pero hay también ceniza volante tipo F que contienen alto contenido de alúmina y esta no brinda beneficio contra los sulfatos.

Por otro lado, hay ceniza volante tipo C con bajo y alto contenido de calcio. Hay que evitar confundirse y emplear la ceniza volante clase C con alto contenido de calcio.

En general, se logran mejores resultados si la ceniza volante se agrega al concreto en vez de utilizarla como un reemplazo del cemento.

Otros aditivos eficaces que pueden emplearse son los aditivos inclusores de aire y los reductores de agua, evitando los que contengan cloruro de calcio, ya que aún bajas concentraciones de cloruros disminuyen la resistencia a los sulfatos.

Además de utilizar aditivos para incrementar la resistencia a los sulfatos, otras estrategias eficaces incluyen:

- a) Usar cementos tipo II ó V.
- b) Usar cementos con bajo contenido de cal.
- c) Incrementar la cantidad de cemento por m³
- d) Ampliación del periodo de curado.

Ataque de cloruros.

Los cloruros tienen un papel muy importante como agentes promotores de la corrosión del acero de refuerzo. Su acción corrosiva tiene dos efectos:

1. La presencia de cloruros (cloruros de calcio, cloruros de sodio, etc.) en la fase acuosa del concreto, en contacto con las varillas incrementa su capacidad conductiva como electrolito y permiten un mayor movimiento de iones (OH)- del cátodo al ánodo.
2. El paso de los iones cloruro (CL-) hasta el acero deteriora la película de óxido férrico [ver micro estructura del concreto] que protege de la corrosión, y de este modo se originan puntos con diferencias de potencial que forman micro celdas electrolíticas de corrosión en el lomo de las barras y macroceldas entre varillas adyacentes.

El ingreso de cloruros en la masa de concreto puede darse de dos modos:

1. Por inclusión de materiales en la mezcla de concreto durante la elaboración. Empleo de aditivos acelerantes del fraguado o reductores de agua con contenido de cloruro, empleo de agua clorada o agregados con contenido de sales.
2. Por penetración a través de los poros del concreto. Los cloruros ingresan a la masa de concreto mediante dos mecanismos: por succión capilar y por difusión. Los cloruros penetran por succión capilar del agua salada en el concreto más o menos seco a través de la red de poros. Por medio de este proceso, el agua salada puede penetrar rápidamente causando corrosión del acero en corto tiempo. Las estructuras en condición sumergida; los cloruros penetran principalmente por difusión, debido al gradiente de concentraciones de la fase acuosa o solución de poro.

Por lo que respecta a los medios de contacto con las estructuras, que tradicionalmente se reconocen como corrosivas por su elevado contenido de cloruros, son:

1. El agua de mar y la brisa marina.
2. Las salmueras que resultan del uso de sales descongelantes y de ciertos procesos industriales.
3. Las aguas salobres de algunos lagos, lagunas y albuferas, y de zonas pantanosas cercanas al mar o con aguas geotermales.
4. Aguas freáticas y suelos, en sitios donde por diversas causas existe concentración de estas sales.

Hasta aquí se han visto que maneras pueden ingresar los cloruros a la masa de concreto, pero una vez que se introducen y llegan al acero de refuerzo en cantidades suficientes, los cloruros pueden deteriorar la capa de óxido pasiva del refuerzo causando su corrosión.

El mecanismo de como desactivan la capa pasiva de óxido aún no se conoce con precisión, sin embargo se han propuesto algunas teorías, una de ellas es la " formación del compuesto ". Esta teoría plantea que los cloruros libres forman un compuesto soluble con los iones de hierro, que difunden hacia otra zona alejada del ánodo, donde el pH y la concentración de oxígeno disuelto son altos. En consecuencia, el compuesto se disocia precipitando el hidróxido de hierro liberando los iones cloruro.

Debido a que los cloruros no se agotan en este ciclo o proceso y la corrosión del acero sigue por la alta concentración de hierro en la vecindad del refuerzo, el proceso puede continuar por sí mismo emigrando los iones hierro desde el acero y reaccionando con el oxígeno para formar óxidos o hidróxidos. Por lo tanto, en vez de que la corrosión se propague a lo largo del acero de refuerzo, continúa en las zonas anódicas, desarrollándose picaduras profundas en las varillas, típicas del ataque de cloruros

Otras teorías sostienen que no sólo los cloruros libres son causa del ataque, traducido en corrosión del acero, sino que es probable que los cloruros que se han unido a algún compuesto de hidratación del

cemento rompan enlaces químicos y regresen otra vez a la solución. Asimismo, otras teorías se inclinan por considerar que los cloruros que forman compuestos o ligados representan un riesgo potencial de corrosión y por eso estiman tomar en cuenta el riesgo de corrosión en términos de los cloruros totales: los libres y los que se hayan formado compuestos.

Medidas preventivas contra el ataque de los cloruros.

Para reducir el riesgo de corrosión por efecto de los cloruros incluidos en la mezcla al elaborar el concreto, es necesario limitar su contenido en los ingredientes de manera que el contenido total de cloruros en el concreto no exceda de cierto "umbral de riesgo" establecidos en función del grado de corrosividad del medio en que presta servicio la estructura.

Este "umbral de riesgo", un valor que indica la cantidad de cloruros que activa la capa de óxido pasiva, depende de varias condicionantes:

1. Proporcionamiento del concreto.
2. Tipo de cemento.
3. Relación agua / cemento.
4. Contenido de sulfatos.
5. Condiciones de curado.
6. Limpieza y estriado del acero.

Es lógico, que este valor o "umbral" no sea un valor fijo, absoluto. No obstante, estudios al respecto aportan valores intentando establecer límites del contenido de cloruros. La tabla 3.8 indica algunos valores, en donde el contenido límite de cloruros se da como un porcentaje por peso de cemento o por peso de concreto.

Autor o reglamento	Año	Contenido cloruros límite	
		(Kg/m ³ de concreto)	(% por peso de cemento)
Hausmann	1967	0.2-2.8	
Clear	1976	0.81	0.2
Everett y Treadway	1980	-	0.4-1
Berke, Gau	1982	0.6-0.9	-
Comité Euro-International du Beton (Europa)	1982	-	0.35 a 1
FWHA (Estados Unidos)	1985	-	0.3
BS-8110-1985 (Reino Unido)	1985	-	0.2-0.4
RILEM	1987	-	0.4
EH-88 (España)	1988	-	0.4
Pr EN-206 (España)		-	0.4
ACI-318-89 (Estados Unidos)	1989	-	0.15-0.3-1
Roy, Liam y Northwood	1993	-	0.4
Mustafa y Yusof	1994	0.376	-
Castro y Maldonado	1994	1.0-2.0	-

Tabla 3.8. Niveles de cloruro iniciadores de la corrosión en el concreto reforzado y límites máximos de contaminación de los materiales usados en la mezcla de acuerdo a reglamentos de algunos países.

En México se ha estudiado el efecto de los cloruros en concretos y se ha llegado a un valor comprendido entre 1 y 2 Kg. de Cl-/m³ de concreto para circunstancias específicas.

El código ACI 318 recomienda las siguientes limitaciones en el contenido máximo de cloruros solubles en agua, tabla 3.9, para diferentes condiciones de exposición de las estructuras.

Condiciones de exposición	Contenido máximo de Ion cloruro (Cl) del concreto al entrar en servicio (*)
a. Concreto reesforzado: -En todas condiciones	0.06
b. Concreto reforzado convencional -Expuesto a penetración de cloruros -Exposición húmeda, sin cloruros -Continuamente seco	0.15 0.30 1.00
(*) Cloruros solubles en agua, expresados como porcentaje en peso del contenido de cemento	

Tabla 3.9 Valores del umbral de cloruros del código ACI 318

Por otro lado, hay opiniones en el sentido de que una medida preventiva segura es limitar el umbral de cloruros a un valor de 0.15 por ciento en el contenido máximo de cloruros internos solubles en agua, para toda la estructura que deba prestar servicio en condición humedad. Además de la medida preventiva de limitar la cantidad de cloruros, hay otras tres medidas a cuidar para reducir el ataque de los cloruros a estructuras de concreto reforzado: el grado de concentración de los cloruros del medio, la capacidad del concreto para oponerse a la penetración y el espesor de recubrimiento de concreto de los elementos.

Por lo tanto al construir una estructura de concreto que deba estar expuesta o tener contacto con cloruros, debe darse por seguro que existirá un alto riesgo de penetración de cloruros externos y que deben adoptarse suficientes medidas de protección para evitarlo o reducirlo.

Como en el caso de la penetración del agua y del aire, la capacidad del concreto para oponerse a la penetración del Ion cloruro (CL-) también depende de su porosidad, por lo cual, el uso de una baja relación agua / cemento y el empleo de un eficiente procedimiento de curado son medidas indispensables y de utilidad real para cualquier caso en que exista riesgo de corrosión. No obstante, hay condiciones de muy alto riesgo en que estas medidas pueden resultar insuficientes y se justifica la adopción de ciertas medidas adicionales, tales como el empleo de algunos aditivos y/o impregnaciones, con el objeto de incrementar la resistencia del concreto a la penetración del Ion cloruro.

Según se mencionó con anterioridad, para un mismo concreto en condiciones dadas, el espesor del recubrimiento determina el tiempo que los agentes corrosivos externos requieren para llegar a la profundidad de las varillas de refuerzo y esto también resulta aplicable para efectos de la penetración del Ion cloruro.

Consecuentemente con ello, es normal que para las estructuras expuestas al contacto con cloruros, los códigos de diseño recomienden el uso de espesores de recubrimiento generosos, que pueden ser tan gruesos como 100 mm en elementos expuestos a contacto con agua marina con periodos alternados de saturación y secado, como ocurre en las zonas de fluctuación de las mareas, de contacto con el oleaje, o que reciben salpicaduras.

En México, las normas técnicas [NTCDCEC-1993] para concreto recomiendan lo siguiente:

En elementos no expuestos a la intemperie, el recubrimiento libre de toda barra de refuerzo o tendón de preesfuerzo no será menor que su diámetro, ni menor que lo señalado a continuación:

1. En columnas y trabes, 2.0 cm; losas 1.5 cm; cascarones 1.0 cm
2. Barras de refuerzo en paquete: 1.5 veces el diámetro de la barra de mayor tamaño.
3. Elementos en contacto con el suelo: con plantilla de concreto, recubrimiento de 3.0 cm; sin plantilla de concreto, 5.0 cm.

En elementos estructurales expuestos a la intemperie, se duplicarán los valores antes indicados y estos recubrimientos se incrementarán aún más para ambiente agresivo (sustancias o vapores industriales y terrenos con contenidos químicos agresivos).

Carbonatación.

La carbonatación en el concreto es la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico; en cantidad de 600 a 1000 mg por m³, penetra y reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH en carbonato de calcio, un compuesto con un pH más bajo o más neutral.

La pérdida de pH constituye un problema porque el concreto, con su ambiente altamente alcalino; en un rango de pH de 12 a 13, protege al acero de refuerzo ahogado contra la corrosión.

Esta protección se logra por la formación de una capa de óxido pasivo sobre la superficie del acero que permanece estable en tanto permanezca el ambiente altamente alcalino. Esta es la misma capa pasivadora que atacan los cloruros cuando alcanzan el acero de refuerzo expuesto a sales descongelantes y ambientes marinos.

Cuando progresa la carbonatación o cuando progresa la pérdida de pH, hacia la profundidad de la masa de concreto, hasta alcanzar el acero, la capa de óxido protectora y pasivadora deja de ser estable.

Cuando en el concreto se reduce el pH hasta un valor por abajo de 9.5; es muy posible, empiece la corrosión del acero y posteriormente se del agrietamiento y el astillamiento del concreto.

La carbonatación es un proceso natural y su velocidad de desarrollo es función de variables naturales que se encuentran en el concreto. El incremento de la carbonatación depende, en buena medida, del contenido de humedad y permeabilidad del concreto.

Un requisito para que se presente la carbonatación en el concreto es la presencia de humedad. Sin embargo, la permeabilidad, el recubrimiento y los defectos de la superficie expuesta del concreto son factores que inciden también en el desarrollo de la carbonatación y en el inicio de la corrosión.

Humedad del ambiente.

La pérdida de pH avanza rápidamente cuando se tiene una humedad relativa en el concreto comprendida entre el 50 a 55%

Para valores de la humedad relativa por abajo del 50% no hay suficiente agua en los poros del concreto para que se disuelvan cantidades significativas de hidróxido de calcio y entonces la carbonatación no es muy significativa.

Para valores de la humedad relativa por arriba del 75% la situación es otra. Los poros se bloquean o tapan progresivamente con el agua. Aunque con esta situación se disuelve libremente el hidróxido de calcio, al mismo tiempo el agua evita penetrar, en gran medida, el dióxido de carbono atmosférico.

La permeabilidad del concreto.

La experiencia ha demostrado que el concreto permeable es altamente susceptible de presentar carbonatación y de esta manera, deteriorarse más rápidamente tanto el mismo concreto como el acero de refuerzo.

Se han identificado varios factores que mejoran la impermeabilidad del concreto, algunos de ellos son:

1. Empleo de concretos con baja relación de agua / cemento.
2. Compactación apropiada por vibración.
3. Empleo de puzolanas: ceniza volante, humo de sílice.
4. Ampliación del periodo del curado.
5. Empleo de aditivos que reduzcan la relación agua / cemento.
6. Empleo de cementos con bajo contenido de cal: tipos II ó V

Recubrimientos y defectos de superficie.

Prácticas deficientes y descuidos al construir elementos de concreto reforzado acarrearán con el tiempo problemas de carbonatación, aún cuando el concreto empleado sea de calidad.

Un recubrimiento escaso de concreto y defectos de superficie tales como grietas y pequeñas oquedades abren la puerta a los agentes químicos y físicos para deteriorar al concreto reforzado.

Todo elemento de concreto cuenta con sus puntos difíciles. Algunos de ellos son las zonas comprendidas entre el acero de refuerzo y la superficie expuesta; bordes de recubrimiento, y las esquinas. Los bordes de recubrimiento de concreto son susceptibles a la corrosión, inducida por la carbonatación, sobretodo si el espesor del recubrimiento es escaso. El recubrimiento de las esquinas son áreas donde con frecuencia el concreto no está bien compactado.

Como quiera que sea, se recomienda que todo defecto de superficie sea resanado minuciosamente y se usen morteros autonivelantes; grouts no metálicos.

Hasta aquí se ha expuesto que es la carbonatación, que factores propician su aparición y que aspectos cuidar. Sin embargo, para las estructuras ya dañadas por corrosión, agrietamiento, astillamiento inducidos por la carbonatación, y por otros procesos de deterioro, existen pocas opciones de reparación.

No obstante hay técnicas de protección que intentan reducir la carbonatación.

- a) Protección catódica.
- b) Realcalinización.
- c) Reparación cosmética.

La reacción álcali-agregado.

Los agregados no sólo comparten los cambios volumétricos y las deformaciones del concreto, sino que también participan en varias reacciones químicas con la pasta del cemento.

A la reacción que tiene lugar entre los álcalis; óxidos de sodio y potasio, presentes en el cemento y ciertos minerales constituyentes del agregado se le conoce como la reacción álcali-agregado.

Aunque muchas de las reacciones son dañinas, hoy se conoce que algunas mejoran la calidad del concreto. Por ejemplo, las puzolanas; como la ceniza volante de carbón, mejoran la adherencia interfacial entre algunos agregados silíceos y la matriz de la pasta de cemento que los rodea.

Sin embargo, la mayoría de las veces, los resultados de estas reacciones son dañinos para el concreto porque generan expansiones que son nocivas para la integridad estructural de los elementos. Su efecto se puede traducir desde un agrietamiento superficial sin orientación definida; mapeo, hasta un agrietamiento marcado, extenso y orientado, cuya dirección esta visiblemente influenciada por las condiciones de restricción extremas de los elementos estructurales.

Por ejemplo, en columnas el agrietamiento puede presentarse de manera vertical debido a la poca restricción lateral. En muros y trabes de concreto el agrietamiento puede darse de manera horizontal, pues estos tiene una limitada dilatación lateral.

Los elementos de concreto pueden presentar estos daños, pero hay que tomar en cuenta que los efectos de la reacción álcali-agregado pueden estar ocultos por otros problemas de tipo estructural o por otros efectos debidos a un ataque químico diferente al de la reacción álcali-agregado.

Como quiera que sea, si el agrietamiento del concreto se debe a la reacción álcali-agregado o a otros factores, el concreto y el acero quedarán expuestos mas abiertamente a la acción de agentes físicos y químicos y factores que pueden acelerar el deterioro.

Por otro lado, los daños observados en estructuras de concreto y los estudios de estos han permitido identificar tres tipos de reacción álcali-agregado:

a. Reacción álcali-silíce.

Forma clásica y documentada desde la década de los 40'. Es la reacción entre los álcalis presentes en el cemento y los sílices amorfos o criptocristalinos de agregados procesados de las rocas volcánicas ácidas e intermedias, como las riolitas, latitas, dacitas, andesitas y sus respectivas tobas. También de agregados procedentes de rocas silíceas, tales como el pedernal; con ópalo y/o calcedonia, y las calizas y dolomías silíceas.

II. Reacción álcali-roca carbonatada.

Esta reacción ocurre entre los álcalis del cemento y los agregados provenientes de las rocas dolomíticas; roca sedimentaria que contiene dolomía o carbonato natural de calcio y magnesio.

III. Reacción álcali-silicato.

Reacción de los álcalis disueltos en el agua encerrada de los poros del concreto y agregados que contienen minerales como los filosilicatos o el cuarzo deformado presentes en las rocas sedimentarias como las areniscas, calizas y pedernal.

Las investigaciones acerca de la reactividad potencial de los agregados mediante los exámenes petrográfico, químico y pruebas que comprenden la medición de cambios dimensionales en barras de mortero y prismas de concreto han evidenciado que todos los agregados son reactivos con los álcalis de la pasta de cemento y que sólo difieren en la clase de reacciones en que participan, el grado y la rapidez con que se producen, y la magnitud de sus efectos destructores.

Asimismo, dichas investigaciones han demostrado que existen tres condiciones, básicas, necesarias para que se presente la reacción álcali-agregado:

1. Presencia de suficiente cantidad de álcali en el concreto.
2. Presencia de elementos reactivos en los agregados.
3. Presencia de condiciones ambientales adecuadas; humedad y temperatura.

1. Presencia de álcalis en el concreto.

Los álcalis; básicamente óxidos de sodio y de potasio, se encuentran formando parte del cemento, pero los álcalis también pueden introducirse a la masa de concreto por medio de agregados que contienen sales alcalinas, del agua utilizada para hacer la mezcla, por algunos aditivos minerales, por agua del subsuelo o aguas grises o negras.

Los álcalis presentes en el cemento son derivados de las materias primas y de la ceniza de hulla; durante el proceso de calcinación, en el horno ocurre una volatilización de álcalis, y el polvo de horno tiene un contenido de álcali relativamente mas alto que el de las materias primas.

Los cementos fabricados en todo el mundo tienen un contenido de álcalis; óxidos de sodio y potasio, que varía de 0.1% al 2.0% de su peso. Con la intención de reducir el efecto de los álcalis en el concreto los fabricantes tratan de producir cemento con un contenido de 0.6% de su peso.

Puesto que la cantidad total de álcali es el factor que más influye en el comportamiento del concreto que contiene agregados reactivos se recomienda también limitar el contenido de cemento en la mezcla. Así, es práctica en algunos países emplear un 0.6 % de contenido de álcalis y una cantidad de cemento de 350 a 500 kg/m³

2. Presencia de agregados reactivos.

Los agregados gruesos y finos son el resultado de procesar las rocas y estas contienen naturalmente cantidades de minerales reactivos.

Puesto que la mayoría de los agregados contienen minerales reactivos la práctica recomienda tomar medias preventivas. Una de ellas es conocer la reactividad de los agregados: el estudio petrográfico, las pruebas químicas y las pruebas de expansión constituyen las mejores para evitar o reducir futuras reacciones deletéreas.

Por otro lado, desde hace tiempo se estudia la influencia del tamaño de los agregados en las reacciones. Algunos estudios concuerdan en que existe una relación entre el tamaño de las partículas gruesas y finas y los álcalis, pero que resulta arriesgado predecir dicha influencia y que, mas bien, conviene comprobar su comportamiento mediante resultados de pruebas directas de expansión, en mortero o en concreto, con la granulometría a emplear.

3. Presencia de condiciones ambientales favorables.

Existen dos factores muy importantes que contribuyen al desarrollo de las reacciones:

- a) La exposición continua de los elementos de concreto a la humedad.
- b) La exposición de los elementos de concreto a ciclos repetidos de humectación y secado.

Cuando los ciclos de humectación y secado se combinan con ciclos de calentamiento y enfriamiento, entonces la reacción álcali-agregado se incrementa mucho más.

Por el contrario, el concreto en condiciones secas es poco susceptible a la reacción álcali-agregado a pesar de que el concreto contenga agregados con minerales reactivos y se haya combinado con cemento de alto contenido alcalino.

Una condición que favorece la reacción es la presencia de humedad constante, por ello poner atención en los detalles constructivos es importante.

Por ejemplo, la pésima conducción o desalojo del agua (pluvial o de otro origen) permiten precisamente la presencia de humedad y las inadecuadas juntas de expansión de los elementos permiten el desarrollo de esfuerzo indebidos en estos, con el probable agrietamiento de resistencia mecánica, y la penetración franca del agua al interior del concreto.

Los efectos de la reacción álcali-agregado en elementos de concreto se pueden reducir. Para ello hay dos estrategias de prevención.

1. Medidas preventivas menores. Conocida así porque su adopción en la obra significa normalmente poca dificultad y de bajo costo. Su eficiencia es limitada y son aplicables cuando el riesgo de la reacción álcali-agregado es menor. Estas precauciones se relacionan con la composición del concreto y, otras, con la protección de las estructuras ya construidas.

a). Reducción del contenido de cemento en las mezclas.

- Elegir resistencias moderadas del concreto en la etapa del diseño estructural.
- Establecer especificaciones realistas en el diseño de mezclas.
- Emplear procedimientos constructivos que permitan usar concretos de bajo revenimiento.
- Empleo inteligente de aditivos reductores de agua.
- Aumentar el tamaño máximo del agregado grueso
- Emplear gravas limpias o libres de finos

b). Protección del concreto endurecido.

- Curado apropiado de los elementos de concreto.
- Proteger los elementos de contra la humedad, los ciclos de humedad y secado.
- En superficies horizontales, proveer drenaje eficiente.
- En juntas de expansión, emplear materiales elásticos que conserven sus propiedades en las condiciones de exposición y servicio de la estructura.

2. Medidas preventivas mayores.

Conocida así porque su adopción en la obra significa un alto costo. Son medidas eficientes para controlar la reacción álcali-agregado, se presentan dos y su adopción es alternativa y no simultánea. Estas precauciones se relacionan básicamente con la composición del cemento y del concreto.

a) Cementos con bajo contenido de álcalis.

Emplear cementos de bajo contenido de álcalis, abajo del 0.6% aunque ahora es casi inaccesible debido a factores energéticos y políticas de la conservación del medio ambiente.

b) Uso de aditivos puzolánicos.

Emplear aditivos de tipo puzolánico en la fabricación de concreto en la proporción más adecuada. Puzolanas con contenidos de escorias granuladas de altos hornos, pizarra calcinada y ceniza pulverizada.

Asimismo, cuando ya se tienen problemas de agrietamiento por la reacción álcali-agregado pueden adoptarse medidas correctivas. Aunque el trabajo correctivo sólo logra detener temporalmente la expansión y el agrietamiento del concreto. No obstante, la reparación local restringirá el paso de la humedad.

Una reparación profunda, adecuada, tratará de inhibir la reacción álcali-agregado y también la corrosión del acero de refuerzo. El costo asociado a los trabajos de reparación será alto si se tiene en cuenta que una vez que empiezan los procesos deletéreos no resulta fácil detenerlos.

El trabajo de reparación se enfocará a lograr tres puntos básicos:

1. Reducir al mínimo la cantidad de agua que llega a los diversos elementos de la estructura.
 - El uso de botaguas, tapajuntas horizontales y verticales de lamina reducirán la acumulación de agua.
 - La implementación de un sistema de drenaje de aguas eficiente será clave para evitar la exposición al agua estancada.
 - Mantenimiento de salidas de agua y sistemas de drenaje.

2. Restringir el paso de la humedad hacia el interior de la masa de concreto, introducida por grietas.
 - La habilidad para retirar el material deteriorado y la retacación con concreto, de buena calidad, serán básicas.
 - Resanar grietas con técnica. Abrir el ancho de grietas, sopletear, impregnar las superficies con aditivo o adhesivos, retacar a presión empleando lechadas ricas de cemento para estimular un ambiente alcalino. Opcionalmente puede usarse lechada de resina sintética o alguna mezcla fina, polvo de sílice y emulsión acrílica en proporción debida.

3. Lograr y mantener dentro del concreto un ambiente alcalino que brinde protección al acero de refuerzo
 - Impedir la penetración del agua en las grietas al final de la reparación, lográndolo con la aplicación de un sellado superficial con un material flexible adecuado, tal como el poli sulfuro.
 - Reducir la absorción del agua por la masa de concreto. Los recubrimientos adecuados como lo son las pinturas con base cemento o pinturas de emulsión de resinas que permiten el paso del vapor de agua.

Corrosión del acero de refuerzo

Como se ha visto, la lixiviación, la carbonatación y el ataque químico directo propician la corrosión del acero de refuerzo, pues activan la capa de óxido pasiva.

Sin embargo, la gran mayoría de las veces la corrosión es causada por un proceso de naturaleza electrolítica. Este proceso puede ser causado por el paso de corrientes eléctricas "extraviadas" a través de las estructuras, o por la formación de celdas galvánicas a todo lo largo de las barras de acero.

Corrosión por ataque directo.

La corrosión por esta causa puede darse por el efecto de las emanaciones o exposición de los elementos de concreto reforzado a sustancias químicas corrosivas resultado de procesos industriales o exposición a ambientes agresivos como el marino.

Corrosión por corrientes eléctricas.

La corrosión por corrientes eléctricas llamadas "extraviadas", se da por la presencia de corrientes eléctricas en las estructuras pertenecientes a instalaciones en los que se opera o trabaja con corriente directa, como es el caso de estaciones de trenes o subestaciones eléctricas.

En algunos casos la existencia de estas corrientes se presenta por conectar la tierra física de la instalación eléctrica a las varillas de las columnas de las estructuras.

De modo que, el efecto del paso de una corriente eléctrica por las barras de acero, da lugar al fenómeno de electrólisis y posteriormente al proceso de corrosión.

Corrosión por formación de celdas galvánicas.

Ahora se sabe con mas certeza que la causa más frecuente de la corrosión del acero de refuerzo se presenta por la formación de celdas galvánicas a lo largo de las barras.

Una celda galvánica o electrolítica, se forma cuando dos metales de diferente potencial eléctrico (electrodos) se encuentran inmersos en un medio líquido o acuoso de composición química adecuada (electrolito); en este ambiente al conectar ambos metales con un conductor de la electricidad, se establece una corriente o un flujo de electrones que fluyen del metal de mayor potencial (ánodo) al metal de menor potencial (cátodo) y de esta manera se causa la corrosión del metal que funge como ánodo.

Ahora bien, el fenómeno de la electrólisis también se presenta en los elementos de concreto reforzado.

Este fenómeno se produce en el interior del concreto sin que se requiera la presencia de dos metales distintos. En este caso, la electrólisis, ocurre en una misma varilla de acero, pues, a lo largo de esta se forman puntos con diferente potencial eléctrico; originados por variadas causas, los cuales fungen como electrodos inmersos en la solución de poros; medio acuoso o interfase acuosa, del concreto que actúa como el electrolito, y así se van formando diminutas celdas galvánicas que ocasionan la corrosión en los puntos de la barra de acero que operan como ánodos, actuando la misma barra como elemento conductor de la corriente eléctrica.

Una vez que se forman las celdas galvánicas en la superficie de las barras de acero, ocurre el proceso de corrosión que se describe enseguida:

- a. En el ánodo, el elemento fierro se oxida para producir iones ferrosos (Fe^{++}) que pasan en solución al electrolito;
- b. Los electrones liberados por la reacción anterior (e^-) circulan por la varilla hasta llegar al cátodo, en donde mediante un proceso de reducción en presencia de agua y oxígeno se producen iones de hidróxilo (OH^-).
- c. Estos iones de hidróxilo regresan al ánodo por medio del electrolito en donde se combinan con los iones ferrosos ahí presentes para producir entonces hidróxido ferroso, el cual se convierte a hidróxido férrico y tras subsecuentes reacciones termina por formar los productos de corrosión conocidos como herrumbre.

El proceso de corrosión descrito arriba se da en condiciones específicas. El desarrollo de la corrosión requiere necesariamente la presencia de agua y oxígeno en el medio que rodea la varilla.

Así la corrosión no evoluciona si el concreto se encuentra en estado seco; ausencia de agua, o si el concreto se encuentra completa y continuamente sumergido; sin presencia de oxígeno.

Efecto de la corrosión en el concreto

La corrosión tiene efectos negativos en los elementos de concreto reforzado. En primer lugar la corrosión del acero produce productos que tienen un volumen varias veces mayor que la suma de los volúmenes individuales de los componentes, su presencia genera presiones en el concreto alrededor de las barras de acero. Estas fuerzas de expansión son lo suficientemente poderosas para agrietar el concreto y provocar el desprendimiento del concreto que recubre las varillas.

En segundo lugar, la corrosión del acero de refuerzo reduce la sección de las varillas, reduciéndose su adherencia a la masa de concreto. Asimismo, se afecta de manera negativa las propiedades mecánicas del acero y por tanto se reduce la capacidad de trabajo estructural del refuerzo de acero.

Identificación de las condiciones que propician corrosión.

En los elementos de concreto reforzado, el recubrimiento de concreto debe proporcionar suficiente protección contra el fenómeno de la corrosión electrolytica. El concreto tiene principalmente dos maneras de resistir la corrosión:

1. Resistencia física a la penetración de agua, soluciones y aire.
2. Inhibición del proceso corrosivo por su alta alcalinidad.

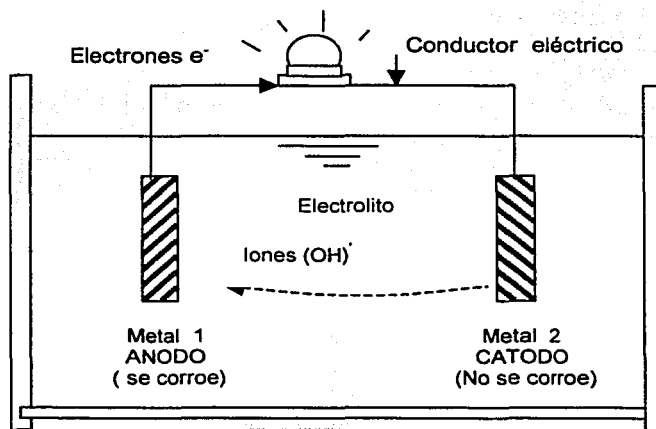


Figura 3.42. Celda galvánica de corrosión electrolytica

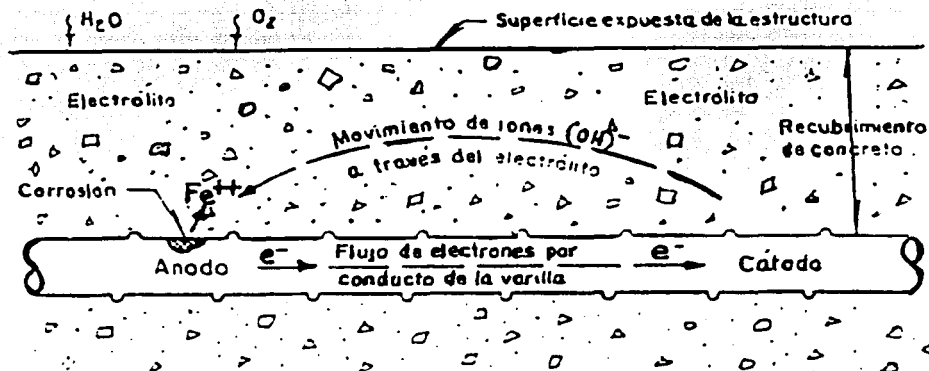


Figura 3.43. Celda de corrosión electrolytica en el concreto reforzado.

El concreto ofrece protección al acero, sin embargo, el grado de eficiencia de esta es variable. La eficiencia de la protección es una función de muchas variables, la atención que se le dé a cada una de estas redundará en el logro de las dos acciones indicadas arriba.

Algunas de las variables a cuidar son:

1. Calidad del concreto
2. Agrietamiento superficial.
3. Espesor del recubrimiento
4. Alcalinidad del concreto

Medidas preventivas contra la corrosión.

Para estructuras que estén en la etapa de proyecto y construcción se pueden tomar las siguientes medidas:

1. Emplear concreto de baja relación agua / cemento.
2. Especificar espesores de recubrimiento de concreto apropiados al medio ambiente.
3. Empleo inteligente de aditivos que reduzcan la permeabilidad del concreto
4. Protección directa del acero de refuerzo, mediante la aplicación de un revestimiento anticorrosivo (de zinc aplicado por un procedimiento galvanoplástico o a base de resinas epoxy, aplicadas por fusión electrostática), o mediante la protección catódica de las varillas.
5. Protección externa de los elementos de concreto reforzado, por medio de tratamientos superficiales capaces de impedir la penetración de los agentes corrosivos y/o evitar el contacto directo del concreto con los agentes de deterioro.

Para estructuras de concreto reforzado existentes, que presenten corrosión, se pueden tomar las siguientes medidas:

1. Implementar la protección catódica.
2. El procedimiento indicado en el punto número 5 arriba citado.



Figura 3 44 Corrosión del acero de refuerzo de una columna expuesta al ambiente marino



Figura 3 45 Corrosión del acero de refuerzo de una losa por ataque químico de cloros.

3.4.5 Factor biológico

La vegetación situada sobre las estructuras de concreto puede producir daño causado por líquenes, musgos, algas, así como por la penetración de las raíces de plantas y árboles a través de fisuras y puntos débiles, que dan como resultado fuerzas de expansión que incrementan la fisuración y el deterioro. Esta vegetación también puede retener agua sobre la superficie del concreto, conduciendo a la saturación del mismo y con el consiguiente riesgo de daño por heladas.

Los micro-organismos pueden causar ataques químicos al desarrollar ácidos húmicos que disuelven la pasta de cemento.

Un tipo de ataque que normalmente se presenta se da en las redes de alcantarillado.

En condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) el sulfuro de hidrógeno (que aisladamente no es muy agresivo para el concreto) puede formarse a parte de los sulfatos o de las proteínas en las cloacas. Una vez liberado de la solución este sulfuro de hidrógeno (dependiendo del equilibrio químico y de las turbulencias) puede oxidarse por la acción bacteriológica hasta formar ácido sulfúrico, de lo que se deriva un ataque por ácidos del concreto situado por encima del nivel del agua.

El deterioro del concreto por bacterias sulfurosas puede disminuirse reduciendo al mínimo la turbulencia en tuberías de alcantarillado, lo que disminuye el desprendimiento de ácido sulfúrico y elimina las colonias de bacterias en el interior del tubo.

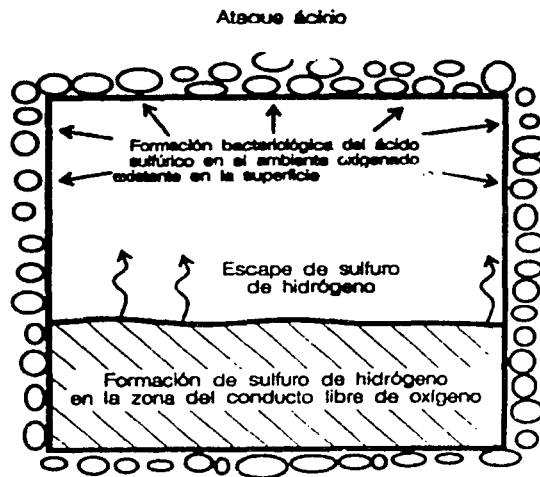


Figura 3.46 Ataque biológico en redes de alcantarillado. Ataque por ácidos

3.4.6. Factores constructivos.

Los factores constructivos comprenden a aquellos que se relacionan con las maneras de construir elementos de concreto y que involucran al constructor y los errores que comete.

Pueden distinguirse tres grupos de actividades en la construcción de elementos: actividades antes, durante y después de la colocación del concreto.

En cada etapa se llevan a cabo uno o varios pasos constructivos que permiten lograr calidad en la construcción de elementos o que se constituyen en factores de tipo constructivos causantes de deterioro.

1. Antes de la colocación del concreto:

- a) En cimientos: falta de plantilla y escaso recubrimiento de concreto; paso de tuberías: mal concebidas y realizadas.

- b) En general: cimbrado deficiente, descuidando casi siempre la calidad de la superficie, su horizontalidad y verticalidad y alineamiento. Cimbra muy usada: causando únicamente mal aspecto de las superficies. Colocación del acero con espaciamiento diferente al especificado. Exceso de aceite en la cimbra, causando que el acero de refuerzo se impregne de él, afectando así su adherencia con la masa de concreto.
- c) En losas en voladizos, carencia de elementos que permiten cortar el agua pluvial (gotero).

2. Durante la colocación del concreto:

- a) Uso de arenas con contenido alto de finos, que propician una mayor contracción del concreto.
- b) Fabricación en obra de concreto de baja resistencia.
- c) En cimientos, columnas y muros: empleo de concretos con poco revenimiento, causando la formación de quedades.
- d) Falta o exceso de vibrado del concreto.
- e) Descuido de nivel, plomo y alineamiento de la cimbra y del nivel que deba alcanzar el concreto.
- f) En climas extremosos, falta de un programa de colado.

3. Después de la colocación del concreto:

- a) Falta de curado o curado deficiente, redundando en posible agrietamiento del elemento.
- b) Descimbrado prematuro, provocando que el elemento trabaje sin permitir que el concreto alcance su resistencia.
- c) En el caso de charolas de baño en losas de entepiso: presencia de agua debido a tuberías hidráulicas y sanitarias rotas, picadas o conexiones mal soldadas. Con el tiempo esta agua causa carbonatación del concreto y corrosión del acero de refuerzo.
- d) En losas: falta de pendientes que faciliten el desalojo de agua pluvial. En el caso de losas de azotea, penetración de agua pluvial por ausencia o deficiencias del sistema de impermeabilización o fractura del sistema de entortado y enladrillado por deflexiones de la losa o por cambios de temperatura. Deficiencia en la solución de juntas de colindancia, chaflanes y pretilos y bajadas de agua pluvial escasa o deficiente o mal detallada causando escurrimiento de agua hacia muros y losa. Falta de mantenimiento en el sistema de impermeabilización. La presencia de perforaciones efectuadas para permitir anclaje de instalaciones como antenas, gas, teléfono o la presencia de vida vegetal en grietas del sistema relleno-entortado-ladrillo permiten el paso de agua al plano de la losa. Al emplear el sistema de enladrillado, permitir el relleno con tezontle o tepojal húmedos o haberse mojado estos con el agua de lluvia y no haber drenado la masa de agua.
- e) Base de tinacos mal resuelta que permite la introducción de agua a la losa.

Factores constructivos: tanques y cisternas.

En el caso de las cisternas (y en general de estructuras en forma de cajón), si el terreno en el que se alojan no contiene agua entonces la estructura estará sujeta únicamente a la acción del agua contenida en el interior. En caso contrario, los muros y la losa de fondo estarán expuestas también al agua y a sustancias químicas disueltas en ella o bien al agua y a sales que contenga el suelo.

Por tanto, los factores de deterioro básicamente serán: el ataque químico directo, carbonatación del concreto y corrosión del acero de refuerzo por efecto del agua al introducirse por las grietas y quedades de losas y muros.

En el caso de los tanques superficiales y tanques elevados, estos serán vulnerables a la acción del agua de lluvia; lixiviación, y a la acción del agua almacenada. Para los tres tipos de estructuras, cuidar el aspecto constructivo; procedimientos, materiales y aditivos, supondrá una ventaja para permitir que las estructuras citadas resistan adecuadamente los efectos de dichos factores. De lo contrario, descuidar el aspecto constructivo implicará que este se constituya en un factor de deterioro.

Los factores hidráulicos y químicos han sido tratados al principio de este capítulo, por lo que aquí se hará énfasis en los factores constructivos.

Al igual que en el caso de las losas de concreto, los pasos constructivos se agruparan en tres: antes, durante y posterior a la colocación del concreto. A continuación se enlistan los errores constructivos más comunes.

1. Antes de la colocación del concreto.

- a) Falta de banda ojillada de PVC en la unión de muros y losa.
- b) Falta de separadores que permitan mantener el espesor del muro.
- c) Falta de limpieza de toda de madera, papel u otros.
- d) Uso de cimbra en muros muy dañada.
- e) Cimbrado deficiente de muros.
- f) En el caso de cisternas y tanques superficiales, plantilla de concreto de poco espesor.
- g) Falta de calzado del acero de refuerzo para garantizar un recubrimiento de concreto mínimo.
- h) En el caso de tanques elevados y superficiales, falta de una placa de sello en el tubo de salida de agua.
- i) En el caso de cisternas, ubicación de estas cerca del paso de albañales o tuberías sanitarias que conduzcan agua negra.

2. Durante la colocación del concreto.

- a) Falta de empleo de algún aditivo; impermeabilizante, que mejore la impermeabilidad del concreto.
- b) Falta o exceso de vibrado.
- c) Empleo de agregado grueso de un tamaño mayor a 19 mm.

3. Después de la colocación del concreto.

- a) Descimbrado prematuro.
- b) Falta de curado del concreto.
- c) Falta de chafanes verticales y horizontales.
- d) Falta de un tratamiento de la superficie interior del depósito. Este tratamiento consiste en una limpieza de la superficie de losa de fondo y muros de torsales o moños. Localización, abertura y resane de oquedades, aplicación de pintura o recubrimiento epóxico o algún impermeabilizante cementante. Este trabajo constituye una protección a las losas y muros.

3.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

En el apartado 3.1 se indicaron las diversas causas del agrietamiento y al analizar el ataque físico y químico se ha visto como la existencia de éste es un factor preponderante para el rápido deterioro de los elementos de concreto reforzado. Por ello, una estrategia de mantenimiento preventivo será precisamente el ataque de las fisuras o agrietamiento de los elementos.

3.5.1 Medidas preventivas para proteger al concreto.

Reparación de fisuras.

En la mayoría de los casos, ni los defectos de proyecto, ni los de ejecución, son las causas principales de las fisuras; lo cierto es que se producen en casi todas partes.

Cuando se presenta una fisura, el agua que se filtra lentamente causa la aparición de eflorescencias en la superficie del concreto, provocando su degradación; pérdida del Ph del concreto, activación de la capa pasivadora de óxido, corrosión del acero de refuerzo y desprendimientos de concreto.

Dependiendo del medio ambiente en que se ubiquen las estructuras, es prudente establecer el comportamiento de las fisuras; si estas siguen creciendo en largo, ancho y profundidad. Se sugiere seguir el siguiente procedimiento:

1. Determinación de la actividad de las fisuras.

Esta actividad consiste en observar su comportamiento, es decir su movimiento. Para ello se recurre al empleo de dispositivos como: testigos de yeso, micrómetros, calibradores y marcas de yeso en los extremos de la grieta.

La amplitud del movimiento permite saber si las fisuras están activas o no. Aunque no hay que olvidar que toda fisura esta activa de algún modo. Si la amplitud del movimiento, medida en un periodo de tiempo (seis meses o un año) permite apreciar un desplazamiento, la fisura se considera activa. Si los movimientos son poco apreciables o la fisura no crece, ésta se considera estable.

2. Identificar la causa.

Es muy importante establecer la causa del agrietamiento, las tablas del apartado 3.1 y el conocimiento de la naturaleza de los agregados son una guía.

3. Elegir un método para la reparación.

La elección del método adecuado puede observarse en los siguientes diagramas:

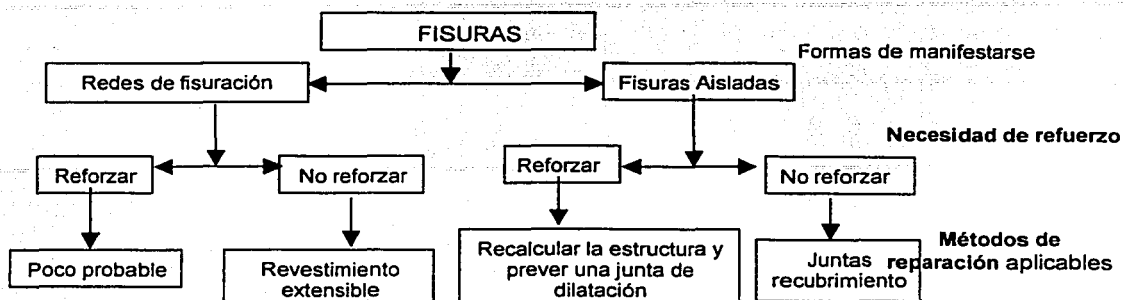


Figura 3.47. Métodos de reparación de fisuras activas

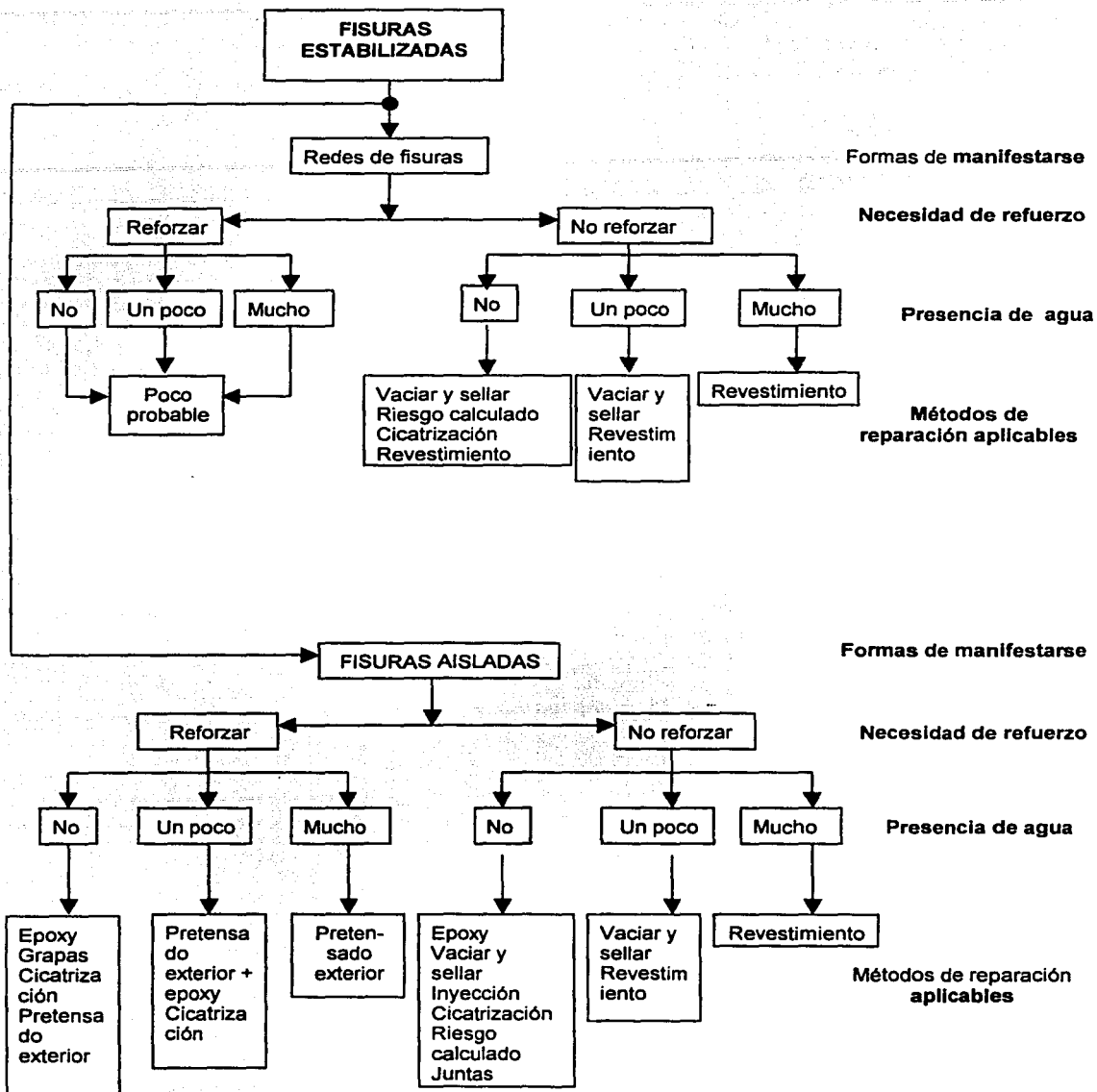


Figura 3.48. Métodos de reparación de fisuras estabilizadas

En el caso de detectar fisuras activas, observar si se presentan como aisladas o bien forman una red coherente. Dependiendo de esto, decidir si se restituye o no al concreto.

En el caso de apreciar fisuras estables, como antes, observar si se presentan aisladamente o constituyen una red coherente. Estudiar a continuación si es o no necesario devolverle al concreto su capacidad a la tensión al nivel de la fisura.

4. Métodos de reparación.

- a). Uniones con resina epoxy.
- b). Vaciado y sellado.
- c). Grapado.
- d). Aplicación de esfuerzos externos.
- e). Recubrimiento.
- f). Revestimiento.
- g). Inyección.
- h). Cicatrización.

a) Uniones con resina epoxy.

Después de agrandar la parte exterior de la fisura (6 ó 7 mm por 12 cm de longitud). La resina se inyecta por orificios de 18 mm de diámetro, espaciados de 15 a 30 cm. La inyección se efectúa por las cabezas de válvulas del circuito a excepción de aquellas por la que se verifica la inyección.

b) Vaciado y sellado .

La operación de vaciado consiste en seguir el trazado de la fisura con una sierra adecuada para concreto, abriendo la fisura en una anchura suficiente para que el material de sellado pueda penetrar. En superficie, la anchura mínima debe ser de 6 mm, pues es difícil tratar juntas más estrechas. Deberá limpiarse con agua las superficies de la junta vaciada, dejándola libre de toda grasa, aceite o todo cuerpo extraño. Después de estar seca, se procede al sellado.

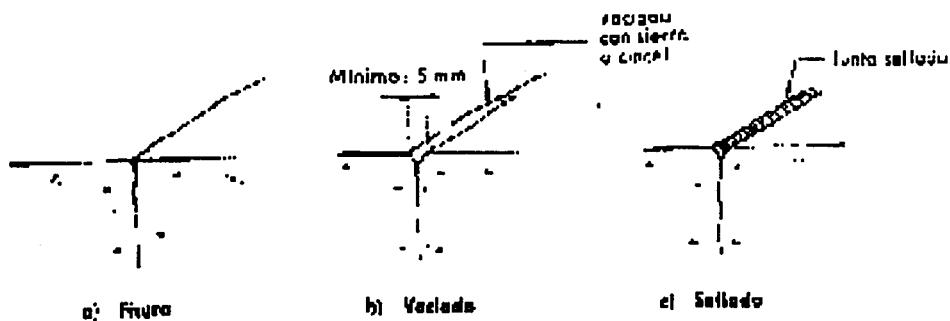


Figura 3.49 Vaciado y sellado

c) Grapado

Se trata de devolver a una sección de concreto su resistencia a tracción a través de grapas. Las grapas deben recubrirse con mortero sin retracción o expansivo de manera que no haya ningún juego, y los movimientos de la fisura pongan en tensión tanto a los elementos antiguos como a los nuevos.

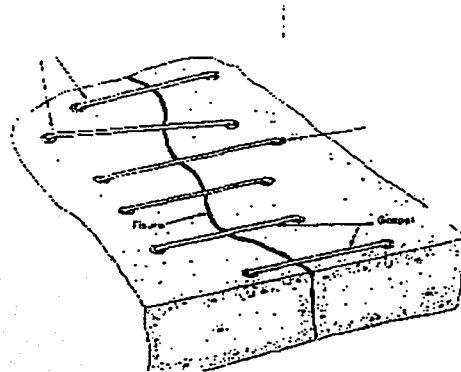


Figura 3.50 Grapado

d) Aplicación de esfuerzos externos.

Las fisuras en el concreto se deben a tensiones de tracción; cesa si estas tensiones desaparecen. Las fisuras pueden también cerrarse creando un esfuerzo de compresión superior al de tracción, lo que permite conseguir una compresión residual.

e) Recubrimiento.

Esta técnica se parece a la del vaciado y sellado, pero tiene un campo de aplicación más extenso, ya que se aplica a fisuras estables y activas.

f) Revestimiento

Además de aplicarse para la reparación de concretos disgregados y desagregados; el revestimiento es utilizado en la reparación de fisuras y es conveniente cuando se tienen varias de ellas.

Para fisuras activas: La presencia o el desarrollo de una fisura significa que ha habido un alargamiento en la superficie del concreto. Un método efectivo consiste en utilizar una membrana de fieltro de dos o tres hojas, recubierta con una gruesa capa de alquitrán, así como entre hojas. Si las fisuras están sometidas a movimientos longitudinales paralelos a su eje, el revestimiento se ondula o se desgarrá, por lo que se recomienda una preparación muy cuidada de estas juntas. Son quizá preferibles las juntas recubiertas.

Para fisuras estabilizadas. En este caso se puede utilizar cualquier tipo de revestimiento, a condición de que resista la circulación a la que, eventualmente, pueda estar sometido, que adhiera bien y que sea bastante espeso. Cada vez se utilizan más las resinas epoxy.

g) Inyección

La inyección de fisuras con lechadas hidráulicas puede hacerse del mismo modo que la inyección de resina. Es parecido a otros métodos de inyección, y consiste en limpiar el concreto a lo largo de la fisura, obturar la fisura entre los orificios de inyección con lechada, enviar agua a presión en la fisura entre los orificios de inyección con lechada, enviar agua a presión en la fisura para limpiarla y comprobar su estanqueidad, y por último inyectar. El producto a inyectar es cemento Pórtland de alta resistencia inicial.

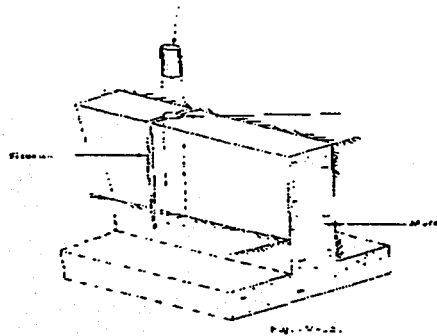


Figura 3.51 Inyección de fisuras con lechadas hidráulicas

h) Cicatrización

El concreto tiene la facultad de reparar sus fisuras por sí mismo. La cicatrización se debe a la carbonatación del óxido e hidróxido de calcio del cemento por el gas carbónico contenido en el agua y aire. De esto el carbonato de calcio y el hidróxido de calcio formando cristales que se acumulan y desarrollan a lo largo de la fisura. Si la fisura es activa, la cicatrización no tiene lugar. La cicatrización es un método que se aplica, en obras situadas en medio húmedo.

3.5.2 Protección externa al concreto.

Otra medida preventiva contra los efectos degradantes de la intemperie es proteger las superficies expuestas de los elementos de concreto reforzado. La aplicación externa de sustancias al formar una barrera, evitan el contacto entre el concreto y los agentes de deterioro presentes en el medio externo (agua y sales disueltas, oxígeno, dióxido de carbono, etc.) o bien inhiben la penetración de estos líquidos y gases al recubrir, para proteger, las superficies expuestas.

Dar protección externa al concreto es una práctica sencilla y económica y puede hacerse mediante el empleo de cuatro diferentes clases de materiales o sustancias de aplicación externa:

1. Morteros o lechadas a base de cemento portland y resinas sintéticas (emulsiones de látex) o impermeabilizante de tipo cementoso.
2. Telas y láminas preformadas de materiales plásticos y elásticos.
3. Pinturas a base de resinas acrílicas o recubrimientos de tipo acrílico - elastomérico o pinturas y recubrimientos epóxicos.
4. Sustancias químicas líquidas que actúan por impregnación superficial del concreto, como las resinas de silicón en medio hidrocarburo o acuoso.
5. Impermeabilizante de tipo asfáltico base solvente o base agua.

3.5.3 Medidas preventivas para proteger el acero de refuerzo.

Mediante aditivos inhibidores de la corrosión.

A lo largo de la exposición de los agentes y factores de deterioro se ha hecho énfasis en la importancia de reducir la permeabilidad del concreto, de un buen curado y del ejercicio de prácticas constructivas correctas. Poner atención en todas estas conduce directamente a brindar una protección más duradera al acero de refuerzo, el otro material constitutivo del concreto reforzado.

Sin embargo, se pueden tomar medidas preventivas para lograr más protección al acero de refuerzo, una de éstas es el empleo de aditivos inhibidores de la corrosión, incorporándolos previamente al concreto.

En el grupo de los aditivos que inhiben la corrosión hay dos clases: los orgánicos y los inorgánicos. Los primeros corresponden a sales inorgánicas, usadas a lo largo de más de tres décadas; y los orgánicos, compuestos de formulación y uso más recientes.

Se pueden mencionar al menos tres tipos de aditivos inorgánicos inhibidores de la corrosión: los anódicos, los catódicos y los mixtos.

La acción de los anódicos se basa en que, por decirlo así, "compiten" con los iones de cloro (Cl-) para reaccionar con los iones férricos (Fe++) que se liberan en el ánodo, bloqueando el efecto dañino de los primeros.

Los catódicos son sustancias alcalinas, que "absorben" electrones por lo cual tienden a desempeñar la función del cátodo, inhibiendo la formación de celdas de corrosión.

Los aditivos mixtos son combinaciones de ambos tipos de sustancias, pero su forma de actuar resulta un tanto ambigua.

Por lo que respecta a los aditivos inorgánicos, el más conocido y empleado es el nitrito de calcio. Su eficacia como inhibidor de la corrosión del acero de refuerzo ha sido comprobada. Sin embargo, su dosificación requiere tener en cuenta el contenido de cloruro en el medio externo.

Por otro lado, dentro de los aditivos de naturaleza orgánica para inhibir la corrosión se dispone de un producto. Este material se ha definido como "un aditivo base-agua, consistente en aminas y esteres". La expectativa que se tiene de éste es que brinde mejores resultados que los obtenidos con el nitrito de calcio.

Los aditivos antes citados se han empleado para inhibir la corrosión del acero de refuerzo, sin embargo el empleo de aditivos para reducir la permeabilidad como la microsíllica, la ceniza volante, las emulsiones de látex y otros, reducen en general la porosidad del concreto y permiten mantener un ambiente alcalino de su interior y conservan, no sólo, la integridad del concreto sino también la integridad del acero de refuerzo. Estos materiales son por tanto aditivos que reducen la corrosión de manera indirecta.

Mediante protección directa al acero de refuerzo.

En las estructuras por construir, una opción para proteger al acero de refuerzo contra la corrosión consiste en dar protección directa a las varillas. Para tal propósito hay dos métodos conceptualmente distintos:

1. Recubrir las varillas con revestimientos anticorrosivos.
2. Implementar la protección catódica.

Este último también es utilizado para la protección de estructuras ya construidas.

Revestimientos anticorrosivos.

Los revestimientos anticorrosivos que suelen aplicarse al acero de refuerzo pueden ser metálicos o no metálicos. Entre los metálicos, el más usual es el de zinc que se aplica a las varillas de acero por el procedimiento electrolítico de galvanoplastia. De los revestimientos no metálicos, el que más se emplea para recubrir las barras es el uso de resinas epoxy, las cuales se aplican por fusión electrostática con el fin de obtener superficies que no resulten demasiado lisas y permitan lograr una adecuada adherencia con el concreto. Ambos tipos de revestimiento se realizan mediante tratamientos industriales que deben ser aplicados en plantas especializadas; de modo que las piezas de acero ya tratadas en planta requieren ser transportadas a las obras para su habilitación y colocación en los elementos estructurales. Debido a lo anterior, es frecuente que el revestimiento sufra algún deterioro durante dichas operaciones.

Los dos tipos de revestimiento proporcionan una buena protección a las varillas contra la corrosión, siempre y cuando no presenten daño previo en su integridad. De no ser así, las zonas de deterioro del revestimiento constituyen puntos especialmente propicios para el comienzo de la corrosión, por ello, deben ser cuidadosamente restaurados en obra antes de la colocación del concreto; con el empleo de materiales, técnicas y personal idóneos, conforme a las recomendaciones que al respecto haga el proveedor del revestimiento.

Asimismo, para prevenir la formación de macro celdas de corrosión por diferencia de potencial entre barras tratadas y no tratadas, es recomendable aplicar el revestimiento anticorrosivo a todo el acero de refuerzo de una misma estructura, no obstante haya partes, de la misma estructura, en donde aparentemente no sea necesario.

Protección catódica.

La protección catódica del acero de refuerzo consiste en formar celdas electrolíticas específicas en la estructura, donde las varillas de refuerzo desempeñen la función de cátodo; el elemento que no sufre corrosión. Para ello es necesario instalar en la estructura electrodos "postizos" que funcionen como ánodo. En estructuras por construir, estos ánodos suelen dejarse colocados en elementos o puntos de la estructura previamente seleccionados, en tanto que en estructuras ya construidas deben colocarse en lugares del edificio cuya accesibilidad lo permita.

Existen dos sistemas básicos de protección catódica. En uno de ellos, que corresponde al procedimiento original, el flujo de electrones entre el ánodo y el cátodo se establece por la diferencia de potencial entre ambos electrodos, como ocurre en la celda galvánica, de modo que el ánodo (denominado galvánico o de sacrificio) se corroen con relativa rapidez y requiere su reposición periódica. En el otro sistema, conocido como de corriente aplicada, se hace circular una corriente directa entre los electrodos, conectándolos a una fuente que suministre esta forma de corriente eléctrica. En este sistema el ánodo suele estar constituido por materiales de gran duración como el hierro colado con alto contenido de silicio y el grafito, e incluso por metales que no se corroen como el titanio y el platino.

La protección catódica ha demostrado ser un procedimiento muy eficaz para inhibir la corrosión del acero de refuerzo, con particular utilidad para detener el avance de la corrosión de estructuras ya construidas. Sin embargo es necesario tomar en cuenta que su implementación (proyecto e instalación, e incluso mantenimiento) debe hacerse en función de las condiciones específicas de cada estructura en particular, por lo que requiere el concurso de profesionales y empresas especializadas en la materia.

3.6. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

El trabajo correctivo por deterioro será tan fácil y económico como tan oportuna sea la detección de la causa y de lo insignificante que sea la zona deteriorada. Asimismo, el trabajo de reparación será más grande y más costoso si la estructura acusa deterioro grave en muchos elementos y resultado de haber ignorado por mucho tiempo la integridad de la edificación.

Por otro lado, el trabajo de dar mantenimiento correctivo a una estructura deteriorada por algún agente o factor, es un trabajo que requiere de un proceso de inspección física del edificio, de una serie de pruebas o ensayos tendientes a determinar el grado de contaminación del concreto y acero de refuerzo y del establecimiento de una metodología general y particular de análisis y solución de problemas de deterioro.

En esta parte se ofrecen generalidades acerca de las etapas de metodología, inspección y pruebas. Para ello, se muestran las siguientes figuras: la figura 3.52 indica una metodología general de análisis y solución, la figura 3.53 las etapas necesarias para la inspección de una estructura de concreto reforzado que muestra deterioro y la tabla 3.10 señala los ensayos más comunes en la evaluación de estructuras con problemas de corrosión del acero de refuerzo. En la siguiente sección se hace la descripción de una técnica de ataque para reparar zonas de concreto con evidencia de corrosión.

Por último, en la sección 3.7. se abordan casos específicos de elementos estructurales de concreto reforzado, en donde se han identificado las causas de deterioro.

Evaluación del estado actual
de la Estructura

↓
Ensayos

↓
Diagnóstico

↓
Estimación

↓
Reparación

↓
Monitoreo

Identifica la causa del daño y
agresividad del medio

↓
Cuantifican la Evolución y
velocidad del del daño Material-
Estructura

↓
Permite definir el nivel del daño
y la urgencia de la
intervención.

↓
Predice el comportamiento
futuro.

↓
Estrategias de reparación:

- Deje la estructura tal y como esta y monitoree
- Parche el área localizadamente
- Reforzamiento estructural
- Métodos especializados de reparación
- Demolición y reconstrucciones

↓
Mantenimiento y monitoreo

Figura 3.52 Metodología general.

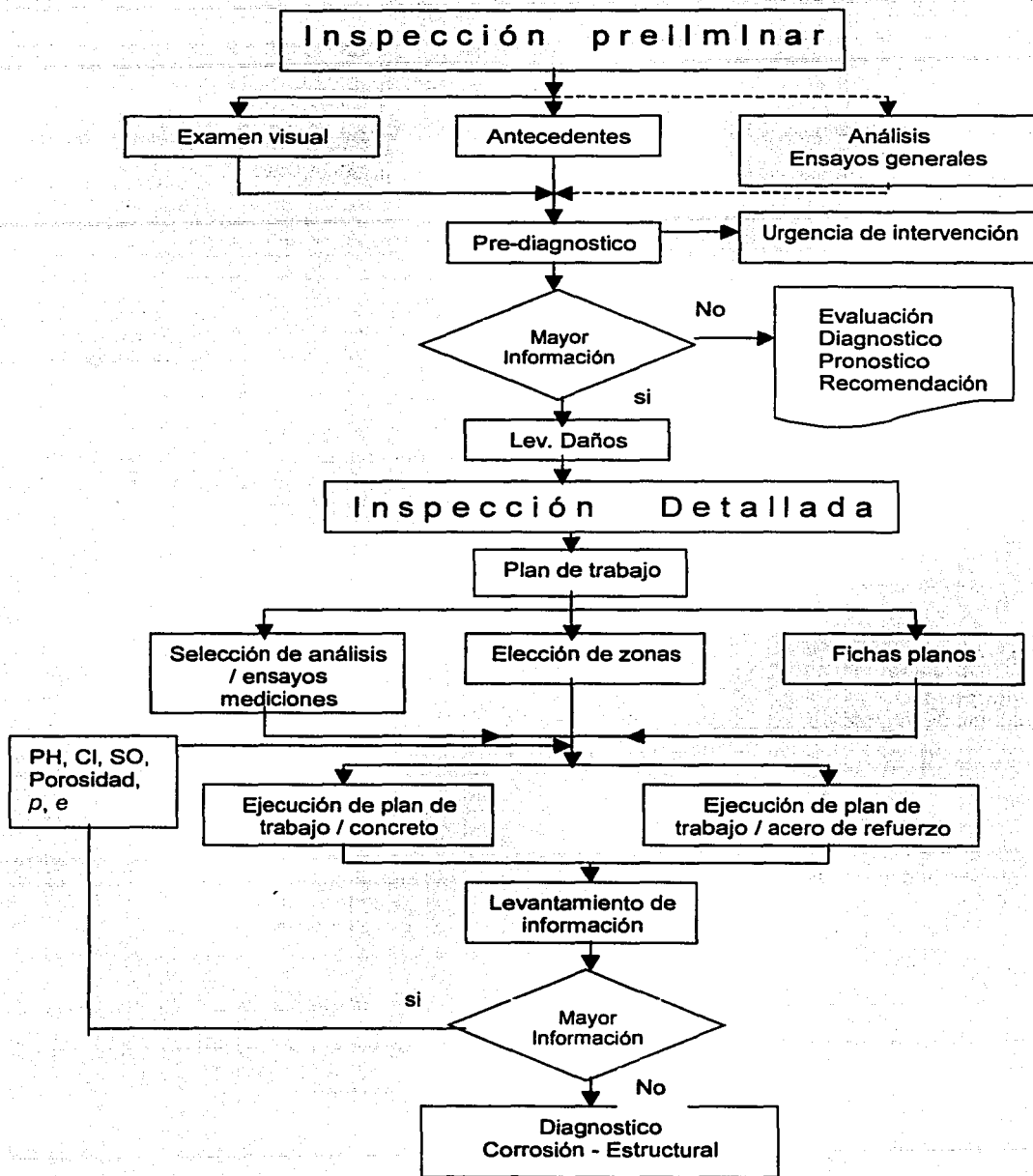


Figura 3.53 Etapas de inspección.

Ensayo	CAPACIDAD DE DETECCION	APLICACION	VENTAJAS	LIMITACIONES
Medición de resistividad	Cualitativa	Problemas por presencia del Cl	Permite preseleccionar áreas con potencialidad corrosiva Medida rápida	Interpretación compleja de los resultados Disponibilidad de equipo de medida Concreto Carbonatado
Medición de potenciales	Cualitativa	Cualquier estructura	Permite pre seleccionar áreas con potencialidad corrosiva	Interpretación compleja de los resultados
Medición de velocidad de corrosión	Cuantitativa	Cualquier estructura	Medida rápida Permite, una vez conocido el tipo de corrosión, evaluar la pérdida de sección del acero de refuerzo	Interpretación Disponibilidad del equipo adecuado que permite compensación del LIR
Medición de resistencia a la compresión y volumen de vacíos	Cuantitativa	Cualquier estructura	En conjunto con volumen de vacíos o relación agua/cemento o contenido de cemento, evalúa la calidad del concreto.	Ensayo destructivo
Definición de profundidad de carbonatación	Cuantitativa	Estructura con calidad del concreto de baja a mala	Prueba sencilla que permite identificar fácilmente este fenómeno y el tiempo para alcanzar el acero de refuerzo.	Ensayo destructivo
	Cuantitativa	Cualquier estructura	Permite determinar la calidad del concreto y el tiempo para que se presente la corrosión del refuerzo.	Ensayo destructivo Interpretación compleja apoyo estadístico

Tabla 3.10 Ensayos para evaluar la corrosión del acero de refuerzo.

3.6.1 Una técnica para el ataque de zonas dañadas por corrosión.

Muchos años de protección contra el deterioro pueden sumarse al concreto reforzado si los constructores simplemente siguen las prácticas estándar para producir y manejar concretos de baja permeabilidad y conocer y dominar prácticas constructivas apropiadas, correctas.

Además, la reparación de zonas deterioradas exige paciencia, conocimiento de los productos a usar y saber la manera de cómo hacer los detalles. A continuación se describe una manera práctica de llevar a cabo detalles de reparación, una técnica

Para reparar una zona dañada por corrosión del acero de refuerzo se debe practicar una caja, con cortes a 90°, que expongan el acero corroído, como se muestra en la figura. Los primeros 2 cm de profundidad sobre el perímetro de la caja se cortan usando disco. El concreto se puede retirar mediante cincel y martillo, un martillo neumático o eléctrico, o chorro de agua a presión (140 a 280 Mpa)

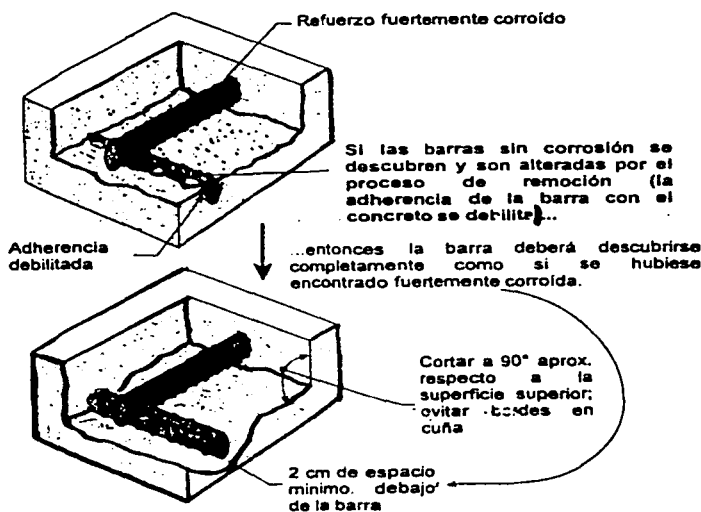


Figura 3.54 Preparación del concreto en una zona afectada por corrosión

Si al descubrir el acero, se observan barras corroídas en contacto con sanas, se deberán descubrir completamente dejando, cuando menos, 2 cm libres debajo de ellas. Lo anterior obedece a que durante los trabajos de demolición del concreto se pudo haber deteriorado la adherencia del refuerzo sano con el concreto circundante. La colocación de concreto nuevo para rellenar la caja, de modo que cubra al acero corroído y al sano, pretende restituir la adherencia.

Posteriormente, se limpian las superficies del acero y del concreto. Las barras de acero se pueden limpiar usando un escarificador de agujas, con agua a alta presión (210 a 700 kg/cm², ó 21 a 70 Mpa), con chorro abrasivo de arena (sandblasteado), o con carda de metal. En cualquier caso, se debe asegurar la limpieza del perímetro completo de la barra; es frecuente que la limpieza sea imperfecta por una incorrecta aplicación de las técnicas de limpieza, ver figura siguiente.

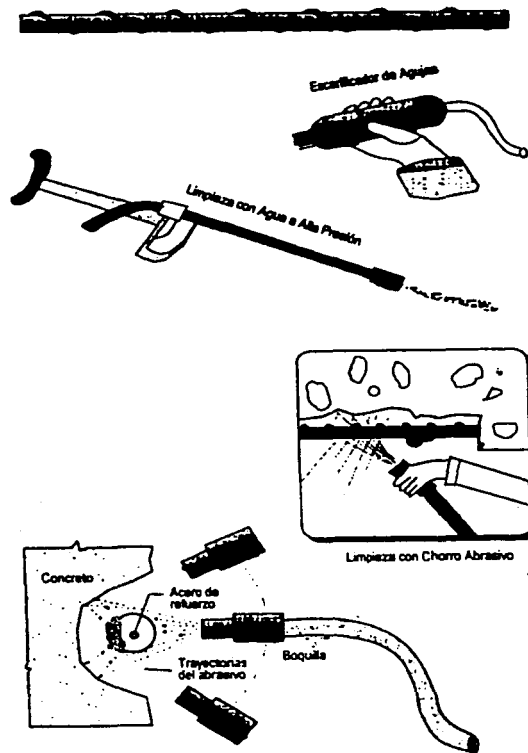


Figura 3.55 Limpieza del acero de refuerzo (modificada de Emmons, 1993)

Se debe prestar atención a limpiar la superficie de concreto de la caja de modo de retirar polvo, pedazos sueltos y cualquier otro material que reduzca la adherencia entre el concreto y el material de reparación. Si las barras han perdido más de un 25% de su sección transversal, será necesario reemplazarlas o bien colocar barras supletorias ancladas adecuadamente.

3.7. CASOS ESPECÍFICOS.

Los siguientes dos casos indican únicamente generalidades de estructuras de concreto con deterioro, no aborda los aspectos de su reparación. Ilustra tan sólo lo grave de ignorar o restarle importancia a los aspectos de la durabilidad durante el diseño y construcción de estructuras y evidencia, también, la falta de la evaluación de las condiciones de exposición y su integración al diseño estructural.

Primer caso:

1.- Características generales de la construcción.

Construcción	: Edificio de cinco niveles
Destino	: Uso habitacional
Arquitectura	: Una fachada de la construcción ubicada hacia la playa
Estructuración	: Estructura a base de marcos de concreto formados por columnas, trabes y losas; cimentación a base de concreto reforzado
Calidad del concreto	: $f'c = 250 \text{ kg / cm}^2$
Calidad del acero	: $Fy = 4200 \text{ kg / cm}^2$
Clima	: Tropical húmedo
Ambiente de exposición	: Marina
Distancia al mar	: A menos de 50 metros de la playa
Temperatura promedio	: Superior a los 30 °C
Humedad relativa	: 60 a 80 %
Medio de contacto	: Suelo rico en sales (Cl y SO_4)
Ataque químico	: Débil a moderado. Elevado contenido de sales producto de la evaporación del agua marina y transportadas por el viento.
Riesgo de corrosión	: Moderado a elevado
Medidas preventivas	: Superficie de concreto recubiertos con pintura vinílica

2.- Descripción del deterioro.

La detección del deterioro se registró a los cinco años a partir de la terminación de la construcción, haciéndose la evaluación del deterioro a los diez años.

La ubicación de deterioro se localizó principalmente en columnas y balcones orientados hacia la playa. En los elementos interiores de concreto se apreció degradación.

El deterioro se caracterizó por agrietamiento y desprendimiento superficial del concreto y corrosión generalizada del acero de refuerzo; en algunas zonas de las columnas, se apreció una total desintegración de los estribos.

La mayoría de los desprendimientos se presentaron en la cara inferior de balcones y el acero de refuerzo presenta corrosión general en la superficie, estimándose una pérdida de sección de un 100 % respecto a la original.

La ubicación de las fisuras, en el concreto, fue superficial y en la misma posición que el acero de refuerzo longitudinal y transversal; mostrando continuidad. La profundidad de las grietas fue del orden de la mitad del diámetro del acero de refuerzo. El ancho de las fisuras fue del orden de los 5 mm, y no se observó relleno alguno en ninguna de ellas, como una medida preventiva o correctiva.

3.- Resultados de análisis del concreto de los elementos deteriorados.

En el concreto se detectó segregación, sangrado, formaciones de tipo panel de abeja, elevado contenido de aire (más del 10 %), alta permeabilidad, elevado coeficiente de difusión de cloruros, diferencias importantes en la calidad del concreto, aún en un mismo elemento estructural, inadecuada elección del tamaño máximo del agregado grueso y resistencia máxima a la compresión de 400 kg / cm².

Además, recubrimiento variable y escaso, sobretodo en los elementos más deteriorados, que corresponden a las condiciones más desfavorables. Detección de un contenido de cloruros de 3 kg / m³ de concreto y en zonas del acero de refuerzo de 9 kg / m³; contenidos muy por encima del límite para la ocurrencia de la corrosión, que es de 0.8 kg / m³.

4.- Consecuencias.

El deterioro de la estructura de concreto tuvo necesidad de una reparación mayor, tan solo a 10 años de su terminación, para asegurar un adecuado funcionamiento y restablecer su seguridad estructural.

Segundo caso.

1. Características generales de la construcción.

Construcción	: Puente carretero de más de 3 km. De longitud.
Estructuración	: Estructura de concreto pretensado y cimentación a base de pilas de concreto reforzado, permanentemente sumergidas en agua de mar, con elementos de cimentación ubicados en la zona de oscilación del nivel del mar (splash) y otros más por encima del nivel del mar.
Calidad del concreto	: $f'c = 300 \text{ kg / cm}^2$
Calidad del acero	: $Fy = 9000 \text{ y } 4200 \text{ kg / cm}^2$
Clima	: Tropical húmedo
Ambiente de exposición	: Marina
Temperatura promedio	: Superior a los 30°C
Humedad relativa	: 60 a 80 %
Medio de contacto	: Suelo rico en sales (Cl y SO ₄)
Ataque químico	: Moderado a fuerte. Elevado contenido de sales producto de la evaporación del agua marina y transportadas por el viento.
Riesgo de corrosión	: Elevado e intenso
Deterioro	: Acelerado, con una reparación mayor en sus primeros cinco años de servicio.
Medidas correctivas	: Superficie de las pilas de concreto recubiertas con mortero y un encamisado a base de fibra de vidrio. En varias secciones del puente se ha incrementado el número de pilas para asegurar su funcionamiento estructural.

2. Descripción del deterioro.

La construcción muestra deterioro acelerado en una parte de ella; en un grupo de pilas que fueron realizadas por un constructor diferente al que erigió el resto del puente.

La identificación y el registro de daños se tomaron del segundo año de construcción; la evaluación de daños se hizo a los 10 años de operación. La ubicación del deterioro se dio principalmente en las pilas de cimentación, en la zona de splash y en la sección de pila ubicada por encima del nivel del mar.

El deterioro se caracteriza por fracturamiento, expansión de los elementos, desprendimiento superficial de concreto y corrosión generalizada del acero de refuerzo, con una fuerte pérdida de su sección transversal.

La ubicación de las fisuras esta claramente asociada a la posición del refuerzo de acero. Las fisuras presentan continuidad, longitudinal igual al acero de refuerzo y ancho de hasta 10 mm y sin rastros de rellenos.

La mayoría de los desprendimientos se dan en la zona de mareas, en donde algunos de los desprendimientos han llegado a una profundidad de hasta varios centímetros de la parte trasera del acero de refuerzo. En una cantidad importante de pilas, la protección del acero de refuerzo ha desaparecido o no funciona adecuadamente.

El acero presenta productos de corrosión en toda la superficie expuesta y se estima que ha disminuido en promedio menos de 15 % de su sección original.

En las zonas reparadas se observan daños en la franja de splash con pérdida de la camisa de fibra, el mortero y en el concreto. Muchas de las pilas presentan abolsamiento y han deformado o roto la camisa de fibra de vidrio.

3. Resultados de análisis del concreto de los elementos deteriorados.

En el concreto, en forma superficial sólo se observan algunos defectos tales como oquedades y segregación del agregado. El recubrimiento del acero de refuerzo es sumamente escaso para una condición de servicio tan severa; en algunos puntos se registro recubrimientos menores a 25 mm.

4. Consecuencias.

Necesidad de una reparación mayor a cinco años de construido el puente, para asegurar el adecuado funcionamiento y seguridad de la estructura. El costo del proyecto, incrementado en un porcentaje importante, derivado de los altos costos de mantenimiento y reparación. La efectividad de la reparación puede ser severamente cuestionada, ya que a cinco años de su ejecución el daño no solo no se ha detenido, sino que ha continuado y deteriorado, incluso a la misma reparación.

Tercer caso

Ataque químico por sulfatos en una cimentación a base de zapata corrida con contratrabe.

Descripción de los daños.

En la figura 3.56 se aprecia las zapatas de cimentación de un edificio que ha sufrido el ataque por sulfatos. Dichas cimentaciones estaban enterradas en un suelo que posee un elevado contenido en sulfatos y agua proveniente de las fugas de la red de drenaje.



Figura 3.56 Zapatas de cimentación de un edificio que ha sufrido el ataque por sulfatos

El ataque de los sulfatos sobre el concreto se caracteriza por la reacción química del ion sulfato, como sustancia agresiva, con el componente aluminato tricálcico del cemento portland endurecido o de otros cementos que contengan clinker de portland. Se origina así el sulfoaluminato tricálcico hidratado, conocido como "sal de Candlot" y denominado científicamente como "estringita", que es expansiva.

En el caso de estas zapatas la alteración del concreto se produjo en un espesor de 8 cm en toda la superficie de las mismas, provocando además la corrosión del acero de refuerzo hasta causar su desaparición en algunas zonas.

Mantenimiento correctivo

La reparación de las zapatas se ejecutó de la siguiente manera:

- a) Se efectuó el vaciado de toda la cámara con la profundidad suficiente para dejar libres a las contratraves del contacto con el terreno.
- b) Limpieza con chorro de arena de la superficie de las vigas, eliminando el concreto deteriorado. También para eliminar los restos de óxido del acero de refuerzo y del concreto.
- c. Colocación del nuevo acero de refuerzo suplementario a modo de encamisado.
- d) Impregnación de una película de resina epoxy en toda la superficie de las contratraves y del acero de refuerzo existente
- e) Aumento de la sección de las vigas con concreto de cemento portland con inhibidores de retracción
- f) La tubería de drenaje interior fue suprimida por otra de plástico.

Capitulo 4

Análisis de los factores que provocan el deterioro en elementos estructurales de acero y su mantenimiento.

4. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE PROVOCAN EL DETERIORO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ACERO Y SU MANTENIMIENTO.

4.1 EL ACERO.

4.1.1 Descripción

El acero se define como una combinación de hierro y pequeñas cantidades de carbono, generalmente menos del 1%. También contiene pequeños porcentajes de algunos otros elementos. Aunque se ha fabricado acero desde hace 2000 o 3000 años, no existió un método de producción económico sino hasta la mitad del siglo XIX.

El primer acero seguramente se obtuvo cuando los otros elementos necesarios para producirlo se encontraron presentes por accidente cuando se calentaba el hierro. Con el paso de los años, el acero se fabricó muy probablemente calentando hierro en contacto con el carbón vegetal. La superficie del hierro absorbió algo de carbono del carbón vegetal que luego se martillo en el hierro caliente. Al repetir este proceso varias veces, se obtuvo una capa exterior endurecida de acero. De esta manera se produjeron las famosas espadas de Toledo y Damasco.

Al primer proceso para producir acero en grandes cantidades se le dio el nombre de Sir Henry Bessemer de Inglaterra. Recibió una patente inglesa para su proceso en 1855, pero sus esfuerzos para conseguir una patente en los Estados Unidos no tuvieron éxito, ya que se probó que William Kelly de Eddyville, Kentucky, había producido acero mediante el mismo proceso siete años antes de que Bessemer solicitara su patente inglesa. Kelly recibió la patente, pero se usó el nombre de Bessemer para el proceso.

Kelly y Bessemer se percataron de que un chorro de aire a través del hierro fundido quemaba la mayor parte de las impurezas en el metal. Desgraciadamente, el chorro de aire eliminaba algunos elementos provechosos como el carbono y el manganeso. Después se aprendió que esos elementos podían restituirse añadiendo hierro especular, que es una aleación de hierro, carbono y manganeso; se aprendió además que, con la adición de piedra caliza en el convertidor, podía removerse el fósforo y la mayor parte del azufre.

El convertidor Bessemer se usó en los Estados Unidos hasta principios de este siglo, pero desde entonces se ha reemplazado con mejores métodos como el proceso de hogar abierto y el del oxígeno básico.

Gracias al proceso Bessemer, en 1870 ya se podía producir en grandes cantidades acero estructural al carbono y por 1890 el acero el principal metal estructural usado en los Estados Unidos.

El primer uso del metal para una estructura tuvo lugar en Shropshire, Inglaterra (200 Km. al noreste de Londres) en 1779; ahí fue construido con hierro fundido el puente Coalbrookdale en arco de 100 pies de claro sobre el río Sever. Se dice que este puente (aún en pie) fue un punto crítico en la historia de la Ingeniería por que cambió el curso de la Revolución Industrial al introducir el hierro como material estructural. Supuestamente este hierro era cuatro veces más fuerte que la piedra y treinta veces más fuerte que la madera.

Muchos otros puentes de hierro fundido se construyeron en las décadas siguientes; pero después de 1840 el hierro dulce más maleable empezó a reemplazar al hierro fundido. El desarrollo del proceso Bessemer y avances subsecuentes, como el proceso de hogar abierto, permitió la fabricación de acero a precios competitivos, lo que estimuló el increíble desarrollo que ha tenido lugar en los últimos 100 años del acero estructural.

Según la primera teoría clásica sobre la primera producción de hierro en el mundo, hubo una vez un gran incendio forestal en el Monte Ida en la antigua Troya (la actual Turquía) cerca del mar Egeo. El terreno supuestamente era muy rico en depósitos ferrosos y el calor del fuego produjo una forma primitiva de hierro a la que se le pudieron dar diversas formas, al golpearla.

Muchos historiadores creen, sin embargo que el hombre aprendió a usar primero el hierro que cayó a la tierra en forma de meteoritos. Con frecuencia el hierro de los meteoritos está combinado con níquel, resultando entonces un metal más duro. Posiblemente los primeros pobladores del planeta forjaron este material para convertirlo en armas y herramientas primitivas.

La posibilidad de ser atacado por la corrosión hace que el acero requiera protección y cierto mantenimiento en condiciones ambientales. El costo y los problemas que se originan por este aspecto son suficientemente importantes para que inclinen la balanza hacia el uso de concreto reforzado en algunas estructuras que deben quedar expuestas a la intemperie, como puentes y ciertas obras marítimas, aunque en acero podría lograrse una estructura más ligera y de menor costo inicial.

Estructura del acero. Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: ferrita, perlita y cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita, un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una profunda mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, y sus propiedades físicas son intermedias entre las de sus dos componentes. La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por completo compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayores, es una mezcla de perlita y cementita. Al elevarse la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en una forma alotrópica de aleación de hierro y carbono conocida como austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal. Si el acero se enfría despacio, la austenita vuelve a convertirse en ferrita y perlita, pero si el enfriamiento es repentino la austenita se convierte en martensita, una modificación alotrópica de gran dureza similar a la ferrita pero con carbono en solución sólida.

4.1.2 Propiedades.

El acero es uno de los materiales estructurales más importantes. Entre sus propiedades de particular importancia en los usos estructurales están, la alta resistencia, comparada con cualquier otro material disponible. La supuesta perfección de este metal, tal vez el más versátil de todos los materiales estructurales, parece más razonable cuando se considera su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades convenientes como lo son:

Alta resistencia.

La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con malas condiciones en la cimentación. El proceso básico para endurecer el acero mediante tratamiento térmico consiste en calentar el metal hasta una temperatura a la que se forma austenita, generalmente entre los 750 y 850 °C, y después enfriarlo con rapidez sumergiéndolo en agua o aceite. Estos tratamientos de endurecimiento, que forman martensita, crean grandes tensiones internas en el metal, que se eliminan mediante el temple o el recocido, que consiste en volver a calentar el acero hasta una temperatura menor. El temple reduce la dureza y resistencia y aumenta la ductilidad y la tenacidad. El objetivo fundamental del proceso de tratamiento térmico es controlar la cantidad, tamaño, forma y

distribución de las partículas de cementita contenidas en la ferrita, que a su vez determinan las propiedades físicas del acero.

De los materiales comúnmente usados para fines estructurales, el acero es el que tiene mejores propiedades de resistencia, rigidez y ductilidad. Su eficiencia estructural es además alta debido a que puede fabricarse en secciones con la forma más adecuada para resistir la flexión, compresión u otro tipo de sollicitación. Las resistencias en compresión y tensión son prácticamente idénticas y pueden hacerse variar dentro de un intervalo bastante amplio modificando la composición química o mediante trabajo en frío. Hay que tomar en cuenta que a medida que se incrementa la resistencia del acero se reduce su ductilidad y que al aumentar la resistencia no varía el módulo de elasticidad, por lo que se vuelven más críticos los problemas de pandeo local de las secciones y global de los elementos. Por ello, en las estructuras normales la resistencia de los aceros no excede de 2500 kg/cm^2 , mientras que para refuerzo de concreto, donde no existen problemas de pandeo, se emplean con frecuencia aceros de 6000 kg/cm^2 y para preesfuerzo hasta de 20000 kg/cm^2 . La continuidad entre los distintos componentes de la estructura no es tan fácil de lograr como en el concreto reforzado, y el diseño de las juntas, soldadas o atornilladas en la actualidad, requiere de especial cuidado para que sean capaces de transmitir las sollicitaciones que implica su funcionamiento estructural.

Por ser un material de producción industrializada y controlada, las propiedades estructurales del acero tienen generalmente poca variabilidad. Coeficientes de variación del orden de 10 por ciento son típicos para la resistencia y las otras propiedades. Otra ventaja del acero es que su comportamiento es perfectamente lineal y elástico hasta la fluencia, lo que hace más fácilmente predecible la respuesta de las estructuras de este material. La alta ductilidad del material permite redistribuir concentraciones de esfuerzos. Las extraordinarias cualidades estructurales del acero, y especialmente su alta resistencia en tensión, han sido aprovechadas estructuralmente en una gran variedad de elementos y materiales compuestos, primero entre ellos el concreto reforzado y el presforzado; además en combinación con madera, plásticos, mampostería y otros.

Uniformidad.

Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

Elasticidad.

El acero se acerca más en su comportamiento a al hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastantes altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse exactamente, en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzado son relativamente imprecisos.

Ductilidad.

La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura (fig. 4.1). Un material que no tenga ésta propiedad probablemente será duro y frágil y se romperá. Al someterlo a un golpe repentino (fig. 4.2).

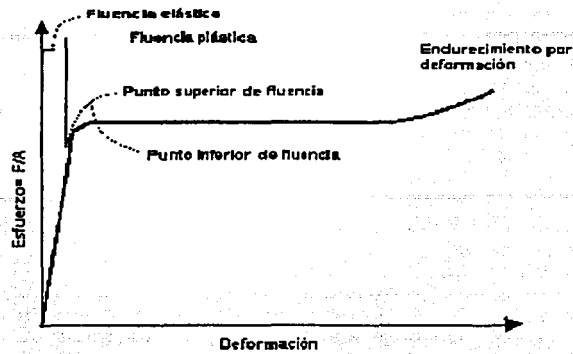


Fig. 4.1 Diagrama esfuerzo-deformación característico de un acero estructural con bajo contenido de carbono.

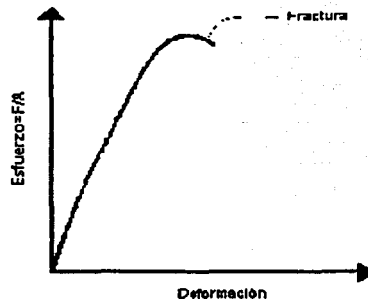


Fig. 4.2 Diagrama esfuerzo-deformación característico de un acero frágil.

En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.

Tenacidad.

Hay también otros métodos de tratamiento térmico para endurecer el acero. En la cementación, las superficies de las piezas de acero terminadas se endurecen al calentarlas con compuestos de carbono o nitrógeno. Estos compuestos reaccionan con el acero y aumentan su contenido de carbono o forman nitruros en su capa superficial. En la carburización la pieza se calienta cuando se mantiene rodeada de carbón vegetal, coque o de gases de carbono como metano o monóxido de carbono. La cianurización consiste en endurecer el metal en un baño de sales de cianuro fundidas para formar carburos y nitruros. La nitrurización se emplea para endurecer aceros de composición especial mediante su calentamiento en amoníaco gaseoso para formar nitruros de aleación.

Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posibles doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

4.1.3 Tipos de acero.

Los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales:

Aceros al carbono:

Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, bastidores metálicos y horquillas o pasadores para el pelo.

* En función del % de carbono se dividen en:

Hipoeutectoides
C > 0,89%

Eutectoides
C = 0,89%

Hipereutectoides
C < 0,89%

Aceros aleados.

Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros se emplean, por ejemplo, para fabricar engranajes y ejes de motores, patines o cuchillos de corte.

Aceros de baja aleación ultra resistentes.

Esta familia es la más reciente de las cinco grandes clases de acero. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono. Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono. Además, como los

vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.

Aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías y tanques de refineries de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones o para cápsulas espaciales. También se usa para fabricar instrumentos y equipos quirúrgicos, o para fijar o sustituir huesos rotos, ya que resiste a la acción de los fluidos corporales. En cocinas y zonas de preparación de alimentos los utensilios son a menudo de acero inoxidable, ya que no oscurece los alimentos y pueden limpiarse con facilidad.

Aceros de herramientas.

Estos aceros se utilizan para fabricar muchos tipos de herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas empleadas en diversas operaciones de fabricación. Contienen volframio, molibdeno y otros elementos de aleación, que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.

Tipos de aceros y su resistencia

La tabla 4.1, muestra los tipos de acero de acuerdo a ciertas normas, y esfuerzos de fluencia.

TIPO DE ACERO	NORMA NOM	NORMA ASTM	FY (KG/CM ²)
Al carbono	B-234	A-36	2,530
	B-99	A529	2,950
Alta resistencia-baja aleación	B-284	A-441	2,810
			2,950
			3,235
			3,515
Resistencia a la corrosión-alta resistencia-baja aleación	B-282	A-242	2,950
			3,235
			3,515

TABLA 4.1 los tipos de acero de acuerdo a ciertas normas, y esfuerzos de fluencia

El acero más utilizado en México es el B-284 ya que es el único con el que se fabrican todos los tipos de perfiles, placas y barras. Cualquier otro tipo de acero tiene que ser bajo pedido especial, y se tiene que utilizar una cantidad importante de éste, debido al tamaño de los hornos en los que es fundido el acero, lo cual elevaría mucho su costo.

Debido a las características de alta resistencia, el acero se utiliza como estructura en edificaciones con condiciones severas de carga y forma, grandes alturas, grandes claros. Pocos puntos de apoyo, voladizos y dificultades de ejecución.

Las estructuras de acero presentan las siguientes características, tabla 4.2:

Ventajas	Desventajas
Alta resistencia	Frágiles
Alta rigidez	Juntas
Alta ductilidad	Corrosión
Relación: Forma Resistencia	Poca resistencia al fuego
Muy bajo coeficiente de variabilidad de su resistencia	Alto costo inicial
	Mano de obra especializada
	Mantenimiento continuo

TABLA 4.2 Ventajas y desventajas de las estructuras de acero

- a) Grandes alturas
- b) Grandes claros
- c) Máximo aprovechamiento del área
- d) Reducido peso de la estructura en relación con su capacidad de carga
- e) Tiempo reducido de ejecución al utilizar elementos prefabricados
- f) Facilidad de montaje
- g) Posibilidad de demostrar la estructura

4.1.4 Materiales.

Producción de arrabio

Alto horno. Los materiales básicos empleados para fabricar arrabio son mineral de hierro, coque y caliza. El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del mineral y los reduce a hierro metálico.

Un alto horno típico está formado por una cápsula cilíndrica de acero forrada con un material no metálico y resistente al calor, como asbesto o ladrillos refractarios. El diámetro de la cápsula disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total. La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por donde se fuerza el paso del aire. Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (o vacía) el alto horno. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria. La parte superior del horno, cuya altura es de unos 30 m, contiene respiraderos para los gases de escape, y un par de tolvas redondas, cerradas por válvulas en forma de campana, por las que se introduce la carga en el horno. Los materiales se llevan hasta las tolvas en pequeñas vagonetas o cucharas que se suben por un elevador inclinado situado en el exterior del horno.

Procesos de acabado:

Laminado en caliente y colada continua

Lingote al rojo vivo

El acero se vende en una gran variedad de formas y tamaños, como varillas, tubos, raíles (rieles) de ferrocarril o perfiles en H o en T. Estas formas se obtienen en las instalaciones siderúrgicas laminando los lingotes calientes o modelándolos de algún otro modo. El acabado del acero mejora también su calidad al refinar su estructura cristalina y aumentar su resistencia.

El método principal de trabajar el acero se conoce como laminado en caliente. En este proceso, el lingote colado se calienta al rojo vivo en un horno denominado foso de termodifusión y a continuación se hace pasar entre una serie de rodillos metálicos colocados en pares que lo aplastan hasta darle la forma y tamaño deseados. La distancia entre los rodillos va disminuyendo a medida que se reduce el espesor del acero.

El primer par de rodillos por el que pasa el lingote se conoce como tren de desbaste o de eliminación de asperezas. Después del tren de desbaste, el acero pasa a trenes de laminado en bruto y a los trenes de acabado que lo reducen a láminas con la sección transversal correcta. Los rodillos para producir raíles o rieles de ferrocarril o perfiles en H, en T o en L tienen estrías para proporcionar la forma adecuada.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LAS ESTRUCTURAS DE ACERO.

4.2.1 Miembros estructurales y conexiones.

Una estructura reticular convencional está compuesta de miembros unidos entre sí por medio de conexiones. Un miembro puede ser un perfil laminado estándar o bien estar formado por varios perfiles unidos por soldadura, remaches o tornillos. De esta manera se clasifican los miembros estructurales en perfiles laminados y miembros armados (fig. 4.3, tabla 4.3). En México entre los elementos laminados se fabrican ángulos de lados iguales (LI), ángulo de lados desiguales (LD), perfil C estándar (CE), perfil I estándar (IE), perfil I rectangular (IR), perfil T rectangular (TR), redondo sólido liso (OS), tubo circular (OC), tubo cuadrado o rectangular (OR), perfil C formado en frío (CF), perfil Z formado en frío (ZF).

Los miembros pueden transmitir cuatro tipos fundamentales de cargas y se les clasifica de acuerdo con ellas, a) tensores, los cuales transmiten cargas de tensión, b) columnas, que transmiten cargas de compresión, c) trabes o vigas, que transmiten cargas transversales, y d) ejes o flechas, que transmiten cargas de torsión.

En la práctica, es raro que un miembro transmita cargas de un solo tipo; aun en caso de que un miembro horizontal o diagonal sometido a tensión y conectado por medio de pasadores, éste se ve sujeto a una pequeña flexión, debido a su propio peso. Por consiguiente, la mayoría de los miembros transmiten una combinación de flexión, torsión, y tensión o compresión axial. En puentes y edificios es muy raro que se diseñe un miembro principalmente por torsión, pero con bastante frecuencia los miembros diseñados para otros tipos de cargas están también sujetos a torsión.

Frecuentemente, cuando los miembros están sometidos a la acción de cargas combinadas, una de ellas es más importante y gobierna el diseño; por tanto, los elementos estructurales pueden clasificarse y estudiarse de acuerdo con sus cargas predominantes.

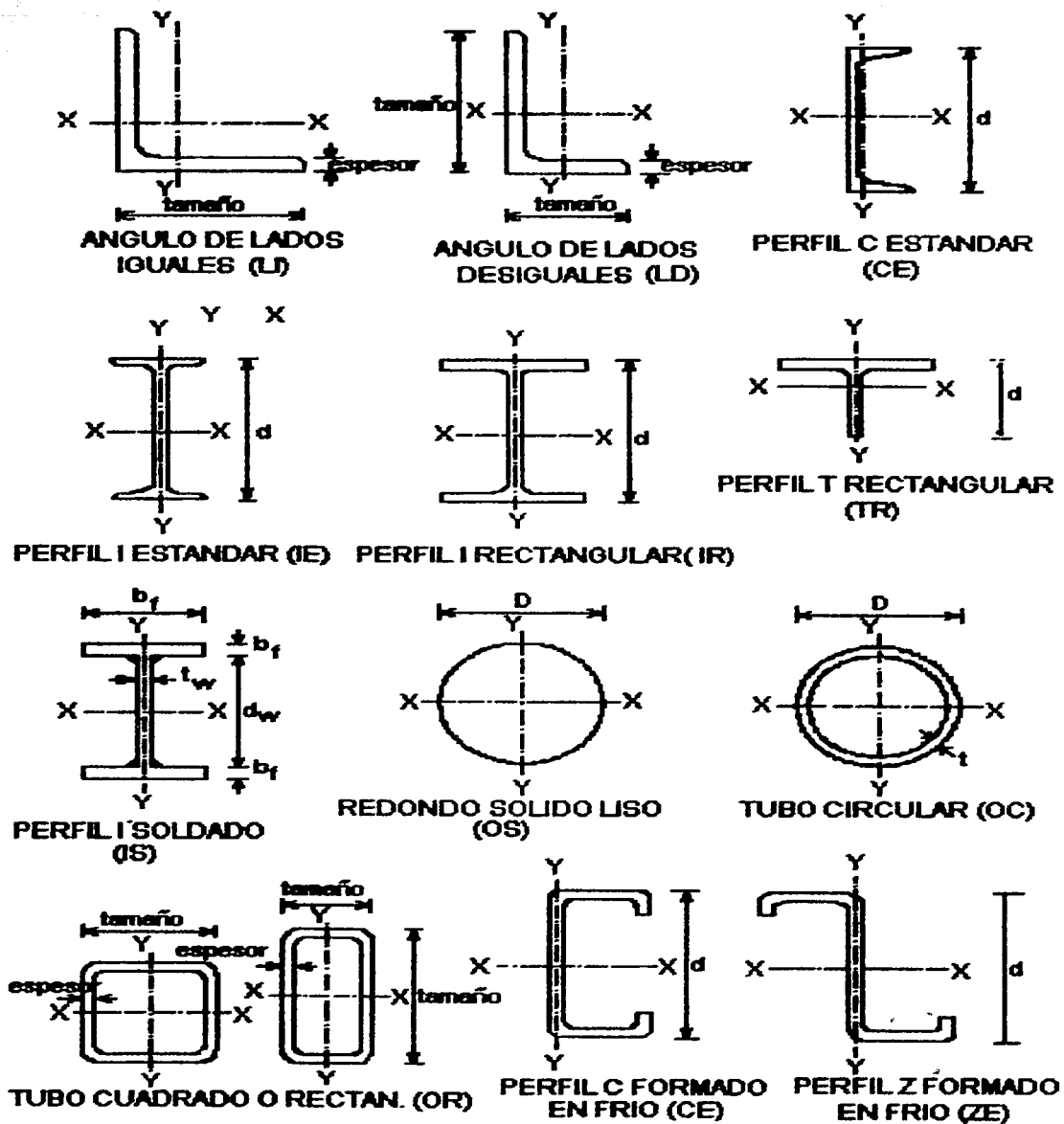


Figura. 4.3 perfiles más comunes

Nombre	Designación	Unidades
Ángulos de lados iguales	LI tamaño y espesor	mmxmm
Ángulos de lados desiguales	LD tamaño y espesor	mmxmmxmm
Perfil C estándar	CE d x Peso	mmxkg/m
Perfil I estándar	IE d x Peso	mmxkg/m
Perfil I rectangular	IR d x Peso	mmxkg/m
Perfil T rectangular	TR d x Peso	mmxkg/m
Perfil I soldado	IS $b_x t_x / d_w x t_w$	mmxmm/mmixmap
Redondo sólido liso	OS D	mm
Tubo circular	OC D x t	mmxmm
Tubo cuadrado o rectangular	OR tamaños y espesor	mmxmmxmm
Perfil C formado en frío	CF d x cal.	mmxcal.
Perfil Z formado en frío	ZF x cal.	mmxcal.

TABLA 4.3, tipos y designación de perfiles.

4.2.2 Tipos de cargas.

Cargas a las que están sometidos los diferentes elementos estructurales:

Tensión.

Es importante recordar que en el procedimiento para calcular un elemento estructural según las Normas técnicas complementarias (NTC), lo que interesa es que el elemento estructural soporte las cargas y/o acciones a que está sometido; por tanto, primero se tienen que determinar dichas acciones para posteriormente se proponga una sección determinada y por último se revise si resiste dichas acciones, por lo cual el procedimiento para calcular la resistencia de elementos ya existentes y elementos nuevos es el mismo.

Un miembro simple en tensión, es un miembro recto sujeto en sus extremos a dos fuerzas que tratan de estirarlo. Es un miembro eficiente y económico, porque utiliza toda el área del material de manera efectiva, trabajando al esfuerzo uniforme máximo permitido por el diseñador; por lo común es fácil de fabricar, de embarcar y de montar en una estructura. Existe un interés que aumenta cada vez más, por el uso de miembros en tensión en el diseño de edificios, tales como colgantes para pisos y cables para techos. Pueden desarrollarse así muchas formas para techos, las cuales cubren grandes áreas sin soportes intermedios y presentan a la vez líneas estéticas de agradable apariencia.

En general, existen cuatro grupos de miembros en tensión:

- a. alambres y cables,
- b. varillas y barras,
- c. perfiles estructurales y placas simples, y
- d. miembros armados.

a. Alambres y cables.

Los cables de alambre con núcleo de fibra se utilizan casi exclusivamente para propósitos de izaje, como puede ser el izar pilotes; los cables de alambre con núcleos de torones o núcleos independientes de cable de alambre, se utilizan para líneas de sustentación o cables de izaje.

Las prácticas de manufactura para estos cables varían, dependiendo del uso que se piensa darles. Los cables de alambre se emplean para malacates, grúas, contravientos y cables de suspensión de puentes. Los cables principales de los puentes colgantes se hacen de alambres paralelos, sin torcer, colocados en la obra por medio de dispositivos especiales; en ocasiones se usan torones para puentes pequeños. Las ventajas del cable de alambre y de los torones son su flexibilidad y resistencia. Se requieren accesorios especiales para las conexiones de sus extremos.

Aunque los cables de alambre se usan ocasionalmente para miembros de contraventeo, su aplicación es limitada, debido a su incapacidad para soportar fuerzas de compresión, a la necesidad de accesorios especiales de conexión y a su alargamiento excesivo cuando se utiliza toda su resistencia. En algunas estructuras especiales, tales como torres de acero atirantadas con cables, pueden diseñarse los alambres y los cables con una tensión inicial considerable, de modo que la estructura tenga un presforzado que aumente su efectividad para resistir las cargas exteriores; los cables presforzados pueden soportar compresiones resultantes de las cargas exteriores, siempre que no excedan la tensión inicial.

b. Varillas y barras.

A menudo se hacen miembros pequeños a tensión con varillas laminadas en caliente, de sección cuadrada o redonda, o bien con barras planas. La resistencia a la tensión de estos miembros depende del tipo y grado de acero; el acero estructural al carbono es el material más comúnmente usado para ellos. Debido a su esbeltez, su resistencia a la compresión es despreciable.

Las varillas y las barras se emplean como miembros a tensión en sistemas de contraventeo, tales como contraventeos diagonales o contraflambeos, o bien como miembros principales en estructuras muy ligeras, como torres de radio. Cuando se usan barras, es recomendable colocarlas con su dimensión mayor en el plano vertical, con objeto de reducir su flecha por peso propio. Las conexiones soldadas en los extremos de las varillas o barras son relativamente sencillas, ya que no se requiere ninguna fabricación especial. También pueden roscarse y atornillarse los extremos de las varillas, usando diferentes detalles de conexión. El roscado en los extremos reduce el área neta de la varilla y, por lo tanto, su resistencia, pero no afecta apreciablemente la rigidez del miembro; cuando se escoge el tamaño de las varillas por su rigidez más que por su resistencia, la pérdida de área en la sección de la rosca por lo general carece de importancia. Si se desea conservar la resistencia de la sección principal, pueden engrosarse los extremos y roscarlos después; este tipo de varillas son costosas, debido al trabajo adicional que se requiere para forjar los extremos y pueden no ser económicas, excepto en el caso en que se ordenen cantidades importantes. Las varillas pueden conectarse también por medio de horquillas de ojo, o bien pueden forjarse haciéndoles un ojal en el extremo. Las barras planas pueden soldarse, remacharse, o atornillarse a las partes adyacentes, o bien pueden forjarse con un ojal o con una barra de ojo en el extremo y conectarse así a un pasador.

La principal desventaja de las varillas y de las barras es su falta de rigidez, lo cual tiene como resultado flechas apreciables debidas a su peso propio, especialmente durante el montaje; además es casi imposible el fabricarlas de manera que ajusten perfectamente en la estructura. Si son demasiado largas, se doblarán al forzarlas a su posición; si son demasiado cortas, tendrán que jalarse para colocarlas, y pueden producir esfuerzos iniciales no deseables en la estructura y en ellas mismas. Por esta razón, se requieren a menudo templadores o tuercas ajustables para absorber las variaciones en la longitud de las varillas.

c. Perfiles estructurales simples.

Cuando se requiere una cierta rigidez, o cuando las inversiones de carga pueden someter al miembro diseñado para tensión a ciertas compresiones, los cables varillas y barras no cumplirán con las necesidades del caso; en tal situación deben emplearse perfiles estructurales sencillos o armados. El perfil laminado más sencillo y que se usa más a menudo como miembro a tensión es el ángulo; una objeción seria al uso de un sólo ángulo es la presencia de excentricidades en la conexión.

Los ángulos tienen una rigidez considerablemente mayor que los cables, las varillas o las barras planas, pero pueden ser todavía muy flexibles si los miembros son de gran longitud; por lo tanto, los ángulos sencillos se usan principalmente para contraventeos, miembros a tensión en armaduras ligeras, y en casos donde la longitud de los miembros no es excesiva.

Algunas veces las canales sencillas pueden también emplearse efectivamente como miembros en tensión. Para la misma área de la sección transversal que suministre un ángulo, la canal tiene menos excentricidad y puede remacharse, atornillarse o soldarse cómodamente. La rigidez de una canal en la dirección del alma es alta, pero es baja en la dirección de los patines, por lo que no puede utilizarse para miembros largos, a menos que se le provea de arrostros intermedios en la dirección débil.

Ocasionalmente se usan las secciones I estándar (IE) e I rectangular (IR) como miembros a tensión. Aunque para una misma área las secciones IR son más rígidas que las secciones IE, tienen a menudo inconvenientes para conectarse, ya que cada variante del tamaño nominal tiene un peralte distinto; los perfiles IE tienen varias secciones para un mismo peralte, por lo que pueden ajustarse mejor a una cierta estructura, pero no existe una variedad suficiente de secciones para realizar una elección económica. Usualmente las secciones laminadas simples son más económicas que las secciones armadas y deben usarse, siempre y cuando pueda obtenerse la rigidez y la resistencia adecuadas, así como las conexiones convenientes.

d. Miembros armados.

Los miembros armados se obtienen conectando entre sí dos o más placas o perfiles, de modo que actúen como un miembro único. Estos miembros pueden ser necesarios debido a requisitos de área, la que en ocasiones no puede suministrarse con un perfil laminado sencillo, o bien por requisitos de rigidez, ya que para una misma área puede obtenerse un momento de inercia mucho mayor con secciones armadas que con perfiles laminados sencillos; otra razón puede ser la necesidad de una conexión adecuada, cuando el ancho o el peralte requeridos para la conexión del miembro no puedan obtenerse con una sección laminada estándar. Otra ventaja de los miembros armados es que pueden hacerse suficientemente rígidos para que soporten compresión tanto como tensión y, por tanto, son deseables de estructuras donde puedan presentarse inversiones de esfuerzos.

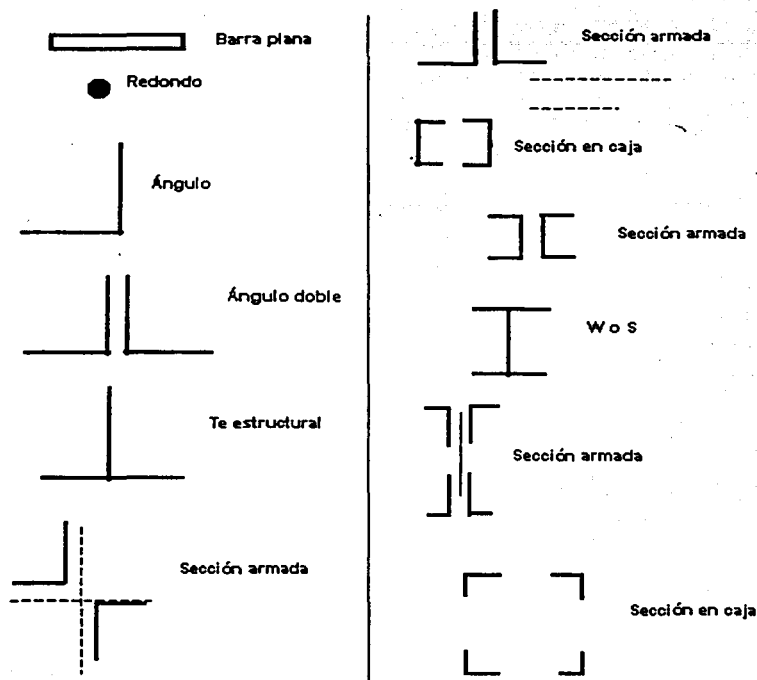


Figura. 4.4 tipos de miembros a tensión.

Compresión.

Miembros de acero a compresión. Casi en todas las estructuras se incluyen elementos principales esforzados a compresión, o a compresión y flexión combinadas. Las columnas de la mayoría de los edificios, transmiten las cargas de gravedad hasta la cimentación, por compresión y sufren flexión debido a la acción de marco y a las fuerzas laterales de vientos y sismos. Los miembros de las armaduras son una forma común de elemento a compresión; aproximadamente la mitad de los miembros de un edificio estándar o de una estructura de puente son miembros a compresión.

Los miembros a compresión se presentan en una diversidad de secciones (Fig. 4.5). Las secciones roladas en caliente son muy comunes, especialmente las WF. La sección rolada en caliente más grande es una WF 14 x 730, que tiene un área transversal considerable. Los requisitos de rigidez a flexión pandeo alrededor de ambos ejes principales a menudo conducen a la elección de secciones huecas, y el deseo de evitar pandeo torsional conduce a preferir las secciones cerradas sobre las abiertas. La sección hueca en cajón armada de componentes tales como placas, ángulos o canales, es un perfil eficiente, aunque estas secciones cerradas no son tan comunes como las abiertas debido a los problemas de conexión y mantenimiento. Los miembros a compresión a menudo se arman con canales o ángulos y con placas de celosía para unirlos.

Las columnas soportan flexión además de trabajar a compresión axial. Es posible desarrollar curvas de interacción para vigas-columnas para predecir la falla a distintas combinaciones de carga axial y flexión.

Las curvas de interacción de columnas se desarrollan para un enfoque de diseño por esfuerzos, en los rangos de pandeo elástico e inelástico y para un enfoque de resistencia basado en la falla plástica bajo las cargas combinadas de flexión y axial.

Conexiones para miembros a compresión.

Las conexiones más importantes que se encuentran en el diseño de miembros a compresión son el empalme de una columna y la conexión de la placa base. El empalme de columna es necesario debido a que la longitud total de una columna pasa por toda la altura de la construcción, aunque por lo general las secciones de columnas sólo tienen dos o tres pisos de longitud. El empalme de columna debe permitir a la columna soportar toda su carga axial y cualquier flexión que exista. La conexión de la placa base se encuentra en el punto en que se transmite la carga de la columna al cimiento. La elevada carga desarrollada en una columna típica es demasiado grande para aplicarla al cimiento de concreto como una "carga puntal" por lo que se aplica a una placa base gruesa, cuya área es suficiente para que el esfuerzo a compresión en el cimiento caiga dentro de los límites permisibles para el concreto de cimentación. El área de la placa base puede ser 10 ó más veces mayor que el área correspondiente de la columna. En la base de la columna se puede desarrollar un momento, y normalmente hay un cortante y una elevada compresión axial.

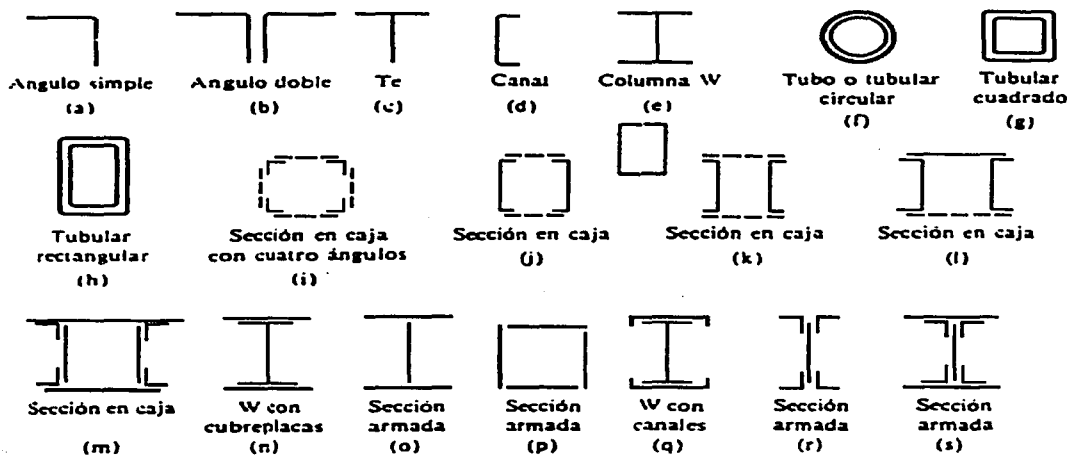


Figura 4.5 tipos de miembros a compresión (perfiles usados para columnas).

Flexión

Miembros de acero a flexión. Los miembros a flexión reciben distintos nombres que denotan su papel en la estructura. Generalmente a los miembros principales a flexión se les llama trabes, un término que se usa más a menudo en el diseño de puentes. Las vigas son miembros secundarios a las trabes, tales como las vigas de piso en un puente o edificio. Los largueros y tirantes son vigas ligeras que transmiten las cargas a los miembros estructurales principales. Cuando hablamos de vigas, generalmente hablamos de cualquiera de estos elementos.

Las vigas pueden hacerse con secciones roladas en caliente producidas en una planta de rolado de acero en tamaños predeterminados que van hasta cerca de 3 pies de peralte. En muchos casos, las secciones roladas se pueden modificar agregando a los patines materia de placa, conocido como cubreplacas, aumentando la capacidad a flexión mientras se mantiene capacidad a cortante de la sección rolada original.

A veces se necesitan vigas muy ligeras; en tales casos el acero rolado en frío puede ser la respuesta. El material delgado de acero en lámina puede rolarse en frío para tomar una diversidad de formas efectivas. El "trabajo en frío" produce una mayor resistencia que la del material base. El uso de láminas, delgadas de acero produce secciones eficientes.

Comportamiento de los miembros a flexión

Hay varias formas en que puede fallar un miembro a flexión, dependiendo de las proporciones del miembro y de la manera en que se le aplican las cargas.

Las secciones transversales de las vigas pueden formarse a base de elementos con una baja relación de ancho a espesor. En tales casos, el momento flexionante aplicado se puede aumentar por sobrecarga hasta que las fibras extremas de la viga comiencen a ceder. En este punto se puede suponer que la sección ha alcanzado su límite útil de comportamiento, cuando el funcionamiento se evalúe por las limitaciones de los esfuerzos de trabajo. En la Fig. 4.6, contiene unas secciones de viga que se comportan elásticamente a flexión.

Sin embargo, es posible evaluar el rendimiento estructural mediante un criterio de resistencia. Las especificaciones actuales de diseño permiten el diseño en base a la resistencia máxima de los sistemas estructurales (diseño plástico). Para cubrir los requerimientos de este método normalmente la viga debe poder desarrollar su capacidad plástica, o sea que toda la sección transversal debe ser capaz de alcanzar el esfuerzo de cedencia debido a la flexión. En este caso, la relación ancho / espesor del patín debe ser lo suficiente pequeña como para permitir la deformación unitaria más allá del límite elástico, en los patines y parte del alma. A un tramo de viga que haya desarrollado este tipo de condición de cedencia se le conoce como articulación plástica.

Si la sección transversal se proporciona con patines relativamente delgados, puede no alcanzar el esfuerzo de cedencia en la fibra extrema. El patín superior puede considerarse como una placa en compresión soportada a lo largo de la junta del alma-patín. Una placa delgada con un borde libre se pandea bajo esfuerzos de compresión relativamente bajos. Este pandeo local de los patines debe examinarse cuidadosamente, debido a que impone un límite superior al esfuerzo a flexión que puede soportar la sección. En la ilustración de la Fig. 4.7 (a), se muestra el pandeo local del patín.

Pueden presentarse otras formas de pandeo. El patín a compresión, que actúa como una columna cargada axialmente, puede pandearse lateralmente hasta tomar una forma con curvatura simple, como se describe en la Fig. 4.7 (b). Este pandeo lateral ocurre en claros largos.

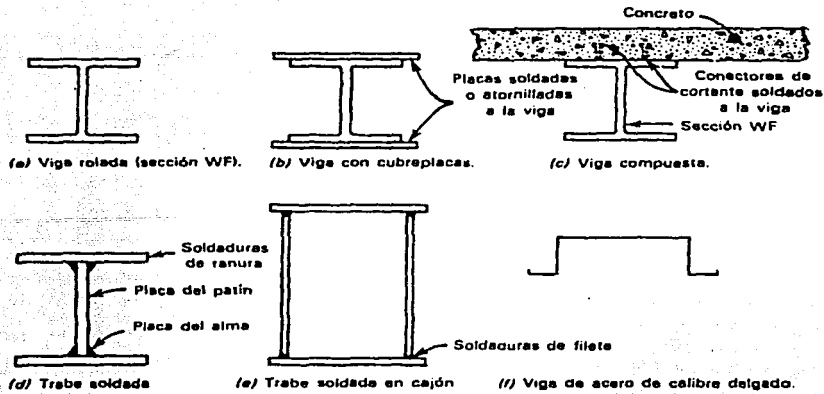


Figura 4.6 Vigas sujetas a flexión

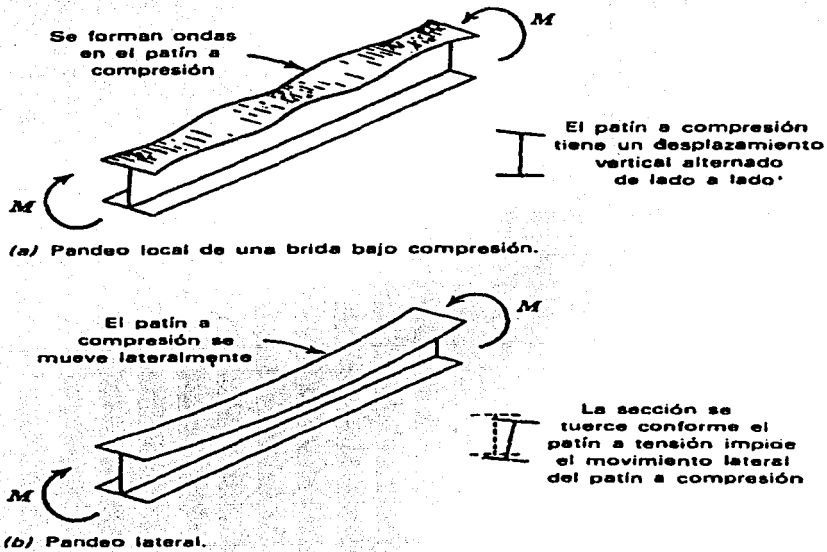


Figura 4.7 pandeo local y lateral.

Torsión y cortante.

Los miembros estructurales están sujetos a menudo a momentos torsionantes. La torsión puede deberse a distintas causas. El sistema de estructuración para un piso, mostrando en la fig. 4.8, ilustra un caso común, en que las vigas del piso están situadas en sus extremos exteriores mediante vigas de apoyo que forman un marco con las columnas exteriores del edificio, con una conexión monolítica, resistente a momento entre la viga de piso y la viga de apoyo. La viga de piso cargada tenderá a girar en su extremo exterior pero no puede hacerlo libremente debido a la rigidez torsional de la carga de apoyo. Cuando la rotación de la viga de piso es igual al torcimiento de la viga de apoyo y cuando el momento en el extremo de la viga de piso es igual al momento torsional aplicado en la viga de apoyo, se tiene un estado de equilibrio y compatibilidad. En cualquier estructura formada por elementos a flexión que no estén en un solo plano, (como en emparillado de vigas en un marco espacial tridimensional o en una estructura de vigas y losas), se encuentran efectos semejantes. En comparación con el momento flexionante la intensidad del momento de torsión varía considerablemente de un caso a otro.

Otro tipo importante de efecto torsional se presenta en miembros que soportan una fuerza cortante que no actúa a través del centro de cortante del miembro, lo que produce un momento de torcimiento de magnitud Ve en que "e" es la excentricidad de la fuerza cortante resultante V, medida con respecto al centro de cortante.

Otros casos en que interviene la torsión van desde el torcimiento de flechas mecánicas hasta los efectos de torcimiento en edificios completos, debido a las fuerzas del viento o de los terremotos. Los edificios que son altamente simétricos en la geometría de sus plantas son especialmente susceptibles a los efectos adversos de torcimientos.

A menudo, la torsión resulta difícil para los ingenieros estructurales experimentados, debido a que se piensa con mucha mayor frecuencia en términos de efectos axiales y de acción a flexión, más que en términos de acero que se torsiona, y debido a que el comportamiento de una sección delgada y abierta, como el de una viga de patines anchos, es considerablemente distinto al de una flecha circular.

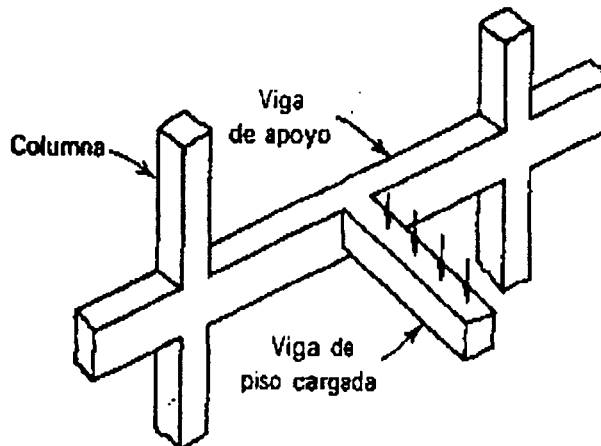


Figura 4.8 carga de torsión en una viga de soporte.

4.2.3 Clasificación de las estructuras metálicas.

Principios generales de diseño de estructuras metálicas.

El propósito fundamental del diseñador de estructuras es lograr una estructura económica y segura, que cumpla con ciertos requisitos funcionales y estéticos. Para alcanzar esta meta, el diseñador debe tener un conocimiento completo de las propiedades de los materiales, del comportamiento estructural, de la mecánica y análisis estructural, y de la relación entre la distribución y la función de una estructura; debe tener también, una apreciación clara de los valores estéticos con objeto de trabajar en colaboración con otros especialistas y contribuir así al desarrollo de las cualidades funcionales y ambientales deseadas en una estructura.

En gran parte, el diseño estructural es un arte basado en la habilidad creativa, imaginación y experiencia del diseñador. Siempre que el diseño estructural tenga estas cualidades, será un arte. Sin embargo, no debe permanecer como un arte puro, ya que el usuario debe recibir los mayores beneficios dentro de sus posibilidades económicas. Esto requiere el desarrollo de nuevos tipos de estructuras y nuevas técnicas de construcción, las que a menudo necesitan soluciones más científicas y rigurosas; así pues, la mecánica y el análisis económico deben intervenir en el arte de crear mejores edificios, puentes, máquinas y equipos. En el sentido amplio de la palabra el término "diseño" incluye tanto arte creativo como análisis científico.

La construcción de los monumentos egipcios, los templos griegos y los puentes romanos era arte basado principalmente en reglas empíricas, intuición y experiencia. El enfoque racional del diseño estructural, cuyo desarrollo tuvo comienzo en el siglo diecisiete, representa un acuerdo entre el arte y la ciencia, entre la experiencia y la teoría.

La teoría de las estructuras y la evidencia experimental son herramientas valiosas para el diseño estructural, mas no son suficientes para establecer un procedimiento de diseño completamente científico ya que en primer término, para hacer posible un análisis teórico, es necesario idealizar considerablemente el comportamiento estructural por medio de suposiciones ingenieriles bien fundamentadas, de modo que las fuerzas internas y los desplazamientos calculados representen solamente aproximaciones de los que realmente se presentan en las estructuras. Asimismo, la resistencia de las estructuras reales a las cargas y a las deformaciones pueden determinarse sólo aproximadamente. Además, las estructuras están sujetas frecuentemente a fuerzas y condiciones de servicio que no pueden ser previstas con precisión. De esta manera, la experiencia y el buen juicio siempre juegan un papel importante en la práctica del diseño estructural, aunque no son suficientes por sí solos, sino que deben ser guiados por el análisis científico, basado en la comprensión completa de la teoría de las estructuras y de la mecánica estructural.

Las estructuras pueden dividirse en dos grupos principales

- 1.- Estructuras de cascarón, hechas principalmente de placas o láminas, tales como tanques de almacenamiento, silos, cascos de buques, carros de ferrocarril, aeroplanos y cubiertas de cascarón para edificios grandes, y
- 2.- Estructuras reticulares, las cuales se caracterizan por estar construidas de conjuntos de miembros alargados, tales como armaduras, marcos rígidos, traveses, tetraedros o estructuras reticuladas tridimensionales.

La lámina o placa utilizada en las estructuras de cascarón desempeña simultáneamente el doble papel de cubierta funcional y de elemento principal de carga; para ello se le rigidiza mediante bastidores que pueden o no soportar las cargas principales, un ejemplo de este tipo de estructuras sería el Palacio de

los Deportes en la Ciudad de México. En cambio, los miembros principales de las estructuras reticulares no son generalmente funcionales y se usan únicamente para la transmisión de las cargas; esto obliga a colocar elementos adicionales, tales como muros, pisos, techos y pavimentos, que satisfagan los requisitos funcionales. Por tanto, puede parecer que las estructuras de cascarón son más eficientes que las reticuladas, ya que la cubierta o "cáscara" es usada con un doble propósito: funcional y estructural. Hasta la fecha los cascarones no han sido utilizados ampliamente en estructuras metálicas, lo cual es atribuible a varios factores:

La economía que puede obtenerse con este tipo de diseño estriba principalmente en el peso de la estructura y son efectivas únicamente para ciertos claros y distribuciones;

Los ahorros en peso pueden ir acompañados de correspondientes aumentos en los costos de construcción, y

Para poder reducir los costos de construcción de estas estructuras, se requiere una reorganización y una renovación del equipo, tanto en los talleres como en las cuadrillas de construcción. Estos factores se están resolviendo en la actualidad, con lo cual se obtiene una gran variedad de sistemas estructurales metálicos.

Ampliaciones de estructuras existentes

Las estructuras de acero se adaptan muy bien a posibles adiciones. Se pueden añadir nuevas crujeas e incluso alas enteras a estructuras de acero ya existentes y los puentes de acero con frecuencia pueden ampliarse.

Propiedades diversas

Otras ventajas importantes de las estructuras metálicas son:

- 1) Gran facilidad para unir diversos medios de varios tipos de conectadores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
- 2) Posibilidad de fabricar los miembros estructurales.
- 3) Rapidez de montaje.
- 4) Gran capacidad para laminarse en una gran cantidad de tamaños y formas.
- 5) Resistencia a la fatiga.
- 6) Rehúso posible después de desmontar una estructura y,
- 7) Posibilidad de venderse como "chatarra" aunque no pueda utilizarse en su forma presente.

4.2.4 Elementos estructurales.

Vigas.

Una viga está sujeta fundamentalmente a cargas transversales (Fig. 4.9). El efecto de estas cargas es el producir corte y momentos flexionantes en el miembro. La elección de un perfil para viga consiste en encontrar (algunas veces por métodos directos, pero más frecuentemente por tanteos) un perfil y tamaño del miembro en el cual tanto los esfuerzos de flexión como los de corte sean inferiores a los permitidos por las especificaciones que se usen.

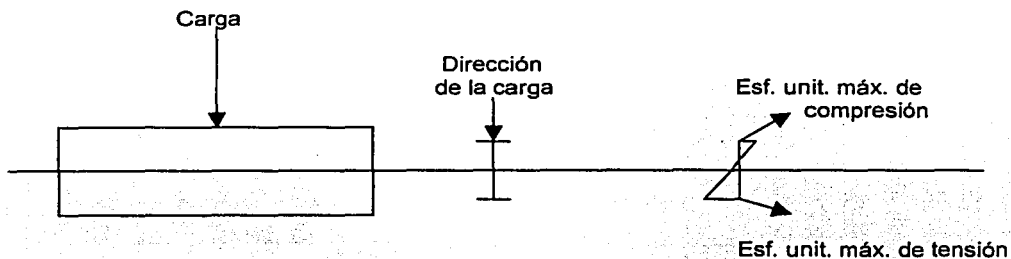


Figura 4.9 comportamiento de una viga al aplicársele una carga.

Armaduras.

La viga armada es esencialmente una viga I formada de perfiles estructurales por medio de remaches o soldadura. Las vigas laminadas se encuentran hasta de 9.14 cm de peralte, y con peso de 446.45 kg/m y módulo de sección de $18\,091\text{ cm}^3$. Los tipos de vigas armadas se usan en distintas aplicaciones y en muchos casos toman su nombre según la aplicación, o según su combinación para formar una estructura. Entre estos nombres se encuentra la viga armada de ferrocarril, viga armada de carretera, de grúa, de paso superior y de paso inferior.

Se utilizan armaduras, cuando el claro es demasiado grande para el uso económico de vigas o vigas armadas, generalmente se emplean armaduras. La línea que divide los claros económicos para vigas de perfiles laminados, vigas armadas y armaduras no puede señalarse en forma definida para casos generales, las longitudes disponibles en perfiles laminados son frecuentemente un factor determinante de los claros máximos en que pueden usarse. Las condiciones de continuidad afectan las longitudes; de clave económicas, aumentando la economía en el uso de perfiles laminados y vigas armadas.

Las armaduras se emplean para soportar techos de edificios, en claros desde 12 y 15 metros hasta 90 y 120 metros. Frecuentemente se construyen puentes de armaduras simples para carreteras o ferrocarriles con claros de 12 a 90 o 120 metros. Las armaduras para equipos industriales de diferentes tipos, tales como manejo de materiales, transportadores y plumas de grúas, se construyen en claros de 7.5 a 90 metros. Las torres de transmisión de radio y las estructuras que soportan tanques son generalmente construcciones del tipo de armadura.

Las armaduras son estructuras que funcionan como vigas y que resisten cargas que producen flexión de la estructura en conjunto, así como corte, pero que resisten la flexión por medio de las cuerdas, y el corte por medio del sistema del alma. Las armaduras se consideran generalmente como formadas por un sistema de miembros unidos en sus extremos, formando triángulos.

Las armaduras se clasifican según la forma en que se combinan los diferentes sistemas de triangulación y frecuentemente toman el nombre del primer ingeniero que ha empleado ese tipo particular de armadura. Las cuerdas superiores e inferiores pueden ser paralelas o inclinadas, la armadura puede ser de claro simple o continua y los miembros de los extremos pueden ser verticales o inclinados.

Las armaduras pueden también tomar su nombre según su aplicación, tales como las de carretera, de ferrocarril o de techo. Una armadura de carretera o ferrocarril puede definirse también por la forma en que soporta la carga, tal como: armadura de paso superior, de paso a través de medio inferior. La armadura de paso superior se construye completamente abajo de su carga. La carga pasa entre las armaduras de un puente de paso a través y en la parte inferior de un sistema elevado de contraventeos. Una armadura enana es un tipo de armadura de paso inferior de puente en la que, debido a su escaso peralte, no hay arriostramiento superior.

La figura 4.10, nos muestra las partes de armadura de un puente a diseñar. En la Fig. 4.11, se muestran algunos de los tipos más comunes de armaduras usados en puentes de carretera y ferrocarril. La Fig. 4.12, muestra algunos tipos comunes de armaduras para techos.

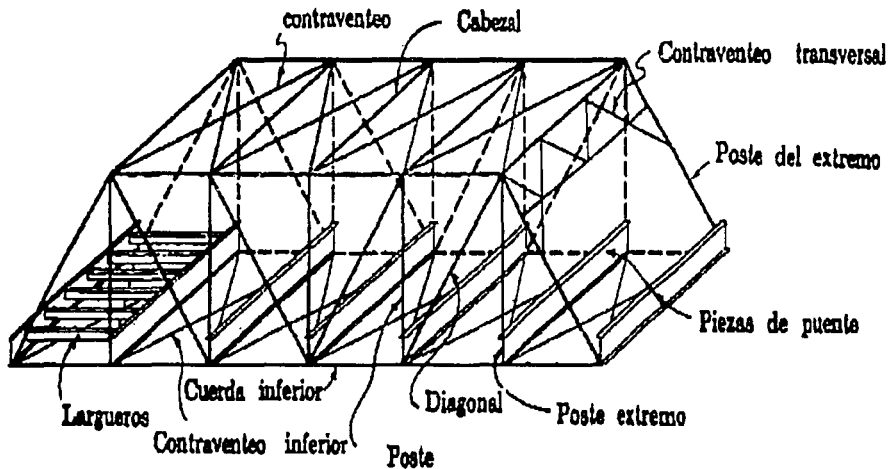


Figura 4.10 Partes de armadura de un puente

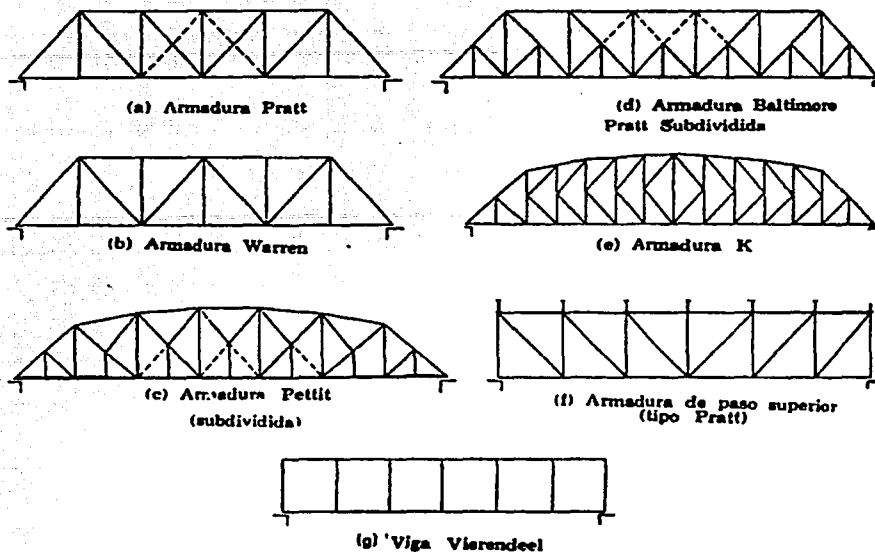


Figura 4.11 tipos de armaduras para puentes.

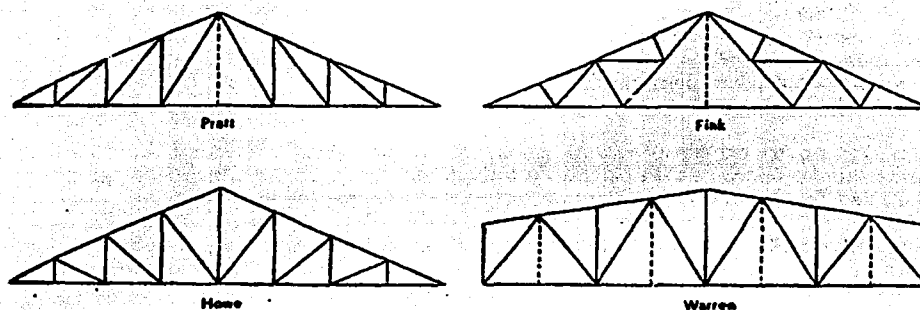


Figura 4.12 tipos de armaduras para techos.

Las armaduras también pueden clasificarse por la forma en que se combinan o unen sus miembros como, por ejemplo, armaduras remachadas, soldadas de uno o de dos planos y armaduras conectadas por pernos.

Sistemas de piso.

La carga muerta del sistema de piso comprende la mayor parte de la carga muerta en puentes carreteros y edificios con pisos de concreto. Las fuerzas en los miembros principales de la armadura pueden determinarse por la carga viva y la carga muerta del piso. La carga muerta de la estructura misma se puede estimar, para cualquier superestructura.

Una vez que se han calculado la carga viva y las fuerzas de impacto para cargas, la carga muerta del piso se calcula y se aplica un margen para la armadura. Este valor de la carga muerta puede usarse para estimar la carga de algunos de los miembros principales, lo que permite un valor mas aproximado para obtener el peso de la estructura.

La carga de piso en el tablero de una armadura será la reacción de la pieza del elemento estructural.

Columnas.

Una columna puede definirse como una pieza recta sobre la que actúa una fuerza axial de compresión.

Las columnas reales casi nunca están aisladas sino ligadas con otros elementos estructurales, de manera que su comportamiento depende, en gran parte de la estructura en conjunto; tampoco están, en general, sometidas a compresión pura, por lo que en todos los códigos de construcción la columna aislada es la base del diseño de las piezas comprimidas y flexo comprimidas.

La columna aislada.

La extensión de la teoría de las columnas al intervalo inelástico se debe a los trabajos de Egresser, Considere y Von Karmán, realizados afines del siglo XIX y principios del XX, y los últimos puntos dudosos fueron aclarados por Shanley en 1947. en la actualidad, después de mas de 200 años de investigaciones teóricas y experimentales, puede considerarse que el problema de la columna aislada está resuelto en forma definitiva, pero quedan todavía muchos puntos por aclarar cuando forma parte una estructura.

La falta de una teoría que permitiese evaluar compresión suficiente la resistencia de las columnas hizo que durante mucho tiempo se empleasen formulas empíricas para su diseño; algunas de ellas están todavía en uso forman la base de algunos métodos y reglamentos de diseño.

El empleo de aceros de alta resistencia de otros materiales como el aluminio, así como la utilización de nuevas formas constructivas, han hecho que las estructuras modernas estén generalmente formadas por elementos muy esbeltos, en los que los fenómenos de inestabilidad adquieren una importancia fundamental que hace aumentar la trascendencia del problema del pandeo de columnas, que puede considerarse como la base para el estudio de todos los problemas de inestabilidad.

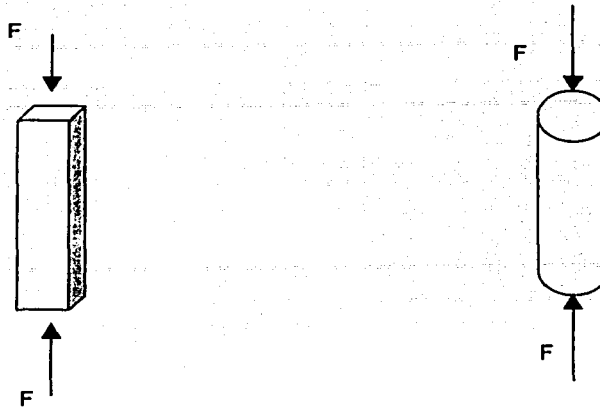


Figura 4.13 columnas de diferente sección sometidas a cargas axiales.

Las columnas siempre en su mayoría de las veces, trabajan a compresión como se muestra en la figura 4.13, y éstas a su vez tienen diferente altura y sección; por lo que se someten a la relación de esbeltez y a su pandeo elástico dependiendo de su altura, para ello y para que su comportamiento sea el adecuado, se utiliza un coeficiente K para columnas aisladas con diversas condiciones de apoyo, como se muestra en la figura 4.14.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
La línea punteada indica la forma de la columna pandeada						
Valor teórico de K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores del diseño recomendados cuando se tienen condiciones cercanas a las ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
Condiciones en los extremos	Rotación impedida y traslación impedida Rotación libre y traslación impedida Rotación impedida y traslación libre Rotación libre y traslación libre					

Figura 4.14 Valores del coeficiente K para columnas

Marcos (pórticos y arcos).

El marco rígido. El término "marco rígido" se ha aplicado comúnmente a un tipo particular de estructura consistente de miembros verticales y horizontales unidos rígidamente en sus intersecciones. Aún cuando prácticamente todas las estructuras de edificios y muchas otras tienen conexiones unidas rígidamente, el término "marco rígido" se usa con más frecuencia refiriéndose a un marco en el que se calculan los efectos de continuidad y en el que se desarrolla un diseño balanceado, tomando en consideración los momentos flexionantes y fuerzas que resultan de esa continuidad.

Los marcos rígidos se usan para todos los tipos de estructuras, tales como puentes, estructuras de edificios, soportes de grúas y otros marcos o estructuras industriales. El marco rígido no está restringido a estructuras de un solo claro o de un solo piso, ni a marcos con formas particulares. La concepción original de un marco rígido se encontraba restringido principalmente a un puente cuyos miembros principales tenían sección variable y un solo claro. El concepto se ha ampliado para incluir estructuras tales como edificios de varios pisos con "conexiones de momentos" diseñadas para resistir las cargas calculadas de viento y temblores. Muchos edificios se han diseñado para cubrir contornos irregulares que son asimétricos y poco comunes.

Por ejemplo, el marco de claro único con extremos articulados es indeterminado en el primer grado, cuando se evita el cambio de longitud del claro.

En la solución de problemas, una de las condiciones estáticas es la viga simple, sin restricción a cambio de la longitud del claro. Los efectos de la fuerza que evita el cambio en longitud se consideran separadamente.

Existen, además de los marcos clásicos (fig. 4.15 armados con vigas, traveses y columnas), los marcos tipo: arcos y pórticos un ejemplo de ellos, son los siguientes:

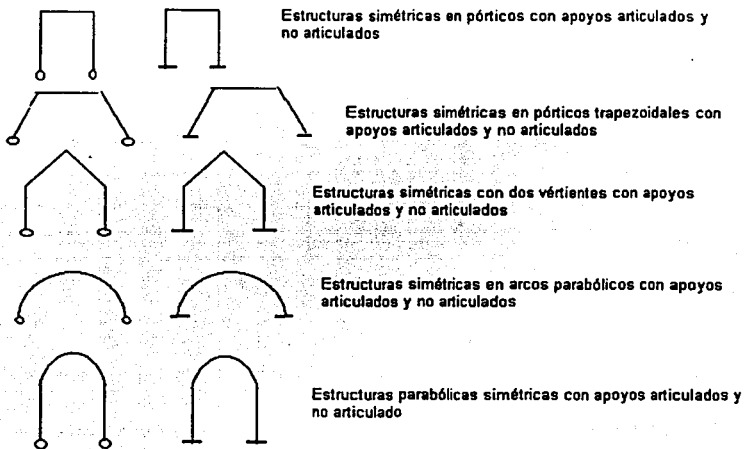


Figura 4.15 marcos (pórticos y arcos)

4.2.5 Conexiones

Remaches.

En las conexiones de los elementos estructurales de acero se requiere de cierto tipo de ellas, la primera son los remaches; y sus características son:

- 1.- la resistencia debida a la fricción,
- 2.- todos los remaches en un grupo deben llevar la misma capacidad de carga,
- 3.- los remaches deben llenar los agujeros completamente y no dejar huecos para que trabajen simultáneamente.

Los remaches usados en conexiones de acero estructural son generalmente del tipo de la holgura, hacen necesario el aplanar las cabezas más debajo de la altura de los remaches normales de cabeza redonda. Otras conexiones hacen deseable una superficie lisa, y se usa el remache avellanado (ensanchar en una corta porción de su longitud los agujeros para los tornillos, a fin de que la cabeza de éstos que de embutido en la pieza de taladra). Los remaches avellanados ceden con valores menores de carga y requieren la remoción de mayor cantidad de material conectado de la que se requiere para la instalación del tipo de cabeza redonda.

Los remaches usados en acero estructural normalmente se colocan en caliente. Debe tenerse cuidado en el calentamiento de los remaches para que éstos se calienten uniformemente en toda su longitud y no se sobrecalienten y se quemen.

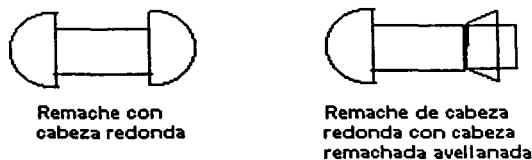


Figura 4.16 remaches, algunos tipos.

El remache de cabeza saliente que se muestra en la figura 4.16 se usa comúnmente para conexiones estructurales, el remache con cabeza más plana, se usa frecuentemente para superficies exteriores. Cuando se desea reducir el frenado parásito del aire a un mínimo, se emplean remaches de cabeza embutida.

Tornillos

Los tornillos que se usan en las construcciones de acero estructural con un medio temporal para la conexión de miembros, para el anclaje de una estructura a la cimentación, para soportar esfuerzos de tensión más allá de la capacidad de los remaches y conexiones permanentes de algunos miembros inferiores en localizaciones aisladas.

Frecuentemente un tornillo puede instalarse en un lugar donde es imposible colocar un remache o donde es imposible colocar suficientes remaches para soportar el esfuerzo de corte.

Si un tornillo está instalado correctamente, la sección transversal sujeta a corte será precisamente donde éste tiene su sección total; es decir, donde no hay rosca.

Cuando los tornillos se usan para unir miembros estructurales en preparación para remachado posterior, es habitual usarlos en combinación con punzones.

Generalmente se considera que, cuando los tornillos se usan en combinación con remaches en una unión, los tornillos no trabajarán el corte. Esto se debe a que generalmente los tornillos entran libremente en el agujero.

Tornillos de alta resistencia.

El uso de tornillos de alta resistencia en lugar de remaches es una práctica relativamente nueva. Los tornillos están hechos de acero de alta resistencia a tensión.

En algunos casos es más económico el usar tornillos de alta resistencia a la tensión para conexiones de campo que el uso de remaches.

Conexiones por perno.

Antes de 1912 la mayoría de los puentes que se construían en América estaban conectados por pernos. En estructuras de puentes muy grandes algunas conexiones todavía se hacen con pernos y se usan además éstos para propósitos especiales en donde se contempla un cambio angular entre los miembros.

En el diseño de conexiones con pernos se considera principalmente el aplastamiento, el corte y la flexión de los pernos, y la sección útil de los miembros que se conectan.

El perno debe investigarse en cuanto a momento flexionante y corte producido por la combinación de las cargas transmitidas por los miembros. La naturaleza de las fuerzas que actúan sobre un perno en estas condiciones se muestra en la fig. 4.17.

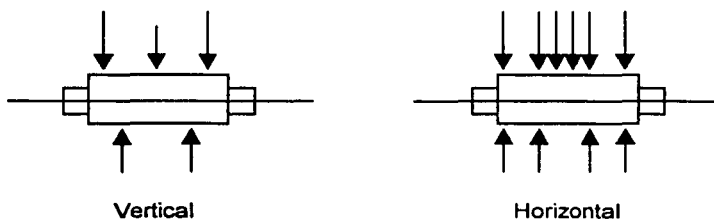


Figura 4.17 fuerzas que actúan en un perno.

El diseño de barra de ojo y otros miembros de tensión está controlada en su mayor parte por especificaciones empíricas, las cuales se basan en las concentraciones de esfuerzos previstos, que existen cerca de un agujero en un miembro de tensión.

Para otros miembros de tensión conectados por pernos, la sección neta más allá del agujero del perno, y paralela con el eje del miembro, no será menor que la sección neta requerida del miembro. La sección neta a través del agujero del perno, transversal al eje del miembro será por lo menos un 40 por ciento mayor que la sección neta requerida del miembro. La relación del ancho neto (a través del agujero del perno y transversal al eje del miembro) al espesor del segmento no será mayor de ocho a uno.

Soldadura.

Procesos de soldadura. "Cuadro Maestro Normal de Procesos de Soldadura" (Estándar Master Chart of Welding Processes), publicado por la Sociedad Americana de Soldadura, señala ocho grupos de procesos de soldadura que se clasifican en 37 subdivisiones.

Los ocho principales grupos de proceso de soldadura incluyen latonado, soldadura fluida, soldadura de resistencia, de inducción, de arco, por termita, de gas y por forjado. El latonado incluye un grupo de métodos de soldadura en el cual un metal de relleno no ferroso se funde a temperatura más baja que el punto de fusión de las partes que se conectan y la unión se obtiene por atracción capilar de los metales. La soldadura líquida o de flujo se obtiene vaciando metal fundido sobre la junta que se ha de soldar hasta que la conexión se calienta a la temperatura de soldado.

En la soldadura por forjado los miembros se calientan y la soldadura se efectúa por medio de presión o por golpes de martillo. Un tipo común de soldadura se forja es la que ejecuta el herrero. El calor requerido en la soldadura por resistencia se obtiene por la resistencia del material que se está soldando a una corriente eléctrica que pasa a través de las partes; se emplea presión mecánica para unir las partes. La soldadura por inducción es un proceso en el cual la unión se produce por el calor obtenido de la resistencia del metal al flujo de la corriente eléctrica inducida, con o sin la aplicación de presión.

La soldadura de gas se hace con flamas de gas usado para fundir el metal con o sin la aplicación de fuerza. El calor requerido en la soldadura de arco se produce por un arco eléctrico; algunos de los procesos usan presión y puede o no agregarse metal.

Los procesos de soldadura para el ingeniero en estructuras son las soldaduras de arco y de gas.

Soldadura de arco. La soldadura de arco eléctrico puede obtenerse por el uso de una corriente directa a través de una resistencia para limitar y reducir el valor de voltaje y corriente. Debido a la dificultad de obtener éste tipo de corriente eléctrica y con el objeto de llenar los requisitos de portabilidad para trabajos de campo se han desarrollado muchos tipos de máquinas para soldadura eléctrica.

Tipos de soldadura. La fig. 4.18, muestra los tipos básicos de uniones estructurales. Se indican en estas juntas dos tipos principales de soldadura: la soldadura de filete y la soldadura a tope. Debido a la posición relativa de las partes, estas soldaduras tienen diversas formas.

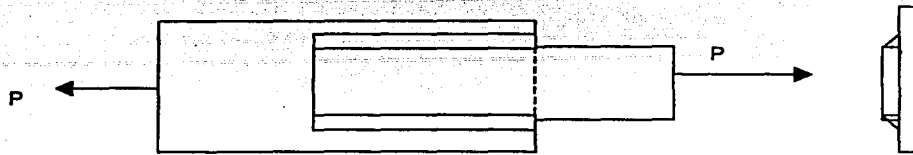


Figura 4.18 La soldadura de filete es el tipo que se usa más extensamente.

Indica dos placas conectadas por soldadura de filete. La resistencia de la junta soldada se mide por el valor de corte de la soldadura de filete por centímetro lineal multiplicada por el número de centímetros de soldadura.

La soldadura a tope puede usarse para transmitir tensión, compresión o corte. La soldadura a tope se define como de un espesor y la garganta efectiva de una soldadura igual a la parte más delgada que se ésta uniendo, tal y como se muestra en la figura 4.19.



Figura 4.19 soldadura a tope.

Una soldadura de tapón puede considerarse como soldadura de filete con una longitud igual a la circunferencia en el centro de la garganta (fig. 4.20), muestra una soldadura de tapón con la cavidad completamente llena.

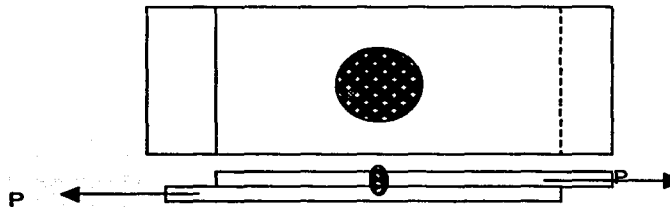


Figura 4.20 soldadura de tapón.

Inspección de soldaduras.

El valor de una soldadura depende en gran parte de la habilidad del soldador. Por esta razón es habitual pedir que las soldaduras sean hechas solamente por soldadores calificados. Existen escuelas comerciales de soldadura en la mayor parte de las grandes ciudades que se especializan en el entrenamiento de soldadores.

La soldadura requiere generalmente que el soldador prepare piezas para soldado en todos los tipos, con todos los materiales y en todas las posiciones en que se vaya a efectuar el trabajo. Además el soldador debe observar los defectos comunes al hacer la soldadura, tales como socavaciones, protuberancias, salpicaduras excesivas así como por lo que respecta al tamaño y la consistencia de las soldaduras.

Hasta donde es posible, los diseños de soldadura deben tratar de obtener soldaduras simétricas y la operación de soldadura debe llevarse a cabo también simétricamente. La secuencia de soldadura debe ser tal que permita el movimiento libre de las partes que se están soldando. Generalmente se considera ventajoso martillar cada capa de soldaduras múltiples después de que el metal se ha enfriado. El martillado se hace generalmente con un martillo de bola simple. Las soldaduras no deben ser generalmente más grandes que lo necesario, y la soldadura interrumpida ayuda a reducir la acumulación de deformación.

Soldabilidad de los metales.

Aunque los procesos de soldadura de arco y gas se adaptan particularmente al uso con aceros de bajo carbón, la mayor parte de los metales comunes pueden soldarse usando varillas de soldadura seleccionadas cuidadosamente así como por procedimientos cuidadosos. La dificultad para soldar acero aumenta con el contenido de carbón. En general, la varilla de soldadura debe seleccionarse de manera que deposite una cantidad de metal equivalente al metal base.

La soldadura de aceros inoxidables requiere especial dedicación para cada tipo de acero.

Corte por soplete.

El corte y maquinado por soplete son procesos muy importantes en la fabricación de acero. En general el corte por soplete involucra el precalentamiento del material en una flama de oxi-acetileno, seguida de la oxidación del metal en el plano de corte. Debido a la alta afinidad que tiene el oxígeno con los materiales ferrosos a temperaturas cercanas a la fusión el corte es en realidad un proceso químico. El oxígeno que se alimenta metal calentado a través de las puntas de corte oxida el metal, y la presión del chorro de gas, impulsa al metal fundido y oxidado fuera de la ranura de corte.

El efecto del corte de soplete es formar una capa delgada de estructura quebradiza adyacente a la superficie cortada. El espesor de esta capa y sus propiedades se afectan por la rapidez de enfriamiento del metal. Con placas de acero grueso, la cantidad de calor que se requiere para el corte es suficiente para producir un enfriado lento, con un efecto de recocido. Cuando la superficie cortada se va a soldar después, generalmente se considera que no hay prácticamente efectos indeseables derivados del corte de soplete. Manipulando y dirigiendo la flama de corte, puede obtenerse biseles, chaffanes, círculos y cortes irregulares. El maquinado por soplete se obtiene dirigiendo la flama de corte a un ángulo con la superficie de la pieza y quitando una capa uniforme del material del ancho y profundidad deseados.

4.3 FACTORES DE DETERIORO Y DAÑO ESTRUCTURAL.

4.3.1 Humedad.

El aire y la humedad son causantes primariamente de oxidación y posteriormente de corrosión en el acero, especialmente en climas marinos.

Como un ejemplo, se puede tener la de un edificio en el que una excesiva cantidad de agua es responsable del mayor número de defectos constructivos, superando ampliamente a los derivados de cualquier otra causa o agente. La aparición de manchas de humedad en las superficies interiores de un edificio es, como mínimo, una incomodidad o molestia, pero son todavía peores las consecuencias que reporta para la salud de los inquilinos la vida en un medio húmedo, y otro tanto grave el deterioro que producen en los materiales constructivos.

Los defectos causados por la humedad que se manifiesta como tal, o que; como sucede en la pudrición seca, favorece la acción de otros agentes.

4.3.2 Viento.

El viento, un factor que altera y destruye los elementos de acero, además en alturas considerables como superestructuras de acero (edificios y puentes), es de gran riesgo debido a su velocidad intensa que es muy considerable en el diseño. Se piensa que es el más inadvertido y muy poco se le toma en cuenta. En vientos de alta velocidad arrastra gran cantidad de partículas y sólidos, y que en combinación con la humedad se convierte en un agente altamente corrosivo.

4.3.3 Fuego.

Las estructuras metálicas de los edificios deben protegerse contra los riesgos de incendio, aunque usualmente se clasifican como incombustibles y proporcionan una seguridad razonable en ciertos tipos de edificios. Los objetivos de esta protección contra el fuego son: permitir la evacuación rápida y segura de los ocupantes durante el incendio, contribuir a la seguridad de los bomberos que lo combaten y a la de las propiedades adyacentes, evitar la propagación de fuego, y reducir al mínimo las pérdidas económicas de las propiedades afectadas por éste.

En general, los diferentes tipos de construcción pueden clasificarse como siguen:

- a.- Construcciones a prueba de fuego - mampostería, concreto reforzado, acero con revestimiento especial a prueba de fuego.
- b.- Construcciones no combustibles –acero sin protección exterior.
- c.- Construcción ordinaria –armazón de madera y otros materiales combustibles.

El grado de seguridad de los tipos de construcción mencionados se mide en términos de hora de resistencia al fuego, basándose en procedimientos normalizados de prueba. La construcción de acero se clasifica como incombustible y suministra una seguridad razonable para construcciones en los que hay pocos ocupantes.

La resistencia del acero al fuego puede aumentarse mediante la aplicación de revestimientos protectores como concreto, yeso, vermiculita, rociaduras de asbestos y pinturas especiales.

Las especificaciones establecen el número de horas de protección al fuego (clasificación al fuego) que se requiere para las diferentes partes de la estructura, tales como pisos, trabes, vigas, columnas, divisiones, etc.; los ingenieros deben familiarizarse con estos requisitos y clasificaciones y prestarles la atención debida en sus diseños.

Por su parte, el calor directo producido por fuego o incendios transforma los componentes de los materiales. El calor indirecto, el asoleamiento o las variaciones bruscas de temperatura producen dilataciones y contracciones en el material, los cuales son directamente proporcionales a los daños en las juntas y el cuerpo mismo del elemento. Esto es más notorio en los climas extremos. En la ciudad de México, en la cual la variación máxima promedio es de cerca de 20° C entre una media mínima en las madrugadas de 6 a 8° C y una media máxima en las primeras horas de la tarde de 25 a 27° C, según las estaciones, no son tan comunes las grietas por temperatura, pero ésta influye en los contenidos de humedad, lo que acelera la solubilidad en sales y su cristalización, y hace que la humedad misma sea mayor o menor dentro del poro del elemento al acelerar la evaporación.

4.3.4 Químicos.

Desechos animales. Esta es una causa de corrosión y es considerada como un tipo especial de ataque químico que puede llegar a ser muy severo.

El agua es un elemento capaz de crear las condiciones más idóneas para que la reacción química sobre los materiales de construcción tenga lugar. un ejemplo de tal hecho es la agresión de los álcalis en las finas películas de pintura. Con frecuencia las pinturas se aplican a superficies alcalinas, no obstante los defectos no se apreciarán, a menos que la superficie esté lo suficientemente húmeda como para posibilitar la aparición de soluciones alcalinas que entren en contacto con la pintura.

4.3.5 Factores biológicos.

Agua marina y fango. Sin protección de los miembros de acero, cada uno de los elementos sumergidos en agua marina y cubiertos de fango, corren el gran riesgo de sufrir serios daños que pueden provocar fallas de la sección de acero.

4.3.6 Contaminación.

Gases industriales y de vehículos. Los gases dispersos en la atmósfera, producto de la combustión de diesel particularmente produce el ácido sulfúrico, que causan severo deterioro en el acero.

4.3.7 Acción del hombre.

Colisiones. Por citar un ejemplo en un puente vehicular, son causa de deterioro: los camiones con cargas excedidas, el descarrilamiento de autos, o cuando estos golpean trabes o columnas, etc., por lo tanto producen daños considerables a la estructura.

4.3.8 Daño Estructural.

Esfuerzos térmicos o sobrecargas. Cuando el movimiento por dilatación térmica de los miembros, es restringido, o alguno de los miembros es sometido a un sobreesfuerzo, se pueden producir deformaciones o fracturas o el desprendimiento de remaches y pernos.

Fatiga y concentración de fuerzas. La mayoría de los daños en los elementos estructurales son producto de la fatiga o de la deficiencia de detalles constructivos, que originan una gran concentración de esfuerzos. Ejemplos de estos son: esquinas agudas, cambios bruscos de espesor y/o ancho de placas, pesadas concentraciones de soldadura, una insuficiente área de soporte en los apoyos, etc.

4.3.9 Efectos del deterioro y su tratamiento.

La corrosión.

Se puede definir la corrosión como la transformación de metales en compuestos diversos, bajo la acción de fenómenos naturales. éste es, con mucho, el principal problema en materia de conservación de las estructuras metálicas. Los desperfectos causados por este fenómeno son fáciles de distinguir. Los síntomas son una superficie picada, oxidada, dejando aparecer, en general, placas o escamas de óxido que se desprenden con facilidad, de un color rojo oscuro típico (figuras 4.21 (a, b, c y d)).

Rápidamente se produce una reacción química o electroquímica que transforma el hierro puro en un óxido o en otro compuesto. En el caso del acero, este compuesto se adhiere mal al metal sano y se separa fácilmente en escamas; la superficie de la sección se reduce. Esta reducción de sección y el aumento de tensiones consiguientes disminuyen la resistencia del elemento. La resistencia a los esfuerzos de fatiga disminuye también. En casos extremos, el elemento se puede romper o pandear.

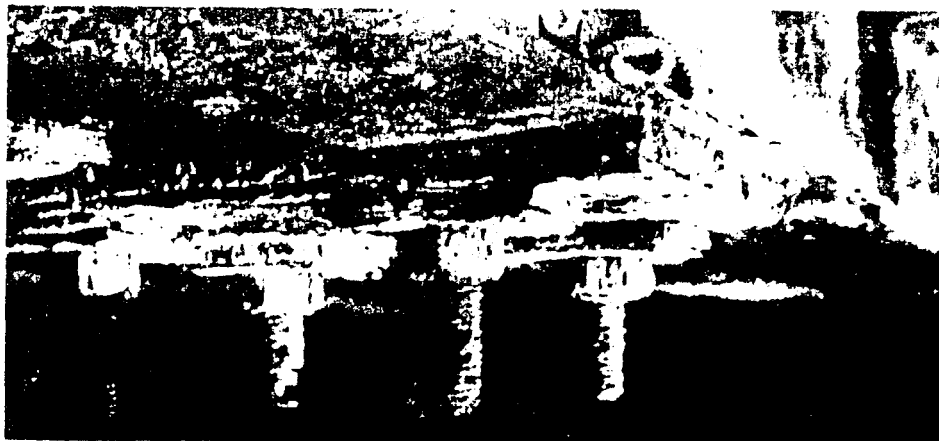


Figura 4.21 (a) Ejemplo típico de corrosión. La fotografía muestra la corrosión de los tornillos de anclaje y de las placas de apoyo del soporte de un bolardo.

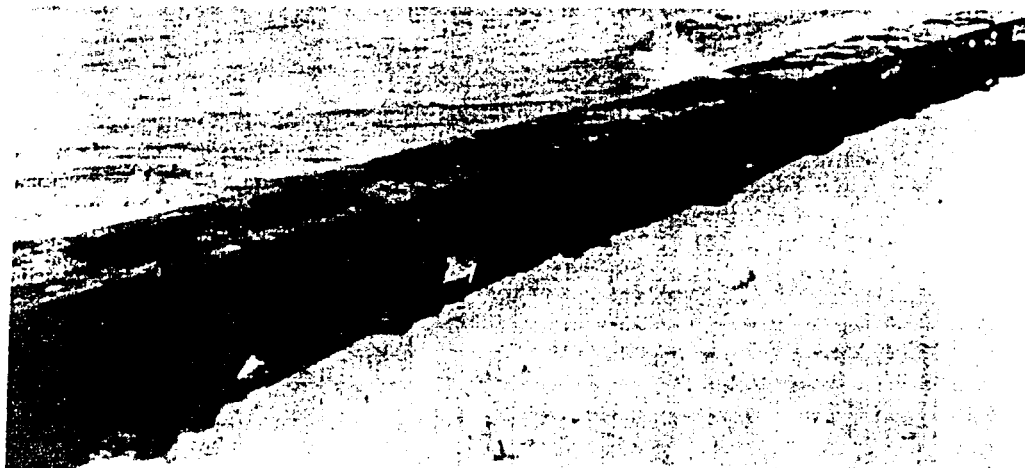


Figura 4 21 (b) Corrosión de una viga de corrosión en U de un muro de contención de tabla-estacas metálicas. No es aconsejable utilizar cabezales de perfiles metálicos en U.



Figura 4 21 (c) Ejemplo típico de corrosión. La fotografía muestra el estado de la corrosión de la intersección del cordón inferior y de un montante de un puente de celosía. Este emplazamiento es generalmente vulnerable ya que, como se ve la suciedad se acumula en él fácilmente.

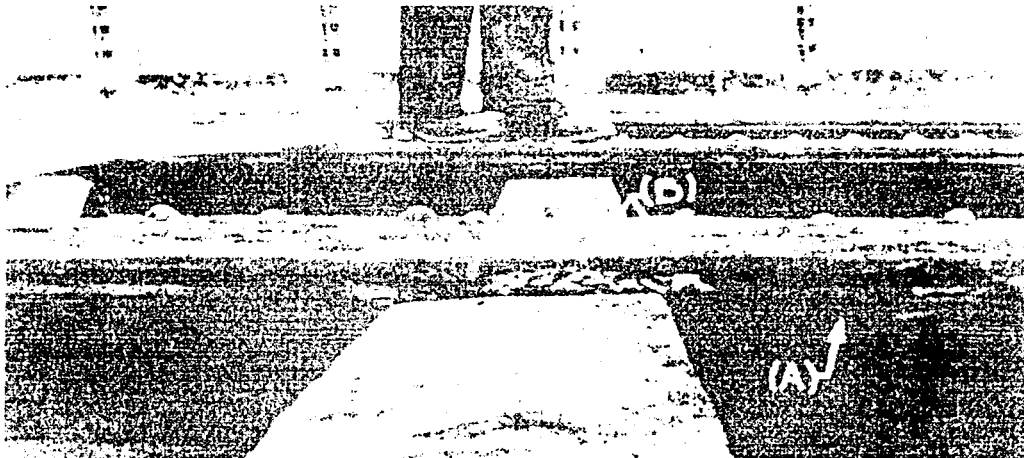


Figura 4 21 (d) Corrosion de las chapas de recubrimiento de las vigas de un puente de carretera provocada por la falta de estanqueidad de una junta de construccion. Una junta de la losa del tablero estaba situada justamente encima de la linea de riostras. El agua se habia filtrado causando los deterioros que se ven en la fotografia. Nótese que la chapa de empalme situada debajo del ala ha pandeado a causa de la corrosión (A) y que las cabezas de los roblones mas proximos a la junta se ha reducido apreciablemente de tamaño (B). Las alas superiores de las riostras han sido tambien atacadas fuertemente, pero las partes de las vigas situadas lejos de la junta están en buen estado. En todas las obras, las juntas son puntos vulnerables, y deben ser examinadas en primer lugar en toda inspeccion.

No es necesario que el proyectista o el ingeniero encargado de la conservación o reparación de obras conozcan con detalle el proceso de la corrosión. Sin embargo, es preciso saber que la corrosión existe, dónde es más susceptible de manifestarse, como impedirlo o como reparar los desperfectos cuando se producen.

Los factores más importantes para determinar la resistencia a la corrosión, incluyen el ambiente físico y químico en que se encuentra el material, la composición de dicho material, y la defensa o protección que tiene contra el contacto con los elementos dañinos del medio ambiente. Se ha dicho que los elementos de acero delgado son más susceptibles de ser corroídos que los elementos convencionales relativamente gruesos, pero esto no parece razonable, ya que el espesor no detiene la corrosión una vez que esta ha comenzado a atacar al acero. Aunque un espesor mayor puede aumentar en cierto grado la durabilidad de una estructura de acero en presencia de la corrosión, los únicos medios efectivos de evitarla son el uso de elementos de aleación tales como cromo o cobre y/o pintura de plomo, cromato o aluminio, o bien el uso de revestimientos especiales tales como zinc o asfalto.

En lugares donde el acero este expuesto a condiciones severas de corrosión debe protegerse con un revestimiento especial y esta protección debe volverse a aplicar periódicamente. Cuando los miembros de acero no estén expuestos a los efectos alternados de humedecimiento y secado, ya cambios extremos de temperatura, una capa delgada de pintura aplicada adecuadamente es suficiente para asegurar una durabilidad excelente.

En 1933, la United States Steel Corporation, fabricante norteamericano de acero, descubrió una composición química para un acero de alta resistencia y baja aleación que llenara los requisitos de resistencia a la corrosión de las vagonetas del ferrocarril para el manejo del carbón. Este tipo especial de acero (A588 y A242 con cobre) forma al oxidarse una película delgada con un alto grado de adherencia, la cual detiene cualquier oxidación subsiguiente; el proceso produce una pátina de color rojizo oscuro.

El ingeniero debe de considerar en las estructuras expuestas, ya sean pintadas o no, el factor adicional ocasionado por las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior del edificio y su efecto sobre los esfuerzos en la estructura.

La erosión por abrasión.

El deterioro de secciones de acero bajo el efecto de la abrasión puede cuantificarse sin dificultad y puede ser fácilmente distinguido de la corrosión, en razón del aspecto desgastado y liso de las superficies así dañadas. En los lugares en los que el agente abrasivo no se manifiesta y ha sido sustituido por un ambiente corrosivo, es menos fácil la distinción, pero habitualmente la superficie abrasionada forma generalmente una depresión que la diferencia de las secciones vecinas.

La abrasión de las construcciones metálicas está relacionada con el trabajo de partes móviles en contacto; se produce también en elementos que sufren la acción del oleaje, o en partes sumergidas en un líquido en movimiento. El caso más frecuente es el de tablestacados y de obras sobre pilotes en zonas alcanzadas por el oleaje. De hecho, en una playa, el continuo movimiento de las olas con una proporción importante de partículas en suspensión, puede atravesar una sección de acero de un centímetro de espesor en algunos años. Las conducciones, sobre todo las del gas, que contienen una fuerte proporción de cenizas, son otra fuente de dificultades muy extendida. Los canales son también dañados frecuentemente de esta manera. En zonas desérticas el acero al aire puede, después de una tempestad, mostrar una superficie pulida por la abrasión del polvo y de los materiales transportados por el viento.

El juego de las uniones.

Los tornillos y los remaches de las uniones en obras metálicas, que sufren golpes o esfuerzos de impacto, tienen tendencia a tomar juego con el tiempo.

El juego de las uniones es la causa de deslizamientos en los nodos, provoca la deformación de la estructura, crea zonas de acumulación de tensiones muy elevadas y acrecienta la posibilidad de rotura por fatiga. En consecuencia, hay que tratar de impedir estos hechos, y si las uniones se aflojan, repararlas rápidamente. Los soportes de grúa, las instalaciones ferroviarias, los soportes de máquina de motor alternativo, son fuentes especiales de dificultades en este sentido. Mucho menos frecuentes son las dificultades de este tipo procedentes de edificios y otras obras que soportan cargas estáticas o en las cuales la relación carga permanente / sobrecarga de uso es elevada.

En consecuencia, las uniones de estructuras y elementos de acero que soportan cargas con impacto deben ser comprobadas regularmente por medio de los procedimientos de inspección habitualmente utilizados para comprobar obras nuevas. Los tornillos aflojados deben ser retirados y sustituidos, ya sea por tornillos nuevos o por tornillos de alta resistencia; y los roblones aflojados deben ser reapretados o sustituidos.

Parece ser que las obras cuyas uniones están hechas con tornillos de alta resistencia, convenientemente colocados, presentan una mayor seguridad respecto de estos fenómenos, incluso en condiciones severas de utilización.

El efecto de la fatiga.

Se puede definir este efecto como la rotura de un elemento de una obra bajo esfuerzos repetidos y variables que producen tensiones iguales o inferiores a las consideradas como admisibles en el proyecto. La fatiga se manifiesta en las mismas condiciones y en los mismos tipos de obra descritos en el párrafo anterior. Los síntomas son pequeñas estrias perpendiculares a la dirección de las tensiones, y representan un grave peligro, sobretudo porque las roturas resultantes son muy difíciles de prever. Si las fisuras de fatiga no son advertidas, pueden provocar el hundimiento de la obra sin aviso previo. Por esta razón, los elementos sometidos a esfuerzos repetidos deben ser objeto de cuidadosas inspecciones.

La reparación de elementos en los que se observan fisuras de fatiga consiste en devolverles su perdida resistencia. En la mayoría de los casos, éste resultado se obtiene reforzando por medio de chapas.

El efecto de impacto.

Las estructuras de acero sufren más por el impacto de objetos en movimiento, que las de concreto o madera. Esto se debe básicamente a la utilización de secciones de espesor débil.

Los daños debidos a los impactos se caracterizan por deformaciones localizadas en los elementos afectados, que presentan una ondulación de débil longitud de onda. Sin embargo, el pandeo por tensiones superiores a las admisibles en chapas trabajando a compresión, se presenta también bajo el aspecto de ondulaciones cuya longitud de onda puede ser, a veces, pequeña. Es esencial no confundir estos dos fenómenos, ya que los efectos de los impactos son más o menos superficiales y pueden ser fácilmente reparados, mientras que el pandeo es señal de defectos más profundos que pueden hacer necesaria la revisión del proyecto de la obra. No siempre es fácil diferenciarlos; si la deformación toma la forma de ondulaciones juntas, en forma de cresta de gallo o se produce en una chapa trabajando a tracción, se trata probablemente de un problema de impacto; por el contrario, si se forma una curva en "S" cuyos arcos estén a ambos lados del eje del elemento, la causa es, probablemente, el pandeo. Entre estos dos extremos es difícil decir con toda seguridad cual es la causa de la deformación, a menos que se pueda establecer preguntando a las personas que conozcan bien la historia de la obra, si ha habido efectivamente impacto. Si subsiste la duda hay que proceder al cálculo de las tensiones en el elemento en cuestión. Siempre que el cálculo ponga de manifiesto que los elementos de que se trate estén sometidos a tensiones próximas a las que provocan el pandeo, conviene ser pesimista, admitir que se han sobrepasado las tensiones críticas y reforzar.

Los casos por daño por impacto son frecuentes. Se pueden reparar reforzando un elemento con chapas o recubriéndolo con otro material. Si los impactos son susceptibles de reproducirse y el peso y volumen lo permiten, la colocación de un recubrimiento es la mejor solución.

Medidas de protección.

1.- Asegurar la limpieza de la obra.

La corrosión se acelera fuertemente si se dejan acumular suciedad y basura sobre el elemento considerado. La razón de ello es que las basuras retienen la lluvia o las aguas residuales (e incluso pueden fijar la humedad del aire) y favorecen el contacto de la superficie del acero con el agua. Además en regiones industriales, la suciedad esta formada por un hollín muy rico en compuestos sulfúricos corrosivos. Por otra parte, esta suciedad oculta los defectos y dificulta la inspección.

Cualquiera que sea el revestimiento del acero, pintura u otro material, es esencial barrer, limpiar las superficies con aire comprimido o por aspiración, en los lugares accesibles conviene hacerlo a menudo, y en los menos accesibles, a intervalos regulares. Es indiscutible que para impedir la

corrosión, las inspecciones y limpiezas regulares, son más importantes que la pintura. No hay que creer que la suciedad acumulada forma una capa protectora.

2.- La pintura.

La pintura es la forma universal de protección del acero contra la corrosión, en todos los casos en que no existen dificultades particulares de accesibilidad, espesores pequeños, extensión de la superficie o condiciones de exposición particularmente severas. En este último caso, una protección suplementaria —recubrimiento, utilización de aleaciones inoxidables, secciones de metal superabundantes, o protección catódica— será necesaria.

a. Preparación de la superficie a pintar

Conviene primero limpiar la superficie y protegerla de las partículas que pueden depositarse sobre ella, es necesario recurrir a un disolvente que elimine la grasa, el aceite y la suciedad, y después hay que quitar las incrustaciones y el óxido (con rascador o cepillo metálico si se retiran con facilidad, o bien con herramienta mecánica si están fuertemente adheridos). Las incrustaciones y el óxido tenaces deben ser eliminados por decapado, por chorro de arena o granalla, o con soplete.

b. Tipos de pintura

Es preciso que las diferentes capas de pintura y los componentes de cada capa (diluyentes, colorantes, productos de imprimación), sean compatibles. Una manera de asegurarse consiste en exigir productos de la misma marca.

c. Aplicación de la pintura

Después de la limpieza, hay que aplicar la primera capa antes de que la superficie se ensucie de nuevo. Cuando se ha limpiado con soplete hay que pintar antes de que la superficie haya alcanzado de nuevo la temperatura ambiente (para que no haya condensación sobre el metal), pero después de que haya alcanzado una temperatura compatible con la pintura. Salvo para ciertas emulsiones, la superficie debe estar tan seca como sea posible, ni muy fría ni muy caliente. Las recomendaciones clásicas de aplicación indican que la pintura no debe ejecutarse en superficies cuya temperatura sea menor de +5° C o mayor de +60° C. Cada capa de pintura debe secarse totalmente antes de aplicar la siguiente.

La pintura puede aplicarse a brocha o pistola con igual éxito. El uso de rodillos o pulverizadores, debe limitarse a casos particulares o reservarse a algunos revestimientos bituminosos.

d. Inspección de los trabajos

Es una operación necesaria, a la que algunas veces se concede poca importancia. Es necesario seguir de cerca los trabajos de limpieza para asegurarse que se hacen bien hasta el final. Cuando los pintores han comenzado su trabajo, no les gusta interrumpirlo, y la pintura corre peligro de no ser aplicadas sobre zonas sucias o que no adhieran sólidamente a la superficie a pintar.

Después de cada capa hay que comprobar que no hay huecos, zonas sin pintar o burbujas que convengan retocar. Las capas sucesivas deben tener colores diferentes para facilitar las comprobaciones.

Conviene comprobar el espesor de las diferentes capas. Existen aparatos para medir el espesor de la pintura fresca o seca y aparatos de detección eléctricos que permiten descubrir pequeños defectos.

Terminada la operación de pintura hay que asegurarse de que la superficie esta en perfecto estado.

e. Repetición de la operación de pintura

Antes de repintar hay que asegurarse de que la nueva pintura es compatible con la actual, y ver si esta ha sido retocada total o parcialmente antes de aplicar la nueva.

No hay que aplicar varias capas nuevas de pintura sin quitar las antiguas, pues un revestimiento espeso, tiende a perder su adherencia.

3.- Otros revestimientos.

a.-Galvanización.

Este revestimiento se utiliza para obtener una protección más duradera que la proporcionada por los procedimientos clásicos de pintura. (Sin embargo, no es una protección absoluta y en climas húmedos o tropicales la misma capa de zinc se protege con una buena pintura.

Para las estructuras metálicas se preconiza generalmente la galvanización por un procedimiento de baño en caliente (galvanización A.S.T.M. A-153), porque la capa obtenida es más gruesa que la conseguida por otros procedimientos, tales como la galvanización al gris de zinc, la galvanoplastia o la aplicación por proyección. Es deseable que la capa sea gruesa, pues el poder protector del zinc, es aproximadamente proporcional a su espesor. Todas las operaciones de fabricación, en especial los plegados, los cortes con soplete y las soldaduras deben efectuarse antes de la galvanización, ya que estas operaciones queman o disgregan el zinc protector.

4.- Recubrimiento grueso.

Los párrafos precedentes describen la protección contra la corrosión por aplicación de capas relativamente delgadas. Pero el inconveniente de las capas delgadas reside en que deben ser renovadas con frecuencia. Se puede asegurar una protección permanente o semipermanente recubriendo el elemento entero con concreto o material plástico, o revistiéndolo con una capa de metales no féreos u otros materiales inalterables.

El recubrimiento de concreto es el más utilizado para proteger construcciones portuarias sometidas a las mareas y situadas a bajo el nivel del mar, para conducciones enterradas, para revestir canalizaciones, en el interior de soportes tubulares, partes de obra que ya no serán accesibles al acabar los trabajos, y otras expuestas a atmósferas particularmente corrosivas, tales como humo de locomotoras o fábricas de productos químicos.

Además de su papel protector respecto a la corrosión, los recubrimientos de concreto se utilizan para proteger el acero de la abrasión y, lógicamente de los incendios.

La colocación del concreto puede hacerse utilizando encofrados o por proyección.

Con el objeto de asegurar una buena adherencia entre el acero y el concreto, se debe limpiar la superficie del acero de todas las suciedades, incrustaciones o escamas de óxido, y el concreto debe ser denso, rico en cemento y de buena calidad. Si el concreto es de mala calidad, la protección será insuficiente. Hay que colocar una especie de elemento de envoltura; generalmente consiste en una malla metálica de barras de pequeño diámetro espaciadas de 5 a 10 cm.

Las normas AISC 4 precisan que los elementos de acero que van a ser recubiertos con concreto, no deben pintarse. Sin embargo, según la experiencia en la práctica, deben pintarse o revestirse los 15 primeros centímetros de la parte recubierta para impedir el ataque del agua que se infiltra por las fisuras de retracción, en obras no protegidas.

Precauciones a tomar:

- Un recubrimiento de concreto no consiste en un simple relleno. Hay que utilizar un concreto de buena calidad, de 250 kg/cm^2 de resistencia a compresión simple, e insistir sobre una ejecución muy cuidada.
- Un recubrimiento de concreto, incluso estando bien echo, no protegerá al acero de la corrosión por electrólisis, y cuando el acero es susceptible de tener que conducir corrientes a tierra, hay que prever un sistema de toma de tierra individualizado. Recubrimientos bituminosos. Estos revestimientos son una excelente protección contra la corrosión y se emplean frecuentemente para recubrir elementos enterrados en suelos muy corrosivos; como los cauces de río; terrenos pantanosos rellenos de escorias; rellenos que contengan materias orgánicas (basuras, por ejemplo) y zonas de mareas. Los recubrimientos se utilizan sobre todo para proteger canalizaciones, tirantes y uniones que sirven para anclar obras de contención, y en cualquier parte donde se desee una protección eficaz y duradera. El trabajo consiste en revestir la superficie metálica, con una capa de alquitrán de hulla, barnizarla y recubrir todo con una o varias capas espirales de fieltro u otro material apropiado, saturado en una mezcla impermeable a base de betún. Este material refuerza y protege el revestimiento y aumenta su espesor.

En el caso de obras enterradas, hay que recubrir los elementos protegidos con tejas o con hojas de metal, o con otro producto equivalente; en las superficies verticales u oblicuas se protegerán con ladrillo o piedras. Hay que evitar que los elementos protegidos estén en contacto con el suelo compacto arcilloso o limoso, que se adhiere al revestimiento y puede provocar una ruptura por retracción en caso de disecación. Hay que evitar también que el elemento repose sobre rocas, tabloncillos o restos pues el revestimiento corre peligro de dañarse por rozamiento con estas asperezas, al moverse la obra. Hay que prever un relleno arenoso alrededor del recubrimiento: Si el elemento a revestir es largo y flexible, es preciso prever soportes intermedios, por ejemplo, cada 10 m, para evitar el desprendimiento del recubrimiento.

Los recubrimientos de concreto y de asfalto son, con mucho, lo más comúnmente empleados para proteger el acero. Sin embargo, se utilizan otros materiales en casos particulares. Por ejemplo, se ha utilizado espuma de uretano recubierta de polisulfuro líquido para proteger de la corrosión las abrazaderas de tensado de los cables en la construcción del segundo tablero del puente "Jorge Washington". La espuma servía para rellenar y el polisulfuro líquido para asegurar la estanqueidad.

Un recubrimiento formado con una aleación de cobre y níquel ha sido utilizado para recubrir y proteger piezas de acero de las superestructuras de varias plataformas marinas de sondeos en el Golfo de México. Se emplean aleaciones inoxidables para revestir pilotes y estructuras de plataformas de amarre a distancia de la costa, al nivel de las mareas y del oleaje.

5. Aleaciones inoxidables.

La corrosión que sufre el acero depende tanto de su composición como del medio en que se encuentra. Para un medio dado, se puede disminuir la corrosión de una obra de acero utilizando aleaciones inoxidables en lugar de acero ordinario al carbono (ASTM-A7 o A36).

a. Obras al aire libre.

Se pueden citar entre las aleaciones anti-corrosión el acero al cobre (ASTM-A7, A36 o A373 que

contengan al menos un 0.2 % de cobre) algunos aceros de alta resistencia y poca proporción de aleaciones, tales como los enumerados en la norma ASTM-A242.

Se puede preconizar el empleo del acero al cobre utilizando las normas ASTM. La mayoría de los aceros aleados en pequeña proporción, recomendados por su resistencia a la corrosión, se fabrican bajo licencia, y el ingeniero debe pedir información al fabricante, con objeto de escoger un producto que responda al fin deseado. No basta pedir ASTM-A242. Varios aceros de este tipo tienen una resistencia a la corrosión atmosférica superior a la del acero al cobre. Salvo en caso de condiciones muy severas, se utilizan aleaciones inoxidables, que cuestan poco más que el acero A-36, y esto únicamente en elementos críticos y no en la obra entera. Por ejemplo, se recomienda su empleo para:

- Las uniones y partes móviles, como cubrejuntas, extremos de vigas y apoyos deslizantes
- Para uniones de elementos relativamente pequeños, como mallas, que presenta una gran superficie expuesta, por lo que sería muy costosa su conservación.
- Para elementos que serán difícilmente accesibles una vez que la obra se acabe.
- Para los canales, rejillas y elementos del mismo tipo, que están particularmente expuestos porque se mojan y acumulan en ellos restos secos o húmedos con frecuencia. Además, el acero inoxidable se recomienda a veces para algunas partes de instalaciones marítimas o para obras situadas en obras industriales donde la atmósfera es muy agresiva, como por ejemplo, en las proximidades de tanques de ácido.

b. Instalaciones enterradas y sumergidas.

Aunque no se disponga más que de pocos datos, parece que el empleo del acero al cobre o de aceros débilmente aleados de alta resistencia, presentan pocas ventajas frente al acero ordinario al carbono. En las instalaciones enterradas y sumergidas donde el acero está constantemente húmedo. Sin embargo las aleaciones de alto contenido en silicio, cromo o níquel resisten indiscutiblemente mejor a la corrosión en estos casos y pueden ser, en principio, útiles si el precio no es un obstáculo.

Precauciones a tomar: a excepción de ciertos usos en arquitectura, los aceros inoxidables deben pintarse, galvanizarse o protegerse, como los aceros ordinarios al carbono: la utilización de metales inoxidables es, esencialmente una precaución suplementaria tomada para simplificar los problemas de conservación que conciernen a elementos muy expuestos o de acceso muy difícil.

6. Metal superabundante.

Este término se aplica a los espesores de metal previstos en exceso en relación con los dados por los calculistas. Su objeto es proporcionar un margen que permita que se produzca la corrosión sin bajar de la resistencia necesaria del elemento. El campo de aplicación, es el mismo que el de los aceros inoxidables. De hecho si se considera solo la resistencia de las obras, las dos técnicas son equivalentes.

Los espesores mínimos necesarios dados por numerosas instrucciones de construcciones metálicas son consecuencias de este principio. Por ejemplo: las normas aplicables a los puentes de carretera (AASHO) recomiendan un espesor de metal de 10mm. para el alma de las pilas metálicas, así como para el empalme de los pilotes: la mayor parte de las demás especificaciones expresan exigencias comparables, al referirse a cimentaciones.

El método habitual cuando se trata de utilizar esta técnica consiste en calcular la dimensión del elemento en función de la resistencia necesaria: evaluar a continuación la pérdida de metal debida a la corrosión (han sido frecuentemente publicadas cifras relativas a este punto); y aumentar el espesor de

metal en una cantidad equivalente a esa pérdida en un periodo de tiempo igual a la duración prevista de la obra. No hay que olvidar que la pérdida de metal se produce por los dos lados del elemento, y hay que tener en cuenta que puede ser distinta a cada lado, por ejemplo, en un tablestacado, uno de cuyos lados esta en contacto con el relleno.

7. Protección catódica.

La corrosión en medio abundante de agua o húmedo, es de naturaleza esencialmente electroquímica; está causada por una corriente que, partiendo de las zonas anódicas, pasa por la solución para alcanzar el metal en las zonas catódicas. Este tipo de corrosión puede ser prevenido haciendo pasar por el metal una corriente eléctrica contraria suficientemente fuerte para neutralizar las corrientes destructoras. La protección catódica, que consiste en acoplar, en la obra que se requiere proteger, un ánodo que aporte metal, desempeña este papel neutralizando las corrientes corrosivas y formando capas de compuestos no solubles sobre las nuevas superficies catódicas.

Se utiliza sobre todo este método para proteger el acero enterrado (conducciones o pilotes), para proteger la parte sumergida de las instalaciones marítimas tales como pilotajes y arriostramientos, para proteger las compuertas de esclusas y presas; el interior de y el exterior de depósitos enterrados. La protección catódica, sin embargo no impide la corrosión, a menos que el metal a proteger no este en medio electrolítico (agua o suelo húmedo); no es eficaz para proteger los elementos de obras situadas sobre el nivel freático o en terreno muy seco.

Precauciones a tomar: los efectos sobre las sobras adyacentes inducidos por la protección catódica no deben ser despreciados. Estas obras corren el peligro de ser dañadas si no están convenientemente enlazadas al nuevo sistema, o si no se prevén otros medios de protección.

8. Revestimiento reforzado.

Este tipo de revestimiento se utiliza como medio para proteger la obra contra la abrasión.

Un recubrimiento de concreto, forma un excelente revestimiento. Se pueden citar, como otros procedimientos, las placas protectoras en acero forjado, las de madera, la utilización de metal superabundante, el revestimiento con metales duros, la utilización de pinturas anti-abrasión, tales como los vinilos, el neopreno, y los revestimientos fenólicos endurecidos en caliente.

Cuando la abrasión es muy activa, hay que recubrir las obras con concreto. Las placas de acero forjado son muy eficaces, pero caras. Los otros procedimientos no son aplicables, en el mejor de los casos, mas que en zonas pocos expuestas.

9. Influencia de los detalles constructivos.

Se pueden evitar numerosas dificultades debidas al deterioro de las construcciones metálicas presentando una particular atención a los detalles de los proyectos; en particular, a los siguientes puntos:

- Es preciso que, en medida de lo posible, todas las partes de la obra sean accesibles a fines de conservación o, si no lo son, que los elementos estén revestidos o hayan recibidos una protección permanente cualquiera. Esto es menos necesario si están situados en un lugar bien protegido y caliente, alejado de las tuberías y de las posibles fuentes de fuga en tejados y muros. No hay que dejar espacios vacíos inaccesibles bajo los tejados, ni bajo el forjado de planta baja, ni en los aparatos de apoyo. Hay que prever trampillas. Si en un punto el espacio es demasiado reducido para que un hombre pueda entrar a trabajar, debe ser considerado como inaccesible y protegerlo. La inaccesibilidad es lo que más dificultades plantea en una obra, sobre todo si es metálica.

- Hay que elegir la forma de las secciones de manera que tengan la menor superficie expuesta posible. Por ejemplo, desde el punto de vista de la lucha contra la corrosión, una doble T es preferible a angulares unidos, y una viga cajón preferible a una de sección en H. Siempre que los esfuerzos a que esté la obra sometida lo permitan, las secciones compactas serán preferibles a las de gran superficie.
- Hay que evitar formas o detalles en los que se pueda acumular la suciedad. Si el costo no es excesivo se pueden usar secciones redondeadas.
- Hay que suprimir las bolsas, puntos bajos o hendiduras susceptibles de retener el agua. Las secciones en U deben presentar su concavidad hacia abajo, o estar provistas de orificios de evacuación bastante grandes para no ser cegados por hojas o suciedad, o rellenas de concreto. Si la sección lleva rigidizadores, hay que hacer orificios de evacuación en las cubetas que forman. (Fig. 4.22). Los perfiles de ala ancha y las sesiones en doble T, de alma horizontal, deben tener una pendiente suficiente para permitir el desagüe, o llevar orificios de evacuación.

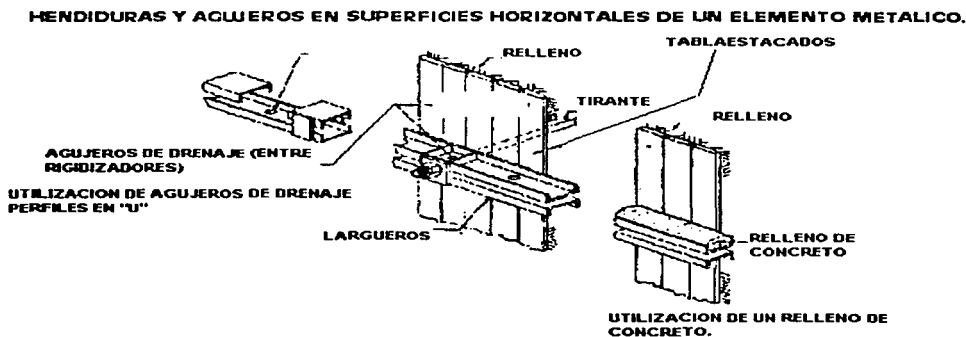


Figura 4.22 drenaje de perfiles estructurales. El tratamiento de doble T de la ala ancha y normales es analogo.

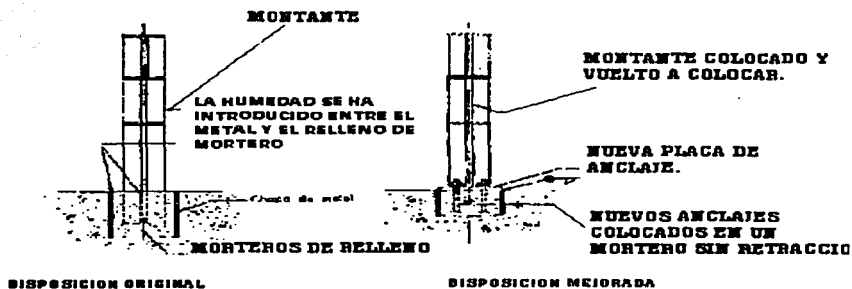


Figura 4.23 Si se llena de concreto una cavidad, hay que utilizar un mortero expansivo de manera que no haya una retracción que permita penetrar el agua por las fisuras que se formarían entre el mortero y el borde de la cavidad.

- La base de los soportes deben protegerse por un recubrimiento de concreto o por enanos de concreto que sobrepasen el nivel del terreno o forjado. La superficie de concreto adyacente debe tener una pendiente que permita alejar el agua de la estructura metálica.
- Las construcciones de concreto que soportan o están debajo de estructuras metálicas deben proveerse de canales, goterones y surcos de drenaje.
- Las hendiduras y agujeros en superficies horizontales de un elemento metálico deben ser suficientemente grandes para asegurar un desagüe real. Si se llena de concreto una cavidad, hay que utilizar un mortero expansivo de manera que no haya una retracción que permita penetrar el agua por las fisuras que se formarían entre el mortero y el borde de la cavidad. (Fig. 4.23).
- Hay que evitar las disposiciones que conduzcan a hendiduras estrechas que no se puedan llenar ni pintar. Un ejemplo corriente es el de angulares o perfiles en U unidos o adosados, pero entre los que la presencia de cartelas deja juego. En obras expuestas esta unión conduce siempre a dificultades, salvo si el espacio entre elementos se obstruye.
- En uniones rebлонadas o atornilladas o con perfiles metálicos adosados, hay que evitar la penetración de agua entre las chapas o elementos adyacentes asegurándose que todas las superficies metálicas están en contacto. En uniones de fuerza, hay que preparar la superficies en contacto antes del montaje.
- Las uniones a tope totalmente soldadas son preferibles a los empalmes por solape de chapas, por un lado a causa del agua que penetra en las chapas y por otro porque es imposible quitar todo decapando la superficie en contacto. El decapado aumenta el efecto corrosivo de la humedad. Lo mismo ocurre con las soldaduras que no ciegan más que parcialmente los vacíos entre las piezas.
- Los soportes tubulares deben llenarse de concreto o cerrarse para ser estancos al aire.
- Para evitar la corrosión por efecto pila hay que aislar los metales de naturaleza diferente, en particular las aleaciones de aluminio y cobre habitualmente utilizadas en decoración. La pintura al cromato de zinc o arandelas y juntas impregnadas de cromato de zinc son excelentes para esto. Los roblones que unen los dos metales deben ser de acero inoxidable, o recubrirse de una vaina aislante.
- Los espacios que rodean los elementos de acero deben ser ventilados o rellenados. La observación de estos sujetos no aumentará --o aumentará poco-- el costo de la obra y disminuirá considerablemente los gastos de conservación.

Algunas consideraciones generales acerca del fenómeno de la corrosión

1. La intensidad de la corrosión depende de la composición química del acero y puede reducirse recurriendo a algunas aleaciones inoxidables.
2. La corrosión puede producirse tanto en contacto con oxígeno disuelto, como con el oxígeno del aire, es decir, puede tener lugar sobre obras sumergidas o enterradas. Cuando se va a construir una obra y no se tiene datos de la velocidad de corrosión, se puede tener una idea comparando el porcentaje de oxígeno disuelto en agua, en el emplazamiento considerado, con el de otros emplazamientos en los que se conozca el comportamiento del acero.
3. La presencia de humedad es decisiva en el fenómeno de corrosión. En un lugar dado, la corrosión será tanto más fuerte cuando más húmeda sea la atmósfera. Las obras de acero no protegidas tienen una duración bastante grande en regiones áridas, siendo rápidamente atacadas en regiones de clima húmedo. Es útil hacer constar que la corrosión es menos fuerte en el lado de la obra

expuesto al sol, es decir, al sur o en zonas en que no hay sombra. La razón es que el agua se evapora más rápidamente sobre las superficies al sol

Una débil humedad basta para iniciar la corrosión. Las reacciones de corrosión se producen, aunque lentamente, sobre superficies en las que la película de humedad es lo bastante fina para ser invisible, figuras 4 24 y 4 25



Figura 4 24 Estado de los arriostramientos. Antes de retirar el óxido.

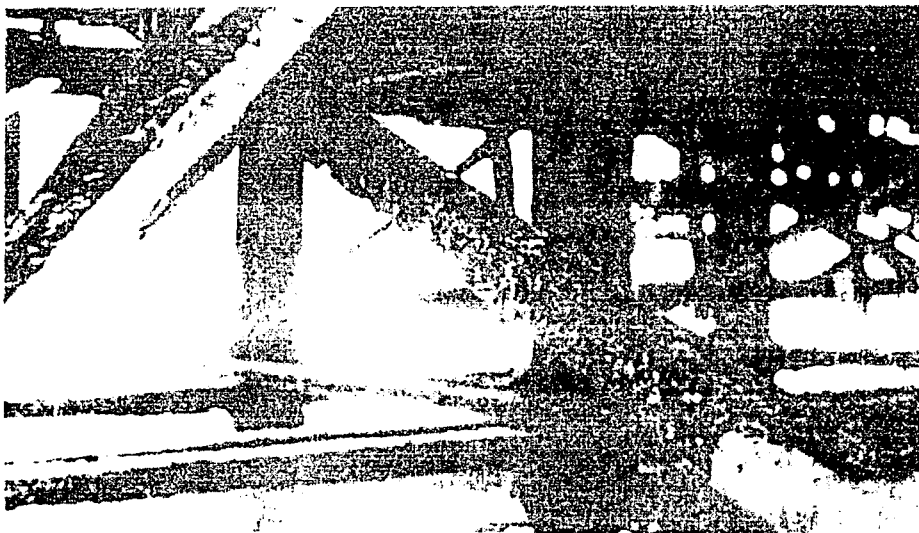


Figura 4.25. Después de retirado



Figura 4.26 Corrosion de una viga de acero. Aspecto presentado por la viga antes de quitar las incrustaciones de oxido. Notese que aparte de algunas picaduras y zonas salientes, la viga parece estar en bastante buen estado



Figura 4 27 La misma viga fotografiada despues de retirar parcialmente el óxido con un martillo. Obsérvese que el aspecto es muy diferente, y revelando un estado avanzado de corrosión. El espesor del ala se ha reducido al de una hoja, y se pueden ver agujeros (indicados por flechas). Esta fotografía muestra que no se debe juzgar el estado de corrosión sin retirar el óxido.

4. La intensidad de la corrosión crece con la temperatura. Hay que vigilar de cerca las instalaciones situadas en los trópicos o sometidas a fuertes temperaturas.
5. Cuando el medio corrosivo se renueva rápidamente, la intensidad de la corrosión es mayor, principalmente porque hay más oxígeno en contacto con el metal, fig. 4.26 y 4.27.
6. En instalaciones marítimas, la presencia de moluscos u organismos análogos contribuye a acrecentar el picado, en parte a causa de los reactivos químicos que producen y en parte a causa de su crecimiento irregular y desordenado que favorece la aparición de puntos de corrosión electrolytica. Sin embargo, una fuente vegetal de este tipo contribuye a reducir la corrosión manteniendo apartados los productos corrosivos, impidiendo así que la superficie esté en contacto con agentes oxidantes. No hay que limpiar las obras de toda vegetación submarina sistemáticamente.
7. En los climas tropicales, los hongos causan daños considerables a las obras metálicas, por lo que se recomienda el empleo de un fungicida.
8. En las instalaciones sumergidas o enterradas, puede producirse una corrosión importante por efecto de la presencia accidental de corrientes eléctricas.
9. En instalaciones sumergidas y sobre todo en pilotes de obras marítimas, se observa a menudo que el hidróxido precipitado forma un revestimiento compacto y adherente que protege la obra contra la corrosión. Este revestimiento es generalmente de un color negro verdoso que contrasta con el marrón rojizo del óxido ordinario. El fenómeno explica frecuentemente la ausencia, aparentemente imposible, de corrosión en las armaduras al descubrirse de los pilotes de concreto deteriorados. No hay que quitar este revestimiento cuando se reparen los pilotes.

10. El contacto de metales diferentes en un medio conductor de electricidad es una posible fuente de corrosión y debe ser evitado.
11. Hay que hacer notar qué partes diferentes de una misma obra pueden estar situadas en medios diferentes. Se debe proyectar o reparar la obra en función de estas diferencias de medio.
12. La corrosión de las obras enterradas se acelera mucho por la presencia de suelos corrosivos. Se clasifican entre los suelos corrosivos los depósitos orgánicos como la turba, el limo orgánico, el lodo de los ríos y puertos. Las cenizas son también muy corrosivas a causa de la presencia de productos de combustión residuales que en contacto con la humedad, producen ácidos. Los numerosos depósitos de basura son también origen de dificultades.

4.4 CASO Y SU MANTENIMIENTO.

4.4.1 Introducción.

El acero se utiliza casi en todo lo estructural, llámese subestructuras o superestructuras, esto desde el punto de vista ingenieril. Se presenta un caso particular de una tubería de acero que transporta hidrocarburo y que ésta a su vez presenta un grado considerado de corrosión, para el cual se hace un análisis detallado con el fin de evitar mayores problemas en la conducción.

La mecánica de fractura por corrosión es una disciplina de creciente aplicación en México, debido principalmente a las presiones económicas para reducir la frecuencia del mantenimiento correctivo, cuando éste implica la reparación de estructuras y partes agrietadas y a la necesidad de alargar la vida útil de plantas industriales y estructuras metálicas. En la práctica tales aplicaciones requieren de conocer lo siguiente: (a) La resistencia a la fractura de los materiales de fabricación incluyendo sus soldaduras, (b) los criterios de evaluación de la resistencia a la fractura por corrosión, (c) la rapidez de crecimiento de grieta. En el caso particular de los ductos de conducción de hidrocarburos, la necesidad de evaluación de una gran cantidad de tramos en los que se han detectado grietas, requiere del desarrollo de criterios generales de evaluación que permitan analizar una gran cantidad de defectos en tiempo relativamente corto. La aplicación de los criterios de evaluación de defectos y las predicciones de vida residual permite determinar la viabilidad de seguir operando una línea y establecer los programas de inspección y mantenimiento.

Como regla general, las compañías petroleras gastan enormes sumas de dinero en el mantenimiento de sus ductos y aún así se presentan fugas y explosiones inesperadas. Estos eventos acarrear enormes costos por demoras e interrupciones de la producción, gastos por pago de afectaciones y reparación de las áreas dañadas, además de deteriorar seriamente la imagen de la empresa y ocasionar daños a la ecología. Es muy frecuente, por otra parte, que aún cuando un defecto en un ducto por corrosión ha sido detectado, técnicamente no es posible repararlo de inmediato, por dificultades de acceso o el costo de la reparación es exorbitante como es el caso de ductos marinos, ductos en zonas pantanosas y en zonas urbanas. Una solución extrema, aplicada con frecuencia, es la de disminuir la presión de operación o en casos extremos, deshabilitar el ducto. Estas decisiones también conllevan enormes pérdidas económicas por la disminución de la producción y ecológicas y porque muchas veces el producto tiene que quemarse al no poder ser transportado ni almacenado. Dentro de éste estado de cosas resulta que una gran cantidad de defectos que aparecen con mucha frecuencia en los ductos no están caracterizados en su comportamiento mecánico ni en su evolución y rapidez de crecimiento y por lo tanto, no existen normas o códigos para dictaminar su grado de peligrosidad y decidir si repara o no; Tal es el caso de las grietas inducidas por hidrógeno en ductos de acero en servicio amargo conocidas como laminaciones, ampollas y agrietamiento escalonado.

La corrosión por definición es la causa general de la alteración y destrucción de la mayoría de los materiales sean naturales o artificiales, específicamente sobre la producción del acero con que son construidas las tuberías utilizadas en la industria petrolera y de acuerdo con las estadísticas a nivel mundial, el 25.4% de esa producción anual de acero es destruido por la corrosión que invariablemente es generada a partir de los agentes existentes en el medio que rodea el acero o bien por la naturaleza de los fluidos por los ductos.

Derivado de los efectos del fenómeno de la corrosión los costos por reparación o sustitución de estructuras o tuberías dañadas, presentan grandes inversiones económicas para la industria en general y específicamente en sistemas de transporte de hidrocarburos podría representar además posibles e irreparables pérdidas humanas, diferimiento de producción por paros imprevistos fugas que dañan el entorno ecológico así como afectaciones a terceros tanto en sus bienes como en sus personas por lo que es conveniente implementar un plan para prevenir y mitigar tales efectos reduciéndolos a su mínima expresión

Para predecir la influencia de los factores externos sobre los ductos y sus sistemas de producción se llevó a cabo un estudio fisicoquímico y microbiológico del agua y sedimento pertenecientes al corredor Atasta-Cd. PEMEX, que se localiza en las inmediaciones de los estados de Campeche y Tabasco pasando en su trayectoria por las reservas ecológicas de Laguna de Términos en Campeche y los Pantanos de Centla en Tabasco.

Estudio de la influencia de los factores Físicos, Químicos y Microbiológicos causantes de la corrosión del entorno Lacustre sobre Ductos del Corredor Atasta-Cd. PEMEX

El muestreo para el estudio se realizó en promedio a cada 5 km. a lo largo del corredor intensificándose en las regiones con evidencias de corrosión exterior. En los análisis se incluyeron determinaciones de temperatura oxígeno, redox, bióxido de carbono, conductividad / resistividad, cloruros, sulfatos, dureza, alcalinidad, fierro, manganeso ácido sulfhídrico, bacteria aerobias, bacterias anaerobias y bacterias sulfato-reductoras

De los análisis realizados se estableció la tendencia corrosiva y/o incrustante del agua a lo largo de los dos canales del corredor, detectándose cuatro regiones donde la influencia del medio sobre las líneas es evidente por los altos niveles de fierro encontrados y de igual forma se detectaron altas poblaciones de bacterias sulfato-reductoras en la vecindad de las tuberías de transporte.

4.4.2 Objetivos

Realizar estudios físicos, químicos y microbiológicos que son causantes de la corrosión, así como para determinar los efectos del entorno lacustre sobre las líneas de transporte de hidrocarburos del Corredor Atasta-Cd. Pemex.

Mejorar los sistemas de protección en las líneas sobre la base de la información generada en los estudios.

Determinar en forma específica la manera en que ocurre el agrietamiento asistido por corrosión en tuberías de acero para ductos de gas amargo.

Evaluar las propiedades mecánicas y la tenacidad a la fractura; En los materiales de acero utilizados en la tubería, ductos, en muestras retiradas del ducto en servicio y en materiales similares que no hayan sido puestos en servicio.

Desarrollar modelos matemáticos para calcular:

La presión máxima de operación de la tubería en presencia de una grieta de tamaño y geometría dada

El tiempo de servicio antes de que una grieta formada por el proceso de fractura asistida por corrosión que pudiera encontrarse en el ducto.

4.4.3 Factores.

La decisión para llevar a cabo el presente estudio se basó en los factores siguientes:

1. Presencia de corrosión exterior a pesar del sistema de protección catódica existente.
2. Indicios de áreas desnudas por deterioro evidente del recubrimiento dieléctrico.
3. Abundante presencia de materia orgánica en el derecho de vía.
4. Evidencias de metabolismo anaerobio en la vecindad de los ductos.

4.4.4 Caso.

Para comprender mejor todos los conceptos se tienen los siguientes datos:

Nomenclatura.

- Bact/rnl = bacterias por mililitro
- Corr = corrosivo.
- Corrosión microbiológico aerobia = exacerbación de los fenómenos de corrosión por la colonización bacteriana y su consiguiente formación de biopelícula en presencia de oxígeno.
- Corrosión microbiológico anaerobia = exacerbación de los fenómenos de corrosión por la colonización bacteriana y formación de biopelícula en ausencia de oxígeno.
- DDV = Derecho de vía.
- E = electrones
- Sup. = Superficie
- Hr. = horas
- Inc. = Incrustante
- Km. = kilómetro
- MBPD = miles de barriles hidrocarburos líquidos por día.
- Me = metal
- mg/l = miligramos por litro.
- MM3PD = miles de metros cúbicos por día.
- MMM3PD = millones de metros cúbicos por día
- MMPCD = millones de pies cúbicos de gas por día.

El Corredor de tuberías Atasta-Cd. PEMEX (Figuras 1, 2,3, 4 y 5) está considerado como una instalación estratégica para PEMEX y para el País ya que es la vía más viable para proporcionar la salida de toda la producción de gas y condensados de la Región Marina, motivo por el cual es evidente la importancia que reviste y como consecuencia es prioritario preservar la integridad física de las tuberías que lo integran para mantener e incrementar la confiabilidad y eficiencia en el transporte de la producción, reduciendo al mínimo los riesgos derivados de los efectos de la corrosión que pudieran derivar en una contingencia ecológica.

El derecho de vía de éste corredor tiene una longitud de 92 kilómetros y esta constituido por dos canales artificiales a cielo abierto, que se encuentran cubiertos de plantas acuáticas aproximadamente del kilómetro al 40 al 92 y está constituido por las líneas L-1 36" (diámetro) que maneja 250 MMPCD de gas residual proveniente del complejo procesador de gas en Cd. PEMEX, Tabasco hacia la plataforma Nohoch-A, pasando por el Centro de Proceso de Gas y Condensador Atasta, éste flujo contribuye a incrementar en 200 MBD (30.4 MM D) de aceite mediante el sistema de Bombeo Neumático para recuperación secundaria. Las líneas L-2 y L-3 de 36" (diámetro) manejan 1,250 MMPCD (35.6 MM3 PD) de gas amargo desde Atasta a Cd. PEMEX para procesamiento, resaltando que L-3 opera 45 km. De Atasta-Río Usumacinta, llevando un 90% de avance en la construcción del segundo tramo Río Usumacinta-Cd. PEMEX de 45 km. Y finalmente G-1 y G-2 de 16" (diámetro) que transporta 100 MBPD (15.2 MM3PD) de condensadores amargos que también son enviados a proceso en Cd. PEMEX, Tabasco. Estos volúmenes mencionados representan el total de la producción de gas y condensados de la Región Marina.

Como una de las principales características del corredor es la presencia abundante de materia orgánica en las diferentes fases de su ciclo de natural, que dio margen a pensar en una posible proliferación de diversos microorganismos que pudieran tener influencia en el fenómeno de corrosión, factor que no se había considerado para fijar el nivel adecuado de protección catódica y además, fueron detectados durante la inspección interior con equipo instrumentado, algunos daños por corrosión exterior que se confirmaron mediante inspección directa en campo, llamando la atención que estos daños se localizaron alrededor del Km. 70 y que en el Km. 73+300 existe una estación de impresión de corriente. Aunque es difícil precisar en que etapa de la vida útil de los ductos se presenta corrosión, es factible que esta empezara en la fase inicial de operación de las tuberías que en algunos casos como L-36" (diámetro) tiene más de 15 años en funcionamiento.

Causas que originaron la corrosión en los ductos.

Los microorganismos en forma natural se encuentran ampliamente distribuidos en ambientes originales o modificados por el hombre, puesto que en ambos supuestos, se propicia la actividad bacteriana en mayor o menor grado. De manera general, es posible que se presenten diversos problemas operativos que provienen de la citada actividad bacteriana, tales como taponamiento en filtros de perforación, corrosión interior y/o exterior en tuberías, corrosión en tanques y bombas de succión en sistemas de enfriamiento y recipientes para almacenar aceite. Sin embargo, es menester tener presente que la corrosión inducida microbiológicamente no involucró una nueva forma de corrosión, ya que los procesos de fondo son de naturaleza físico-química pero son amplificados por la acción de otros compuestos oxidados de azufre como receptores finales de electrones, que producen el ácido sulfhídrico (H₂S) como producto metabólico, existiendo además otros microorganismos que pueden utilizar H₂ y ser capaces de producir sulfuros a partir de sulfatos o tiosulfatos.

Generalmente todos los metales como aleaciones de aluminio, aceros inoxidables al carbón, cobre y sus aleaciones forman una película adherente de óxido que los protege de la corrosión, pero las películas biológicas dañan el óxido protector, alteran la permeación de oxígeno y exponen el metal a los procesos corrosivos.

Las características y mecanismos de la biocorrosión. Cuando un metal está expuesto en un ambiente aeróbico, sumergido en agua o en suelos húmedos, la reacción inicial es la disolución del metal como catión metálico, con la cual pierde el exceso de electrones conforme a la reacción anódica. Los electrones liberados son aceptados en un área catódica cercana y que en soluciones neutras, ocurre como la reducción catódica del oxígeno a hidróxilos. La reacción total es la formación y precipitación de productos insolubles formados por la reacción de iones ferrosos metabólicos e iones hidróxilos.

Siendo éste el caso más simple de reacciones que suceden uniformemente sobre la superficie de los metales.

En ausencia del oxígeno, la reacción catódica habitual en los procesos de corrosión es la reducción del hidrógeno del agua.

La corrosión aeróbica es generalmente la colonización y formación de biopelículas en presencia de oxígeno, favoreciendo la formación de células de concentración y de aeración diferencial debido al consumo del O₂ por la población microbiana y al reducir la concentración se inicia la corrosión localizada.

Con respecto a la corrosión anaeróbica, es quizá el mecanismo de corrosión más asociado a la actividad bacteriana puesto que la mencionada capa interna de la biopelícula es un hábitat adecuado para las bacterias sulfato-reductoras que tienen la capacidad de utilizar los sulfatos como receptores de electrones.

Los mecanismos de corrosión que generan las bacterias sulfato reductoras son muy complejos, existiendo en la literatura cinco hipótesis para explicar su papel.

1 Corrosión por iones sulfuros

La película protectora de sulfuros como Mackinawita, sufre una ruptura a concentraciones de hierro más altas y se pierde debido a la conversión de Smititay pirrotita. Dependiendo de la especie química presente, la película de sulfuros puede tener diferente corrosividad, promedio de 12.8 mm/año mientras que en presencia de Mackinawita se reduce a 5.3 mm/año.

2 Corrosión por celdas de concentración debido a la formación de sulfuros

Como los sulfuros de hierro formados son de naturaleza diferente al acero, se presenta el mecanismo similar cuando dos metales con distintas reactividades están en contacto, es decir, que se forman zonas anódicas y catódicas entre las cuales existe un flujo de electrones.

3. La despolarización bacteriana del cátodo.

Las bacterias sulfato-reductoras según algunos investigadores son microorganismos que tienen la capacidad de utilizar el hidrógeno catódico por reducción desasimilatoria de sulfato estimulando así la reacción anódica. Simultáneamente, su producto metabólico que es el sulfuro, reaccionaría con los iones metálicos en solución para formar sulfuro de hierro que es corrosivo. Presentándose las siguientes reacciones de la teoría de la despolarización catódica.

4. Producción de compuestos de fósforo corrosivo y volátil.

Algunos investigadores han encontrado significativo fósforo de hierro como producto de corrosión, de color negro y con características amorfas, que contiene fosfito que fue detectada mediante cromatografía de gases. Llegando a la conclusión de que algunas cunas de bacterias sulfato-reductoras producen un agente corrosivo, volátil y soluble en agua que pudiera ser un compuesto fosforado.

5. Corrosión debida a la formación de azufre elemental.

Reportes en la literatura, manifiestan haber encontrado presencia de azufre elemental en la periferia de las picaduras causadas por las bacterias sulfato-reductoras. Este azufre puede ser promotor de

corrosión por un mecanismo similar al de las células de aereación diferencial, lo cual explicaría un alto índice de corrosión en el acero, que ha sido observado cuando está en presencia de azufre elemental presentando el siguiente mecanismo:

El azufre elemental actúa como corrosivo sólo si está disuelto y su solubilidad está influenciada por la temperatura, el pH y los sulfuros.

La interfase de condiciones aeróbicas / anaeróbicas es importante con relación al crecimiento de las bacterias sulfato-reductoras bajo tubérculos de ferrobacterias, reportándose en estudios más recientes, que el oxígeno representa un factor importante en la conversión de sulfuros a azufre elemental, que es un elemento altamente corrosivo.

Ya conociendo las características químicas más importantes, se continua a utilizar el procedimiento de acuerdo a las necesidades de proteger los ductos.

Procedimiento

Metodología.- Se estructuró un muestreo a lo largo del derecho de vía, en donde la distancia promedio entre cada punto es de 5 Km. resultando 22 estaciones de muestreo, además de 8 estaciones adicionales localizadas éstas en los kilometrajes donde el diablo instrumentado detectó corrosión exterior. En cada estación se tomaron muestras de agua en la superficie y el fondo de cada canal, así como sedimento en la vecindad de cada una de las tuberías en las posiciones 3h y 6h (considerando la carátula de un reloj) y en cada punto de muestreo se midió "in situ" la temperatura, concentración de oxígeno, potencial redox y pH, empleando para ello un oxímetro YSI y un potenciómetro Hach con electrodos de cable largo; el bióxido de carbono se tituló con una disolución de carbonato de sodio empleando fenolftaleína como indicador: la conductividad / resistividad se midió con un conductímetro Hach y/o con una "soil box"; la concentración de cloruros, sulfatos, dureza, alcalinidad, fierro y manganeso se determinaron con técnicas colorimétricas.

Para el caso del ácido sulfhídrico primeramente se fijó con sulfato de cadmio y se tituló con yodo y tiosulfato de sodio usando almidón como indicador. Las poblaciones de bacterias aerobias se cuantificaron en placas de agar cuenta estándar, las poblaciones de bacterias anaerobias se estimaron por el método de extinción en viales con caldo Brewer y atmósfera inerte y finalmente las BSR se estimaron por el método de extinción en viales con medio API en atmósfera inerte.

Con los parámetros físicos y químicos en el agua se determinó la tendencia incrustante o corrosiva del agua en los canales, para ello se utilizó el índice de estabilidad de Stiff y Davis (1952) en el agua con alto contenido de cloruros y el índice de estabilidad de Langélier (1934) en agua con bajo contenido de cloruros.

Resultados. De acuerdo a los datos obtenidos en la columna de agua se pudo calcular el índice de estabilidad de los iones presentes, manifestando que en el canal 1 en los primeros 30 kilómetros el agua presenta una tendencia incrustante, mientras que en los siguientes 60 kilómetros la tendencia del agua es corrosiva. Con respecto al canal 2, las características incrustantes del agua abarcan los primeros 50 kilómetros, mientras que en los restantes 40 kilómetros el agua tiene una tendencia corrosiva.

Por otro lado, de los análisis realizados en el fondo de los canales se observó que el fierro determinado fue bajo (0.2 a 0.6mg/l), con excepción a un punto (Km 70+000) que excede a éste umbral, esto posiblemente se debió a que el muestreo se realizó cerca de la tubería donde la concentración fue alta.

En la vecindad de las líneas se encontraron 4 regiones donde la influencia del medio se hace evidente por los altos niveles de hierro determinado y es posible que en estas zonas se correlacione los niveles de hierro con las otras variables analizadas en el estudio. Otro de los puntos importantes encontrados en este estudio es la alta población de bacterias sulfato-reductoras ya que en la mayor parte donde se encontraron puntos críticos, es decir donde el ion hierro se cuantificó en 3 mg/l, la densidad de población es por lo menos 10,000 bact./ml por lo que esta cantidad de bacterias sulfato-reductoras podría considerarse como un riesgo potencial para las líneas en estudio.

Mantenimiento. Efectuar inspección anual de las tuberías en las zonas identificadas, donde los factores ambientales tienen mayor impacto en su integridad

Incrementar los niveles estándares de protección catódica, máximo 100 mV, para minimizar los efectos de la actividad microbiana.

Proyectar un estudio similar a éste y realizar un levantamiento de potenciales a circuito abierto mediante la técnica de intervalos cortos no mayor de 2 años.

En caso de ser posible establecer y ejecutar un programa permanente de eliminación de plantas acuáticas en el derecho de vía.

Los métodos tradicionales de evaluación de la corrosión basados en resultados históricos o estadísticos de pruebas físicas, tales como el uso de cupones de corrosión, suponen que la corrosión ocurre a una velocidad constante. Es conocido que las estrategias de control basadas en estos métodos pueden proporcionar ahorros a la operación y mantenimiento de hasta un 30%. Es difícil incrementar este porcentaje dado que la metodología utilizada no informa al personal, en el momento adecuado, de la ocurrencia de corrosión, esto es, no le proporciona criterios que le permiten tomar medidas correctivas ni métodos para evaluar el impacto de la corrosión.

Los métodos avanzados, que hacen una evaluación continua de las condiciones de la corrosión, revelan que el ataque no es ni constante ni inevitable, sino que el fenómeno está relacionado con condiciones específicas para las cuales el control en el ducto es inadecuado.

Conviene señalar que los métodos avanzados proporcionan un monitoreo de la corrosión en línea y en tiempo real e indican los períodos en los cuales la corrosión se incrementa. Un sistema típico para identificar la corrosión es por computadora que controla un instrumento de corrosión que a su vez se comunica con uno o varios sensores colocados en la instalación o equipo bajo estudio.

El anterior enfoque permite identificar y cuantificar el fenómeno de corrosión. En muchos casos, ajustes menores de los parámetros de operación de un sistema previenen daños, reduciendo la necesidad de mantenimiento y minimizando el riesgo de fallas inesperadas, por lo tanto permiten ahorros aún mayores.

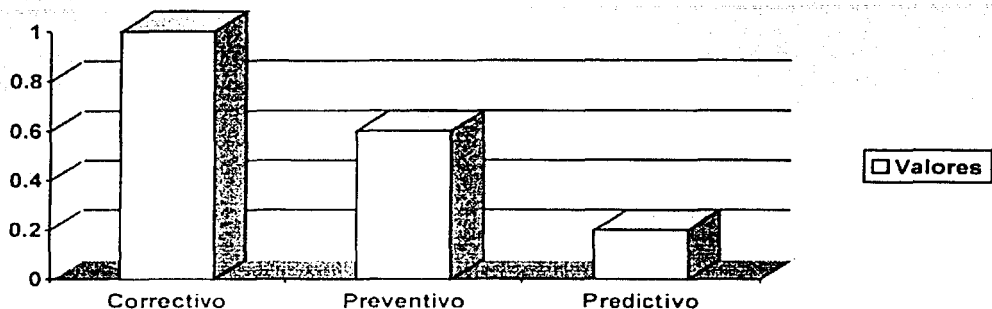


Figura 4.28 La experiencia muestra que si el costo de una reparación, adoptando un mantenimiento correctivo, equivale a una unidad de costo, entonces la adopción de una estrategia de mantenimiento preventivo proporciona aproximadamente una reducción del 33% en costos de operación y mantenimiento. Más aún, si se adopta una estrategia de mantenimiento predictivo, se puede alcanzar un ahorro adicional del 33%.

Mediante los métodos avanzados es posible alcanzar una alta reducción de la corrosión, siendo éstos rentables y con retorno casi inmediato de la inversión.

La instrumentación utilizada se basa en técnicas electroquímicas no perturbativas que detectan y caracterizan las señales electroquímicas recibidas como indicaciones o huellas de corrosión uniforme o localizada. En muchos casos estas huellas anteceden a la iniciación del ataque, haciendo posible registrarlas mucho antes de que aparezca algún daño significativo en el componente bajo riesgo. El enfoque de trabajo es por lo tanto predictivo por naturaleza y es ideal para supervisar la evolución del fenómeno de corrosión.

Por otro lado se tiene la utilización de inhibidores de corrosión es una práctica recurrida de control de corrosión para la protección interna de ductos. La evaluación de la eficiencia de inhibidores de la corrosión en sistemas hidrocarburo-agua se ha apoyado tradicionalmente en inspecciones visuales de especímenes inmersos en un medio bajo prueba o en mediciones gravimétricas, esto es, comparando el cambio de peso de una muestra metálica al exponerse a un medio en presencia del compuesto inhibidor. Dos ejemplos de ello son la Norma NACE RP-0 172, donde la protección otorgada por el inhibidor se expresa como un porcentaje de la superficie corroída o bien la denominada Prueba de la Rueda (Wheel Test), la cual permite hacer observaciones sobre el estado de la superficie de la muestra así como observar el cambio de peso de ésta antes y después de ponerse en contacto con el medio agresivo. Hoy día se cuenta como alternativa el uso de técnicas electroquímicas, las cuales ofrecen velocidades instantáneas de velocidades de corrosión y por lo tanto el seguimiento del proceso de inhibición en el tiempo. De éstas, la más conocida es la técnica de resistencia de Polarización Lineal, en la cual se ha basado la construcción de instrumentos comerciales y que son utilizados en la industria desde la década de los 60's. Sin embargo, el desarrollo de la electroquímica ha conducido en años recientes a técnicas que mejoran la sensibilidad de las mediciones de corrosión y permiten dilucidar mecanismos de inhibición o corrosión. Entre éstas se encuentran las curvas de polarización, espectroscopia de impedancia y el ruido electroquímico.

Particularmente el ruido electroquímico es una técnica no-perturbativa que registra las fluctuaciones de potencial y corriente de una muestra metálica un adelgazamiento uniforme de la pared del ducto; como corrosión localizada, en donde la pared del ducto puede dar lugar a una fuga o ceder catastróficamente en una región puntual.

Teniendo en cuenta los conceptos arriba descritos sobre monitoreo de corrosión y la aplicación de técnicas electroquímicas, se presenta un equipo diseñado para la aplicación de técnicas electroquímicas. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos con la técnica de ruido electroquímico utilizando un diseño especial de probeta apropiada para sistemas con un bajo contenido de agua y finalmente se proponen dos métodos para la evaluación de inhibidores.

El desarrollo de la electrónica digital permite contemplar la construcción y aplicación de los modelos de potencióstatos de operación autónoma o controlados por una computadora personal, aplicables al monitoreo de corrosión en ductos. Este tipo de instrumentos, pueden ser integrados a sensores especiales que tengan capacidad para medir en sistemas multifásicos, en donde las probetas convencionales presentan limitaciones amerita una cuidadosa consideración de las condiciones de flujo y la forma de adición del inhibidor.

Medidas tomadas.

Se iniciaron las gestiones para que en 1999 se instale en el derecho de vía un sistema de comunicación para telemedición y control de los rectificadores de corriente del sistema de protección catódica.

Programación para el año 2000 de estudio de la actividad microbiana e inspección de potenciales a intervalos cortos con objeto de evaluar las acciones tomadas.

Programación para el año 2001 Inspección interior de las tuberías para constatar las condiciones físicas en que se encuentran.

Conclusiones.

Con los resultados obtenidos en éste estudio es posible sustentar cualquier otro proyecto de construcción, mantenimiento, prevención e inclusive estudios ecológicos.

Con los resultados obtenidos y el tratamiento de los mismos se conoce la tendencia incrustante y/o corrosiva del agua en ambos canales, lo cual servirá para tomar decisiones sobre la ingeniería de prevención y control de la corrosión en las líneas de transporte de este corredor.

Con los análisis que se obtuvieron de las líneas L-2 36"(diámetro) G-1 16"(diámetro) y G-2 16"(diámetro) se identificaron los puntos más críticos para ratificar resultados y dar seguimiento al comportamiento de la actividad microbiológica que podría tener influencia en la corrosión exterior de los ductos, así como en el daño que pudiera sufrir el recubrimiento dieléctrico.

Para la construcción de futuras líneas, es importante considerar la agresividad del medio acuoso y su efecto sobre el diseño de la protección catódica, con la finalidad de prevenir mayores problemas de corrosión.

Es recomendable evaluar en forma puntual la velocidad de corrosión exterior en cada uno de los puntos críticos de las líneas, con la finalidad de hacer ajustes a los criterios de protección catódica aplicables.

Se identificaron zonas donde los factores ambientales tienen mayor impacto sobre la integridad de las líneas de transporte.

El monitoreo de la corrosión es el proceso mediante el cual se evalúa constantemente el estado de corrosión del equipo de la planta o sistema de producción y que permite establecer el tiempo de vida útil remanente del equipo.

En los casos de monitoreo de protección catódica o corrosión externa y de corrosión interna de tuberías, el diseño de un sistema de monitoreo de corrosión debe instrumentarse e implementarse.

En el caso de monitoreo de la corrosión interna, dada su complejidad, se recomienda lo siguiente:

- 1 Aplicar al menos 2 de los siguientes métodos o técnicas de medición de corrosión:**
- 2 Mediciones de pérdida de peso con cupones o corrida de diablo inteligente.**
- 3 Medición de la Resistencia de Polarización Lineal (RPL).**
- 4 Medición de la Resistencia Eléctrica (RE).**
- 5 Mediciones galvánicas (inyección de agua).**

Los métodos adicionales a considerar incluyen:

- **Análisis bacteriano.**
- **Análisis de agua.**
- **Análisis químicos.**

La selección del método de monitoreo y la localización de los puntos de monitoreo deberán considerar:

- **La criticalidad del sistema.**
- **La corrosividad esperada.**
- **El contenido de agua y la salinidad.**

Las instalaciones y equipo de limpieza (corrida de diablos, slugcatchers, trampa y lanzadora de diablos).

El mantenimiento.

Esto se debe hacer de tomando en cuenta los siguientes requisitos:

Si se anticipa la ocurrencia de un mecanismo interno de corrosión en las soldaduras, deberán usarse cupones de pérdida de peso de la soldadura y revisiones puntuales mediante mediciones de prueba locales de la soldadura.

Para tuberías submarinas, se deberá efectuar un monitoreo local, si se puede obtener una señal confiable.

Número, localización, posicionamiento y disponibilidad de acceso a los sensores.

Los sensores de monitoreo o cupones deberán instalarse en lugares preseleccionados y definidos con la ayuda de un simulador dinámico de flujo multifísico y de corrosión. Los simuladores permitirán localizar los puntos con alta probabilidad de corrosión en la línea y definir el posicionamiento de los sensores en la sección transversal de la tubería.

**Complejidad del proceso de corrosión en tuberías y sistemas de producción en la industria petrolera:
Modelos de predicción de la corrosión dulce (CO₂)**

La corrosión dulce, promovida por CO₂, es la más significativa en la industria petrolera mundial. En el caso particular de México, este tipo de corrosión se da particularmente en la Región Norte en gran medida en las redes de gas húmedo, mientras que la corrosión amarga (H₂S o mezclas CO₂-H₂S) se da predominantemente en el resto de las regiones de producción, con algunas excepciones puntuales.

Control de corrosión.

La metodología de selección del mejor método de control de corrosión usando modelación y simulación de flujo multifásico no es nueva y existe una gran cantidad de proponentes que en conjunto, están ayudando al perfeccionamiento de esta metodología.

La correcta aplicación de esta metodología proporciona al ingeniero de corrosión la predicción del perfil de corrosión, el tipo de corrosión, las zonas críticas y los puntos de instalación y posicionamiento de los sensores o cupones. Esta información le permitirá tomar decisiones basadas en el tiempo de vida de la instalación o sección del sistema de producción, para planear y establecer la calendarización de operaciones de reemplazo y/o mantenimiento preventivo, reposicionamiento y relocalización de sensores, donde hacer revisiones ultrasónicas o de rayos X, corridas de diablo inteligente, optimizar sus corridas de diablo para minimizar caídas de presión y de corrosión, determinar el inhibidor de corrosión adecuado, la cantidad óptima y en que sección o secciones, así como la forma de aplicación y su eficiencia (tamaño de partícula, formación de la película protectora en la pared interna de la tubería).

Capitulo 5.

Análisis de los factores que provocan el deterioro en elementos de mampostería y su mantenimiento.

5.1 DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DE LA MAMPOSTERIA.

5.1.1 Descripción de la Mampostería.

La mampostería es una construcción armada o parte de ella, a base de piezas o elementos como son rocas, tabiques, bloques de concreto, etc., que comúnmente son unidos entre sí por un material cementante

La mampostería es uno de los sistemas constructivos más antiguos utilizados por el hombre. La edad de piedra fue el primer periodo de cultura humana reconocido y el hombre primitivo no solo utilizaba la piedra como fuente inestimable de herramienta sino también como material de construcción con cierta resistencia, durabilidad y versatilidad

Probablemente la piedra se empezó a utilizar como material de construcción por la acumulación casual de piedras sueltas para formar sencillos recintos de defensa y corrales para animales. Pronto se empezaría a usar como material de pavimentación para consolidar la tierra suelta y en épocas egipcias se utilizaba en el diseño de jardines decorativos, así como en la construcción de las grandes pirámides y templos. Los griegos y los romanos se preciaban de sus cuevas sagradas ornamentales y de sus jardines públicos y, en la Edad Media, había una sólida tradición de la arquitectura que se extendería por todas las culturas y continentes. En todos los casos, la roca era la característica estructural predominante.

Hoy en día este material, ya sea en estado natural o procesado sigue siendo muy utilizado para la construcción de elementos de mampostería como son muros, cimientos, pilares, bóvedas, escaleras, arcos, terrazas, etc.

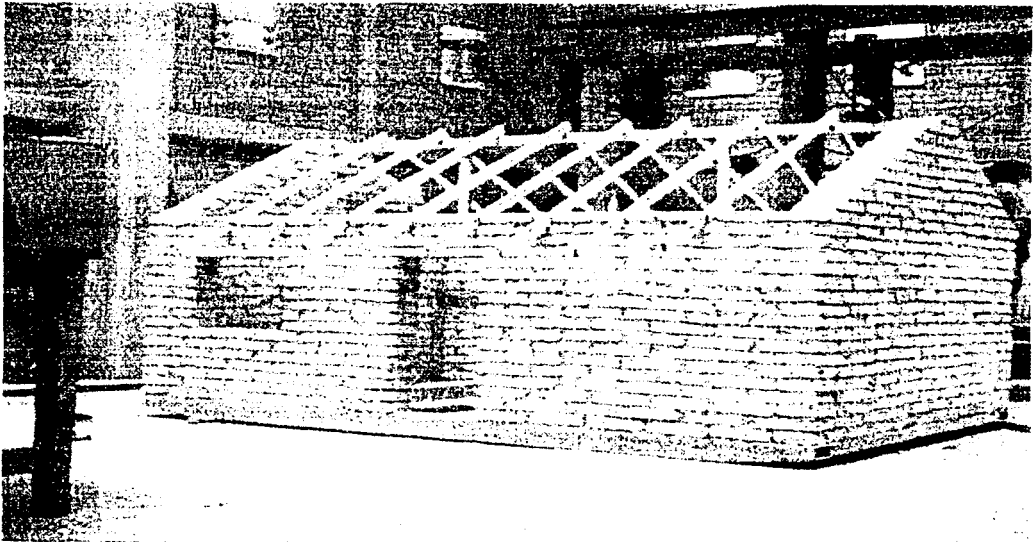


Figura 5.1 Construcción hecha de mampostería.

5.1.2 Materiales.

Como ya se menciona, en la mampostería se emplean diferentes tipos de materiales los cuales se clasifican en naturales y artificiales o procesados.

Materiales naturales

Son aquellos materiales que se encuentran en estado natural, como son las rocas y que están constituidas por la acumulación de minerales y no tienen una composición constante, pero los minerales son elementos definidos que pueden integrar diferentes tipos de rocas, las cuales se pueden agrupar en tres clases principales que son:

Rocas ígneas.	Cuando el magma se enfrió y se solidificó se formaron las rocas ígneas (del latín ignis, "fuego"). Si el enfriamiento se realizó dentro de la corteza terrestre y fue lento, dio por resultado los cristales grandes que caracterizan a las rocas ígneas intrusivas o plutónicas, pero si el magma afloró a la superficie, como en el caso de la lava, al contacto con el aire se enfrió rápidamente dio por resultado una roca ígnea extrusiva o volcánica.
Rocas sedimentarias	Cuando se produjo el fenómeno de desintegración de algunas rocas y sus partículas fueron transportadas por el agua o en algunos casos el viento, se crearon depósitos en forma de capas que se fueron cimentando y compactando. Así se formaron las rocas sedimentarias, nombre que proviene también del latín sedimentum y significa "materia que se asienta". Este grupo se subdivide en dos: las rocas de origen clástico o mecánico y las de origen químico. Las primeras están formadas por materiales que han sido llevados al lugar donde se encuentran y las segundas se deben a reacciones químicas.
Rocas metamórficas.	Se forman a partir de rocas sedimentarias o ígneas, por cambios fisicoquímicos ocasionados básicamente por la temperatura y la presión.

Tabla 5.1 Clasificación de las rocas

Propiedades

Los diversos tipos de rocas empleadas en la construcción de mamposterías deben tener en mayor grado algunas de las propiedades que poseen las rocas en general, dependiendo del tipo de trabajo al que van a ser destinadas y que se mencionan a continuación:

Estructura	Está en relación con el proceso de formación de la roca y con la manera como se integran entre sí los elementos que la componen. De acuerdo a su estructura, podemos distinguir las rocas cristalinas, amorfas y porosas. Cuanto más compacta y cristalina sea la estructura, así como también cuanto más fino sea su grano, la roca será más resistente.																				
Densidad.	Esta es igual a la relación entre el peso y el volumen de la roca. Cuanto más se parezcan estos valores, las rocas serán más compactas																				
Porosidad.	Es la relación entre el total de huecos que hay en un volumen determinado de roca y su volumen aparente.																				
Composición.	Las rocas se clasifican por su composición química y mineralógica, estructura, yacimiento y origen. Para los efectos de la construcción se adopta la clasificación geológica.																				
Dureza.	<p>Es la resistencia de la superficie de una roca a ser rayada por otro cuerpo. Según su dureza, las rocas se clasifican en blandas, medianas, duras y muy duras. Para medir la dureza de las rocas se utiliza una escala comparativa denominada escala de Mohs, para la cual se tomo una escala de 10 minerales en orden creciente de dureza:</p> <table data-bbox="350 882 1202 1008"> <tr> <td>1.</td> <td>Talco.</td> <td>6.</td> <td>Ortosa.</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td>Yeso.</td> <td>7.</td> <td>Cuarzo.</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td>Calcita.</td> <td>8.</td> <td>Topacio.</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td>Fluorita.</td> <td>9.</td> <td>Corindón.</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td>Apatito.</td> <td>10.</td> <td>Diamante.</td> </tr> </table>	1.	Talco.	6.	Ortosa.	2.	Yeso.	7.	Cuarzo.	3.	Calcita.	8.	Topacio.	4.	Fluorita.	9.	Corindón.	5.	Apatito.	10.	Diamante.
1.	Talco.	6.	Ortosa.																		
2.	Yeso.	7.	Cuarzo.																		
3.	Calcita.	8.	Topacio.																		
4.	Fluorita.	9.	Corindón.																		
5.	Apatito.	10.	Diamante.																		
Durabilidad.	Esta cualidad se manifiesta por la unión de varias características; hay rocas muy resistentes a la abrasión, otras poco resistentes a los ácidos, otras mas con mucha absorción de agua, etc. Así, la duración de una roca depende también de los agentes agresivos a los que esté expuesta y su resistencia a ellos.																				
<p>Las rocas también se clasifican según su contenido de sílice:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácidas: 60 a 100% de SiO₂. • Básicas: 45 a 52% de SiO₂. • In Ultra básicas: 0 a 45% de SiO₂. • termedias: 52 a 60% de SiO₂. 																					

Tabla 5.2 Propiedades de las rocas para mampostería

Pruebas.

A continuación se presentan las pruebas más comunes que se practican a las rocas utilizadas en mampostería:

<p>Resistencia a la compresión.</p>	<p>En la mayoría de los casos, las rocas que integran las estructuras de mampostería trabajan a compresión. Por tanto, una de las pruebas que más se aplican a la roca es su resistencia a este esfuerzo.</p> <p>Para realizar esta prueba se cortan probetas en forma de cubo o de prisma de diversos tamaños, para lo cual se usa una sierra especial para no alterarlas, y se prueban en prensas hidráulicas graduadas. La prueba consiste en aplicar sobre la probeta una carga conocida que se va incrementando hasta que se produce su ruptura.</p> <p>Como la resistencia de la roca no es siempre homogénea, se hace una serie de pruebas (seis como mínimo), se registran los resultados y se obtiene el promedio de ellas.</p>
<p>Propiedades hídricas.</p>	<p>Son las propiedades físicas de las piedras o rocas en relación con su comportamiento en presencia de agua, que es uno de los agentes más importantes en la alteración y destrucción de la roca.</p> <p>La roca de la mampostería esta expuesta constantemente a la acción del agua, así se puede conocer la duración, resistencia, mecánica y otras propiedades de los distintos tipos de roca en relación con su comportamiento ante el agua.</p> <p>La mayoría de los procesos de limpieza de fachadas se hacen con base en agua, por lo cual se requiere saber como van a reaccionar los distintos tipos de roca.</p> <p>Es conveniente definir algunos términos muy usuales cuando se realizan las pruebas que determinan las propiedades hídricas, como absorción, desorción e higroscopia:</p> <ul style="list-style-type: none">• Absorción. Al contener minerales higroscópicos y espacios vacíos, la roca tiende a aspirar agua hacia su interior.• Desorción. Cuando hay una elevación de temperatura que convierte el agua en vapor, éste sale al exterior.• Higroscopia. La roca tiende absorber el vapor de agua que hay en un ambiente húmedo. Generalmente, a mayor humedad relativa, mayor• Humedad higroscópica.

Tabla 5.3 pruebas más comunes que se practican a las rocas

Las pruebas más comunes para determinar propiedades hídricas son las siguientes:

- Absorción libre de agua (imbibición).
- Absorción de agua por succión capilar (capilaridad).
- Absorción de agua al vacío (saturación).
- Absorción de vapor de agua (higroscopicidad).
- Desorción de agua (evaporación).
- Permeabilidad al vapor de agua (difusividad).
- Expansión hídrica (hinchamiento).

Por estar relacionada con la absorción del agua del subsuelo, quizá la prueba que se practica con mas frecuencia en los exámenes de roca de mampostería, es la de absorción capilar. Para realizarla se registra la cantidad de agua que absorbe una superficie conocida en un tiempo determinado. Así, se mide la cantidad de agua que absorbe una probeta de roca de determinada superficie en función de un tiempo medido en segundos, al estar su base en contacto con agua destilada.

Resistencia al impacto.	La resistencia al impacto puede considerarse como una evaluación de la cohesión y elasticidad en una muestra de roca. En esta prueba se deja caer un peso determinado, desde una altura conocida, sobre una probeta hasta que ésta se rompe. Este valor se da en relación con el número de golpes que soporta la probeta y la altura desde donde se deja caer el peso.
Resistencia a la tensión.	Para evaluar la resistencia de una probeta de roca prismática o cilíndrica a los esfuerzos de tensión o extensión se utilizan dos pruebas: a) la de tensión directa, que consiste en someter la probeta a esfuerzos de tensión tirando de ella por medio de un aparato especial en ambas direcciones, alineando los esfuerzos con su eje longitudinal, y b) la de tensión indirecta, que se efectúa con una probeta en forma de disco sometida, por medio de una prensa, a una compresión diametral. A esta prueba se le conoce también como ensayo brasileño.
Resistencia a la flexotensión.	Esta se realiza aplicando una carga en el punto central de una probeta prismática mientras ésta está apoyada en los dos extremos, hasta que se provoca una fractura en su eje transversal central.

Tabla 5.4 pruebas que se practican a las rocas

Existen otros tipos de pruebas, como la de conductividad térmica o las que se efectúan por procedimientos de ultrasonido y que aplicando la tecnología adecuada permiten conocer datos sobre la densidad, porosidad e incluso la composición mineralógica de las rocas.

<p>Color.</p>	<p>A su vez, el colorímetro mide el color con base en la cantidad que éste contiene de los tres colores primarios y su luminosidad según una escala que va del negro al blanco; los resultados se expresan por medio de diagramas, siendo los más conocidos:</p> <p>L = claridad</p> <p>a = saturación</p>
<p>Facilidad de trabajo.</p>	<p>Estas pruebas se practican sobre muestras de roca, para determinar la facilidad con que aceptan diversos procesos de trabajo, que son aserramiento, pulimento y talla.</p>

Tabla 5.5. Otros tipos de pruebas

En general, en las rocas que se utilizan para la construcción de mamposterías, se deben buscar las cualidades siguientes:

- Que tengan una estructura homogénea, de grano uniforme y por lo general compactas, de grano fino y poco porosas.
- Que tengan una buena resistencia para el trabajo a que van a ser destinadas. Esta resistencia a la compresión varía según el tipo de roca.
b = tono
- Que no tengan grietas, vetas blandas, burbujas o restos orgánicos.
- Que no sean demasiado absorbentes, siendo admisible hasta 5% de su volumen

Además, reunir otras cualidades de manejo, como su facilidad para tallarlas, que no sean demasiado vulnerables a los agentes atmosféricos y que puedan extraerse en tamaños adecuados. Para su empleo se requiere un peso determinado para su transportación manual o mecánica, dependiendo del fin destinado que se les dé.

Usos

Los usos que se destinan son muy diversos, pueden emplearse desde su forma y estado natural hasta su transformación total (grano o polvo). Se usan como elementos estructurales o bien como recubrimientos en muros.

Las rocas que más se utilizan en la construcción, son las que se presentan a continuación:

Tipo de roca	Denominación	Peso Volumétrico seco Ton/m ³	Resistencia a la compresión Kg/cm ²
IGNEAS			
Dolerita	Recinto	2.5 a 2.9	500 a 600
Granito	Granito	2.5 a 3.0	500 a 700
Lava, escoria volcánica	Tezontle	1.3 a 1.35	50 a 75
Lava	Piedra braza	1.8 a 2.0	400 a 500
Toba ígnea	Canteras	1.7 a 2.0	100 a 250
Andesita	Chiluca	2.0 a 2.5	300 a 500
METAMORFICAS			
Caliza cristalina	Mármol	2.5 a 2.7	300 a 600
SEDIMENTARIAS			
Arenisca	Varios tipos	2.0 a 2.5	400 a 500
Toba pomosa y calcárea	Tepetate	1.2 a 1.4	9 a 12

Tabla 5.6 Tipo de rocas utilizadas en la construcción

En cuanto al empleo de la roca natural para muros mamposteados ésta tiene diferentes tipos de terminado dependiendo, fundamentalmente, del tratamiento que se le dé para su apariencia final. La roca puede, en cuanto a su forma, colocarse: labrada o de primera, semilabrada o de segunda y sin labrar (rústica) o de tercera.

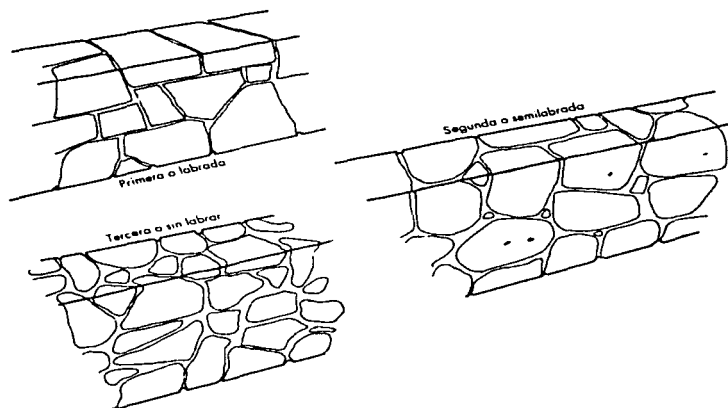


Figura 5.2 Mampostería labrada de 1ª, 2ª, Y 3ª.

Para un trabajo adecuado del muro de mampostería de roca natural conviene en su construcción llevar a cabo un cuatrapeo alternado entre ambos paños laterales a fin de obtener dentro de lo posible un muro monolítico con el que las grietas por temperatura o diferenciales en su asentamiento se reduzcan al máximo.



Figura 5.3 Mampostería de roca natural, labrada en formas rectangulares e irregulares, con cuatrapeo. (Foto Ing. Roberto Meli)

La sección transversal de un muro puede ser rectangular o trapezoidal, esto depende básicamente de razones estructurales de diseño

Algunos tratamientos formales en los muros obligan a que la roca se convierta en un recubrimiento anexo al muro estructural, sobre todo cuando el empleo de la roca en la estructura forma parte de un porcentaje muy reducido del total de los materiales estructurales.

Materiales artificiales o procesados

Son todos aquellos materiales o piezas fabricadas mediante un proceso de transformación para su uso. La mampostería de piezas artificiales (tabiques, bloques de concreto, etc.) es un material de construcción ampliamente utilizado con fines estructurales, especialmente en muros que deben soportar cargas verticales y horizontales

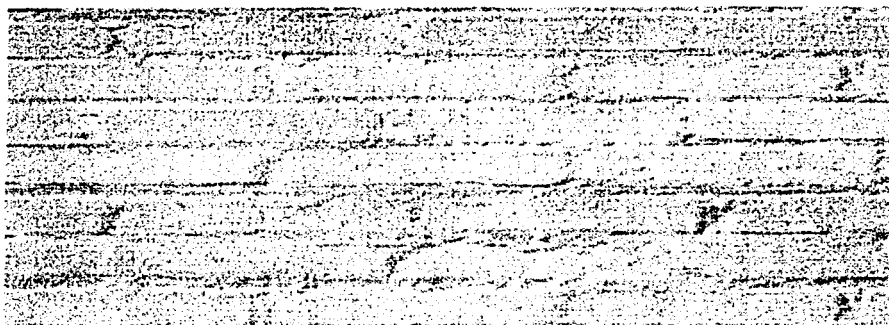


Figura 5.4 Mampostería de piezas artificiales

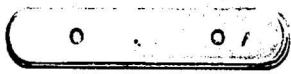
Materia prima

En el mercado de materiales, hay variedad de piezas para construir elementos de mampostería, sin embargo, todas ellas comparten un origen en común, todas las piezas se fabrican con suelos, una materia prima muy abundante.

Así, desde tiempos muy remotos, el hombre ha hecho uso de los suelos para la construcción de sus obras

Por ello, dada la enorme importancia que tienen los suelos para la actividad humana, estos se han estudiado desde el punto de vista geológico e ingenieril y ha sido una tarea ardua el intento de sujetarlos a una descripción y clasificación detallada.

Con la intención de saber como se origina esta materia prima, útil para la fabricación de piezas de mampostería y cementantes, en la siguiente tabla se ofrece un breve resumen de su género.



ACCIONES		PROCESO	SUELOS			MINERALES CONSTITUTIVOS								
DE	SOBRE					GRUESOS	ARENAS (FRECUENTE)	SILICATOS	OXIDOS	SULFATOS	FINOS	LIMOS	ARCILLAS	SILICATOS HIDRATADOS
LOS AGENTES DEL INTEMPERISMO: ♦ LLUVIA ♦ VIENTO ♦ CAMBIOS DE TEMPERATURA ♦ ACCION DE LOS MICROORGANISMOS ♦ ACCION DE LAS HELADAS EN GRIETAS DE ROCAS ♦ ACCION DEL HOMBRE	ROCAS DE ORIGEN IGNEO Y METAMORFICAS DISPUESTAS EN LA CORTEZA TERRESTRE	PROCESO FISICO O DESINTEGRACION MECANICA: INTEMPERIZACION DE LAS ROCAS POR AGENTES FISICOS. EN ESTE PROCESO DIFICILMENTE SE ALTERA LA COMPOSICION.	SUELO: POR SUELO SE ENTIENDE QUE ES TODO AQUEL MATERIAL TERROSO DISPUESTO EN LA CORTEZA TERRESTRE, PRODUCTO DE LOS PROCESOS FISICOS O QUIMICOS.	SUELO RESIDUAL: SUELOS QUE SON EL PRODUCTO DE LAS ROCAS INTEMPERIZADAS Y QUE PERMANECEN EN EL LUGAR DONDE SE UBICAN LAS ROCAS.	LOS SUELOS SE CONSTITUYEN DE MINERALES: UN MINERAL SE DEFINE COMO UNA SUSTANCIA INORGANICA Y NATURAL QUE TIENE UNA ESTRUCTURA INTERNA CARACTERISTICA, DETERMINADA POR CIERTO ARREGLO ESPECIFICO DE SUS ATOMOS.	GRUESOS	ARENAS (FRECUENTE)	CARBONATOS	CALCITA	FINOS	LIMOS	ARCILLAS	SILICATOS HIDRATADOS	DOLOMITA
		SERPENTINA		POTASIO										
		FELDESPATO		CALCIO										
		MICA		SODIO										
		OLIVINO												
		CUARZO												
LIMONITA														
MAGNETITA														
ANHIDRITA														
YESO														
				COMO: ♦ ESCURRIMIENTO ♦ VIENTO ♦ GLACIARES ♦ RIOS										

Tabla 5.7 Origen de los suelos y minerales constitutivos

Así mismo, al saber como se originan y que minerales los integran es de entender porque reaccionan al entrar en contacto con agentes del deterioro como el agua, sustancias químicas, vida vegetal y otros.

Los suelos y su clasificación.

Para complementar el panorama general de los suelos, la siguiente figura muestra de manera sencilla las fronteras entre los suelos gruesos: gravas y arenas, y los suelos finos: limos y arcillas. Este esquema esta basado en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S U C S).

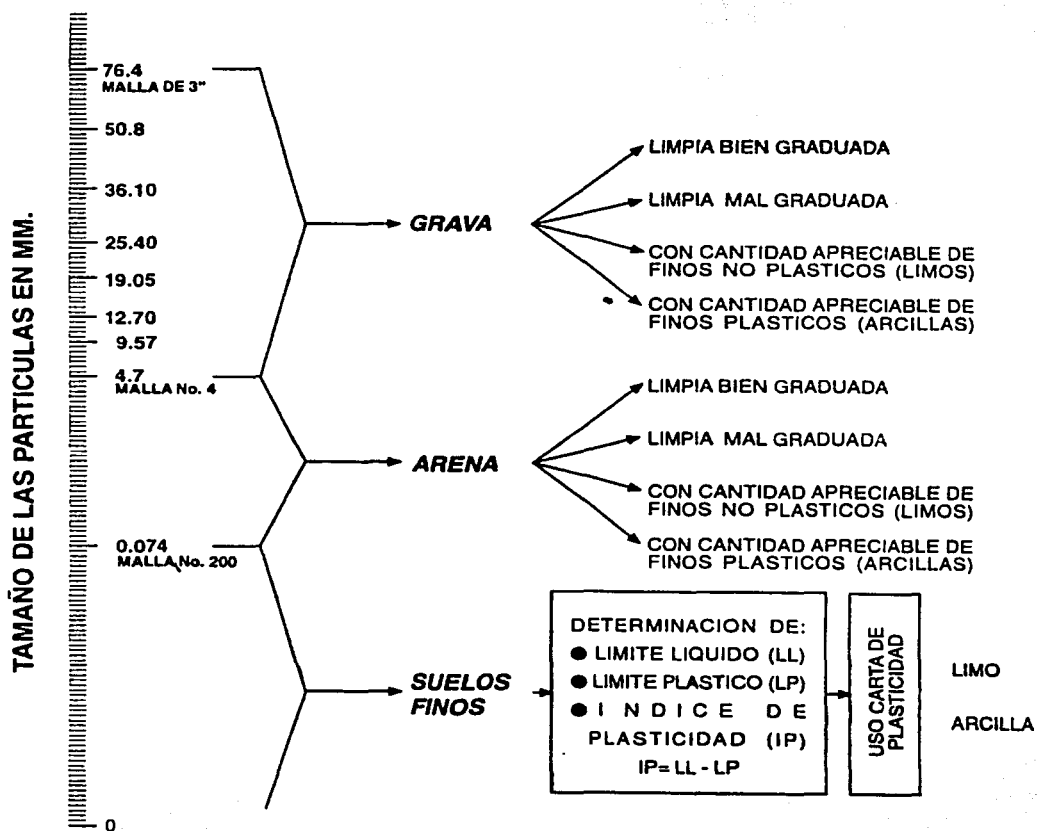


Figura 5.5 Clasificación de los suelos. Esquema.

Tipología de piezas

Como ya se ha mencionado, los suelos son empleados para fabricar piezas de mampostería muy diversas, siendo las más comunes el barro recocido hecho a mano o prensado con máquina, de concreto simple con diferentes agregados y de mortero de cal y arena con otros agregados, pueden ser macizas o huecas de secado natural u horneadas.

En el esquema siguiente, se mencionan los diferentes productos para construir muros de mampostería:

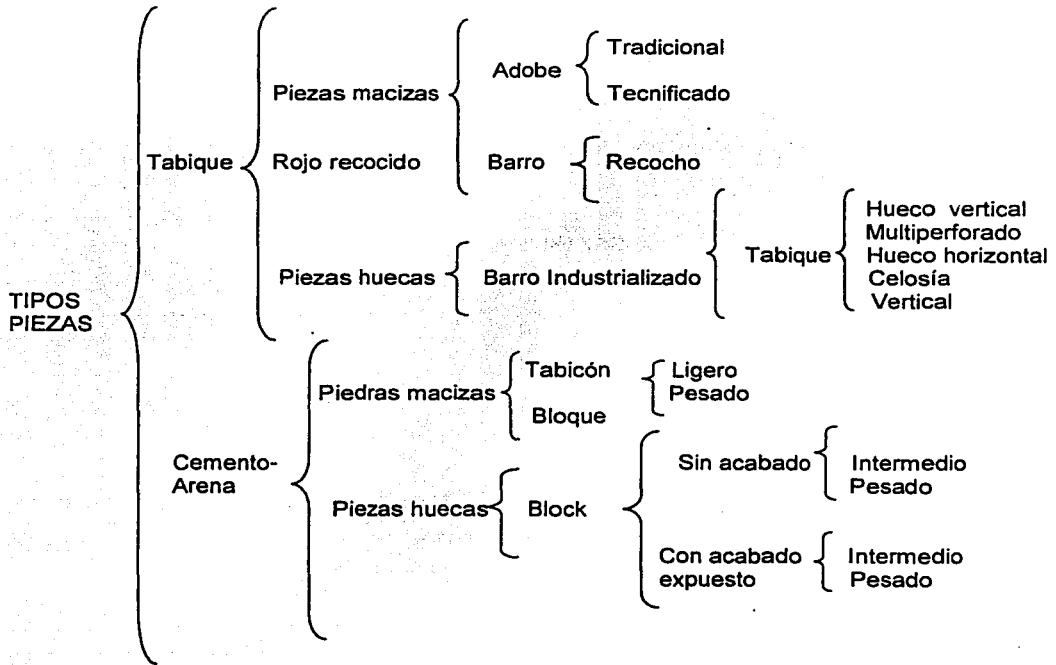


Figura 5.6 Productos para la construcción de muros de mampostería. Esquema.

A continuación se describen algunas características de estas piezas:

Adobe.

El adobe es una pieza fabricada con una mezcla de suelo natural del lugar; barro, paja y zacate; en proporción de 5:1, moldeada manualmente en forma de prisma rectangular y secada al aire por espacio de 2 a 3 semanas antes de su empleo en muros. Su uso es característico de las zonas rurales con climas calurosos y aún lluviosos.

Para unir las piezas de adobe se emplea un mortero elaborado con el mismo suelo natural, conformando así, un muro bastante homogéneo.

Se estima que las piezas de adobe tienen propiedades mecánicas pobres y son más intemperizables que otras, en donde la presencia de humedad provoca una reducción apreciable de la resistencia y de la rigidez.

La tabla siguiente muestra los valores de las propiedades mecánicas de este tipo de material:

PROPIEDADES MECANICAS	
Peso volumétrico	1 800 kg/m ³
Módulo de elasticidad	2 500 kg/cm ²
Resistencia a la compresión	13.40 kg/cm ²
Resistencia al cortante	1.20 kg/cm ²
Resistencia a la tensión por flexión	2.60 kg/cm ²
Módulo de Poisson	0.30
Absorción	mayor al 27%

Tabla 5.8 Propiedades mecánicas del adobe

Los tamaños en los que se fabrica el adobe varía de acuerdo a la región, pero las más comunes se realizan en formas o moldes de madera de medidas interiores de 40 x 30 x 8 cm o de 40 x 20 x 8 cm. Los adobes hechos con buen barro alcanzan a tener una resistencia a la compresión de 15 kg/cm². Se pueden emplear piezas de adobe para construir muros con espesores de 20, 30, 40, y 60 cm, o más si así se pretende.

El Sillar.

Es una pieza de tepetate o toba volcánica. A diferencia de otras piezas, el sillar tradicional no se fabrica, simplemente se corta en los bancos de tepetate, aunque es posible fabricarlo.

El tepetate es un material muy poroso y disgregable de ceniza volcánica, con alto contenido de piedra pómez. La composición del tepetate es variable, se pueden encontrar bancos de este material dispuesto en forma de vetas de sedimentación, en donde se combina con arcilla y arena, y en otros en donde se halla mezclado con arcilla y lodo volcánico, de tal suerte que el resultado final viene a ser un conglomerado medianamente cementado.

El sillar es un material que se extrae y se corta en el banco, a cielo abierto o bajo tierra, según las condiciones en que aparezca este material. Debido a que la cohesión del tepetate varía significativamente con las condiciones ambientales, no es posible labrarlo o cortarlo con aristas vivas, y al transportarlo de la cantera a los centros de consumo sus aristas se tornan más redondas o boleadas.

Se considera que las piezas de sillar tienen pobres propiedades y se recomienda su uso para muros de decoración exterior o interior y emplearse como de carga cuando se hallan convenientemente estructurados y protegidos contra las condiciones ambientales. Las propiedades del sillar tienden a empobrecerse cuando gana o pierde agua de manera significativa y ante la presencia de sales minerales en el agua éste se pulveriza más rápido.

En cuanto a sus dimensiones, el sillar es labrado en por lo menos cuatro tamaños: 42 x 28 x 21 cm, 56 x 28 x 21 cm, 20 x 25 x 45 cm y 15 x 30 x 50 cm, disponibles en seis colores: gris, amarillo, rosa, tabaco, naranja y blanco. Su peso volumétrico es de 1 200 kg/m³ y su resistencia a la compresión varía entre 1.5 y 3.0 kg/cm². Básicamente se emplea en la decoración de casas.

Tabique de barro recocido.

Son piezas de barro macizas y de forma prismática rectangular y su uso ha sido constante a través del tiempo y por muy diversas culturas.

El tabique es el resultado de la cocción de una mezcla de arcilla y arena o magra calcárea en una proporción no mayor de una quinta parte del total. La fabricación tradicional recomienda que la arcilla más conveniente es aquella que contenga de 45 a 80 partes de sílice; 15 a 40 partes de alúmina y con un contenido de agua menor al 18 %.

En el mercado de materiales se presentan tres tipos:

1. El tierno; de un color naranja, cuyo color es atribuible a la falta de cocción o al exceso de arena.
2. El llamado recocho; de color amoratado, producto de un exceso de cocción y que por lo general es un tabique deformado.
3. El recocido; de un color rojo parejo, que en lo general muestra una mejor calidad, lo que se relaciona con una cocción uniforme; sus medidas son también uniformes y es el que más ventajas presenta para usarlo en muros de carga. Sin embargo, debido a lo rudimentario de su fabricación su calidad es variable.

Anteriormente, este tabique se fabricaba en un tamaño de 7 x 14 x 28 cm, nominal. Hoy en los centros de producción, se ofrece un tabique con dimensiones reducidas de alrededor de 5.5 x 12.5 x 24 cm, nominales; cuestión que involucra por un lado más consumo de piezas por metro cuadrado; incrementándose el costo y por otro se reduce la capacidad del muro al tener menor espesor.

En la siguiente tabla se muestran las particularidades de este producto:

Pieza	Dimensiones cm	Peso unitario kg/pza	No. Piezas / m ²	Absorción %
Tabique	5.5 x 12 x 24	1.6	55	27

Tabla 5.9 Características del tabique de barro recocido

Debido a que la producción del tabique rojo recocido se considera artesanal, es difícil dar un valor de su resistencia a la compresión, sin embargo, después de realizar sondeos en el laboratorio, se estima que se encuentra en el rango de 50 a 80 kg/cm².

Tabique de barro precomprimido o extruido.

Hoy día la industria de la construcción puede disponer de materiales fabricados con más control de calidad. Tal es el caso de las piezas huecas que tienen en su sección transversal más desfavorable una área neta de por lo menos 45% del área bruta y un espesor de sus paredes exteriores de 1.5 cm.

Las piezas de barro extruido se agrupan en tabiques y bloques. Ambos fabricados con huecos verticales u horizontales.

El barro empleado en la producción de tabiques y bloques tiene un alto contenido de arcilla pura; más del 33%, es decir, que contiene sílice, alúmina y óxido de hierro en porcentajes que corresponden a una arcilla grasa o altamente plástica (sin contenido de cal ni yeso), que se considera óptimo para la fabricación de este tipo de piezas, logrando un producto con acabado terso en sus caras expuestas y una gran uniformidad en sus dimensiones, color y resistencia.

Por otra parte, puesto que la arcilla es quemada a 850 °C, el coeficiente de dilatación reduce las fisuraciones posteriores por efecto de la contracción en los elementos de las construcciones erigidas con estos productos. La absorción del orden del 15% permite una adherencia con los morteros y no altera significativamente la relación agua / cemento de éstos.

Los tabiques y bloques de barro extruido tienen un peso menor a los tradicionales y los muros contruidos con este material tienen ciertas ventajas como por ejemplo no requieren de recubrimiento, variedad de formas y texturas que reducen los niveles acústicos y mejoran las condiciones térmicas.

Otro producto de barro extruido es la pieza de celosía.

A diferencia del tabique, la celosía tiene huecos horizontales. Su uso primordial es la decoración o formar muros divisorios sin ninguna función estructural. La forma de estas piezas no necesariamente es rectangular, las hay de forma octogonal y romboide.

La siguiente tabla muestra las características básicas de las piezas de tabique y block de barro extruido disponibles en el mercado:

Pieza	Dimensiones Cm	Peso unitario kg/pza	Resist. Comp. kg/cm ²	No. Piezas / m ²	Absorción %
Tabique h.v.	6 x 12 x 24	1.6	150	60	15
	6 x 10 x 20	2.0	140	43	15
	12 x 12 x 24	3.2	140	30	15
Tabique h.h.	8 x 12 x 24	2.2	140	57	15
Tabique h.v.m.	6 x 12 x 24	1.6	150	57	15
	12 x 12 x 24	3.2	150	30	15
Block h.v.	12 x 12 x 24	3.2	140	30	15
	10 x 10 x 20	2.0	140	43	15

h.v. hueco vertical
h.h. hueco horizontal
h.v.m. hueco vertical Multiperforado

Tabla 5.10 Características de las piezas de tabique y block de barro extruido

Tabicón y block de cemento: arena.

El tabicón y el block son piezas en forma de prisma rectangular. El tabicón, hoy día es de gran uso en muros de mampostería, es una pieza maciza que se fabrica en dos tipos: ligero y pesado. Para fabricar el tipo ligero se adicionan agregados tales como la piedra pómez o arena de origen volcánico o sedimentaria y para obtener el tipo pesado sólo arena y grava.

El block es una pieza hueca y se dispone en dos presentaciones el intermedio de 127 kg/m² y el pesado de 164 kg/m² aproximadamente, en ambos casos se elaboran mezclando cemento portland y arena.

La resistencia a la compresión del tabicón y el block depende de la proporción de la mezcla cemento: arena. Con una proporción rica de cemento se obtiene un valor alto de la resistencia, por ello las proporciones más utilizadas en la fabricación varían de 1:10 a 1:12.

Estos elementos se consideran buenos retardantes del fuego y cuando existe un buen curado los cambios volumétricos que experimentan las piezas son pequeños y en los muros no llega a apreciarse el agrietamiento.

Las piezas de tipo ligero son más propensas al desgaste, ya que permiten más fácilmente el paso del agua de lluvia y son más vulnerables a la acción de la humedad con contenido de sales.

Los muros de tabicón ligero o pesado, debido a su acabado común, requieren de un recubrimiento interior y exterior. De igual manera los muros de block pueden tener un acabado común o aparente, aunque en la mayoría de las veces se trabajan para ser aparentes, es decir, se prescinda del recubrimiento interior o exterior o de ambos.

En la tabla siguiente, se muestran atributos básicos de ambas piezas:

Pieza	Dimensiones cm	Peso unitario kg/pza	Resist. Comp. kg/cm ²	Absorción %
Tabicón ligero	6 x 12 x 24 7 x 14 x 28 10 x 14 x 28	2.5 4.0 5.7	70	27
Tabicón pesado	6 x 12 x 24 7 x 14 x 28 10 x 14 x 28	4.0 6.3 9.0	100	10
Block intermedio	10 x 20 x 40 12 x 20 x 40 15 x 20 x 40	9.2 11.0 13.0	100	10
Block pesado	20 x 20 x 40	14.0	110	10

Tabla 5.11 Características del tabicón y block de cemento

Block Sílico Calcáreo.

Las materias primas empleadas para la fabricación de estas piezas son la cal grasa o cal hidratada y la arena sílica. Mediante un proceso químico y una fuerte presión en las máquinas de moldeo se forma un elemento de gran resistencia a la compresión, con dimensiones constantes, calidad en su textura y uniformidad en su color gris claro. Se distingue por su ligereza, resistencia y apariencia; que lo hace lo ideal para un acabado aparente.

Por otro lado, para el junteo de las piezas se fabrica un mortero especial llamado Adhesil, que es un compuesto basado en resinas acrílicas y agregado de granulometría controlada, aplicado en un espesor promedio de 3 mm. A continuación se presentan las principales características de este material:

Característica	Block tipo 4C	Block tipo BK
Medidas (cm)	11.5 x 11.3 x 24.0	11.6 x 16.9 x 49.3
Peso por pieza (Kg)	3.60	10.00
Peso (kg/m ²)	130.00	118.30
No. piezas por m ²	35.50	11.63
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	140.00	140.00
Absorción	17% en 48 hr. de saturación	
Porcentaje de huecos (%)	25.00	25.00
Consumo de Mortero (kg/m ²)	1.80	1.50

Tabla 5.12 Características del Block Sílico Calcáreo

En la tabla y esquemas siguientes se muestran las propiedades, dimensiones y tipos de piezas utilizadas en la mampostería.

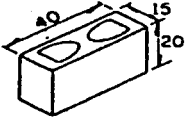
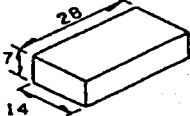
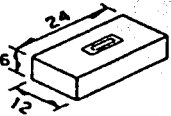
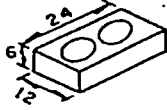
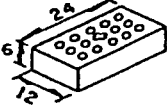
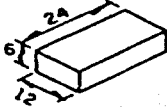
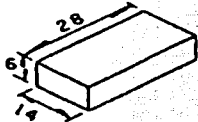
Tipo pieza	Geometría	Resistencia a compresión, en kg/cm ²	Absorción, en porcentaje
Bloque de concreto		110	10
Tabique de barro recocido		70	27
Tabique de barro prensado		146	20
Tabique hueco de barro compresible		216	16
Tabique perforado vertical		183	--
Tabique sílico calcáreo		158	--
Tabique asfáltico		39	--

Tabla 5.13 Propiedades de las piezas estudiadas

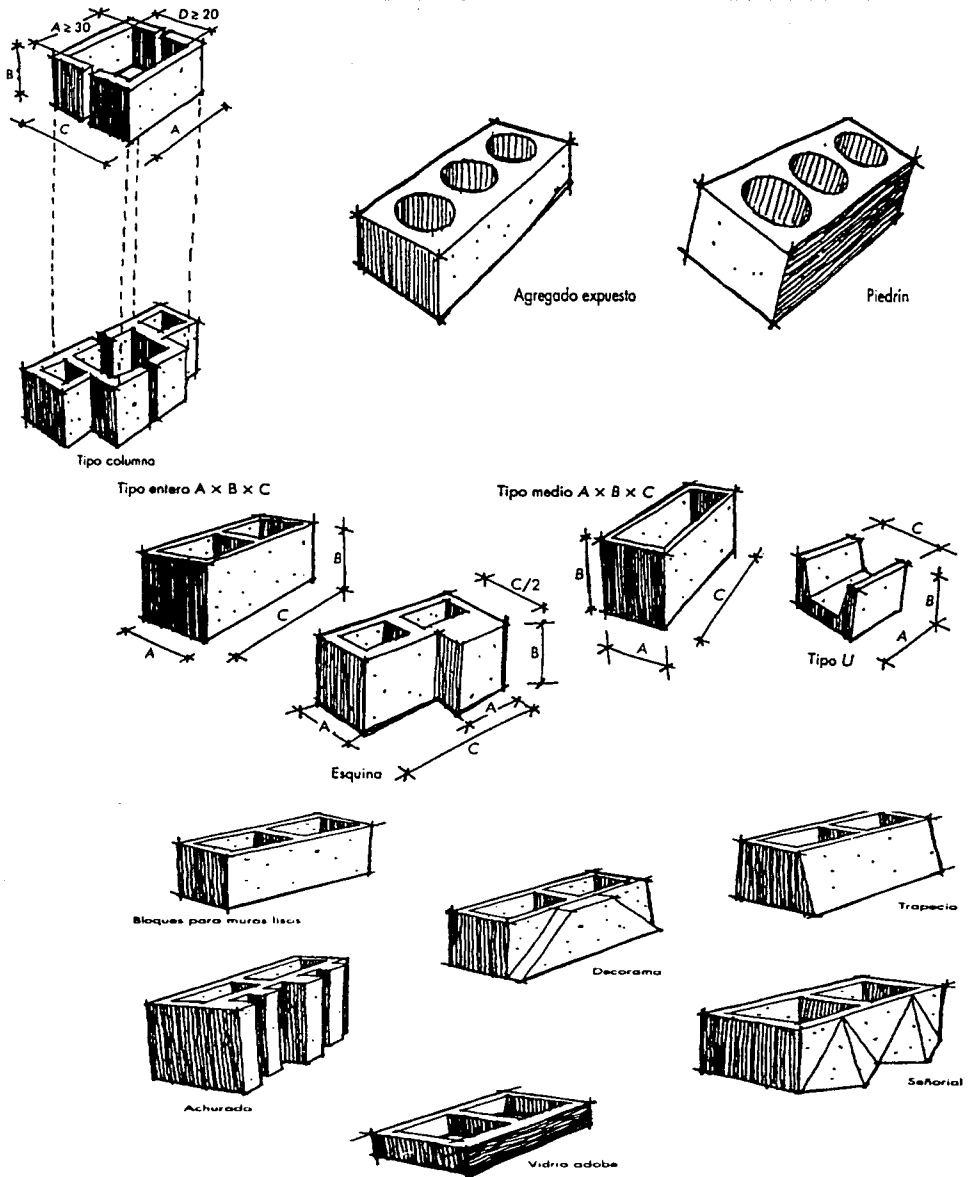
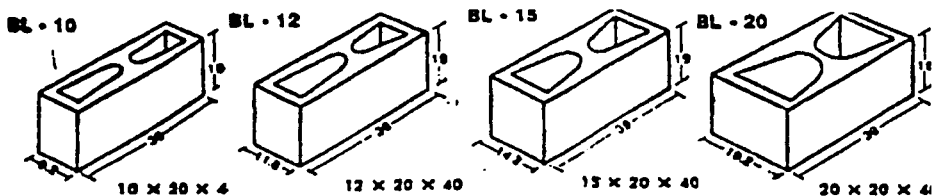
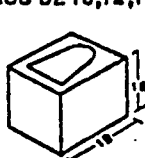


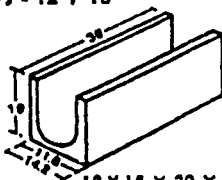
Figura 5.7 Dimensiones y tipos de concreto más usuales



MEDIOS DE 10,12,15 Y 20 J - 12 Y 15

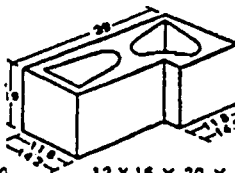


10,12,15 Y 20 × 20



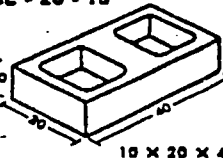
12 Y 15 × 20 × 40

ESQUINAS - 12 Y 15



12 Y 15 × 20 × 4

BL - 20 - 10



10 × 20 × 4

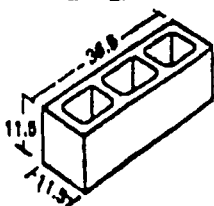
MEDIDAS EN CMS.

BLOCK de CONCRETO MODULAR

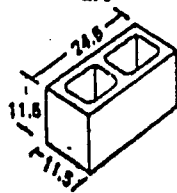
12x12x36

con tercios y dos tercios

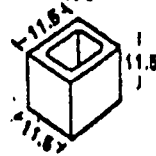
ENTERO



2/3



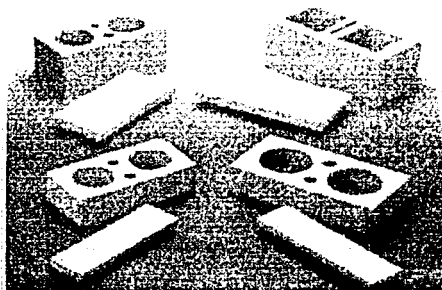
1/3



MEDIDAS EN CMS.

Figura 5.8 Geometría de diferentes piezas

De piso
a techo
BARRO LaHuerta



14 x 14 x 20 cm	14 x 14 x 20 cm	14 x 11 x 4 cm
1.200 kg	1.200 kg	1.200 kg
10	10	10
10	10	10
10	10	10

14 x 14 x 20 cm	14 x 14 x 20 cm	14 x 14 x 20 cm	14 x 14 x 20 cm	14 x 14 x 20 cm
1.200 kg	1.200 kg	1.200 kg	1.200 kg	1.200 kg
10	10	10	10	10
10	10	10	10	10
10	10	10	10	10

Figura 5.9 Características de block y tabique para mampostería

CALIDAD

ALTO GRADO DE RESISTENCIA
BAJO PORCENTAJE DE ABSORCIÓN
EXCELENTE UNIFORMIDAD EN
MEDIDAS, COLORES Y ACABADOS
OPTIMO TRATAMIENTO A LAS
ARCILLAS
BAJO INDICE GRANULOMETRICO
FABRICACION TOTALMENTE
AUTOMATICA
SISTEMAS DE PRODUCCION
NO CONTAMINANTES

SERVICIO

- SISTEMA DE EMPAQUE AUTOMATICO EN PLASTICO RETRACTIL CON TARIMA
- VEHICULOS GRUA PARA ENTREGA EN OBRA, HASTA 6 METROS DE ALTURA
- PROCESOS AUTOMATICOS DE PRODUCCION Y ENTREGA QUE REDUCEN LAS MERMAS
- GRAN CAPACIDAD DE PRODUCCION: 7 MILLONES DE LADRILLOS MENSUALES

DISEÑO

- FORMAS Y TEXTURAS QUE REDUCEN LOS NIVELES ACUSTICOS Y MEJORAN LAS CONDICIONES TERMICAS
- AMPLIAS POSIBILIDADES ESTETICAS EN APLICACION ARQUITECTONICA
- TONALIDADES EN ARMONIA CON EL MEDIO AMBIENTE

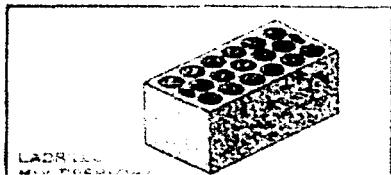
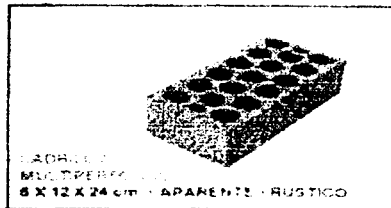
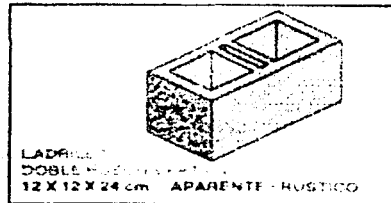
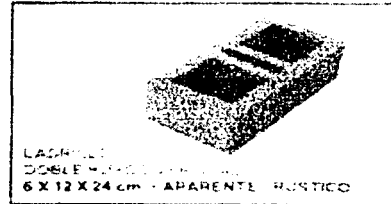
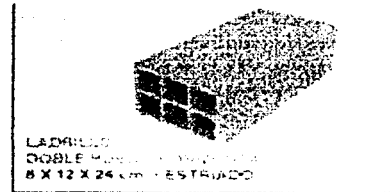


Figura 5.10 Características del ladrillo hueco y multiperforado

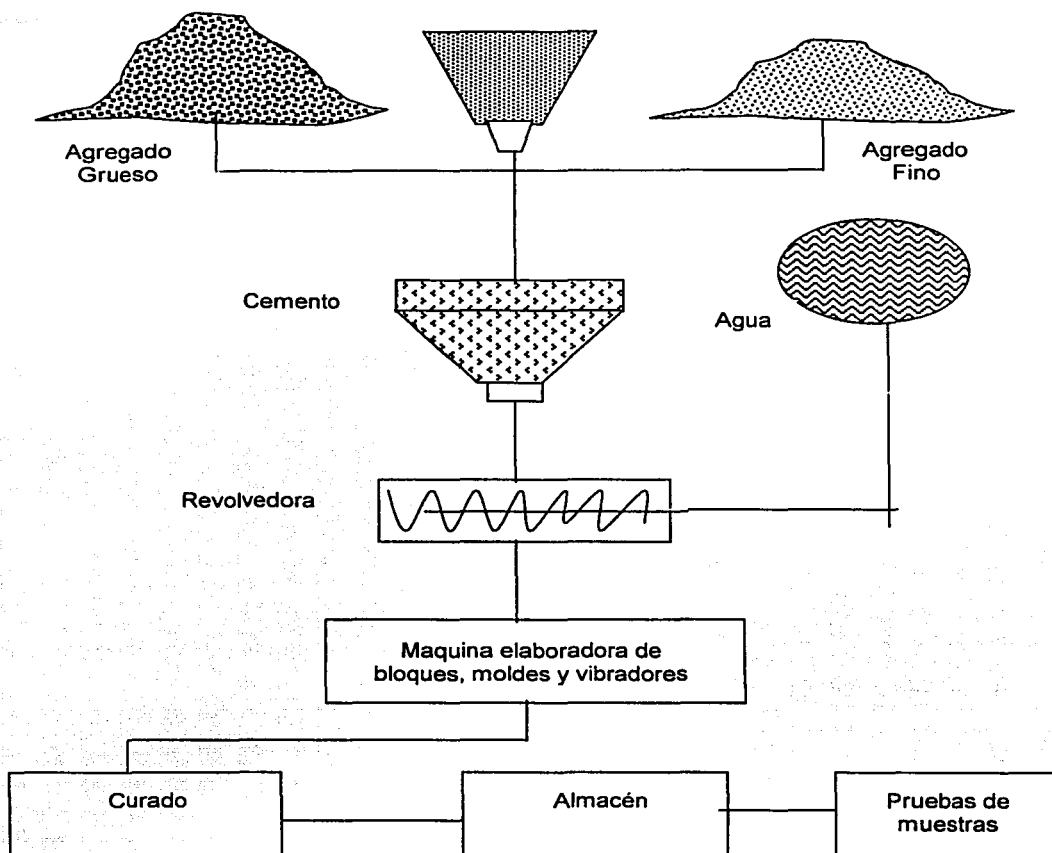


Figura 5.11 Diagrama del proceso de elaboración de bloques

5.1.3 Cementantes y Morteros.

El uso y desarrollo de cementantes y morteros ha ido de la mano con la práctica constructiva del hombre. De esta manera no es de extrañar que ya desde el surgimiento de los primeros centros urbanos se haya empleado algún tipo de cementante y se haya mezclado con otros materiales para obtener alguna clase de mortero. En el Egipto del tiempo de los faraones, se conocía y usaba como cementante el yeso calcinado impuro y en la construcción de calidad se usaba un mortero compuesto de dos partes de arcilla, una de cal y una de paja y cenizas. Por otro lado, en la construcción normal de casas se recurría al adobe y a la mezcla de barro.

En la antigua Palestina se usaba como cementante de mampostería una mezcla resistente a la intemperie hecha de cal, arena y agua. Para el recubrimiento de los muros se empleaba una mezcla de arena, cenizas y cal. A esta mezcla a veces se le añadía aceite, o bien se le daba una mano de aceite a la pared después de haberla aplanado, con el fin de conseguir una superficie impermeable.

Cementantes

Se define un cementante como aquel material en forma de polvo que, mezclado con agua, se utiliza para adherir entre sí dos superficies o para llenar espacios o huecos formados entre material pétreo triturado y conformar un todo con propiedades diferentes a los materiales componentes.

La Cal

Un cementante por tradición es la cal. El término cal, a pesar de ser usado extensamente y con cierta imprecisión, solo abarca productos de piedra caliza calcinada, conocida como cal viva y cal hidratada y no caliza pulverizada, la cual es empleada en la fabricación de cementos de albañilería o morteros.

La cal es un producto manufacturado, químico básico, hecho de la calcinación de la piedra caliza en hornos a una alta temperatura. El producto resultante, cal viva o sin apagar, es usada como material para mortero después de apagarse y transformarse en una masilla, o es convertida a cal hidratada.

En su estado natural o materia prima, es extraída de las minas o caleras, y su composición química es CaCO_3 . Se mete en el horno y con el calor tiene una reacción que se descompone en $\text{CO}_2 + \text{CaO}$, el CaO (óxido de calcio); es lo que realmente se conoce como cal viva, y para apagarla hay que añadirle agua: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$. Este es el hidróxido cálcico o cal apagada, que al mezclarse con el CO_2 del aire hace una reacción que regenera la caliza de origen y ocasiona que adquiera dureza y resistencia.

$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Esta cal se conoce como cal aérea, por tanto, no fragua bajo el agua. La temperatura que requiere el horno para su fabricación es de 1080°C . Existe otro tipo de cal, conocida como cal hidráulica, que tiene la propiedad de fraguar bajo el agua. También está hecha de rocas calcáreas, pero tiene un contenido de arcillas mayor de 5%. Cuando éstas se la agregan en el proceso industrial no deben ser más de 20%. Al pasar por la cocción, los silicatos de las arcillas reaccionan con el óxido de cal y al contacto posterior con el agua se cristalizan y le otorgan la facultad de fraguar bajo el agua.

La cal aérea puede ser de dos tipos: grasa y magra, cuyas propiedades se la da la cantidad de magnesio y de oxígeno que contenga. Para fabricar una cal hidráulica se le tiene que añadir los óxidos necesarios, que se encuentran en las arcillas.

Durante muchos años se utilizó para los morteros tradicionales la cal aérea viva apagada en obra, pero cuando se requirió una cal que fraguara bajo el agua, como en las obras lacustres y fluviales, se observó que ésta se lograba agregando arcillas. Se descubrió así la cal hidráulica, que posteriormente condujo al descubrimiento del cemento Portland.

El Cemento Pórtland

Un producto de importancia en la construcción es el cemento, éste se elabora precisamente con materiales de la corteza terrestre; rocas y suelos.

El Cemento tipo Portland es un material de uso universal y las materias primas que se utilizan para su fabricación son en primer lugar, y por su mayor consumo, las calizas y en segundo lugar materiales que son ricos en óxido de silicio; como arcillas, tezontles, calcedonias, etc. Por ello, puede considerarse que el cemento es básicamente un compuesto químico de silicatos de calcio, aluminio y fierro. En el capítulo 3 se analiza más a detalle la composición química del cemento.

TIPO DE CEMENTO → CARACTERÍSTICA REFORZADA ↓	PORTLAND					PUZOLANA C-2	MORTERO	ESCORIA
	I	II	III	IV	V			
Alta resistencia rápida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			
Resistencia normal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Resistencia al ataque químico		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Adhesividad y plasticidad			<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Bajo calor de hidratación		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Economía	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Magnitud Buena
 Excelente

Figura 5.12. Cualidades del cemento portland

Además del cemento portland se fabrica el cemento blanco, el cemento con puzolana y el mortero de albañilería.

El Cemento blanco

En este producto se elimina prácticamente de la composición química al óxido férrico, responsable del color gris oscuro del cemento portland. La eliminación se consigue seleccionando como materias primas calizas y caolines de muy alta pureza, razón por la cual su precio es mayor al de otros.

El Cemento de albañilería o mortero

La característica principal de éste cementante es que su composición química permite una mayor plasticidad, adhesividad y manejabilidad, relegándose la resistencia a un segundo término.

Estos morteros contienen por lo general de un 30% a un 50% de cemento portland, al cual se le agrega un plastificante; normalmente carbonato de calcio, arcilla o puzolana, finamente molidos y pequeñas cantidades de aditivos orgánicos para exaltar las propiedades de manejabilidad y adhesividad del producto. En combinación con la arena en cierta proporción, se emplea para unir o juntar piezas de mampostería.

El Cemento puzolánico

Para obtener este tipo de cemento se adiciona o sustituye una parte del cemento portland con un material o compuesto llamado puzolana.

La puzolana es un compuesto de sílice o de sílice y alúmina, que finamente divididos y en un medio húmedo reaccionan con el hidróxido de calcio y los álcalis, formando compuestos insolubles inofensivos que contribuyen a mejorar la resistencia mecánica, la impermeabilidad y la resistencia a la acción de agentes agresivos como sales marítimas, aguas salitrosas y sustancias de las aguas negras.

Morteros

El disponer de los cementantes mencionados, ha permitido la fabricación de morteros para unir piezas de mampostería y erigir muros de carácter estructural y decorativo y recubrir estos por el exterior o por el interior.

Un mortero se define como una mezcla plástica aglomerante que resulta de combinar arena y agua con un material cementante, como el cemento, cal, yeso o una mezcla de éstos en una proporción determinada.

Sus principales propiedades a considerar son: resistencia a la compresión y a la tensión, adherencia con otros materiales, modulo de elasticidad, trabajabilidad, rapidez de fraguado, impermeabilidad y retención de agua.

Tipos de mortero

Morteros de cemento: cal-arena

Los morteros de cemento son los de mayor resistencia y mayor módulo de elasticidad, pero tienen como desventaja su fraguado rápido, su poca trabajabilidad y poca retención de agua.

Los morteros de cal tienen menor resistencia y menor módulo de elasticidad, pero son más trabajables y tienen buena retención de agua.

Con frecuencia se emplean morteros con cemento y cal simultáneamente, con lo que se logra obtener cualidades de ambos materiales; a estos se les conoce con el nombre de mixtos o bastardos.

Los morteros de cemento no deberán usarse después de una hora de mezclados y los morteros de cal después de 2.5 horas, no dejándose reposar más de una hora.

Se recomienda mezclar los materiales en artenas o recipientes no absorbentes, para evitar la pérdida de agua. Se evitara el uso del mortero a base de cal hidratada, arena y agua.

Asimismo, con el fin de evaluar la resistencia de los muros ante fuerzas verticales y horizontales se requiere saber el valor de la resistencia tanto a la compresión normal como al esfuerzo cortante. En las tablas siguientes se ofrecen valores, de tipo indicativo, según el mortero a usar tanto en el diseño y consecuentemente al construir muros:

Tipo de Mortero	Partes de Cemento	Partes de cemento de albañilería	Partes de Cal	P. de arena	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
I	1	-	0 a ¼	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de los cementantes (volumen)	125
	1	0 a ½	-		
II	1	-	¼ a ½		75
	1	½ a 1	-		
III	1	-	½ a 1¼	40	

Tabla 5.14 Proporcionamiento volumétrico recomendado para los morteros

Tipo de pieza	Resistencia a compresión (kg/cm ²)		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
Tabique de barro recocido	15	15	15
Bloque de concreto tipo pesado	20	20	20
Tabicón de concreto	20	15	15
Tabique de barro extruido con huecos verticales	40	40	30

Tabla 5.15 Resistencia nominal a compresión de la mampostería, para algunos tipos de piezas

Tipo de pieza	Tipo de mortero	Esfuerzo cortante (kg/cm ²)
Tabique de barro recocido	I	3.5
	II y III	3.0
Bloque de concreto tipo pesado	I	3.5
	II y III	2.5
Tabicón de concreto	I	3.0
	II y III	2.0
Tabique de barro extruido con huecos verticales	I	3.0
	II y III	2.0

Tabla 5.16 Esfuerzo cortante nominal para algunos tipos de mampostería

Morteros especiales

En el tema referente a la tipología de las piezas, se mencionó que el block sílico calcáreo puede ser unido con un mortero especial llamado Adhesil.

Ahora bien, el Adhesil es un mortero adhesivo en polvo; de color gris claro, inodoro y no tóxico. Este se fabrica empleando resinas acrílicas y agregado fino de granulometría controlada, lo que permite un alto nivel de adhesión de las piezas, nivel que puede ser superior al obtenido por el empleo del mortero convencional de cemento: cal-arena.

Así, el espesor de la junta recomendada es delgado y varía de 3 a 3.5 mm y, además, por el poco espesor de la junta se permite obtener un acabado aparente de los muros.

Otra propiedad de este mortero es la retención de humedad, por lo que se dispone de más tiempo de exposición de la mezcla al ambiente y que, por tanto, se tenga mayor manejabilidad de este al aplicarlo. Para su uso se requiere que las piezas de block estén húmedas y que el mortero se adhiera a los bloques con espátula o cuña.

A continuación, se presentan algunas características del mortero adhesil:

CARATERISTICAS	
Presentación	Caja o bulto de 20 Kg.
Tiempo de almacenaje	Hasta 12 meses
Proporción adhesil: agua	1 Kg. Por 360 ml
Tiempo abierto	De 6 a 12 minutos
Vida en recipientes	Hasta 120 minutos
Aplicarse en temperatura	Superior a los 5 grados Celsius

Tabla 5.17 Características del mortero adhesil

Morteros premezclados

Los morteros premezclados significan un paso más en la tecnología de la construcción, ya que permiten controlar las características del mortero y lograr un uso óptimo de este material de liga y protección, a la vez de mejorar la apariencia de la obra y el rendimiento de la mano de obra, con ahorros económicos importantes y garantía de calidad uniforme.

Para poder obtener el mortero premezclado, es necesario desarrollar un mortero confiable que le dé un tiempo razonable al constructor para consumirlo pero cuyo fraguado fuese normal. Esto se logra a base de una combinación de aditivos que permiten tener un control sobre el fraguado, manteniendo al mismo tiempo la humedad dentro del mortero durante toda su fase plástica y finalmente lograr un contenido óptimo de aire en forma permanente.

De esta manera es posible eliminar el apilamiento de material, las mezcladoras, el desperdicio y la limpieza que son inevitables con los morteros convencionales hechos en obra.

El concepto de mortero premezclado de larga vida consiste en dosificar el mortero en una planta central, el cual posteriormente es almacenado en envases en la obra. El mortero mantiene su plasticidad por un periodo entre 12 horas y 10 o más días según se desee, pero con la cualidad de que al momento de colocarlo entre las piezas se endurece en forma similar a la del mortero convencional.

Para el manejo del mortero dentro de la obra se utilizan recipientes de aproximadamente 200 litros de capacidad en plástico o metal según se busque facilidad en la maniobrabilidad o durabilidad.

Mientras el mortero se encuentra en las tinas, se cubre con una hoja de polietileno o una capa de agua la cual se retira al momento de ser utilizado el mortero, esto es con el fin de evitar la evaporación de agua de la mezcla. El mortero puede ser trasladado en un camión mezclador y descargarlo directamente a los recipientes en la obra.

Existen también mezcladores móviles los cuales llevan a la obra todos los materiales necesarios para producir el mortero. En la obra los materiales son cuidadosamente pesados y mezclados según lo que se requiera en cada sitio.

Con el mortero premezclado de larga vida puede contarse con suficiente material en la obra para varios días de trabajo, almacenándolo en una área específica y ser transportado dentro de la obra con una grúa. Las tinas de mortero se colocan cerca de los sitios de trabajo para reducir al mínimo los tiempos de traslado de la mezcla.

Con el mortero premezclado la dotación de todo un día o más, puede ser suministrada al sitio indicado incluso en horas nocturnas garantizando así que la mano de obra no se interrumpa por falta de material.

Para construcciones pequeñas, se puede utilizar otro sistema de recepción, fabricando una artesa en mampostería de poca profundidad la cual es revestida con polietileno o algún tipo de recubrimiento impermeable para evitar deshidratación del mortero por las paredes. De la artesa se va retirando el mortero con una pluma pequeña para dejarlo en el lugar indicado, según sea la necesidad. Se ha observado que en climas donde la temperatura ambiente no es muy alta y la humedad relativa no es muy baja, se puede dejar el mortero sin cubrir durante todo el día sin presentar secado de ninguna clase.

Estos morteros pueden dosificarse ya sea por proporción volumétrica o bien por sus características, las que incluyen primordialmente una resistencia mínima a 28 días, su retención de humedad, resistir una absorción rápida de la humedad por parte del tabique o block y que debe ser del 75% como mínimo, y finalmente el contenido máximo de aire. Todas las características cuentan con procedimientos de verificación establecidos por métodos ASTM.

Adicionalmente existen métodos de prueba para determinar la adherencia a flexión del mortero, su resistencia a congelamiento y deshielo como medida de su durabilidad, cambios volumétricos y permeabilidad del mortero en muros de mampostería.

El Mortero en las juntas

Aunque, el mortero empleado en las juntas representa una pequeña proporción del volumen total del muro, su influencia en el desempeño estructural del mismo es bastante significativa. Por ello, el junteo con mortero tiene funciones importantes y las principales son:

- Unir las piezas para formar un elemento integral de resistencia predecible al esfuerzo cortante.
- Constituye un sello contra la penetración del aire, humedad y ruido a través del muro.
- En los muros de piezas huecas, asegura el refuerzo colocado en la junta para contribuir a resistir las contracciones y controlar el agrietamiento.
- Se adhiere al acero de refuerzo, amarres y pernos de anclaje de tal forma que todos los elementos trabajen como una sola unidad.

La selección del mortero debe estar basada en un conocimiento de sus características y condiciones superficiales ya que el tipo y composición del mismo afectarán el funcionamiento del muro.

Se recomienda utilizar en elementos de mampostería en general, morteros que cumplan los siguientes requisitos:

1. Resistencia nominal a la compresión de 40 kg/cm^2 , como mínimo.
2. Relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes entre 2.25 y 3.00.
3. Emplear la mínima cantidad de agua que de como resultado un mortero fácilmente trabajable.

Por otro lado, en la elaboración de las mezclas; el cementante, la arena y el agua se dosifican para proporcionar fluidez, obtener una determinada resistencia a la compresión y adhesión y por ello cada dosificación constituye un tipo de mortero.

5.2 DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LAS ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

5.2.1 Muros.

Concepto de muro

Un muro se puede definir como un elemento plano, que tiene una longitud (L) y altura (H) mucho mayores que su espesor (T).

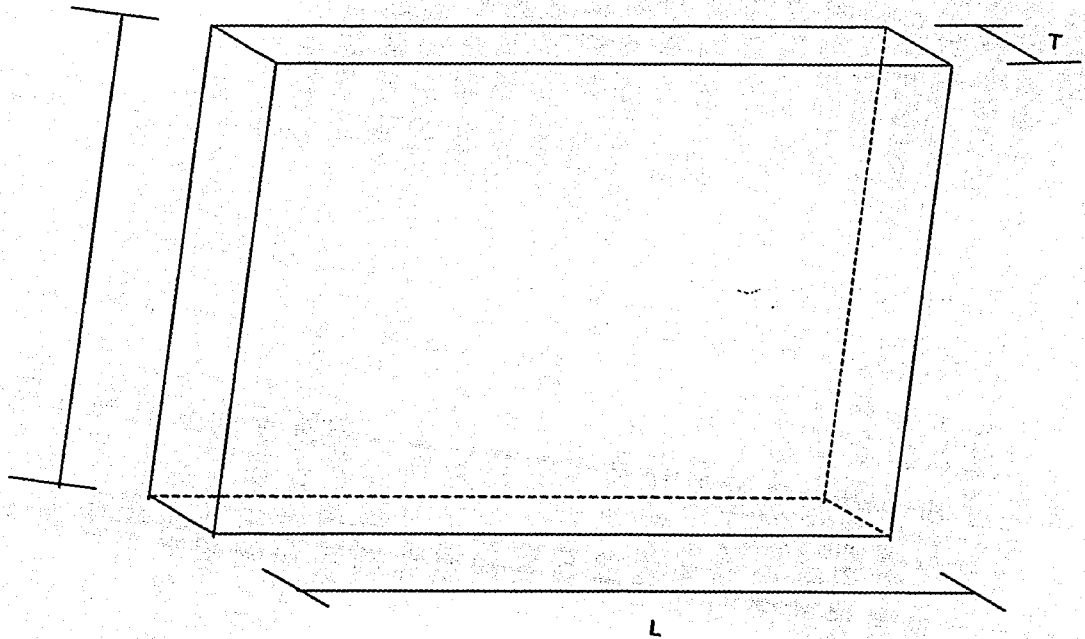


Figura 5.13 Concepto de muro

Clasificación de muros

El siguiente diagrama proporciona una clasificación de muros:

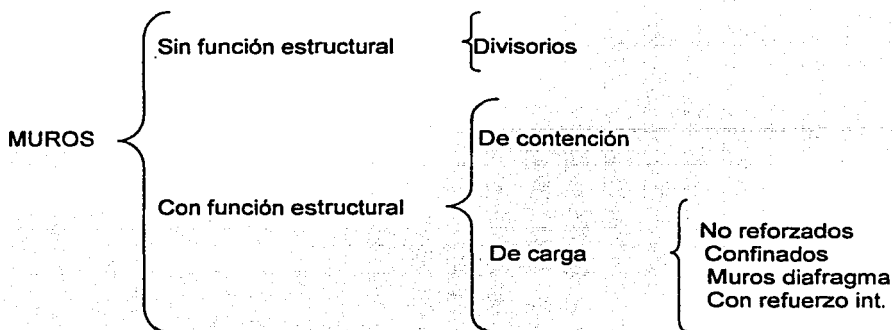


Figura 5.14 Clasificación de muros

Muro no estructural

Los muros que no tienen una función estructural o no estructurales, son aquellos que tienen la única finalidad de dividir o aislar un espacio determinado.

Estos muros se desligan o separan de la estructura principal de mampostería, acero o concreto y no participan para resistir las acciones verticales o accidentales. Sin embargo, se prevé que tengan estabilidad.

Los muros de este tipo usualmente se separan de traveses y columnas mediante placas de celotex, de poliestireno o con algún otro material con propiedades elásticas. Posteriormente se sujetan a traveses y columnas de la estructura principal de tal manera que se impida el volteo por la acción de sismo o viento.

Los muros no estructurales tienen su mayor empleo en edificios de concreto o de acero, eligiéndose piezas de barro recocido o hueco vertical, block o materiales como son la tablarroca, el durock, el panel covitec o W, o con tableros de tecnología Plycem.

Muro estructural

Los muros con función estructural son aquellos que participan para soportar o resistir fuerzas de tipo permanente y fuerzas de tipo variable.

Muros de contención o de retención

Eventualmente, al proyectar edificios de viviendas, es necesario recurrir a los muros de contención para lograr un desnivel y aún para cimentar sobre ellos.

Por ello, uno muro de contención o de retención es una estructura construida de mampostería o de concreto reforzado. Los elementos involucrados en este tipo de muros son tres: el terreno de cimentación, el relleno y el muro

Estos muros sirven para resistir la presión de la tierra, arena u otros materiales de relleno que se colocan detrás de él después de construido, existen muros llamados de revestimiento que sirven para evitar caídas de tierras que permanecen en el sitio de su yacimiento.

En la práctica es imposible determinar exactamente la presión o empuje que ejerce la tierra sobre el muro, y por lo general hay que guiarse para su construcción en teorías basadas en la experiencia.

Al diseñar un muro se trata de equilibrar las fuerzas correspondientes al empuje de la tierra, peso del muro y la fricción en el apoyo del muro. Es muy importante drenar la tierra por contener, ya que de su grado de humedad depende la mayor o menor tendencia a resbalarse y ofrecer mayor empuje.

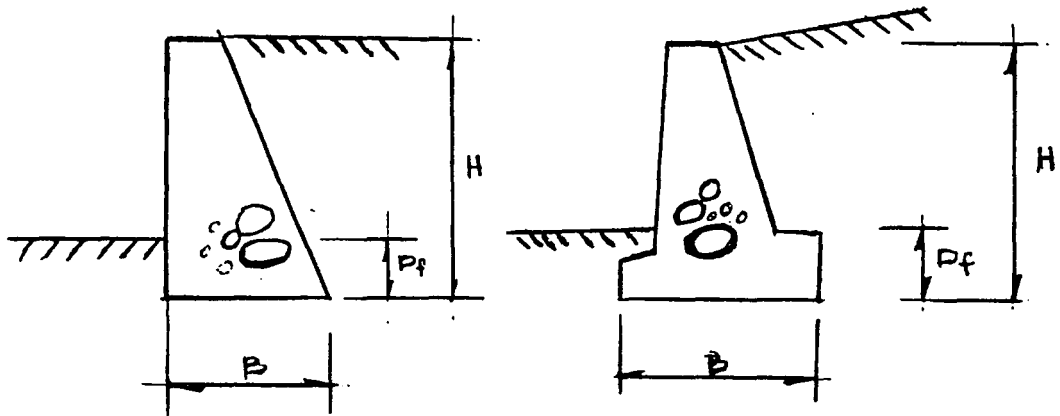


Figura 5.15 Muros de contención

Muros no reforzados

Se clasifican así, a aquellos muros que no cumplen con los requisitos técnicos especificados para los muros confinados, reforzados interiormente o diafragma. Son también aquellos que no contengan refuerzo de concreto y acero, en forma de castillos o cadenas.

No obstante, este tipo de muros si muestran resistencia a cargas gravitacionales y accidentales, pero, al evaluar su capacidad, los factores de resistencia especificados son muy bajos en comparación a los tipificados por el reglamento como estructurales.

Muros confinados

Son los muros o tableros que están limitados perimetralmente por cadenas de desplante y cerramiento y castillos de concreto reforzado.

Estos muros soportan adecuadamente cargas gravitatorias y accidentales y los requisitos para que un muro o tablero se considere técnicamente confinado son:

1. Los castillos, cadenas o dalas deberán tener como dimensión mínima la correspondiente al espesor del muro.
2. La calidad mínima del concreto será de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$
3. El acero de refuerzo de dalas y castillos deberá constar de tres varillas o barras, como mínimo.
4. El área del acero de refuerzo longitudinal de dalas y castillos no será menor a $0.20 b Dc f'c/Fy$ siendo b el ancho de la estructura, Dc el peralte del castillo, $f'c$ el esfuerzo de compresión del concreto y Fy el esfuerzo de fluencia del acero.
5. El área del acero de refuerzo transversal de dalas y castillos no será menor a $1000 S/Fy Dc$, siendo S el espaciamiento del refuerzo transversal.
6. La separación máxima del refuerzo transversal: anillos o estribos será de $1.5 Dc @ 20 \text{ cm}$.
7. Los castillos deberán tener un espaciamiento máximo de $1.5 H @ 4.0 \text{ m}$, siendo H la altura del muro o tablero.
8. Deberán existir castillos en las intersecciones de los muros.
9. Las cadenas o dalas, estarán separadas verticalmente a 3.00 metros como máximo.

Muros reforzados interiormente

Esta clase de muro combina adecuadamente las piezas huecas y las barras de acero corrugado. Los requisitos que se deberán cumplir para considerar que los muros son reforzados interiormente son:

1. El porcentaje de acero horizontal (Ph) y el vertical (Pv), no será menor que 0.002
2. Ninguno de los dos valores anteriores será inferior a 0.0007
3. El porcentaje de acero de refuerzo horizontal estará dado por la expresión:

$Ph = Ash / st$, en donde:

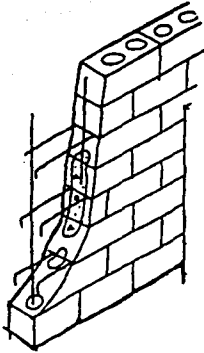
Ash es el área del refuerzo horizontal
 s es la separación del refuerzo
 t es el espesor del muro

4. El porcentaje de acero de refuerzo vertical estará dado por la expresión:

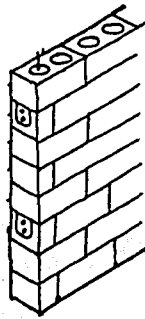
$Pv = Asv / st$, en donde: Asv es el área del refuerzo dispuesto verticalmente

5. Los huecos que alojan el acero de refuerzo vertical se rellenarán con el mismo mortero empleado en el junteo de las piezas o con un concreto de alto revenimiento, con tamaño máximo de agregado de 10 mm y una resistencia a la compresión especificada de 75 kg/cm^2 como mínimo.

Vertical en huecos y horizontal en juntas



Vertical en huecos y horizontal en piezas especiales



Refuerzo vertical y horizontal en un colado entre muros (cavity wall)

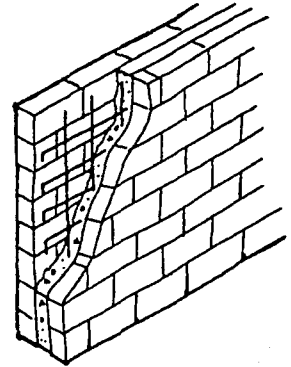


Figura 5.16 Muros reforzados interiormente

Muros diafragma

Estos muros se distinguen por estar rodeados por traveses y columnas. Se emplean con frecuencia en edificios estructurados con marcos formados con traveses y columnas de concreto o acero o con un sistema de losa reticular y columnas de concreto reforzado. Los muros diafragma o de rigidez ayudan a resistir parcial o totalmente acciones accidentales de sismo o viento.

Para su construcción se usan piezas macizas, por ejemplo de tabique rojo recocido con espesores de 12, 20 y 28 cm según la magnitud de la fuerza cortante a resistir.

En un sistema estructural que emplea muros de rigidez, las traveses y columnas del marco soportan las cargas gravitacionales; carga muerta y viva, en tanto que el marco es capaz de transmitir la acción de cargas de sismo o viento al muro, el cual actúa esencialmente como un puntal sujeto a compresión.

Para que el conjunto de marco y muro desarrollen su máxima capacidad, las uniones de traveses y columnas del marco de concreto reforzado deben diseñarse adecuadamente para darles capacidad ante la fuerza reactiva del muro.

Las columnas y traveses del marco que confina al muro diafragma, se diseñan para que sean capaces de resistir una fuerza cortante igual a la cuarta parte de la que actúa en el tablero, en una zona equivalente a la cuarta parte de su longitud libre medida a partir de cada esquina o intersección. La razón de tal consideración se debe a que la rigidez del marco se incrementará notablemente por la presencia del muro, lo que modificará radicalmente la manera en que se comporta el marco, puesto que la presencia del muro le impedirá deformarse por flexión.

En cuanto a la distribución que estos tienen dentro del sistema estructural se recomienda seguir las reglas que se hacen para toda estructura sismorresistentes, citando a continuación dos de importancia:

1. En la etapa del proyecto se debe hacer un esfuerzo por situar los muros de rigidez simétricamente dentro de la planta del edificio, para lograr que el centro de resistencia lateral o centro de rigidez de estos coincida con el centro de cortante del sismo.
2. Limitar el empleo de muros diafragma de mampostería a construcciones de mediana altura.

Por lo que respecta a los beneficios que aporta el empleo de este tipo de muros se mencionan los siguientes:

1. La inclusión de muros de rigidez en las estructuras de concreto mejora bastante la rigidez total del edificio contra el desplazamiento lateral, especialmente cuando se utilizan en un sistema formado por losas nervadas y columnas.
2. Pueden restringir considerablemente el desplazamiento lateral de la estructura, lo que significa emplear columnas de concreto de menor sección y proporcionar porcentajes bajos de acero.

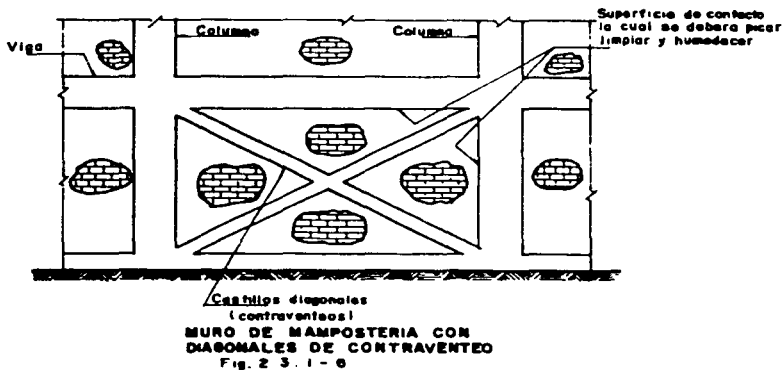
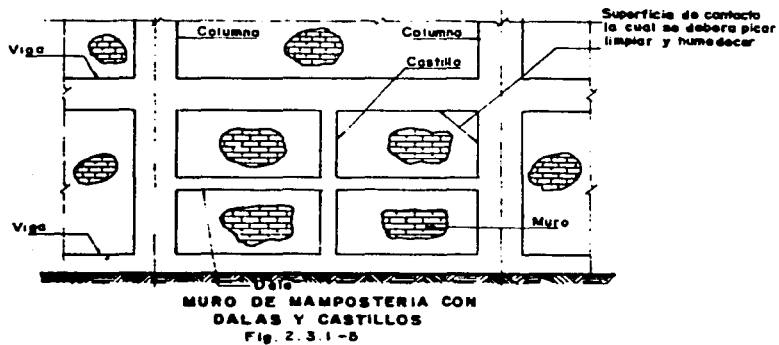


Figura 5.17 Muro diafragma

Aspectos constructivos de muros con diferentes tipos de piezas

A continuación se hace una breve descripción del proceso constructivo de muros de mampostería, la cual se realiza tomando en cuenta los tipos de piezas.

En este apartado se describen las técnicas para construir muros "al hilo" es decir, aquellos que se forman colocando las piezas en su dirección longitudinal, de tal forma que la menor dimensión está contenida en el plano vertical.

Enlace de las piezas o cuatrapeo

Para construir muros, las piezas deben irse colocando con un cierto arreglo, permitiendo, por un lado, tener una trabazón o cuatrapeo entre ellas y, por otro lado, lograr un espesor (t) determinado.

Este cuatrapeo de las piezas es importante, pues el cúmulo de conocimientos que disponemos hoy día acerca del comportamiento de muros, se basa en ensayos experimentales de estos con piezas debidamente enlazadas.

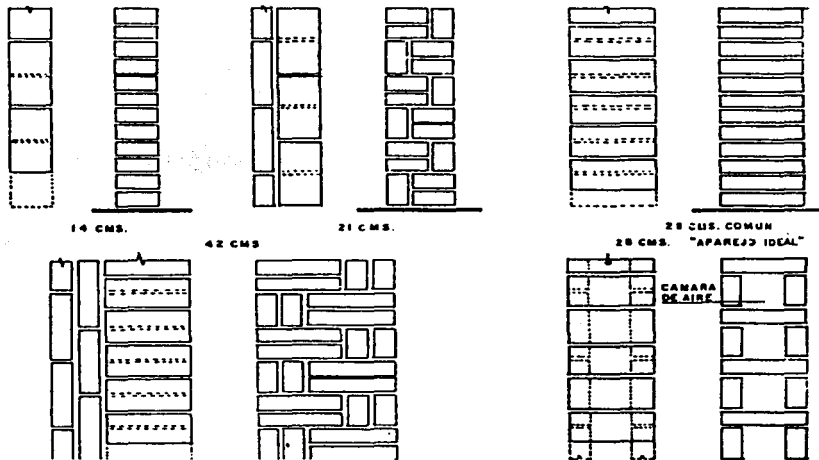


Figura 5. 18 Cuatrapeo y espesores de muros

Muros de adobe

La técnica para levantar muros de adobe y sillar es básicamente la misma a la empleada en muros de tabique rojo recocido, aquí solamente se hará hincapié, en aquellos cuidados que deben tenerse para preservarlos adecuadamente del intemperismo.

Ya que el uso de adobe va de la mano con el empleo de piedra brasa o de la región para formar la cimentación, es indispensable resguardar al muro de los efectos de la humedad. Para lograr lo anterior habrá que prolongar la cimentación alrededor de 60 u 80 cm, por encima del nivel del terreno natural, formando así un rodapié. La corona o parte superior de este rodapié se debe impermeabilizar con algún producto de emulsión asfáltica o material similar.

Por lo que respecta a los morteros para juntar o unir las piezas, anteriormente se mencionó que se puede emplear el mismo barro con el cual se fabrican los adobes. También se pueden usar morteros de cemento: cal: arcilla, de cal: arena en proporción 1:6 y de cemento: arena en una relación de 1:8

El grosor o espesor de las juntas no debe ser mayor de 3 cm y se recomienda "rajuelear", es decir, insertar pequeñas piedras; volcánica o de otro origen de forma lenticular en el borde de la junta. Este rajueleado a demostrado ser muy eficiente contra el desgaste de la junta y constituye un excelente decorado en muros trabajados con caras aparentes.

Asimismo, un elemento integral de los muros ordinarios de adobe son los refuerzos de piedra o tabique en las esquinas y rara vez en las intersecciones de los tableros. Estos refuerzos resaltan notablemente la arquitectura de las edificaciones.

En muchas regiones se pueden ver viviendas de adobe y aún encontrarlas en regiones de riesgo sísmico alto. Por ello, se recomienda reforzar con cadenas de cerramiento y castillos de concreto reforzado para mejorar significativamente el comportamiento estructural de casas de adobe.

Muros de sillar

La construcción de muros de sillar es similar a la realizada con tabique de barro recocido y adobe. Una de las cualidades de los muros de sillar es que resultan muy agradables a la vista, por ello se pone mucho cuidado en su colocación.

Suele combinarse el sillar con piezas de tabique de barro recocido para darle aún más vista a las caras con acabado aparente. También, el tamaño de las juntas es un elemento que interviene en la estética de los muros de sillar. El tamaño de ellas puede variar, pueden construirse muros con juntas de apenas unos milímetros; colocación conocida como "a hueso" o con juntas de mayor espesor, llegando a alcanzar hasta 5 cm.

Para el acabado final de este tipo de muro, se detallan las juntas y se hace una limpieza de las piezas con una cuña, retirando residuos de mortero. Enseguida se procede a aplicar a todo el muro una membrana de silicón base solvente o base agua; silicón semimate. Este químico se aplica sin diluir con aspersor, saturando la superficie uniformemente y se recomienda volver a impermeabilizar después de tres años.

Muros de tabique de barro recocido

En esta alternativa constructiva, los muros se construyen con piezas de barro recocido y constituye una de las formas de edificación de vivienda más tradicional en nuestro país.

El procedimiento constructivo de muros es el siguiente: una vez terminada la cimentación y anclado el acero de refuerzo de los castillos en ésta, se desplanta la primera hilada de tabique; previa a la colocación se humedecen las piezas.

Para juntar o pegar las piezas se emplea un mortero basado en cemento: arena o cemento: cal: arena en cierta proporción o bien se recurre al mortero de albañilería.

Se recomienda que el grosor de las juntas no sea mayor a 1.5 cm. Antes de iniciar la segunda hilada, se procede a la impermeabilización, evitando así el paso del agua por el cuerpo del muro, posteriormente se continúa colocando cuatropadamente hilada tras hilada de tabiques hasta alcanzar el nivel de desplante de las dadas de cerramiento.

Durante la construcción de los tableros se cuida que estos conserven la verticalidad; el plomo y que las hiladas guarden la horizontal; el nivel. La tolerancia comúnmente permitida, según las NTCM del RCDF (1993), para el desplome es del orden del 0.005 de su altura y del 4% de su longitud en desviación de la horizontal.

Conforme se van terminando de levantar los tableros, se van armando los castillos, para posteriormente ser cimbrados o encofrados y colados con concreto normalmente hecho en obra, con una resistencia especificada a la compresión de $f_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ como valor mínimo.

Durante el cimbrado debe cuidarse que la madera este debidamente engrasada, de no hacerlo así la madera se pegará literalmente al concreto dificultando el descimbrado. Una vez endurecido el concreto se realiza el descimbrado de los castillos y normalmente su curado se lleva a cabo con agua.

El armado y colado de las cadenas de cerramiento se ejecuta conjuntamente con el sistema de piso o losa.

Muros de tabicón de cemento: arena

El procedimiento constructivo empleando tabicón de cemento: arena, se realiza en la misma forma que los de tabique de barro. La única diferencia es que el tabicón no se humedece antes de pegarlo.

Muros de block de cemento: arena

Hay dos formas de fabricar muros con este material: la primera es confinando las piezas con castillos y dadas y la segunda es reforzando interiormente el muro. El procedimiento constructivo de la primera opción se asemeja a la correspondiente de muros de tabicón y la segunda a la de muros con piezas de barro comprimido. En las líneas siguientes se resalta lo más relevante en la colocación de este material para muros confinados.

Todos los bloques huecos tienen una parte sólida y reducida, conocida como la pared o las paredes, en donde se coloca el mortero de las juntas horizontales. Estas juntas no tendrán más de 1.0 cm de espesor.

El mortero a emplear es de cemento con arena cernida, el empleo de morteros con baja proporción de cemento o de alta proporción de arena ocasiona agrietamiento en las juntas, además de influir en la reducción de resistencia al corte y mala apariencia en el acabado del muro cuando este es aparente.

Así mismo, el mortero de las juntas debe quedar bien distribuido sobre las paredes y asentarse con firmeza cada block sobre las piezas de cada hilada ya tendida. Después de cierto tiempo, con una herramienta apropiada se aprieta la parte expuesta de las juntas de tal modo que se marque una media caña. Esta práctica de apretar la junta contribuye a impedir la filtración del agua a la vez que mejora el terminado del muro.

Para instalar las tuberías de las instalaciones hidráulica y eléctrica, algunas veces se instalan antes de la colocación de los bloques y otras después de haber construido el muro. La segunda práctica involucra abrir ranuras para introducir las tuberías, lo que ocasiona daño al muro dada la fragilidad de las piezas huecas.

Muros de tabique de barro precomprimido o extruido

La construcción de muros con tabique hueco de barro comprimido con refuerzo interior, requieren de una mayor habilidad del obrero, ya que estos muros se tienen que reforzar interiormente y por la naturaleza del material las caras deben tener un acabado aparente.

Estos muros se refuerzan horizontal y verticalmente. El refuerzo vertical; constituido por barras de acero de alta resistencia con esfuerzo de fluencia de $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ o mayor, se anclan adecuadamente a la cimentación.

El refuerzo horizontal de los muros se efectúa con una malla de alambre soldado conocida como Escalerilla, ésta se va colocando a cada dos o tres hiladas de tabique. Posteriormente se tiende la primera hilada de bloques y a la vez se van ensartando o haciendo pasar por las barras del refuerzo vertical.

De esta manera, se va pegando hilada tras hilada y juntando el tabique con un mortero de cemento: arena cernida de un espesor de 6 a 10 mm, del mismo modo que en los muros de block, las juntas se comprimen o aprietan y se detallan hasta lograr la calidad deseada.

Usualmente, a media altura del muro se cuelan los castillos interiores con un concreto de alto revenimiento y con una resistencia especificada a la compresión no menor de $f'c = 75 \text{ kg/cm}^2$ y un tamaño máximo de agregado de $3/8"$ (10 mm).

Por otro lado, las tuberías de las instalaciones hidrosanitaria y eléctrica se van colocando a través de los huecos y se tiene cuidado de cortar el tabique para formar la abertura en las que se fijan los registros eléctricos y se localizan las salidas hidráulicas y sanitarias.

Al alcanzar el muro el nivel de las dadas de cerramiento, se procede a tapar con cartón o pedacería de tabique los huecos de la última hilada, evitando así que al colar la dala se tapen con concreto los huecos.

Los muros construidos con tabique de barro extruido, requieren de un trabajo adicional para su terminado final. El tratamiento consiste en lo siguiente: se lavan las caras interiores y exteriores con una solución de agua y ácido clorhídrico o muriático, auxiliándose de un cepillo, fibra y cuña para remover el material cementante adherido a las piezas al momento de detallar las juntas y el salitre que sale a las caras del muro.

Una vez que hayan quedado limpios y secos los muros se aplica con cepillo cuadrado o brocha, silicón del tipo brillante o mate a fin de resaltar la apariencia del color de los muros. La experiencia al respecto indica que es conveniente aplicar silicón brillante o semibrillante en interiores y silicón mate en fachadas o exteriores, ya que los brillantes son más vulnerables a los efectos de la atmósfera que los mate.

Muros de tabique de barro extruido del tipo esmaltado

El procedimiento constructivo para muros de barro extruido con un terminado esmaltado es similar al descrito en el apartado anterior, solamente difiere en su terminado final. A estos muros se les da una lavada con agua y ácido y ya no se aplica silicón, debido a que ya están esmaltados.

Muros de block tipo sílico

La construcción e impermeabilización de este tipo de muro se realiza al igual que el muro de tabique o block hueco de barro extruido.

Juntas en muros

Acabado de las juntas

En lo referente al acabado de juntas, éstas pueden ser de muy diversas maneras: en relieve plana o redondeada, a paño rústica o recortada, remetida oculta o visible, esto siempre que se evite la acumulación de agua en los bordes.

Para las juntas remetidas se recomienda el uso de barras de aproximadamente 60 cm de longitud para producir una superficie uniforme que una perfectamente las piezas en sus aristas.

El junteo se realizará cuando el mortero esté a medio fraguar pero con suficiente plasticidad para que tenga adherencia.

Después de dar el acabado a las juntas se deberán limpiar las piezas quitando todos los residuos de mortero adheridos.

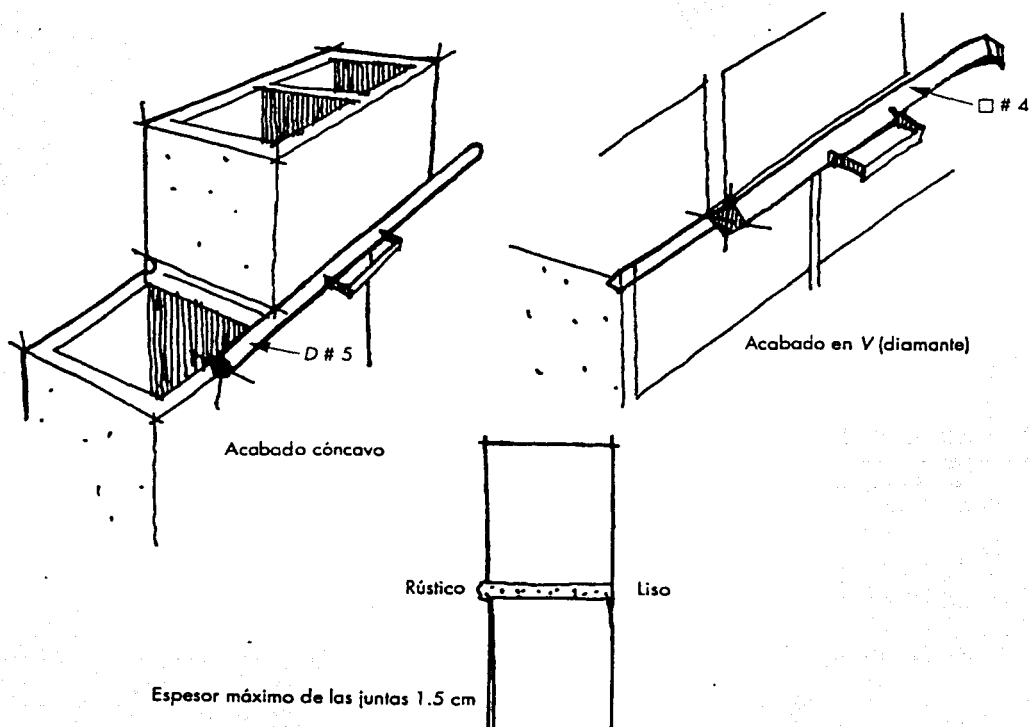


Figura 5.19 Acabado en juntas.

TIPO DE PIEZAS	ESPESOR (t) CM	SECCION TRANSVERSAL	VISTA LATERAL	TIPO DE JUNTAS
MACIZAS	6 CAPUCHINO			 EN DIAGONAL
	12, 13 NORMAL			 CONCAVA EN "V"
	20			 AL RAS
	24			 RESULTADA
	30			
	36			
HUECAS	10 12 15 20 (NORMAL)			 t = ESPESOR O GUESESO a = ANCHO l = LARGO

Figura 5.20 Cuatrapeo de piezas macizas y huecas para construir muros

Refuerzo en las juntas

Para evitar el agrietamiento es conveniente el refuerzo en las juntas horizontales, el cual debe quedar totalmente cubierto por el mortero para que funcione de manera adecuada.

Por lo general el refuerzo consiste en una escalerilla formada por dos alambres paralelos longitudinalmente de calibre núm. 10 y barras transversales de alambre calibre núm. 9. Este refuerzo se colocara por lo menos cada tres hiladas.

Juntas de control

En muros aparentes en donde se presentan cambios como los que se mencionan a continuación es conveniente dejar una junta vertical que permitirá concentrar los esfuerzos en el muro y controlar sus movimientos.

Las juntas de control en los muros con poco refuerzo deben estar localizadas:

1. Donde se presente un gran cambio en la altura del muro.
2. Donde se presente un cambio de espesor en el muro.
3. En las intersecciones de algunos muros.
4. En muros muy largos (juntas a no más de 18 m).

Para lograr que las juntas se vean lo menos posible deben construirse del mismo espesor que las demás juntas del muro.

Puede utilizarse en las juntas una varilla en forma de z ($\varnothing \# 2$) dándole al muro un soporte lateral o de pandeo.

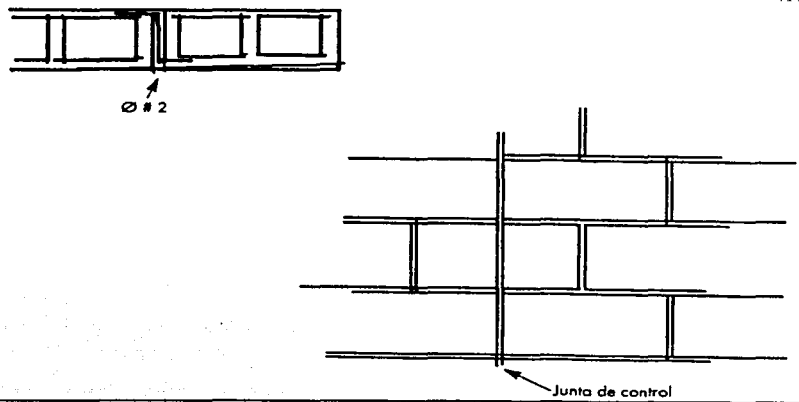


Figura 5.21 Junta de control.

Juntas en intersecciones entre muros

De preferencia se construirán juntas de control para evitar la transmisión de esfuerzos que puedan producir grietas.

Si los muros son de carga de piezas huecas (block), la unión se puede lograr utilizando una barra metálica de 0.6 cm de espesor ($1/4"$) por ($1 \frac{1}{4}"$) de ancho y 70 cm de largo, teniendo en los extremos escuadras de 5 cm, colocadas en los huecos de los bloques a no más de 1 m en la dirección vertical. Para evitar el uso excesivo de mortero se podrán utilizar para su afiance mallas de metal.

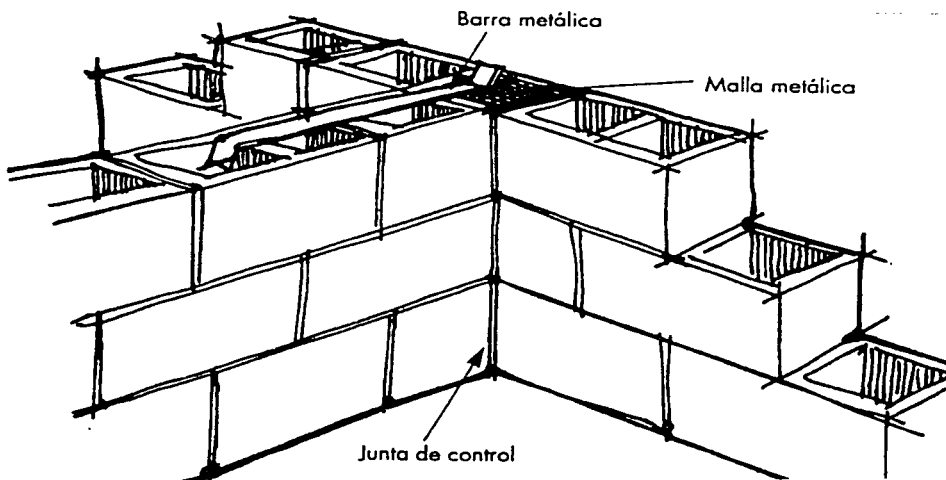


Figura 5.22 Junta de control en intersección en muro.

Aplanados en muros

Los aplanados se utilizan como protección de los materiales de fachada que no están pensados para ser aparentes, como enlucidos para dar protección y color a los aparejos de roca. El empleo de aplanados de cal y arena desde tiempos muy antiguos han sido los que con mayor constancia se han utilizado.

En los diferentes manuales de construcción los aplanados han recibido diferentes nombres como el de revestimientos conglomerados continuos. En España, los aplanados recibían según su composición y espesor, los siguientes nombres:

Enfoscados cuando se utilizan para cubrir un muro cuyo aparejo no estaba planeado para ser aparente e iba a servir de base para recibir un acabado más fino. El grueso variaba, pero podía ser entre 1 y $1 \frac{1}{2}$.

El revoco o estuco que iba sobre el enfoscado y que tenía un espesor promedio de $\frac{1}{2}$ ". Éste también se usaba directamente sobre un paramento más liso o mejor terminado. Sobre este revoco o estuco se aplicaba el enlucido, una capa muy fina que rara vez pasaba los 2 mm.

Esta terminología pasó a la Nueva España, donde dependiendo del lugar ha variado en su denominación. En la zona del Valle de México, el enfoscado se conoce como repellado, el revoco como afinado y el término estuco se utiliza para designar una capa muy fina a la que también se le llama bruñido o para nombrar los moldeados que se hacen con mezcla. Desde luego, estas denominaciones cambian según los términos locales; así por ejemplo, cuando se aplica cal muy diluida en forma casi de pintura, en algunos lugares se conoce como lechada o lechadeada y en otros se denomina salpaque.

5.2.2 Cimentaciones.

Concepto de cimentación

Las cimentaciones superficiales son aquellas que transmiten la carga a través de la superficie de su base, siendo las más comunes las zapatas aisladas o corridas, las losas y los cajones de cimentación. Las zapatas de cimentación pueden ser de mampostería de roca, de concreto simple o de concreto armado.

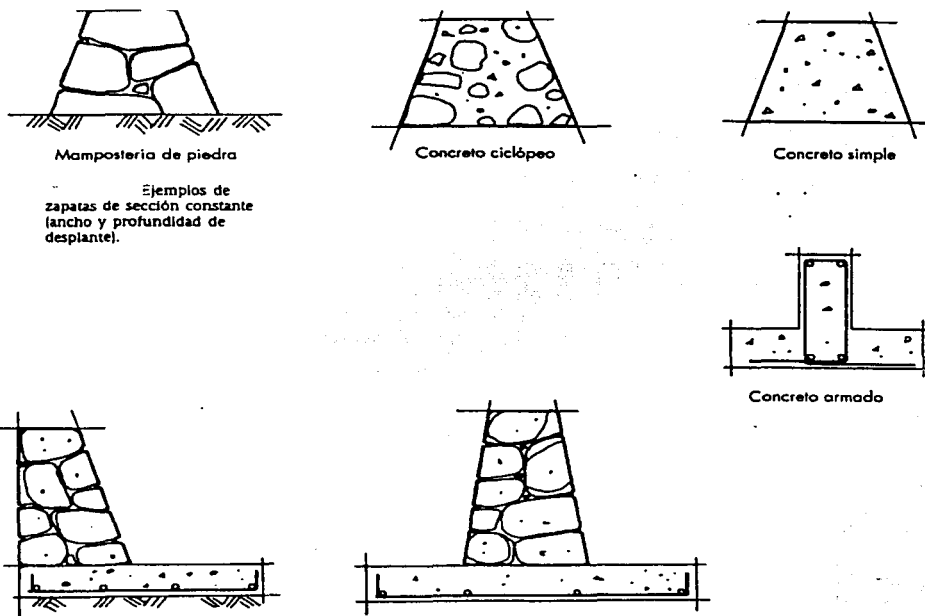


Figura 5.23 Zapatas de cimentación.

Recomendaciones constructivas

El tipo de cimentación de mampostería que se elija deberá ser de preferencia de primera, empleando rocas de gran tamaño, limpias, no fracturadas, unidas con mortero de cemento, cal y arena con un espesor medio no mayor de 2 cm rellenando las oquedades de las uniones con piedras de menor tamaño (lajas).

Deberá evitarse que las juntas o uniones entre el apoyo de una roca sobre otra tengan inclinaciones en la dirección de falla por deslizamiento por carga vertical. El talud de los paños exteriores no será menor de 60° con la base del cimientto. Las juntas o uniones verticales en ningún caso deben ser colineales.

La corona del cimientto no será menor de 30 cm (se recomienda un ancho del doble del espesor del muro), y éste deberá rematarse con rocas de gran tamaño que ofrezcan una superficie de apoyo adecuada evitando el lajeado, salvo en las juntas.

Deberán preverse los anclajes de los castillos. Se dejaran previstos los pasos de conductos de instalaciones: sanitarias, hidráulicas y eléctricas.

A menos que se indique otra cosa, el nivel 0.00 será considerado el nivel natural medio del terreno. Los niveles de desplante los fijará el laboratorio de mecánica de suelos basado en el estudio del terreno, determinando también las alturas máximas de los rellenos y los materiales que se empleen, así como el procedimiento de compactación y grado de la misma.

La profundidad mínima de desplante de una cimentación será de 50 cm siempre y cuando con esta excavación se logre un piso firme libre de tierra vegetal, relleno o material intemperizado. Si una edificación se desplantará a un nivel 0.00 o arriba de éste, se despalmará la superficie del terreno sustituyéndose con material de buena calidad.

La capacidad mínima de carga del terreno en el nivel de desplante de la cimentación estará dada en el informe de mecánica de suelos. La cimentación se diseñara en todos los casos a partir de este estudio del terreno sobre el cual se pretende construir.

En las cimentaciones sobre el nivel indicado del terreno, éste se saturara previamente de agua con el fin de garantizar la deshidratación natural del mortero que se emplee para el cimientto de mampostería. Podrán utilizarse plantillas de concreto de baja resistencia ($f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$) y de pequeño espesor $e = 5 \text{ cm}$ que servirán básicamente para colocar y nivelar la cimentación.

Para poder repartir mejor el peso soportado por los cimienttos, se construyen corridos y más anchos en su base que en su corona, por ello tienen los lados o caras inclinados, de forma piramidal. Esta inclinación de sus lados se llama escarpio o talud.

Existen dos clases de cimientto de mampostería: los cimienttos interiores y los que van en el borde del terreno o cimienttos de colindancia. Los cimienttos interiores tienen escarpio en sus dos paredes. Los cimienttos de colindancia tienen completamente vertical el lado que da al terreno contiguo.

La corona del cimientto debe quedar siempre mas alta que el terreno, para evitar humedades en los muros. No debe quedar totalmente enterrada, sino que deberá quedar por arriba del suelo un mínimo de 20 cm.

Rocas utilizadas en cimientos

Hay muchas clases de rocas con las que se puede construir una cimentación, pero las más utilizadas son: la piedra bola de río, la piedra caliza y la piedra volcánica.

La primera no es muy recomendable, ya que no es manejable y de difícil colocación, además de requerir gran cantidad de mortero o mezcla para construir el cimiento. La piedra caliza que por lo regular es blanca, igualmente no se recomienda su utilización, ya que por ser muy porosa sufre deterioro (pudrimiento) por humedad.

La roca volcánica o basalto, es la más recomendable para cimientos, ya que además de ser muy abundante en nuestro país, es pesada y de gran resistencia. La roca que vaya ser utilizada no debe ser ni tan grande ni tan pequeña, debe escogerse la llamada piedra "braza", porque es la que puede tomar una persona en sus brazos y mide aproximadamente 30 cm.

5.2.3 Pilastras o pilares de mampostería.

Definición

Las pilastras o pilares son elementos estructurales tipo columna que se pueden construir a base de mampostería de roca o de piezas artificiales (tabique).

Las pilastras de roca, si ésta es de buena calidad, construidas con hiladas de la misma sección que la transversal del pilar y con asientos bien planos, tanto en las juntas de hiladas superiores como inferiores, pueden soportar cargas muy considerables.

La altura máxima de las pilastras de roca no deberá ser mayor a 10 veces su dimensión menor lateral reduciendo la capacidad de la carga a partir de $l/d > 8$. Las juntas no tendrán un espesor mayor de 10 cm con mortero de cemento 1:3, cubriendo hasta 2.5 cm los paramentos para proteger los bordes, cuando se use la junta remetida deberá descontarse del área total transversal.

Las pilastras de tabique, sometidas a carga de ruptura, suelen fallar por cuarteaduras y pandeos de los mismos, ocasionando esfuerzos de flexión y cortantes en los tabiques y no la compresión directa de éstos, demostrándose que los puntos débiles son los cuatrapeos, juntas de mortero y la resistencia a la tensión y esfuerzo cortante de los propios tabiques.

Es recomendable, por lo tanto, rellenar por igual todas las juntas con mortero, dando su espesor uniforme y tan delgado como sea posible; la falla principal de las pilastras de tabique suele ser por rotura transversal, más que por aplastamiento.

Cuando se utiliza el mortero de cal, no se obtiene el resultado esperado, sin embargo, es recomendable que en un mortero de cemento deba sustituirse un 25% de cal hidratada por un volumen igual de mortero.

Podemos concluir que los principales elementos que influyen en la resistencia de una pilastra son:

- a) Calidad de los materiales.
- b) Mano de obra.
- c) Relación de esbeltez.
- d) Sistema de aparejo.

La altura de una pilastra de tabique podrá proyectarse igual a seis veces su dimensión menor lateral d , cuando sea mayor a esta relación deberá reducirse la carga por cm^2 , de acuerdo con las fórmulas de reducción siguientes:

Fórmulas para determinar la resistencia de seguridad de las pilastras de tabique cuya altura exceda de seis diámetros o seis veces la dimensión mínima lateral:

- a) Para pilastras con mortero rico en cal.
Carga de seguridad en $\text{kg/cm}^2 = 7.73 - 0.35 l / d$
- b) Para pilastras con mortero de cemento natural plastocemento en proporción 1:2. Carga de seguridad en $\text{kg/cm}^2 = 9.84 - 0.39 l / d$
- c) Para pilastras con mortero de cemento en proporción 1:3.
Carga de seguridad en $\text{kg/cm}^2 = 14.1 - 0.42 l / d$
Siendo l = altura libre de la columna.
 d = el diámetro menor lateral de la misma.

El tabique usado será de primera tomando como resistencia del mismo para pilastras de $l / d < /$ 6 los valores de 7.73, 9.84 y 14.1 respectivamente.

Recomendaciones de diseño

1. Ninguna pilastra cuya altura no sea superior a 2.40 m debe tener una sección transversal menor de 30 x 30 cm.
2. Las pilastras que tengan que cargar o soportar más del 50% de la carga de seguridad no deberán construirse en tiempo de heladas ni con tabiques secos.
3. No se recomienda el uso de mortero de cal y arena.
4. En ningún caso l / d será mayor de 12.
5. El peso propio de la pilastra deberá sumarse a las cargas para calcular la carga total sobre su basamento.
6. Utilizar siempre placa de asiento.

Aparejos de roca en pilastras de tabique

Se podrán intercalar aparejos con rocas de 13 a 20 cm de espesor e igual sección transversal de la pilastra, intercalados cada 75 cm, o 120 cm aumentando la resistencia de la pilastra. De no estar bien asentados, puede perjudicar en lugar de beneficiar debido a la transmisión de la carga en el exterior, haciendo separar por pandeo el núcleo.

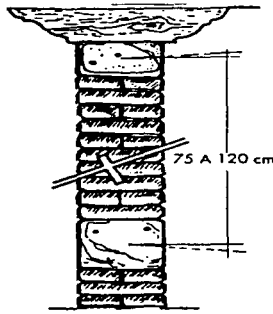


Figura 5.24 Pilastra de mampostería

5.2.4 Elementos decorativos.

Como ya se ha mencionado, en la construcción de mampostería, la roca se presta para todo tipo de usos, como por ejemplo en exteriores de jardinería y que tanto en su forma natural como en bloques labrados se puede utilizar en una amplia variedad de elementos decorativos, como son muros, arcos, bóvedas, terrazas, escaleras, etc.

Muros decorativos

Los muros son una primera elección evidente en la jardinería y no hay mejor material para un muro de cerramiento que la roca. Se pueden utilizar bloques labrados para presentar un aspecto de detalle formal y elegante, aunque los de forma irregular pueden proporcionar obras de jardinería más atractivas, como el muro de roca en seco, con su aspecto natural tosco y la abundancia de huecos con plantas. A diferencia de la obra con tabique, la roca produce una impresión de pertenencia al jardín, especialmente cuando empieza a estar curtida y, por tanto, es la opción perfecta para muros de linde, muretes de contención de tierra e incluso jardineras de poca altura.

Arcos

Otra obra de mampostería especialmente adecuada para la decoración de fachadas es el arco, construido ya sea por separado o contenido en un muro.

Para darle una geometría circular a la distribución de rocas, colocándolas una contra otra, se forma un arco circular. Este elemento transmite cargas hacia los apoyos mediante esfuerzos de compresión que son resistidos eficientemente por la mampostería. Por esto último, el arco es la forma más natural de cubrir claros con mampostería, lo mismo que la bóveda.

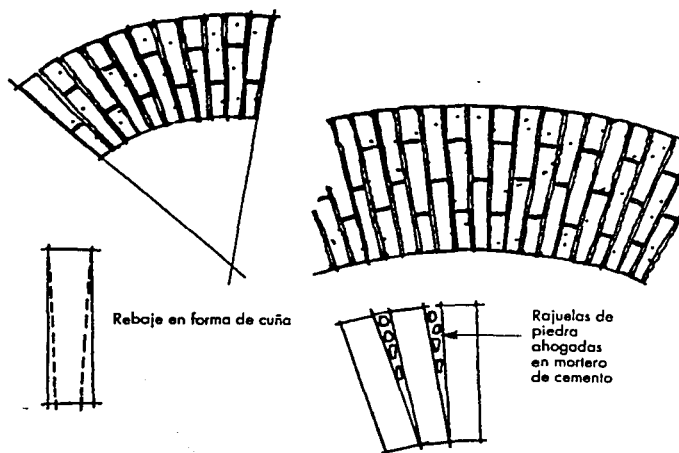


Figura 5.25 Arco de mampostería de tabique.

Bóvedas

La extensión natural del arco para formar una techumbre completa, es la bóveda cilíndrica o de cañón corrido, que puede visualizarse como una sucesión de arcos adosados. Su comportamiento, modos de falla y análisis de esfuerzos se pueden estudiar considerando una franja de bóveda de ancho unitario, es decir, como un arco.

Se ha empleado un gran número de variantes de la bóveda cilíndrica, las que dan lugar a formas más eficientes desde el punto de vista estructural. Las bóvedas cruzadas dan lugar a una cubierta con un trabajo propiamente tridimensional, cuya mayor rigidez le permite cubrir claros mucho mayores que con la bóveda simple. Estas variantes se desarrollan al principio del segundo milenio de nuestra era y encontraron su más alto nivel de desarrollo en las cubiertas de las grandes iglesias góticas.

Terrazas

Todo jardín necesita además de superficies resistentes para caminar por él, y la roca en todas sus variedades, es el material perfecto para patios, terrazas, caminos y escaleras. Con losas de roca rectangulares se pueden cubrir grandes superficies de jardín, mientras que los enladrillados y adoquines más irregulares son ideales para espacios pequeños. El color y la textura juegan un papel esencial porque contribuyen a la armonización de la superficie con su entorno.

Estanques

Otros elementos decorativos que se pueden construir con mampostería de roca son los estanques y fuentes, que no solo son detalles atractivos por sí mismos, sino que, además, añade la vista y el sonido del agua. La presencia del agua permite ampliar la variedad de plantas al jardín.

Por último, la roca se puede utilizar para otros proyectos decorativos de jardinería, desde rocallas hasta muebles de jardín. La construcción de todos estos elementos decorativos es fácil y da realce a cualquier diseño, para ello no se necesitan habilidades y herramientas especiales, únicamente tiempo y paciencia para realizarlo.

Muros con piezas de celosía

Los bloques de muro con celosía se presentan en distintos diseños y se pueden usar como alternativa a los bloques macizos, especialmente cuando se pretende un efecto de transparencia.

Constituyen un material constructivo por sí mismos, pero se pueden combinar con bloques especiales de pilares, albardillas y coronaciones adecuados, o incluirlos como elemento decorativo de muros realizados con otros materiales.







CELOSÍAS	Dimensiones en Cms.	Kilos por pieza	Piezas por m ²	Resistencia a la compresión	Kilos por m ²
TAXCO  TAX-8	8 x 10 x 30	1.200	31	50	37.2
ACAPULCO  ACA-8	8 x 12 x 24	1.600	33	58	52.8
MORELIA  MOR-8	8 x 14 x 19.5	1.200	47	60	56.4
COZUMEL  COZ-8	8 x 12 x 24	2.300	33	60	49.5
VALLARTA  VAL-8	8 x 12 x 24	1.500	33	60	49.5
GUANAJUATO  GUA-8	8 x 12 x 24	1.200	33	50	39.6

Figura 5.26 Tipos de piezas de celosía.

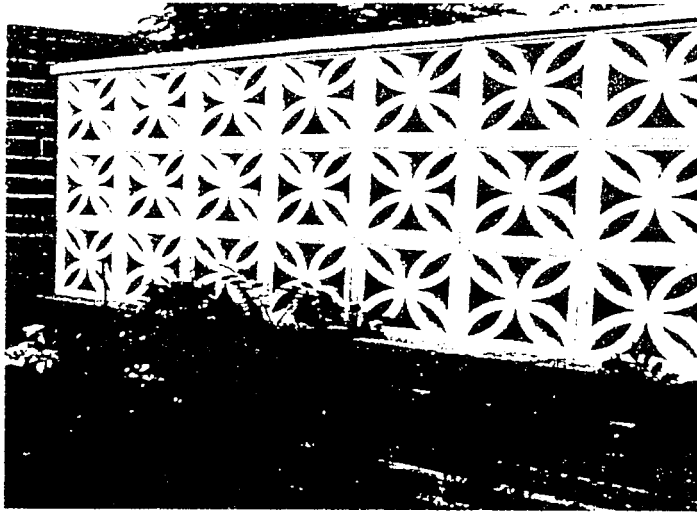


Figura 5 27 Muro con piezas de celosía



Figura 5 28 Losas de roca rectangulares

5.3 FACTORES DE DETERIORO Y DAÑO ESTRUCTURAL.

5.3.1 Humedad.

La penetración de la humedad puede representar un problema en cualquier tipo de construcción de mampostería. En el caso de la albañilería, que ha servido en forma constante y universal a la humanidad por miles de años, las filtraciones generalmente son causadas por uno de los siguientes factores, o por una combinación de ellos:

- 1) Detalles incorrectos de diseño.
- 2) Deficiente mano de obra.
- 3) Uso (incompatible) de materiales inapropiados.

Con mucha frecuencia se culpa a los albañiles de los contratistas de las filtraciones en los muros, diciendo que se debe a una mala mano de obra, pero después de una investigación más a fondo, muchas veces resulta que son otros los factores.

La humedad del ambiente, el vapor, la neblina y sobre todo el agua en forma de líquido ya sea por lluvia, escurrimientos o impacto directo, afectan a la mampostería. Cuando el nivel freático es muy alto, el agua asciende por capilaridad y transporta las sales solubles contenidas en la mampostería. Entre otros muchos daños, hidrata sales, produce y cataliza reacciones internas, favorece la reproducción de microorganismos, ayuda a la vegetación parásita a desarrollarse, desgasta mecánicamente, y en climas muy fríos produce congelación dentro de los poros de la mampostería.

El agua como factor de deterioro, es quizá el que más daño causa a los materiales de mampostería:

- Cuando es absorbida por medio de la capilaridad.
- Cuando es agua directa, ya sea en forma de lluvia o cuando proviene de fugas de instalaciones, lavados continuos, etc.
- Cuando el aire interior del edificio se enfría por abajo del punto de rocío.

El fenómeno de la absorción por capilaridad consiste en la circulación del agua a través de los poros de las piezas, por los cuales asciende de acuerdo con el diámetro de estos conductos capilares, de las características del líquido que absorbe y de la temperatura. Las fuentes de absorción de agua pueden ser varias, pero lo más común son los niveles de agua freática.

El agua directa como la de lluvia empujada por el viento, independiente de la saturación que causa en los paños de los muros, penetra por junteo desprendido, o por vías abiertas por desprendimientos o canalizaciones defectuosas. En los edificios históricos con instalaciones viejas o en mal estado es muy común que se presenten fugas que empapan muros y entrepisos.

Otra causa frecuente son los lavados de pisos con gran cantidad de agua, la cual permanece un tiempo considerable sin secarse.

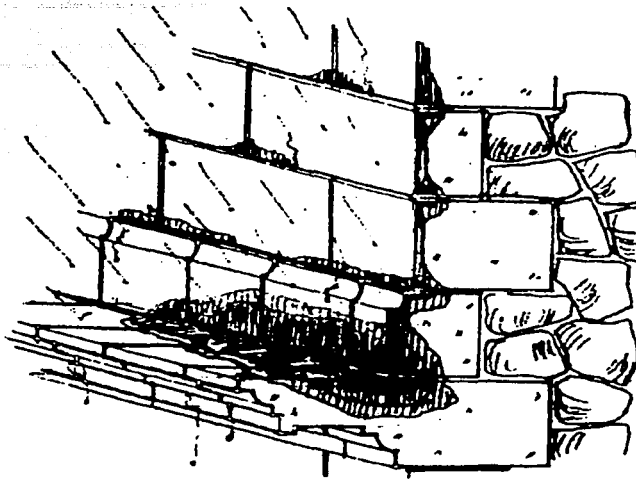


Figura 5.29 Concentraciones de humedad.

5.3.2 Viento.

El viento, un factor que altera y destruye los elementos de mampostería, es quizá el que más inadvertido pasa y muy poco se le toma en cuenta. Sin embargo, desgasta la piedra por erosión. En piezas altamente expuestas a vientos de alta velocidad o que arrastran gran cantidad de partículas de arena, hollines u otros sólidos, se llegan a disgregar piezas de poca dureza. Además, la acción eólica por evaporación favorece la cristalización de las sales.

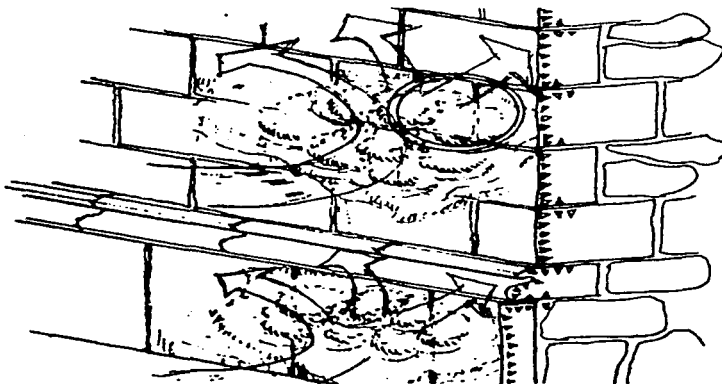


Figura 5.30 Desprendimiento de partículas por acción del viento.

5.3.3 Fuego.

Por su parte, el calor directo producido por fuego o incendios transforma los componentes de los materiales. El calor indirecto, el asoleamiento o las variaciones bruscas de temperatura producen dilataciones y contracciones en el material, los cuales son directamente proporcionales a los daños en las juntas y el cuerpo mismo del elemento. Esto es más notorio en los climas extremos. En la ciudad de México, en la cual la variación máxima promedio es de cerca de 20° C entre una media mínima en las madrugadas de 6 a 8° C y una media máxima en las primeras horas de la tarde de 25 a 27° C, según las estaciones, no son tan comunes las grietas por temperatura, pero ésta influye en los contenidos de humedad, lo que acelera la solubilidad en sales y su cristalización, y hace que la humedad misma sea mayor o menor dentro del poro del elemento al acelerar la evaporación.

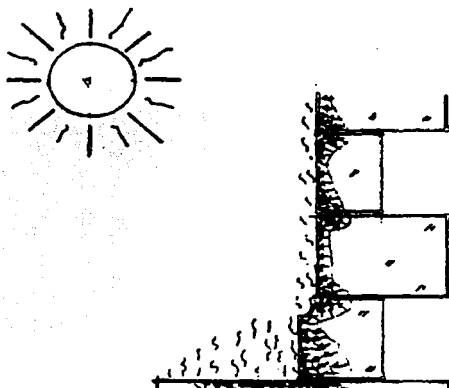


Figura 5.31 Estructura de mampostería atacada por calor directo

5.3.4 Químicos.

Los factores químicos como la sulfatación, la carbonatación y la oxidación afectan la mampostería.

La disolución y la sulfatación de las calizas se producen por la combinación del agua con el anhídrido carbónico o los anhídridos sulfurosos y sulfúricos, respectivamente.

Las sales, entre las que se encuentran los sulfatos, los cloruros, nitratos, nitritos, fosfatos carbonatos, y bicarbonatos, se presentan en la mampostería en forma de concreciones, costras internas y eflorescencias. Algunas sales son solubles y otras insolubles. El análisis químico revela el tipo de sal y sus características.

Las sales contenidas en el cuerpo del elemento, al ser transportadas por el agua afloran hasta la superficie, donde por efecto de gases como el dióxido de carbono se cristalizan y se convierten en sales insolubles como los carbonatos, y se manifiestan como eflorescencias. Hay algunas sales que provocan estas eflorescencias en los estratos más profundos de las piezas, lo que se conoce como subeflorescencias, y disuelven los medios cementantes creando pulverulencias y exfoliaciones. De acuerdo con su composición, las sales toman diversas apariencias, que puede

ser una capa blanquecina con brillos cristalinos o simplemente un polvillo blanco, como una especie de talco; también las hay con una coloración verdosa, amarillenta, marrón o ligeramente azulada, coloración que depende de su composición. La forma de conocer ésta con exactitud es el examen de laboratorio o, en ciertos casos, con reactivos locales. Las sales más comunes son los cloruros, los cuales son relativamente solubles, excepto el de calcio; los carbonatos y los bicarbonatos, los primeros de los cuales son insolubles y los segundos solubles; los fosfatos y los nitritos alcalinos, ambos solubles, y los sulfatos de sodio, de magnesio de hierro y de calcio, los primeros tres solubles y el último insoluble.

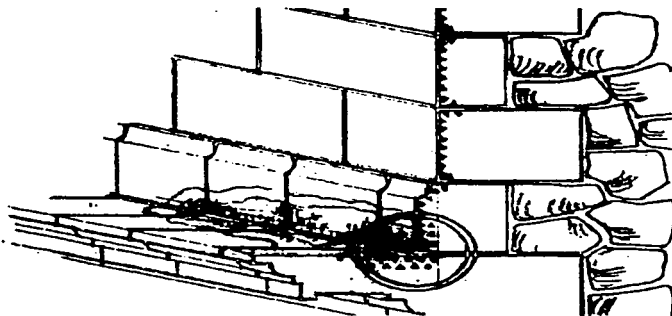


Figura 5.32 Cristalización de sales.

Las alteraciones más frecuentes en la mampostería son las exfoliaciones, que consisten en desprendimientos de estratos de la pieza en forma de laminillas, que varían en espesor. Primero aparecen sobre la superficie de la pieza pequeñas grietas y luego ésta se escama en laminillas, que se desprenden dejando ver bajo ellas capas pulverulentas. También se presentan las estrías y las concreciones. La pulverulencia, como su nombre lo indica, se da cuando la pieza se desintegra en forma de polvo; puede ser interna o externa. Por último, cabe reiterar la aparición de las sales, que se manifiestan en forma de manchas de diversas características; algunas veces son blancas, en forma de pequeños cristales, y en otras ocasiones toman distintas coloraciones de acuerdo con su composición.



Figura 5.33 Exfoliación al desprenderse las partículas.

Muchos de estos factores aparecen en forma simultánea o son producto unos de otros; por ejemplo, algunos tipos de exfoliación se deben a que las sales bloquean los huecos o poros de la superficie y el desprendimiento de ésta se produce por esfuerzos entre las capas de superficie y los estratos internos.

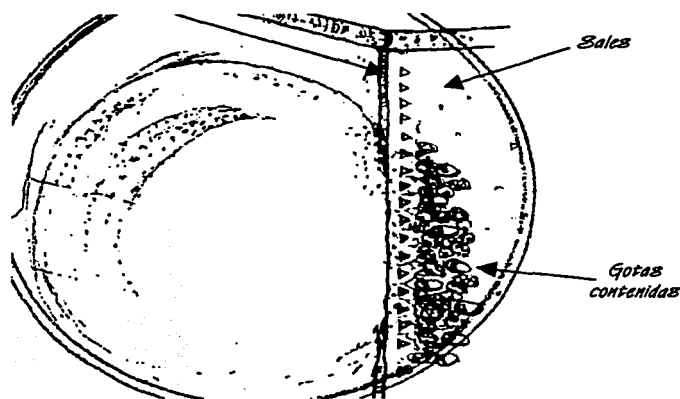


Figura 5.34 Degradación de la roca.

5.3.5 Biológicos.

En estos hay una gran variedad, y la más notoria es la vegetación superior como arbustos, cactus, helechos, etc. En estos casos el deterioro que causan es evidente, ya que las plantas, por medio de sus raíces, se van fijando a través de las juntas de los aparejos de piedra y de ahí van extrayendo nutrimentos. Al crecer la planta, lo hacen también las raíces que van fracturando cada vez más los elementos de la mampostería.

Los insectos de muy diversos tipos, como es el caso de las abejas, los pulgones y las tijerillas canteras afectan la mampostería. Las aves, principalmente las palomas y golondrinas, entre otras, al anidar en cornisas y elementos arquitectónicos depositan su excremento, que contiene gran cantidad de ácido que ataca a la mampostería. Los roedores, como ratas y ratones, también los murciélagos y algunos tipos de bacterias transforman los componentes de las piezas de mampostería.

La manifestación de las vegetaciones inferiores y microscópicas adopta muy diversa apariencia: unas veces se ven manchas verdes que cambian de verde claro a verde oscuro, como es el caso de los musgos. Estos son organismos muy nocivos que crecen sobre varios materiales y causan en la mampostería un deterioro de tipo mecánico, ya que sus rizoides se anclan firmemente sobre la superficie y extraen de ella sustancias nutritivas como el potasio o el sodio.

Otras manchas que se ven como áreas negras pueden estar constituidas por hongos, tan diversos como los géneros de éstos. En zonas tropicales la variedad de los vegetales que se adhieren a la mampostería es amplísima: algas, musgos, hepáticas, hongos, líquenes y plantas vasculares. En el altiplano, los que se han estudiado integran una gama mucho menor; en algunos paramentos de mampostería se han encontrado manchas negras muy difíciles de erradicar, que a veces consisten en un fenómeno llamado mesostasis, que es una cristalización de sales en la que quedan incluidas algas microscópicas.

En general, la vegetación parásita más común está constituida por algas, líquenes, musgos y hongos. A continuación se describe la apariencia y los daños que causan los diversos factores biológicos:

Algas.

Se encuentran en zonas húmedas y con poca insolación, y producen deterioros superficiales en la mampostería. Por lo general son de color verde, aunque es muy común que tomen coloración café rojiza. Como su superficie puede ser pegajosa, el polvo y los contaminantes como el hollín se adhiere a ellas formando capas duras.

Líquenes.

En realidad, son asociaciones de hongos con algas. Es difícil para ellos crecer en las grandes ciudades debido a que son sensibles a los contaminantes. En las zonas donde se reproducen ocasionan deterioros, ya que sus raíces penetran en el sustrato, y también producen ácidos orgánicos que atacan la superficie de la pieza.

Hongos.

Para desarrollarse éstos necesitan un sustrato orgánico; provocan daños mecánicos y químicos, producen ácidos orgánicos y se desarrollan sobre las calizas.

Musgos.

Esta vegetación bastante común requiere mucha humedad para desarrollarse, es en extremo destructiva y la superficie sobre la que se asienta es en capas profundas. Los morteros y las calizas son superficies propicias para su desarrollo.

Bacterias.

Aunque parezca extraño, también las bacterias producen deterioros en mampostería, cerámicos y morteros. Su acción destructiva se debe a sus procesos metabólicos; las más conocidas son las sulfobacterias y ferrobacterias.

Vegetación superior.

No es extraño encontrar verdaderos arbustos cuyas raíces penetran profundamente en grietas y juntas abiertas en los muros construidos con mampostería. Las raíces de estas plantas ejercen presiones muy altas sobre sillares y recubrimientos, a los que fracturan y desgajan.

Animales.

Para todos es conocido el fenómeno de la invasión de palomas, así como la de otras especies en áreas rurales. El excremento de estas aves contiene un porcentaje que puede llegar hasta 3% de ácido fosfórico, el cual provoca la disgregación de los materiales.

5.3.6 Contaminación.

No se puede dejar de mencionar el factor de deterioro que se conoce como intemperismo. Aunque éste es no un factor si no una serie de ellos, el término puede ser correcto ya que se refiere a los daños que recibe la mampostería por estar expuesta a la intemperie, hemos visto que los factores pueden ser de viento, calor, humedad, de movimientos accidentales o químicos, entre otros. Pero el intemperismo, por lo general se refiere a los daños que causa uno de los males del siglo: la contaminación.

En términos generales, el aire tiene la composición siguiente:

Gas	Porcentaje en volumen
Nitrógeno	78.00
Oxígeno	21.00
Dióxido de carbono	0.03
Otros gases	0.97

Tabla 5.18 Composición de la contaminación

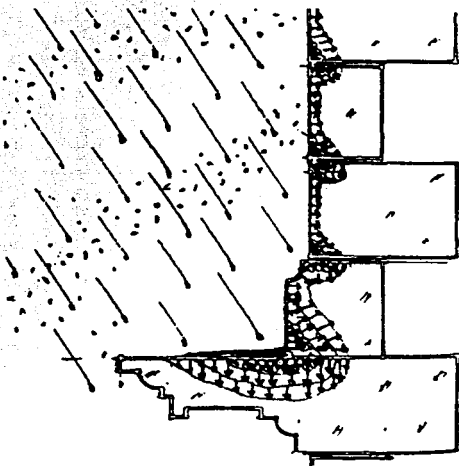


Figura 5.35 Lluvia y partículas contaminantes.

En las grandes ciudades, después de la Revolución Industrial se han acumulado fábricas de todo tipo, plantas generadoras de electricidad, edificios de vivienda, instalaciones de servicio y en las últimas décadas, concentraciones enormes de vehículos impulsados por motores de combustión interna, así como grandes aeronaves en los aeropuertos que quedaron incluidos en las zonas urbanas.

Todo esto produce una cantidad enorme de gases como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono, hollines alquitranes, gomas, polvo, grasas, resinas y muchísimos otros elementos contaminantes.

La atmósfera contaminada es muy dañina para todos los seres vivos, ya que el dióxido de azufre causa severas irritaciones de las vías respiratorias, el monóxido de carbono desaloja el oxígeno de la sangre, y el plomo causa daños en el sistema nervioso, por citar algunos ejemplos.

Por lo que se refiere a los elementos de mampostería, a continuación se describen los contaminantes principales y sus devastadores efectos.

El fenómeno conocido como lluvia ácida es particularmente destructor de la mampostería. Un tipo de lluvia ácida muy dañino, especialmente para las rocas calizas, es la que se produce por los anhídridos sulfuroso y sulfúrico, que son generados por la combustión de los hidrocarburos, como es el caso de los humos arrojados por los escapes de los automotores. Éstos, al mezclarse con el agua de lluvia, forman la siguiente reacción: $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (agua) = H_2SO_4 (ácido sulfúrico). Este ácido, que se encuentra en el agua de lluvia, penetra en el cuerpo del elemento y disuelve la calcita que mantiene unida su estructura, causando su disgregación. El ácido reacciona con el calcio o el sodio presente en las rocas formando sales solubles.

También el CO_2 (dióxido de carbono) acidifica el agua de lluvia y ataca a los materiales pétreos que pertenecen al grupo de las calizas.

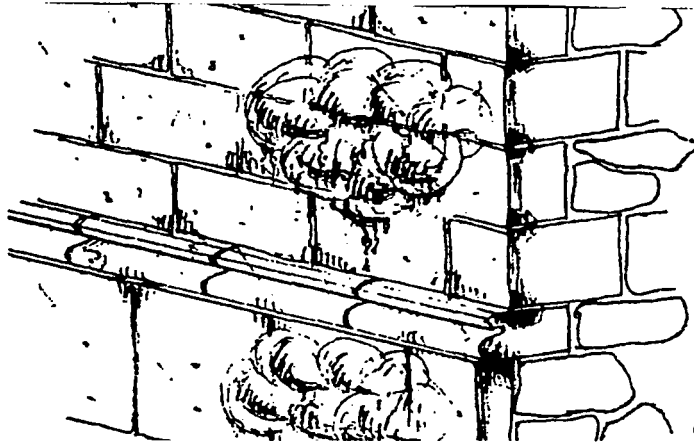


Figura 5.36 Reacción de los minerales de la piedra debido a la lluvia ácida

En el caso particular de la ciudad de México, en la cual incluso en las épocas de lluvia más pertinaz hay periodos de asoleamiento, aunque sean breves, la cristalización de las sales ocasiona agrietamiento y acelera las reacciones químicas. La humedad causada por la lluvia, mientras sea más intensa, mas se introduce en la roca y cuando vienen los periodos de asoleamiento intenso, al secar rápidamente las sales cristalizan en los estratos internos de la roca, estos cristales se van haciendo más grandes y tienen el efecto de un expansor.

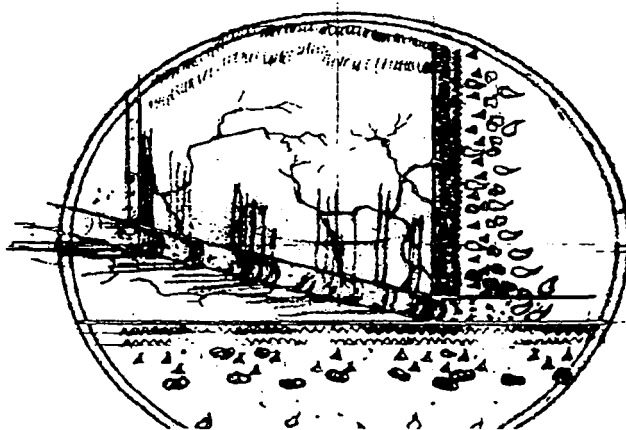


Figura 5.37 Agrietamiento por cristalización de sales

En las piedras calizas, al penetrar en su estructura el dióxido de azufre produce sulfatación, y al combinarse con el calcio forma sulfato de calcio o de magnesio cuando se trata de calizas magnesianas. De acuerdo con el tipo de piedra y con la naturaleza de su cementante, los daños producidos por la lluvia ácida varían. A algunas las ataca más el dióxido de azufre y a otras los óxidos de nitrógeno. El anhídrido carbónico transportado por el agua de lluvia en alta concentración disuelve los feldespatos.

5.3.7 Acción del hombre.

Es quizá como el más destructor de los factores que deterioran y degradan la mampostería. Aquí podemos agrupar los factores de deterioro tanto constructivos como vandálicos.

Dentro del grupo de los constructivos, hay tantos como acciones se le ocurren al ser humano para construir, proteger, fijar o anclarse a la mampostería, limpiarlos, tallarlos o pintarlos. Pero si empezamos con los más comunes tendremos desde luego el uso de morteros impropios, que pueden serlo por su condición física o por sus componentes químicos. Cuando se utiliza para junteo, resane o rejunteo un mortero más duro que la piedra misma, este produce daños a su superficie adherida, cuando hay movimientos por acción mecánica. Cuando el mortero de junteo es menos poroso o más impermeable la evaporación en lugar de efectuarse a través de él se traslada a la piedra, con el consiguiente movimiento de sales. Cuando se juntea o resana con cemento, al contacto de éste con el agua y la humedad se producen reacciones químicas que provocan una aguda corrosión en la piedra, especialmente en las canteras.

También se aplican a la mampostería diversos tipos de protectores en forma de membranas impermeables, como son los barnices, la mayoría de los silicones, las ceras y las emulsiones asfálticas. En las últimas décadas han proliferado los tratamientos para proteger la mampostería, y lo único que hacen es impedir la transpiración natural del material pétreo y acelerar cristalizaciones que tarde o temprano producirán exfoliaciones irreversibles. Se recomienda evitar cualquier tratamiento protector a la mampostería, salvo cuando éste sea prescrito previo diagnóstico apoyado en pruebas de laboratorio rigurosamente comprobables.

No es conveniente la inclusión de elementos metálicos dentro de la mampostería como es el caso de grapas, tornillos, clavos, pernos, alcayatas y varillas. El hierro, al contacto con la humedad de la piedra, produce corrosión y ésta hace fallar a los elementos. El lijado o tallado con abrasivos sobre la piedra expuesta a la intemperie es muy perjudicial, ya que remueve la protección natural de la piedra conocida como calcín y quita "la piel" a la piedra y abre el poro, lo cual hará la superficie más absorbente e hidroóvida, con los efectos perjudiciales consiguientes.

Uno de los peores daños que puede hacer el ser humano sobre un elemento de mampostería es pintarla o aplicar sobre ella sustancias bituminosas. En el conocido caso de las "pintas" vandálicas sobre las superficies de mampostería, el efecto es muy grave. Cuando se aplican pinturas sobre cantera muy porosa, ésta penetra a veces hasta un milímetro o milímetro y medio, por lo que resultará muy difícil extraerla, sobre todo si transcurre mucho tiempo.

5.3.8 Daño Estructural.

Los movimientos como son los sismos dañan estructuralmente a los elementos de mampostería por la acción mecánica. También las descargas eléctricas en la atmósfera, como rayos o centellas, pueden calcinar o hacer estallar los materiales de mampostería.

Como ya se ha dicho, la construcción de muros de mampostería, especialmente de piezas artificiales son diseñados para soportar cargas verticales y horizontales. A pesar de su empleo tan difundido, la forma en que se diseñan las estructuras de mampostería es muy burda e implica el empleo de factores de seguridad muy elevados. Entre las razones que han impedido el empleo de métodos de diseño más refinados, están la gran variabilidad de las propiedades de los materiales componentes, piezas y mortero, y el hecho de que la mampostería se construye in situ bajo condiciones poco rigurosas; pero quizá la razón más importante ha sido la falta de conocimiento acerca del comportamiento de la mampostería ante distintas sollicitaciones.

Se ha realizado, desde hace varios años un amplio programa de investigación sobre el comportamiento estructural de muros de mampostería; se ha estudiado principalmente el comportamiento ante sismos mediante la aplicación de cargas alternadas en muros rodeados por marcos de concreto y en muros con castillos en los extremos o con refuerzo en el interior de piezas huecas; también se ha investigado el comportamiento de especímenes de distintos materiales ante cargas verticales.

Índices de resistencia de la mampostería

Puesto que es importante conocer las propiedades de la mampostería ante diversos estados de carga y conociendo las amplias posibilidades de combinación de piezas y morteros, es difícil que un reglamento pueda dar valores representativos de resistencia para todos los tipos de mampostería; pero sí puede hacerlo para los más representativos, como el Reglamento del Distrito Federal, que propone valores de resistencia para los tipos de pieza más usados: tabique rojo común, tabique de barro extruido, bloque de concreto pesado y tabicon. Para estos materiales se da un valor conservador de la resistencia en el caso de emplear los materiales recomendados. No obstante, cuando se desea utilizar la mampostería a su máxima capacidad se deben conocer sus

propiedades reales de resistencia, lo cual obliga a efectuar ensayos en una muestra representativa para establecer los índices de resistencia de la mampostería.

Las propiedades que es necesario conocer son: a) resistencia a la compresión, con la que se calcula la capacidad a la carga axial de los muros; y b) la resistencia a la fuerza cortante, de ella depende la capacidad a cargas laterales, como las producidas por un sismo.

Comportamiento estructural de muros de mampostería

Los muros en las construcciones cumplen distintas funciones estructurales. Actúan como único elemento vertical resistente y soportan tanto las cargas verticales como las horizontales o pueden tener la función de resistir únicamente cargas horizontales, como en el caso de muros que actúan como diafragmas de un marco principal de concreto o acero.

Una estructura de mampostería estará sometida durante su vida útil principalmente a los siguientes efectos: 1. carga vertical debida al peso de las losas, de las cargas vivas y a su peso propio; 2. fuerzas cortantes y momentos de volteo (flexión) originados por las fuerzas de inercia durante un sismo, empujes normales al plano de los muros que pueden ser causados por empuje de viento, tierra o agua, así como por fuerzas de inercia cuando el sismo actúa al plano del muro.

Por efecto de las cargas verticales, se introduce en el muro una carga axial más un momento flexionante producido por el sistema de piso, que puede considerarse como una excentricidad de la carga axial, en dirección normal al plano del muro. Al estar sujeto el muro a la carga axial excéntrica, sufre deformaciones laterales que equivalen a un incremento en la excentricidad inicial aplicada. Este efecto depende de la esbeltez del muro y es importante, aun para las alturas normales de los muros, debido al reducido radio de giro de la sección.

La falla por carga axial es muy poco probable debido a que el área de carga es grande; podría ocurrir si las piezas son de muy mala calidad, o porque han perdido capacidad de carga por efecto del intemperismo. Se identifica esta falla porque el material literalmente se aplasta cuando es de baja calidad, o si es de buena calidad aparecen numerosas grietas verticales.

La falla por flexión se produce cuando se alcanza el esfuerzo resistente en tensión de la mampostería, el cual es muy bajo (del orden de 1 a 2 kg/cm²) y puede ocurrir en el plano del muro o perpendicular a éste; en el último caso se debe a que se excede la resistencia a tensión por flexión de la mampostería, que ocurre generalmente cuando es de mala calidad el mortero que une las piezas, o cuando el empuje de tierra o agua tiene un valor alto. La flexión en el plano del muro es grave cuando no hay acero de refuerzo; al haber refuerzo, este toma los esfuerzos de tensión que la mampostería no es capaz de soportar. Si existen problemas en el plano del muro, estos se identifican mediante grietas horizontales que se forman en los extremos del muro, siendo mayores en la parte inferior. Es raro que se tengan problemas por flexión porque la carga vertical sobre los muros contrarresta los efectos de los momentos (volteo), o porque lo evita el acero de refuerzo colocado en los extremos del muro.

Para alcanzar la falla debida a un esfuerzo cortante es necesario que no se llegue a la de flexión en primera instancia; es decir, sólo se obtiene aquella cuando existe carga vertical sobre el muro que contrarresta el efecto de flexión, o en muros de gran longitud.

Se identifican dos formas de falla en cortante: en una de ellas la grieta es diagonal que corre solamente a través de las juntas de mortero (escalera), a ésta se le conoce como falla por cortante; mientras que si la grieta es casi recta rompiendo las piezas, se dice que la falla es tensión diagonal.

En caso de falla, este último tipo implicaría la sustitución del material por uno más resistente; mientras que si la falla de la mampostería es por escalerilla, es posible incrementar sustancialmente su resistencia.

Las cargas laterales por efecto de sismo introducen en los distintos tableros de muros un conjunto de solicitaciones que depende de las condiciones de continuidad de sus extremos. Si el muro está confinado por un marco, el conjunto de solicitaciones debidas a la carga lateral puede simplificarse como dos cargas concentradas de compresión aplicadas en los extremos de una de las diagonales del muro; Si este se encuentra limitado únicamente por el sistema de piso y si se desprecia la restricción al giro que este le proporciona, puede idealizarse el muro como un voladizo sujeto a una carga lateral en su extremo superior mas una carga axial, generalmente de compresión, que proviene de la suma del efecto de la carga vertical mas el del momento de volteo.

El comportamiento de ambos tipos de muros ha sido estudiado experimentalmente y se ha encontrado que los esfuerzos críticos son, en ambos casos, los esfuerzos de tensión que se presentan en dirección normal a la diagonal cargada, y los esfuerzos tangenciales horizontales que existen en las caras de contacto entre el mortero y las piezas; Estos dos tipos de esfuerzo pueden provocar la falla a través de una grieta que atraviesa diagonalmente el muro.

Cuando las fuerzas laterales causen en el muro momentos flexionantes importantes, puede ocurrir también una falla por flexocompresión en el plano del muro; a este respecto hay que considerar que, por lo menos en la práctica de nuestro país, siempre existe en los muros cierto refuerzo vertical, constituido ya sea por castillos exteriores o por refuerzo colocado en el interior de piezas huecas; por lo tanto, la resistencia a flexocompresión se debe al trabajo conjunto de la mampostería y del refuerzo, en una forma semejante a lo que ocurre en el concreto reforzado.

En la Ciudad de México, se ha comprobado que ante la acción de un sismo, los edificios que contienen muros de mampostería sufren poco daño, y su buen comportamiento se debe al hecho de que sus períodos fundamentales de vibración son más cortos que los períodos de los movimientos del suelo que tienen lugar durante el sismo. Estos muros que en ocasiones no son diseñados como elementos estructurales y a veces sin refuerzo y sin estar anclados a las estructuras de concreto que los rodean; absorben grandes cantidades de energía dinámica y en muchos casos aparentemente evitan el colapso de la estructura. Al incrementar la rigidez lateral de un edificio, los muros reducen el período de vibración del edificio y su respuesta al sismo. Así, los edificios con muros de mampostería se comportaron mejor que los edificios similares sin ellos.

El refuerzo en la mampostería

El uso de mampostería no reforzada debe evitarse en zonas de alta sismicidad, excepto en construcciones que encierran espacios pequeños y con techos muy ligeros. Existen varias recomendaciones que es oportuno seguir para mejorar el comportamiento de esas construcciones ante requerimientos sísmicos.

En el caso de la mampostería sin refuerzo es prácticamente imposible evitar el colapso después de que aquélla se ha agrietado, ya que pierde totalmente su resistencia y rigidez. Una mejora sustancial en el comportamiento sísmico sólo puede obtenerse por medio de algún esfuerzo en la construcción.

Toda construcción de mampostería debe cumplir con los requisitos de refuerzo establecidos por los reglamentos, pero más importante que eso es la manera de cómo se debe estructurar una construcción. En el caso de mamposterías, las formas principales para hacerlo son:

1. Muros de carga; para resistir la acción de cargas verticales y horizontales.

2. Muros diafragma; que solo ayudaran a resistir las fuerzas laterales, ya que las cargas verticales son soportadas por marcos de acero o concreto.

Todo tipo de refuerzo trabaja a su plena capacidad después que se daña la mampostería; la presencia de agrietamiento no implica necesariamente la falla del muro, sino que ésta depende del confinamiento, refuerzo exterior e interior, que este tenga y que puede hacer que el muro resista cargas similares o mayores a la de agrietamiento.

5.3.9 Efectos del deterioro y su tratamiento.

La pátina en mampostería de roca

En la mampostería de roca natural, la pátina es la capa que se forma sobre la superficie de la roca y por similitud con el nombre que se utiliza en la de los metales, ha sido denominada pátina noble y pátina corrosiva.

La primera es la que se forma por la intemperización natural de los componentes de la piedra, lo que da a ésta una coloración más oscura que adquiere distintos tonos, según los minerales predominantes en la composición de la roca. A este fenómeno se le conoce también como envejecimiento del material.

Esta pátina noble, en algunos casos recibe científicamente el nombre de calcín y es una capa protectora formada por sales poco solubles.

La otra pátina es la llamada pátina dañina o corrosiva. Esta presenta diversas manifestaciones, las cuales a veces a simple vista y otras con ayuda de análisis de laboratorio, permiten determinar el agente que las produce, su constitución y otras características sumamente importantes, como su resistencia a las técnicas de limpieza, su solubilidad, los métodos adecuados para su erradicación, etc.

Hay formas de apreciar macroscopicamente la pátina, cuando es producida por el crecimiento de vegetales primarios, los cuales se manifiestan por lo general por manchas verdosas o amarillo verdosas. Puede tratarse de distintas especies, como los musgos y líquenes. Los hongos, también bastante comunes, toman a veces estas coloraciones, aunque no es nada raro que sean en muchos casos negruzcos, e incluso blanquecinas. Otras formas de pátina no deseable son las que resultan de la eflorescencia de sales, fenómeno conocido como el salitre que aparece en la parte inferior de los muros.

Por su alta corrosividad, el ácido sulfúrico ataca no sólo a las calizas sino a todo tipo de rocas. Otro tipo de pátina destructiva, es el causado por el hollín suspendido en partículas grasas, que es lo que se conoce con el nombre de cochambre, éste se adhiere a las superficies pétreas de las mamposterías y da un aspecto desagradable.

Diferentes tipos de suciedad

Lo que comúnmente se conoce como polvo, esta constituido por partículas menores de una micra y proviene de la erosión de diferentes materiales sólidos. Los humos son partículas menores de una micra, de color negro y que básicamente provienen de la combustión. Las manchas negras o costras por lo general son producidas por gases que se transforman en ácidos. A su vez, las manchas blancas son producidas por cristalizaciones de sales.

Tratamientos de limpieza en mampostería de roca

En ocasiones, se comete el error de someter a las superficies de mampostería, a la acción de tratamientos abrasivos o por medio de lijas, esmeriles cuñas, raspadores, cepillos de alambre de acero, etc. Este tipo de procedimientos lo único que consigue es degradar la superficie de la roca, acelerando su deterioro. Sin embargo, sobre todo en exteriores es recomendable el lavado con agua, cepillos de fibras vegetales y detergentes neutros pero siempre de acuerdo con rigurosas normas de aplicación y vigilancia técnica y científica.

Algo que se debe tomar en cuenta como un beneficio adicional cuando se limpia una superficie de mampostería, es el hecho de que además de eliminar las patinas corrosivas, nos permite detectar problemas graves que pueden estar ocultos por la suciedad.

Existen varios métodos de limpieza, algunos de los cuales han probado su eficacia y no deterioran las superficies de mampostería. Sin embargo, siempre resulta indispensable, cuando se trata de fachadas, hacer pruebas en pequeñas áreas, que nos permitan anticipar el comportamiento de los materiales y los métodos a utilizar.

Limpieza en seco

Este método, debe iniciarse de arriba abajo. Se realiza en primer término el retirado en seco de grandes depósitos de basura, hojas secas, excrementos de ave y otros, por medio de cepillos de raíz y recogedores. Una vez eliminadas estas concentraciones se procede a la limpieza, mediante aspiradora equipada con punta de cepillo para no rayar o dañar la roca con las boquillas metálicas. Limpiada ya por aspiración la totalidad, se procede a una limpieza exhaustiva por medio de brochas de ixtle o pelo, tratando de eliminar el polvo en huecos. También y en casos en que el paramento por limpiar está en buen estado de cohesión o ya se ha consolidado, se puede usar presión moderada, o sea, aire a presión para limpiar huecos a los cuales no puede llegarse con brochas o cepillos.

Este procedimiento es excelente cuando se utiliza en interiores, en cambio sus resultados son menos satisfactorios sobre fachadas exteriores impregnadas de hollín o de excremento de ave muy adherido y tampoco es eficaz contra la vegetación parásita.

Limpieza con agua y detergentes

El agua aplicada a muy baja presión, en combinación con jabones o detergentes neutros, es lo más recomendable para la limpieza de fachadas de mampostería. Se inicia a lavar de arriba abajo, tomando las siguientes precauciones:

- a) Evitar al máximo escurrimientos constantes de agua sucia hacia las partes bajas, para lo cual es conveniente el uso de delantales de material plástico como el polietileno.
- b) Usar el agua en recipientes manuales de material plástico, los cuáles se llenan con manguera una vez subidos a lo alto del andamiaje.
- c) Si se utiliza el agua directa de la manguera, no debe pasarse de una presión de 3 a 4 kg/cm².
- d) Conviene utilizar la manguera con boquilla tipo regadera, tanto para humectar como para enjuagar, evitando así la gran concentración de agua sobre la piedra que pueda saturarla en forma excesiva, lo cuál es perjudicial, ya que de ser demasiado absorbente la superficie, pueden causarse eflorescencias de sales o decoloración.

Como en muchas otras acciones de restauración, no conviene iniciar lavados masivos de grandes superficies de mampostería, más aún si esta muy labrada con ornamentaciones complicadas y cuya ejecución ha dejado partes de piedra delgadas. En estos casos, hay que asegurarse que este tipo de elementos ornamentales no tengan procesos internos avanzados, por ejemplo, de sulfatación, ya que la humectación excesiva puede causar desprendimientos.

- e) Una recomendación de importancia es la de siempre enjuagar con agua limpia la superficie lavada, para no dejar residuos de ninguna sustancia, que al secar la roca pueda deteriorarla. En estos casos siempre se recomienda enjuagar con aspensor para evitar sobresaturaciones de agua.
- f) En cualquier tipo de limpieza con agua no deben usarse detergentes comunes, ya que contienen sustancias que dañan la roca.
- g) Es recomendable el uso de detergentes especiales, del jabón neutro, o de una planta llamada xixi o shishi de acción muy eficaz, barata y que no causa deterioros en la mampostería, es irritante para la piel y se debe manejar con precaución usando guantes de hule y goggles.

Limpieza con agua a presión

El lavado con agua a presión en el que se utilizan compresores y las llamadas lanzas de agua, se ha popularizado mucho en nuestro país. Estos sistemas, excelentes para la limpieza de concreto, materiales vidriados y metales, hay que usarlos con reserva cuando se trata de fachadas de mampostería, y siempre después de un cuidadoso estudio y pruebas previas. Junto con el uso del agua a altas presiones, por lo general previamente se utilizan ácidos y muchas otras veces tienen en la misma carga de agua bicarbonato de sodio u otras sustancias.

En fachadas de mampostería, pueden utilizarse estos sistemas cuando se trate de rocas con cierta dureza como el resinto o el tezontle, granitos, mármoles duros y superficies planas. Sin embargo, la aplicación de agua a presión sobre superficies antiguas y ya intemperizadas, puede causar daños graves a la roca; por tanto, se debe tomar con reservas y nunca aplicarla sin antes realizar pruebas.

Limpieza con vapor de agua

El vapor de agua se ha intentado usar en muchos lugares, algunas con éxito en el caso de sustancias o pinturas con base oleosa. Pero la aplicación de estos sistemas es muy cara y difícil, ya que se necesita un generador de vapor, por lo general, pesado e impráctico para subirlo por andamiajes. De llegar a usarse, hay que tomar todas las precauciones que se han mencionado para la roca delicada, ya que la excesiva presión ocasiona daños.

Otros métodos de limpieza

Existen muchos otros métodos como los de aire abrasivo con polvos silíceos o arenas, el sand blast con agua y arena; se ha usado también la cáscara de nuez o de arroz.

Otro procedimiento muy reciente en la limpieza de mamposterías de roca, es la tecnología del rayo láser. Esta técnica ha dado resultados asombrosos, ya que el láser limpia costras negras, ceras, graffiti y muchas otras manchas sin deteriorar el sustrato en lo más mínimo. Sin embargo, este sistema debe ser aplicado por personal altamente especializado, es peligroso para quien lo usa y para quien este cerca de la intervención, si se aplica sin el cuidado y la protección necesarios, ya que el rayo causa daños en la retina del ojo. Además, se debe disponer de un andamiaje especial; por ello, su aplicación resulta todavía muy costosa y lenta, en comparación con otros sistemas.

A manera de resumen, a continuación se presenta una lista de una gama de productos utilizados para el tratamiento de limpieza en mampostería de roca:

1. Jabones y detergentes:

- Jabón neutro, líquido o en alguna forma para diluir. Es necesario verificar su carencia o bajo porcentaje de cáusticos, ya que, por ejemplo, la sosa deja manchas blancas.
- Xixi o shishi, saponina natural que se usa diluida en agua.
- Jabón de extracto de áloe vera, diluido en agua.
- Detergentes no iónicos tenso activos, que disminuyen la tensión superficial, lo cual hace que la capa de suciedad se humecte mejor. Los tenso activos deben ser no iónicos; En este grupo entran los etoxilados de nonyl fenol, canasoles o similares.

2. Sustancias químicas diversas.

- Limpiadores a base de alkybeno sulfato.
- Para remover depósitos de carbón, hexametáfosfato.
- Para piedras arcillosas, dimetilamino benzilamonio.
- Nunca usar limpiadores alcalinos.

3. Distintas formulaciones:

- Ácido fluorhídrico.
- Ácido fosfórico.
- Ácido clorhídrico.
- Ácido cítrico.
- Ácido muriático.
- Fluoruro de hidrógeno.
- Ácido fórmico.
- Jabón neutro en bencina y xilol.

Biocidas

Una vez que se ha lavado una superficie de mampostería de roca, eliminando la vegetación inferior como musgos o líquenes, es muy conveniente aplicar biocidas que durante un tiempo eviten el nuevo crecimiento de estos vegetales. Algunas de las sustancias usadas para este objetivo, incluidas en diversas formulaciones, son las siguientes:

- Bórax.
- Agua oxigenada.
- Cloro para alberca.
- Pentaclorofenoles.
- Oxido de tributil estaño.

Desde luego, estos compuestos deben ser usados en las formulaciones adecuadas y bastante diluidos para no dañar los componentes de la piedra o den apariencias desagradables, como es el caso de los pentaclorofenoles.

Consolidaciones en muros de mampostería de roca

Uno de los problemas que más frecuentemente se presenta en la restauración es el de la consolidación de muros de mampostería de los denominados de cal y canto. Éstos están hechos de diversos materiales, según el área urbana. Existen casos en que los muros están contruidos con piedra braza o tezontle aglutinados con una mezcla de cal arena tan dura que los paramentos de los muros tienen una gran cohesión. Pero también hay muros en los cuales los elementos pétreos que los componen fueron pegados con lodo, la mejor de las veces con algún contenido de cal. En estos casos, la mezcla es muy débil y la cohesión del muro muy poca. Por ello, es recomendable para consolidar una sección específica de un muro el sustituir la mezcla de lodo seco ya disgregada e ir consolidando con mezcla de cal y arena en proporción 1:1.

Principales deterioros en muros de adobe

Cuando se ha perdido la protección del muro y la humedad penetra en el material se presenta el biodeterioro causado por la vegetación parásita, la cual puede ser inferior o superior. Esta ultima causa graves daños en los muros de adobe, ya que las raíces al penetrar en un medio propicio como es la tierra, disgregan totalmente el material. Otros efectos son similares a los que ya se han mencionado en relación con la roca.

Otra causa de deterioro en la mampostería de este material, la representa el agua misma que, al caer sobre el adobe "lava" el aglutinante (arcilla) y disgrega el material.

Restauración en muros de adobe

Consolidaciones Superficiales

En daños encontrados en superficies de mampostería hecha con adobe, se puede consolidar con agua y baba de nopal, o con agua de cal. Estas se aplican por aspersor sobre las superficies disgregadas, cuidando que estén secas para asegurar buena absorción.

Consolidantes químicos

Los acetatos de polivinilo como el DM4, el DRI y el DMIH, debido a su costo, se usan en casos muy específicos para consolidar piezas de valor histórico o artístico; el Endurool se ha usado con éxito para el adobe; el OH de Wacker es una mezcla de ésteres de ácidos silicos con diluyentes.

Para el sellado de fisuras o reparaciones a un muro de adobe, se recomienda amasar la arcilla que va usarse para este fin, con agua a la que se adiciona acetato de polivinilo.

Biocidas

Si se quiere evitar el crecimiento recurrente de la vegetación parásita tanto inferior como superior, se debe aplicar un biocida: el cloro, el bórax y el agua oxigenada; el pentaclorofenol, disuelto con bencina o alcohol; el pentaclorofenato de sodio, el Bromacil, y el Diurón solubles en agua.

Al hacer estas aplicaciones debe dosificarse con mucho cuidado y hacerlo con aspersores, ya que si se aplican en forma muy abundante, por estar disueltas en agua podemos humedecer excesivamente el adobe y causar su disgregación.

Dado que muchos de los consolidantes y otros procedimientos para la roca pueden usarse para el adobe, sólo hay que tener en cuenta que el adobe es un material mucho más débil y frágil, y que para aplicar ciertos procedimientos habrá que hacerlo de acuerdo con este criterio.

Inyección en grietas

En aparejos de adobe, las grietas pueden ser de diferente forma: pueden ser grietas que van siguiendo una junta en vertical y horizontal, o pueden ser en las piezas mismas. Para reparar este tipo de daño se utiliza la inyección.

Para cimbrar los labios de la grieta hay que colocar pequeños pedazos de vara delgada empotrados en las juntas formando una especie de pasadores, luego se cimbra la grieta con zacate de ixtle incorporado para dar cuerpo a un mortero pobre de arcilla y cal, que servirá para sellar los labios de la grieta y sostener las boquillas de poliducto por medio de las cuales se va a efectuar la inyección.

En cuanto a la lechada para efectuar la inyección, hay diferencias de criterio respecto a utilizar una lechada de cemento, arena o cal, como en el caso de roca o tabique. Al fraguar ésta quedaría mucho más dura que el adobe, y eso puede resultar contraproducente en el trabajo del muro.

Para que la lechada dé por resultado un material homogéneo al muro, se hace con una parte de cal, una parte de arena cernida y tres partes de arcilla; agua: la necesaria (las proporciones de estas lechadas varían mucho de acuerdo con los tipos de arcillas de la región, pero hay que hacerlas con la suficiente fluidez para que penetren en la grieta). Se agregara un expansor o un estabilizador de volumen, según las proporciones designadas.

Últimamente se ha venido usando en la vivienda rural el adobe estabilizado, en el cual se incorpora a la mezcla de arcilla y arena, asfalto como aglutinante. Esta técnica da como resultado un adobe impermeable de gran cohesión.

Deterioros en muros de tabique

La mayoría de los deterioros que sufre el tabique se originan en el proceso de su fabricación; por ejemplo, cuando las arcillas con las que se ha amasado el tabique tienen una elevada proporción de cal y ésta se presenta en partículas grandes, al hidratarse la cal se presenta el fenómeno que se conoce como caliche, aunque también puede deberse a otro tipo de sal cristalizada. Otros defectos cuya causa tienen origen en la fabricación, son las exfoliaciones y fisuras.

Debido a la absorción capilar de agua freática

La succión capilar en el tabique es considerable, en promedio puede ser de 0.15 a 0.17 g/cm²/minuto. Esta humedad durante el ciclo humedad-secado favorece el viaje de las sales solubles hasta la superficie del material.

El agua de lluvia

El tabique siendo un material poroso, en ocasiones alcanza hasta 35%. Es un material hidroávido, es decir, tiene un alto coeficiente de absorción, pero también de evaporación; sin embargo, los escurrimientos en un muro de tabique por su mismo tipo de superficie rugosa e irregular y por las juntas que canalizan el agua, se diversifican sin formar zonas hipersaturadas, salvo en lugares con una precipitación constante, como el agua de una gárgola, desagüe, etc. Por esta serie de factores, los daños que causa el agua de lluvia en un muro de tabique que tenga una corona bien protegida con una ceja o botaguas, por lo general no son de consideración.

El Biodeterioro

Cuando la humedad penetra en el material se crea un ambiente propicio para el desarrollo de la vegetación parásita, la cual puede ser inferior, como en el caso de las algas, los líquenes, los musgos y los hongos. Todos estos se forman con más facilidad en las juntas, por ser un sustrato más poroso, pero hay casos muy comunes en que se desarrollan sobre las superficies del tabique. La vegetación superior causa graves daños en las juntas de los muros de tabique, ya que las raíces al penetrar en ellas resquebrajan los aplanados, causando serias grietas y fisuras.

La contaminación ambiental

Un factor de deterioro en el tabique, es la llamada lluvia ácida que es un agente destructor para los muros muy agresivo, ya que ataca especialmente a la cal de los morteros que componen las juntas. Una de las sustancias corrosivas de la lluvia ácida es el ácido sulfúrico y este ataca severamente a los silicatos alcalinos que forman parte de la constitución del tabique.

La acción de las sales solubles

Al haber movimientos de agua en el interior de los materiales, éstos transportan las sales solubles, que viajan hasta las superficies exteriores del tabique y cristalizan en sus poros, formando las llamadas eflorescencias cuando son externas subeflorescencias cuando son internas. Las sales solubles pueden provenir de la materia prima misma que intervino en la fabricación del tabique, o también de fuentes externas como el agua freática absorbida por capilaridad. Las sales que se encuentran más comúnmente en las superficies del tabique son cloruros de sodio, sulfatos de sodio, potasio y magnesio, carbonatos de sodio y calcio.

Restauración en muros de tabique

Limpieza con agua

En el lavado con agua de muros de tabique se pueden emplear algunas de las técnicas que ya se han mencionado para la roca. Sin embargo, en este material, debido a su porosidad hay que tomar en cuenta que el empleo de agua en demasía puede causar en primer término una sobresaturación, que al presentarse después el secado puede arrastrar sales y producir eflorescencias. También al aumentar la humedad dentro del material se crea un ambiente propicio para el desarrollo de agentes biodegradantes.

Para cualquier tipo de limpieza húmeda hay que verificar, en primer lugar, el buen estado de las juntas y no saturar de agua el material. Para esto se recomienda rociar agua y no aplicar chorros continuos.

Se recomienda, además, no utilizar agua a presiones mayores de 5 kg/cm^2 , pero si en algún caso se tuviera que aumentar esta presión, se tendrán que hacer pruebas previas en superficies reducidas ya que el tabique es un material fácilmente erosionable con el agua a presión.

Limpeza en seco

Este procedimiento se realiza mediante tratamientos mecánicos como el cepillado. En estos casos hay que tener en cuenta que las cerdas del cepillo sean suaves. Si se utiliza el sopleteado de aire comprimido, puede ser útil cuando se hace a baja presión, de manera de no erosionar el tabique. Es muy común que se utilicen abrasivos como lijas o esmeriles, los cuales perjudican el tabique ya que abre el poro y produce pequeñas fisuras. Por ello no se recomienda su uso.

Limpeza con productos químicos

Este tipo de limpieza varía desde el uso de simples jabones neutros, etoxilados de nonyl fenol (Canasol), saponina natural (xixi), hasta la aplicación de limpiadores más agresivos como ácidos o álcalis. En el caso de los ácidos se utiliza con mucha frecuencia el ácido fluorhídrico, que debe dosificarse cuidadosamente. Si se agrega una concentración mayor de 5% en proporción volumétrica con el agua, podemos causar serios daños al material.

El uso de los álcalis es mucho más delicado ya que pueden manchar el material. Cuando se utilizan para remover depósitos o manchas de grasa hay que vigilar muy de cerca el enjuagado y no aplicarlos en grandes áreas.

En ocasiones cuando se requiere limpiar manchas de sales solubles o de oxidaciones, se pueden aplicar pastas absorbentes que extraen las sales una vez disueltas. Las más utilizadas comúnmente son: el papel sin impresión o las arcillas como la atapulgita o la sepiolita.

Consolidaciones superficiales

Para la consolidación del tabique se usan varios tipos de tratamientos; con agua y baba de nopal, y se aplican también ceras sintéticas como la parafina, pero el problema de estos consolidantes es que se hacen negros con el paso del tiempo o propician la formación de microorganismos.

Consolidantes químicos

Para consolidar piezas de tabique, se utilizan en ciertos casos acetatos de polivinilo. Los copolímeros de acrilato y metacrilato y otros tipos de resinas epóxicas, de poliuretano o poliésteres, por la dificultad de su manejo, deben ser aplicados en casos muy específicos y por personal especializado.

Se pueden aplicar ésteres de ácidos silícicos, como el H, el OH y el OH 100. Los dos primeros contienen disolventes; son de un aspecto claro a turbio e incoloro y los tres son aplicables sin diluir.

En la consolidación de grietas de muros de tabique se puede recurrir al procedimiento ya mencionado de la inyección con lechadas de cal, arena, cemento y un estabilizador de volumen o un expansor.

Biocidas

Para evitar el crecimiento de la vegetación parásita tanto inferior como superior, es necesario aplicar un biocida con alguna de las características y formulaciones mencionadas anteriormente para diferentes tipos de mampostería.

Alteraciones en los aplanados de los muros

Los aplanados de cal y arena son atacados por varios factores: el agua, los biodeterioros, la cristalización de las sales, los agrietamientos de los aplanados, etc.

El factor agua, que actúa como disolvente del aglutinante, se agrava cuando el agua de lluvia tiene un alto contenido de ácidos, como sucede en las grandes ciudades y especialmente cuando la cal usada en la mezcla no tiene propiedades hidráulicas, es decir, ha sido con cal aérea. En estos casos, el agua va disolviendo el aplanado.

Los biodeterioros. La vegetación inferior, los hongos, los musgos, las algas y los líquenes atacan los aplanados en la misma forma que se ha señalado para las piezas que conforman la mampostería. La vegetación superior, como es el caso de la vegetación parásita, destruye con sus raíces los aplanados causando su desprendimiento. Por último, las aves, especialmente las palomas, con sus excrementos disueltos en agua atacan la cal de los aplanados por la gran cantidad de ácido que contienen.

La cristalización de sales. Al haber evaporación de agua, las sales se cristalizan produciendo en el aplanado las manchas blancas conocidas como salitre. Estas sales pueden ser de diversos tipos; sulfatos, cloruros, sulfuros, etc.

Los agrietamientos de los aplanados. Permiten la entrada de agua hasta sus capas interiores, lo que va produciendo el fenómeno de desprendimiento.

Tratamientos para aplanados

Consolidaciones de superficie

Existe una gran variedad de consolidantes químicos con diversos nombres comerciales; algunos son más efectivos para los aplanados:

- EnduroI. Se recomienda específicamente para endurecimiento de aplanados.
- Primal AC33. Es un copolímero de acrilato y metacrilato que se usa mucho en consolidaciones superficiales por aspersión o brocha.

Un consolidante empleado con mucho éxito sobre aplanados, quizá el que tiene un uso y un resultado más práctico es el OH, mezcla de ésteres de ácidos silícicos y el OH 100, sin disolventes.

Solamente se han citado los consolidantes más usados en nuestro medio, lo cual no quiere decir que no existan otros productos de marcas reconocidas con los cuales se obtienen muy buenos resultados.

Por inyección

En ocasiones los aplanados tienen un especial valor histórico u ornamental y también cuando el aplanado ésta sirviendo de soporte a algún adorno pictórico o a una pintura mural. En este caso se emplea el procedimiento de consolidación por inyección, un proceso delicado que debe ser ejecutado por personal especializado. Los pasos generales de este procedimiento, que puede tener variantes según el estado del aplanado y el criterio del restaurador, son los siguientes:

1. Se procede a detectar la zona de oquedad por el procedimiento de percusión, golpeando con un pequeño trozo de madera, o con los nudillos hasta delimitar el área afectada. Se hace una perforación con un taladro manual usando una broca de 3/16 " .
2. Se efectúa la inyección de la lechada utilizando para ello jeringa de veterinario, cerciorándose de que el líquido penetre adecuadamente.
3. A veces, cuando el aplanado presenta determinadas características de grosor y de relieve, se puede fijar a la perforación una boquilla o pipeta por la que se va inyectando la lechada.

Antes del uso generalizado de los aditivos modernos, las lechadas para este tipo de inyecciones se componían de aglutinantes como la caseína, el blanco de España, los talcos y otros. En la actualidad se emplean los acetatos de polivinilo, los acrilatos y los metacrilatos adicionados con una carga de cal cernida. Sin embargo, como ya hemos señalado, estos procedimientos son muy especializados y el uso de diversas sustancias varía de acuerdo con la técnica de cada persona.

Protección

Para la protección de los aplanados de cal arena son válidos los procesos con tratamientos hidrofugantes. Estos productos, aplicados a los aplanados por aspersion o brocha, evitan la entrada del agua a las capas más profundas del aplanado o repellido base.

El hidrofugante debe tener como característica el permitir "respirar" al aplanado, pero que evite la penetración del agua. Para el hidrofugado de aplanados se recomienda el uso de hidrofugantes hechos de silanos xiloxanos. Conviene consultar a los fabricantes para obtener el hidrofugante más idóneo para aplicar a un aplanado y consultar la duración de su eficacia.

La cal en la restauración

Al usar una cal igual a la utilizada originalmente en el edificio por intervenir, se homogeneizan los materiales, lo cual siempre es óptimo. La cal apagada en obra contiene calizas de alta pureza, lo que le da mayor calidad plástica y adherencia. Al mismo tiempo, al tener muy bajo contenido de arcillas carece de alúmina, sílice y óxidos, por lo cual no ataca los cementantes de la mampostería.

Los usos de la cal en el trabajo de la restauración son innumerables, ya que se emplea como aglutinante en la mezcla de mortero en diversas proporciones, en el repellido, para la integración de estucos ornamentales y arquitectónicos, como parte del aplanado fino y rugoso, para lechadas y para inyecciones. Así, en prácticamente todas las partes de las edificaciones encontramos la cal en alguna forma de aplicación. Por último, entre los múltiples usos de la cal debemos señalar su empleo como pintura en diversos elementos.

Durante mucho tiempo se ha tomado como una condición el hecho de que la única cal con que se puede intervenir en la restauración, tiene que ser de piedra apagada en obra. Esto, que durante décadas fue un dogma absoluto, actualmente esto se ve con cierto escepticismo.

A pesar de los beneficios que en la restauración tiene usar la cal apagada en obra, en la actualidad es mayor el problema que presenta que las ventajas que ofrece. El proceso de apagado es sumamente lento y peligroso, ya que la cal es muy cáustica y puede producir quemaduras graves en la piel y en los ojos, además de no conseguirse la materia prima en cualquier lugar.

Por tanto, en la actualidad prácticamente no se utiliza la cal apagada en obra, pero definitivamente cuando haya que hacer aplanados a base de ornamentaciones, contacto directo con canteras, pinturas y otro tipo de usos delicados, se debe utilizar cales industriales ya envasadas que no sean hidráulicas. Puesto que la hidráulidad de la cal está en relación con su contenido de arcillas, hay que tener en cuenta los contenidos de elementos como sílices y aluminatos que éstas tengan.

El uso de aditivos

Al hablar de los aplanados de cal arena, en el campo de la restauración llegamos al uso de los aditivos químicos, de los cuales el más fácil de conseguir y usar es el acetato de polivinilo y los selladores vinílicos compuestos de este material. En algunos casos para preparados de estucos ornamentales y pinturas se utilizan también la caseína y las colas animales. Sin embargo, es conveniente saber que existen también antiguas fórmulas naturales que se le adicionan a la mezcla, como es el uso de la baba de nopal, clara y yema de huevo, miel, piloncillo e incluso en algunos casos sangre de res. Se dice que el empleo de este tipo de aglutinantes orgánicos, proporciona a la mezcla mayor elasticidad o adherencia por ser sustancias viscosas y elásticas. En la actualidad, estas sustancias son sustituidas por las resinas.

Por otro lado, para hacer impermeable el mortero o aplanado se le pueden añadir ácidos esteáricos o productos como los impermeabilizantes integrales, que se fabrican a base de estos ácidos. Algunos ejemplos de éstos son:

- Festegral de Fester de México.
- Integral Normal o V de Durorock.

Cuando se trata de hacer aplanados o bruñidos muy delgados que no se despeguen o se craquéeele, o moldeado de diversas figuras ornamentales para restaurar cantería o argamasas, es conveniente agregar aditivos que den elasticidad a los morteros de cal arena. Lo mismo se aplica en el caso de consolidaciones de estucos de aplanados, o de azulejos y para inyección de grietas o simplemente para pinturas. Los siguientes son ejemplos de algunos de estos materiales:

- Sika Látex de Sika de México.
- Durolatex y Acrilatex de DuroRock.
- Vinapas de Wacker.
- Mowilith de Hoetch.
- Adecon de Protexa.
- Diversos aditivos hechos a base de acetato de polivinilo.

Para dar rigidez y evitar que se fracturen y desprendan los aplanados de cal arena, muchas veces es conveniente adicionarles un refuerzo. Este puede ser de metal desplegado, de tela de gallinero, de fibras cortas de polipropileno del tipo de Fibermesh, y las mallas de refuerzo hechas de diversos plásticos, que tienen la ventaja de no ser susceptibles de oxidación.

Mucho se ha hablado y discutido sobre la incorporación de cemento a los morteros de cal que van a usarse en la restauración de aplanados. En los últimos tratados y manuales técnicos de restauración, se permite el uso de 10% de cemento blanco añadido a la mezcla.

Recubrimientos (pinturas)

Existen numerosos recubrimientos (pinturas) impermeabilizantes para hacer los muros de mampostería resistentes a la intemperie. En general estos sistemas tienen dos capas separadas y consisten en: una capa de relleno para nivelar y llenar los poros superficiales de la mampostería, seguida de una capa impermeabilizante que funciona como acabado decorativo. Cuando se requiera repintar, solo es necesario, en la mayoría de los casos, volver a colocar la capa de acabado únicamente.

Los recubrimientos más comunes son: una base de látex, una base de cemento portland, una combinación de las anteriores. Las emulsiones de látex son: acetatos de polivinilo y acrílicos. Son resistentes a los álcalis y solubles en agua y si se aplican correctamente, se puede esperar que un muro de mampostería sea resistente a la intemperie de 8 a 10 años en cualquier lugar.

Su forma de aplicación es dar una capa con cepillo de cerdas duras, sobre una superficie húmeda, para el caso de ser utilizado como relleno de poros y para utilizarlo como acabado, se aplican una o dos capas con brocha, rodillo o aspersor, sobre una superficie seca o húmeda.

Una buena mano de obra, en la aplicación de los recubrimientos de los muros, es de vital importancia para la resistencia a la intemperie en la construcción de mampostería.

La hidrofugación

La hidrofugación es un tratamiento químico para la protección de construcciones. El deterioro en ellas provoca grandes y cuantiosas pérdidas económicas, resultando evidente la importancia que tienen las medidas de protección y mantenimiento de edificaciones.

Entre las muy variadas técnicas y sistemas de protección, los agentes protectores a base de silicón han cobrado gran importancia en las últimas décadas. En los países europeos, las resinas siliconas son el método más usual.

Las resinas siliconas provocan un efecto repelente al agua sin obstruir la porosidad natural en los materiales, el agua es afín químicamente a los materiales de construcción que en general son higroscópicos.

El agua disuelve sales de los materiales, arrastra sustancias extrañas del medio ambiente al interior del material. Las superficies húmedas y oxigenadas son un ambiente ideal para el crecimiento de hongos y mohos.

El agua absorbe a través de la red capilar de los materiales sustancias de origen mineral. Los principales mecanismos por los que se produce esta absorción, son los siguientes:

- Por capilaridad de agua.
- Escurrimiento superficial y subterráneo.
- Higroscópico.
- Condensación.

En los dos primeros casos, se da una absorción en fase líquida, en los siguientes, el agua es asimilada en fase de vapor.

Los mecanismos de absorción a partir del estado gaseoso, resultan en un principio invisibles, por lo que normalmente no son tomados en cuenta, precisamente por esto resultan particularmente peligrosos, ya que el humedecimiento es perceptible hasta que está dañado el material.

El material hidrofugante protege fachadas y construcciones contra procesos de deterioro, tales como:

- Corrosión mecánica.
- Daños producidos por heladas.
- Daños causados por la acción de sales.
- Procesos destructivos de origen químico.
- Procesos destructivos de origen biológico.
- Pérdida de aislamiento térmico causada por humedecimiento.

Al aplicar estos productos hidrofugantes a la mampostería por inmersión, aspersión o aplicación con brocha evitan la entrada del agua en el núcleo interior de la pieza. Se recomienda el uso de hidrofugantes hechos a base de silanos xiloxanos. Para tener éxito en el uso de estos productos, se deben usar sobre una mampostería que tenga una superficie libre de poros o vacíos grandes; es decir, que no requiera una capa de relleno.

También en la restauración se disponen productos que se aplican en inyecciones en la base de los muros para evitar la ascensión capilar del agua freática, creando una barrera impermeable.

Éstos son hechos de silanos xiloxanos con disolventes; el 090 L, basado en siliconato metílico de potasio, el BS15 y el SMK 550, concentrado de micro emulsiones de silicón. Ambos disolventes en agua.

Por último, la teoría de Kunzel dice que un material o fachada estará libre de daños si se cumple con la capacidad de eliminar agua, por procesos de difusión, para que resulte mayor a la capacidad de absorción de agua por capilaridad, siempre y cuando no esté sometido a la acción de sales, logrando lo siguiente:

- Tener muy escasa capilaridad de absorción de agua.
- Permitir una alta circulación de vapor de agua.
- Poseer una penetrabilidad profunda.
- Mantener la efectividad durante largo tiempo.
- No producir brillos.
- No presentar amarillamiento o caleo.
- Ser resistente a la luz U.V.

Mediante el tratamiento con productos hidrofugantes, como por ejemplo el Festex Silicón, se reduce al menos en un 70% la absorción de agua, en tanto que la permeabilidad al vapor de agua solo disminuye como máximo un 5%.

Estos productos además de utilizarse en fachadas, se utilizan en tratamientos especiales para esculturas, como primer para pinturas vinílicas y acrílicas, para protección del concreto contra el deshielo y contra los contaminantes atmosféricos, etc.

Vierteaguas en los muros

La impermeabilización de un muro se logra también colocando tanto en la parte superior como en la parte inferior del ático del muro (cuerpo que disimula el tejado) vierteaguas, los cuales forman una pantalla a través del muro entre cada piso y el techo. El vierteaguas es muy importante ya que la mampostería es más delgada en este punto y por lo tanto es más probable que permita la penetración de agua.

El vierteaguas se coloca en el lugar del muro donde el agua pueda acumularse después de haber entrado y hacia donde fluirá. Se asume que una lluvia prolongada, acompañada de viento, penetrará eventualmente en las piezas exteriores de la mampostería de un muro y una vez haya entrado, se desplazará hacia abajo hasta que encuentra el dintel elaborado con mampostería rellena de concreto. En este sitio el agua se podría acumular y posiblemente entrar a la estructura a través de las piezas interiores, de no ser por el vierteaguas.

Por esto, el vierteaguas se instala de manera que evacúe el agua, hacia fuera dejando orificios para el drenaje y permitir su salida. Un vierteaguas se debe construir en cualquier muro múltiple de mampostería que no tenga la junta vertical entre los dos muros rellena completamente con mortero y para muros múltiples con cavidades.

No debe permitirse la acumulación del mortero de desperdicio en los orificios para el drenaje o en las cavidades que tengan los muros. Este mortero no solo tapa los drenajes, sino que sirve de puente para que el agua viaje a través de la cavidad y genere un muro con filtraciones.

5.4 CASOS Y SU MANTENIMIENTO.

5.4.1 Introducción.

El mantenimiento o rehabilitación de un elemento de mampostería de una edificación se puede describir como el conjunto de modificaciones e intervenciones necesario para mejorar su comportamiento ante acciones y deterioros presentes y futuros.

Desde el punto de vista técnico, el inicio de la rehabilitación es marcado por la evaluación del elemento, que trata de identificar sus debilidades potenciales. Los esquemas de rehabilitación que se estudien y desarrollen deben corregir de manera global estas debilidades, cuidando de no producir nuevas. Desde un punto de vista económico, el o los esquemas de rehabilitación deben ser rentables. Si así se requiere, la rehabilitación no debe modificar la función y uso del elemento; además, debe ser consistente con la estética y apariencia del elemento, asimismo proporcionar confianza y seguridad a los propietarios.

Se pueden disponer de varias técnicas para establecer el esquema adecuado para una edificación en particular. En muchos casos, la solución se obtiene combinando una o más de las técnicas básicas que serán descritas.

5.4.2 Principios básicos para un comportamiento adecuado de elementos de mampostería.

Si se conocen los principios básicos que una estructura de mampostería debe seguir para exhibir un desempeño adecuado, será más fácil evaluar la condición de la estructura, así como seleccionar y diseñar el esquema de rehabilitación idóneo:

- Forma robusta de la edificación. La planta debe ser simétrica, regular y compacta.
- Cimentaciones sólidas. Conviene usar cimentaciones continuas y que estén reforzadas de acuerdo con el tipo de terreno.
- Materiales de buena calidad. Ya sea que se usen piezas sólidas o huecas, deben satisfacer la Norma Mexicana aplicable.
- Muros resistentes. Las estructuras deben poseer una adecuada cantidad de muros.

- Aberturas bien distribuidas. El tamaño de las aberturas debe ser el más pequeño posible.
- Elementos horizontales de confinamiento. Dalas.
- Elementos verticales de confinamiento. Castillos.
- Mantenimiento periódico. Se puede afirmar que a falta de mantenimiento, el daño será mayor. Así, el daño se puede deber a: debilitamiento de la mampostería (ya sea por humedad, ciclos de deshielo / congelamiento, vegetación); corrosión de barras de refuerzo (iniciado por agrietamiento, por escaso recubrimiento, o bien por pérdida de éste); agrietamiento de muros, en particular por asentamientos diferenciales; o bien, por daño en sismos previos. Es conveniente establecer y emprender inspecciones regulares del elemento, dirigidas a identificar deterioros en morteros y piezas, agrietamiento y corrosión. Un aspecto fundamental es la inspección de las instalaciones eléctrica e hidrosanitaria; una fuga de agua puede reblandecer a la mampostería, de modo de reducir su resistencia y rigidez.

5.4.3 Comportamiento observado en edificaciones de mampostería.

Con objeto de identificar la vulnerabilidad de los elementos de mampostería, se enuncian los tipos de daño y modos de falla más comunes. Se incluye la mampostería simple, la confinada y la reforzada.

Mampostería simple

Enseguida se enuncian los tipos de daño más comunes en estructuras de mampostería simple. Se señalan los modos de falla y sus causas:

- Deslizamiento del sistema de piso / techo sobre los muros.
- Volteo de muros perimetrales.
- Agrietamiento diagonal.
- Aberturas de gran tamaño, que disminuyen su resistencia, y que se traducen en daños locales severos.
- Desprendimiento de aplanado.
- Daños por empujes de escaleras o rampas.
- Golpeteo con construcciones vecinas debido a una insuficiente separación.
- Falla de muros por excesiva esbeltez.
- Falta de continuidad en la altura, lo que provoca concentraciones de esfuerzos y deformaciones en ciertos elementos.
- Distribución inadecuada de muros en planta que origina oscilaciones de torsión importantes, así como demandas de deformación que se traducen en daño.
- Asentamientos diferenciales.

Mampostería confinada

A continuación se enuncian los tipos de daño más comunes en elementos de mampostería confinada. Se señalan los modos de falla y sus causas:

- Confinamiento insuficiente, ya sea porque la cantidad de elementos confinantes (castillos y dalas) es baja, porque su separación es excesiva, o porque su diseño es inadecuado.
- Deficiente colocación y compactación del concreto.
- Agrietamiento inclinado del muro. Si éste penetra en los castillos, la estabilidad ante cargas verticales del muro está en peligro.
- Anclaje insuficiente del refuerzo longitudinal de castillos y dalas; en particular, en la unión del castillo con la dala.
- Traslapes de longitud escasa o con ubicación inadecuada (como aquellos ubicados en la base de muros).
- Deslizamiento del sistema de piso / techo sobre los muros debido a una inadecuada conexión.
- Falla del muro por flexocompresión debido a cargas verticales excesivas.
- Excesivas demandas de desplazamiento ya sea por oscilaciones de torsión, baja densidad de muros, o bien por falta de continuidad en la altura de los muros.

Mampostería reforzada

A continuación se enuncian los tipos de daño más comunes en elementos de mampostería reforzada. Se señalan los modos de falla y sus causas:

- Falta de supervisión durante la construcción, lo que da lugar a vicios y defectos constructivos, así como a diferencias respecto al proyecto de diseño.
- Traslapes del refuerzo interior del muro, ya sea insuficientes o mal ubicados.
- Uso de piezas con alvéolos pequeños que dificultan la colocación y compactación adecuada del mortero fluido de relleno.
- Deficiente colocación y compactación del mortero de relleno.
- Uso del mortero de pega como mortero de relleno. Por una parte, el mortero de pega, generalmente, tiene una menor resistencia que el mortero fluido; por otro lado, la colocación del mortero de pega en los alvéolos deja cavidades no compactadas, lo que se traduce en una reducción de la capacidad del muro.

5.4.4 Evaluación y análisis de edificaciones de mampostería.

La rehabilitación de un edificio existente generalmente requiere una serie de evaluaciones y análisis. Dependiendo de la importancia del edificio, así como del tiempo y recursos, se pueden practicar diferentes niveles de evaluación.

El término evaluación se define como la revisión e investigación técnica de la configuración de la estructura existente, tipos de elementos y de materiales de construcción, condición y deficiencias, así como cualquier característica relevante a su deterioro.

Registro documental de diseño y construcción

Es crucial recuperar todo el material disponible sobre el diseño, construcción, características del suelo, así como sobre modificaciones posteriores. En este se incluyen cálculos, especificaciones, normas, planos, modificaciones al proyecto, dictámenes, inspecciones, propiedades de los materiales, condiciones de exposición y cualquier otra evidencia que ayude a caracterizar el diseño original y la configuración actual.

Inspecciones

La inspección del edificio es necesaria para confirmar que el registro documental recuperado refleja cercanamente las condiciones existentes, así como para identificar la presencia de daño o deterioro ocasionado por acciones anteriores. En una inspección se deben revisar:

- 1) configuración;
- 2) condición; y
- 3) deficiencias del elemento.

La inspección visual consiste en identificar grietas, efectos de intemperismo, deterioro del mortero, corrosión, eflorescencia y otros defectos que pueden ser detectados mediante la ayuda de lupas de baja potencia. En este método se incluyen mediciones de asentamientos diferenciales, así como el uso de equipos de fibra óptica para detectar grietas internas y vacíos.

Si no hay señales claras de daño, es útil recurrir a técnicas de evaluación y ensayos en sitio, los cuales pueden ser: el martillo de rebote, las pruebas de extracción, el barrenado, la prueba de penetración, los ensayos a corte en el plano de piezas y elementos, el ensayo de probetas extraídas o corazones, la medición de la adherencia mortero - pieza, los gatos planos, las técnicas de transmisión de pulso, la medición del eco producido por impactos, la topografía, los métodos magnéticos, la radiografía, la termografía infrarroja, la emisión acústica, los pulsos electromagnéticos, el láser, la petrografía, la endoscopia, las pruebas de carga, el potencial de corrosión y otras.

Evaluación de grietas

La causa más frecuente de falla en la mampostería (entendiendo como falla a la alteración del nivel de desempeño o a dejar de cumplir una función) son las grietas en los muros, y no el colapso.

Las grietas pueden indicar un posible colapso, alterar la apariencia, o servir de entrada para lluvia y demás agentes agresivos. Una grieta aparece cuando las deformaciones del muro exceden la deformación de agrietamiento de la mampostería.

No existe una clasificación universal y absoluta de la anchura de grietas que pueda considerarse peligrosa, ya que depende de la función de la estructura, tipo de acción, forma de grieta, entre otras.

Según datos recabados en estructuras de mampostería, las grietas con anchuras, menores de 0.15 mm no permiten el paso de agua de lluvia arrojada por el viento contra el muro. Sin embargo, esto no significa que todas las grietas con anchura mayores permitan el paso de agua. Una

clasificación de anchura de grietas según el nivel de exposición de la estructura se presenta en la tabla siguiente (Grimm, 1988).

Categoría		Anchura de grieta AG, mm
Muy finas	Impermeable	AG < 0.15
Finas	Exposición exterior	0.15 < AG < 0.30
Mediano	Exposición interior – húmeda	0.30 < AG < 0.50
Extenso	Exposición interior – seca	0.50 < AG < 0.60
Severo		AG > 0.60

Tabla 5.19 Clasificación de grietas según el nivel de exposición de la estructura

Es importante tener en mente que el coeficiente de variación de la anchura de las grietas en estructuras de mampostería es del orden del 40%; esto significa que la anchura máxima puede ser hasta del doble de la anchura media en un solo elemento.

Rodríguez y Castrillón (1995) han propuesto criterios para determinar el grado de daño de muros de mampostería.

Grado	Estado de daño
I	Grietas pequeñas, difícilmente visibles sobre la superficie del muro. Grietas mínimas en castillos y dalas de confinamiento. Grietas con anchuras menores que 0.2 mm.
II	Grietas claramente visibles sobre la superficie del muro, con anchuras entre 0.2 y 1 mm.
III	Inicio de la formación de agrietamiento diagonal; en muros confinados con castillos y dalas.
IV	Agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas, o en muros de relleno ligados a marcos; grietas con anchuras mayores que 3 mm. Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas.
V	Desprendimiento de partes de piezas. Aplastamiento local de la mampostería. Prolongación del agrietamiento diagonal en castillos o en dalas (anchuras de grietas superiores a 1 mm). Agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas. Deformación, inclinación horizontal o vertical apreciable del muro.

Tabla 5.20 Criterios para determinar el grado de daño de muros de mampostería

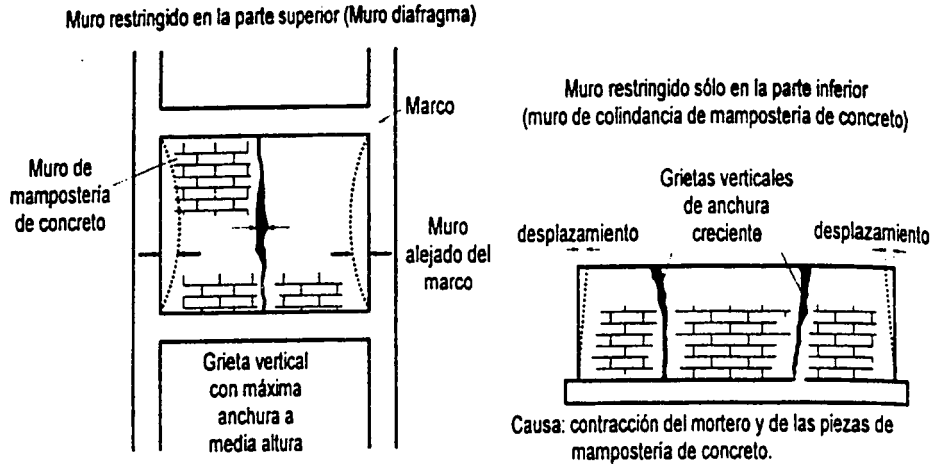
Con objeto de entender el comportamiento del elemento, se debe registrar:

- Patrón de grietas (horizontal, vertical, inclinado, etc.)
- Longitud
- Anchura (uniforme o variable)
- Profundidad (indicar si pasa a través de recubrimiento)
- Edad

La manera más sencilla para medir la anchura es mediante la comparación de la grieta con marcas de diferentes anchuras pintadas en laminas plásticas (llamado comparador de grietas o grietómetro). Las mediciones se mejoran en precisión si se usan lentes de aumento. Para mediciones mas precisas aún, o bien de largo plazo, es conveniente recurrir a transductores de desplazamientos (de corriente directa o alterna) conectados a equipos electrónicos de captura de información.

Un aspecto fundamental en la evaluación de un elemento de mampostería es determinar si la grieta está activa o es pasiva. Las activas manifiestan deslizamientos y anchuras mayores; mientras que las pasivas no cambian ni en anchura ni longitud.

5.4.5 Casos de detección de agrietamiento en elementos de mampostería.



levantamiento del suelo.

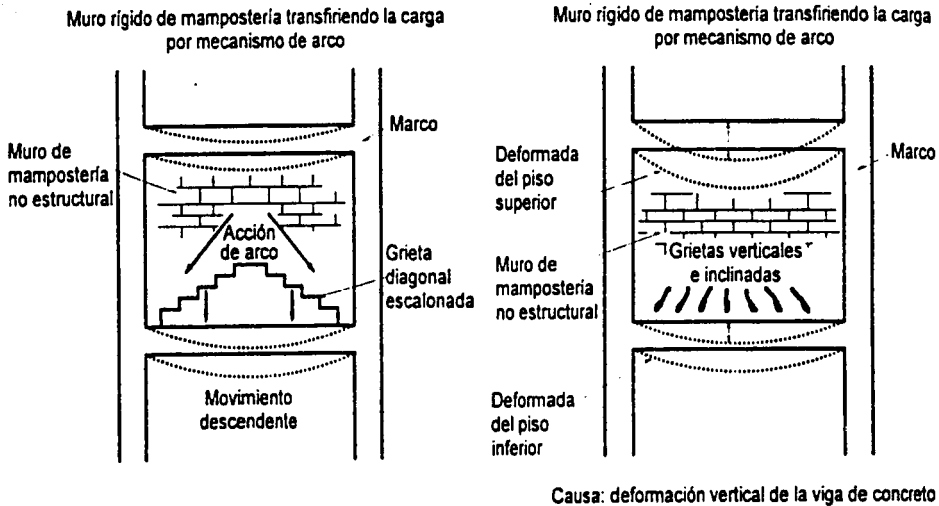


Figura 5.38 Tipos de grietas en muros de mampostería

Primer caso.

Lugar: Muros diafragma en marcos estructurales.

Tipo de grieta: Verticales en el centro del muro, siendo de mayor anchura en la parte media.
Causa: Restricción al movimiento vertical de la parte superior e inferior de los muros.

Tipo de grieta: En escalera partiendo de las esquinas inferiores y anchura constante.
Causa: El muro de mampostería es obligado a bajar debido a la flexión de vigas superior e inferior.

Tipo de grieta: Verticales e inclinadas en la parte inferior del muro, siendo de mayor anchura en la parte más baja.
Causa: La viga superior se ha flechado más que la inferior, aplicando al muro esfuerzos de compresión.

Segundo caso

Lugar: Juntas de mortero.

Tipo de grieta: Verticales y horizontales, con anchura constante en juntas de mortero de gran espesor.

Causa: Contracción por secado del alto contenido de cemento que tiene el mortero empleado en juntas anchas con menos agua y cal que las normales.

Tipo de grieta: Verticales y horizontales de anchura constante.

Causa: Movimiento relativo entre piezas y mortero; generalmente, asociado a cambios térmicos.

Tipo de grieta: Horizontales y verticales.

Causa: Pandeo de la escalerilla (acero de refuerzo en la junta) debido a movimientos de muros adyacentes, lo que provoca agrietamientos y desconchamientos del mortero.

Tipo de grieta: Varios.

Causa: Deterioro de la adherencia debido a agentes químicos o a limpieza de mampostería con ácidos.

Tercer caso.

Lugar: Piezas.

Tipo de grieta: Horizontales y verticales de anchura constante en lugares con ciclos de congelación y deshielo.

Causa: La expansión volumétrica del agua (9%) cuando se congela produce tensiones que se traducen en grietas y desconchamiento de las piezas.

Tipo de grieta: De anchura constante y desconchamiento de piezas en zonas húmedas de edificios.

Causa: Cristalización de sales solubles en la mampostería que producen expansiones internas. Este fenómeno ocurre cuando se han aplicado selladores a los muros que, aunque permiten el paso de vapor de agua, impiden la salida de las sales.

Cuarto caso.

Lugar: Bloques de concreto.

Tipo de grieta: Anchura constante en bloques y juntas de mortero.

Causa: Contracción por secado de bloques de concreto, o bien por secado de los bloques que fueron colocados mojados.

Quinto caso.

Lugar: Varios.

Tipo de grieta: De varias anchuras en piezas y juntas.

Causa: El agua que permea por los muros puede causar asentamientos diferenciales y deterioro en los materiales adyacentes.

Sexto caso.

Lugar: Juntas de expansión.

Tipo de grieta: Verticales con anchura constante entre juntas de expansión o cerca de ellas.

Causa: Pocas juntas de expansión que obligan al sellador a salir y a agrietar la mampostería.

Séptimo caso.

Lugar: Muros sobre cimentaciones o losas.

Tipo de grieta: Horizontales con anchura constante cerca de la parte inferior de los muros.

Causa: Los muros sobre cimentaciones de concreto se expanden mientras que la cimentación (losa) se contrae.

Tipo de grieta: Verticales con anchura variable, mayor en la parte superior y partiendo del fondo del muro.

Causa: Asentamiento de las esquinas de la cimentación (losa) o levantamiento del suelo cerca del centro del muro.

Tipo de grieta: Diagonales escalonadas a partir de la esquina de aberturas de puertas o ventanas, con anchura mayor cerca de la abertura.

Causa: Asentamiento del centro de la cimentación (losa) o levantamiento del suelo en los extremos del muro.

Tipo de grieta: Diagonales escalonadas en ambas esquinas de aberturas, siendo menor cerca de la abertura.

Causa: Asentamiento de un extremo del muro.

Octavo caso.

Lugar: Cerca de combinaciones de piezas claras y oscuras o de diferentes materiales en el mismo muro.

Tipo de grieta: Horizontales y verticales de anchura constante.

Causa: Diferentes coeficientes de expansión térmica entre piezas claras y oscuras, o entre piezas de diferente material, lo que produce deformaciones relativas y agrietamiento.

Noveno caso.

Lugar: Cerca de árboles.

Tipo de grieta: Anchura y tipos variables cerca de cimentaciones.

Causa: Movimiento de la cimentación debido a las raíces de los árboles. En suelos arcillosos, los árboles pueden secar el suelo, provocando asentamiento de la cimentación.

Décimo caso.

Lugar: Edificios cercanos a obras.

Tipo de grieta: Anchura y tipos variables cerca de cimentaciones.

Causa: Aumento en la profundidad del nivel freático debido a la construcción, lo que se traduce en consolidación del suelo y, consecuentemente, en asentamiento de los edificios vecinos.

Onceavo caso.

Lugar: Parapetos.

Tipo de grieta: Verticales y horizontales con anchura constante.

Causa: a) Diferentes niveles de absorción y expansión térmica al estar expuestos a mayores cambios climáticos que los muros inferiores. b) Reducida o nula restricción fuera del plano.

5.4.6 Rehabilitación de mampostería dañada.

En este apartado se presentan las diferentes técnicas de rehabilitación aplicables a muros de mampostería. Se mencionan las distintas modalidades de conexión entre la mampostería existente y los nuevos elementos de concreto, acero y mampostería; el reemplazo de piezas y de concreto dañados; la reparación de grietas; la inserción de barras de refuerzo y el encamisado de muros.

En la siguiente figura se muestra de manera cualitativa, la relación entre el desempeño que ha exhibido la estructura por rehabilitar, el nivel de daño esperado y los esquemas de rehabilitación que pueden ser aplicados. La gráfica es aplicable a muros de mampostería confinada.

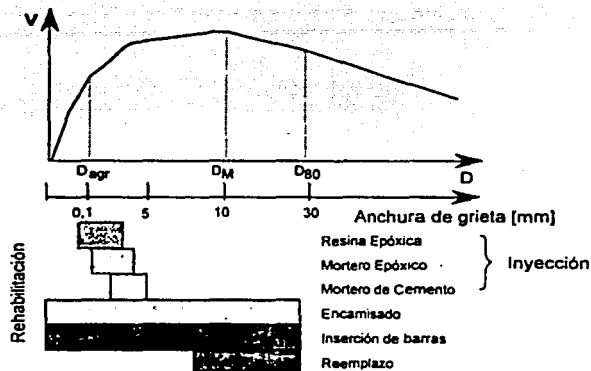


Figura. 5. 39 Desempeño de un muro de mampostería existente, nivel de daño esperado y posibles esquemas de rehabilitación.

Modalidades de conexión a la mampostería existente

Uno de los objetivos usuales de una rehabilitación es promover o asegurar un comportamiento monolítico entre los muros existentes y los materiales o elementos nuevos. Para lograr lo anterior es esencial que se preste atención a las conexiones locales.

Anclas.

Es frecuente que se usen anclas o fijadores para facilitar la conexión entre elementos de acero o de concreto a la mampostería existente. Las dos técnicas más comunes usan fijadores adhesivos o anclas mecánicas. Para ambos tipos, la conexión resultante dependerá de los procedimientos de instalación y de la selección de los materiales.

Conexiones mampostería-acero.

El método mas usado para conectar elementos de acero a la mampostería es mediante fijadores roscados instalados en barrenos con algún tipo de resina. La conexión puede postensarse, de modo que la carga se transmita por fricción en la interfaz mampostería-acero.

Reemplazo de piezas y de concreto dañados

Esta técnica generalmente se aplica en muros con zonas muy dañadas; su eficiencia depende de la calidad de su ejecución. A menudo se aplica en combinación con alguna otra técnica. Para el correcto reemplazo, es frecuente la necesidad de apuntalar y renivelar la estructura, así como usar morteros o concreto con aditivos estabilizadores de volumen. Con lo último se pretende disminuir la contracción por fraguado y las fisuras que ocurren por las restricciones a la contracción.

Una regla básica del reemplazo de piezas y de concreto dañados es el uso de materiales del mismo tipo y con una resistencia cuando menos igual a la resistencia del material original. Es frecuente que se aproveche la reparación para mejorar la estructura mediante materiales de reemplazo con características mecánicas superiores a las de los originales. En todo caso, se debe tener presente que la inserción de piezas o concreto con propiedades muy diferentes puede desencadenar concentraciones de esfuerzos que pueden dañar la estructura; en estos casos, la rehabilitación resulta peor que el daño existente en el edificio. Ejemplo de esto es usar morteros que exhiben cambios volumétricos diferentes de la mampostería original. Las expansiones generan deformaciones y esfuerzos locales que promueven el agrietamiento y daño posterior de la estructura.

Reparación de grietas

La manifestación obvia de daño en un muro de mampostería es su agrietamiento. La reparación de las grietas consiste, en cerrarlas o rellenarlas con materiales similares o diferentes de la mampostería original. Se pueden distinguir dos tipos de reparación: a) inyección y b) rajueleo. En todos los casos, se debe retirar el aplanado de la zona de la grieta, cuando menos en los 30 cm adyacentes.

En el primer caso, las grietas se rellenan mediante la inyección de resinas epóxicas, morteros epóxicos o morteros fluidos de cemento (con consistencia de lechada). Esta técnica es aplicable en muros con bajo número de grietas que, además, estén bien definidas. Este es el caso de muros sin refuerzo horizontal (o sin mallas) o con baja cuantía de refuerzo horizontal y vertical.

La inyección de grietas representa una manera viable de mantener la funcionalidad del edificio, incrementar su seguridad y durabilidad, pero sin alterar su estética.

Inyección de resinas y morteros epóxicos.

Un aspecto esencial para lograr la penetración completa de la resina en la grieta es su viscosidad. La viscosidad por usar es función de la anchura de las grietas; evidentemente, mientras mayor sea la anchura de la grieta, mayor será la viscosidad. Las resinas poseen altas resistencias a la tensión y a la adherencia con las piezas, lo que obliga a que las nuevas grietas que se formen sean paralelas a las existentes; es decir, no se abren las existentes. La anchura mínima para rellenar grietas a presión es de 0.05 mm, y por gravedad 0.30 mm. En caso de que las piezas tengan una alta absorción, conviene recurrir a resinas espumantes con aditivos estabilizadores de volumen.

El proceso de inyección en estructuras de mampostería es similar al que se sigue en estructuras de concreto reforzado.

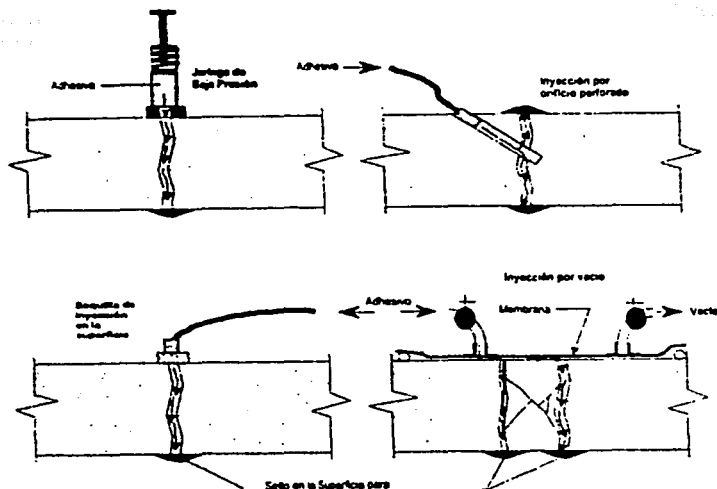


Figura. 5.40 Técnicas para inyección de resinas en concreto agrietado.

No se recomienda inyectar por vacío dada la variabilidad que se obtiene en la penetración y relleno de grieta. El proceso se inicia con la limpieza de las grietas, retirando todo residuo de polvo y de material flojo o suelto. Se recomienda no usar agua para la limpieza, a menos que se asegure que se evapore en su totalidad antes de inyectar el material epóxico. Lo anterior obedece a que los materiales epóxicos no se adhieran a superficies húmedas. Es conveniente limpiar la grieta con aspiradora. Posteriormente, se sellan las grietas (generalmente con una pasta de viniléster o poliéster) y se colocan las boquillas de inyección.

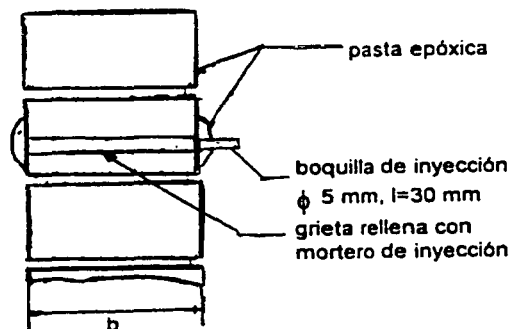


Figura 5.41 Reparación de grietas en estructuras de mampostería mediante inyección.

Se recomienda que la separación de ellas a lo largo de la grieta sea de una vez el espesor del muro. La inyección a presión se practica mediante bombas diseñadas para este efecto, inyectando la resina de abajo hacia arriba a lo largo de la grieta.

Se considera que el proceso es satisfactorio cuando la resina sale por la boquilla inmediata superior. Una vez que esto sucede, se cierra la boquilla y se procede con la siguiente superior de modo consecutivo. Terminada la inyección de las grietas del muro, se procede retirar las boquillas y el sellador con calor.

Con esta técnica, si se ejecuta adecuadamente, se restituye entre el 70 y 90% de la resistencia, 30 a 80% de la rigidez y del 75 al 90% de la capacidad de deformación del muro original (Hidalgo, 1991).

Inyección de morteros de cemento.

Las lechadas o morteros fluidos de cemento deben ser inyectables, estables, resistentes y deben tener partículas pequeñas. La primera característica se refiere a la facilidad para fluir a través de grietas y vacíos, mientras que la segunda se refiere a que tenga baja segregación, y una reducida contracción plástica. La capacidad resistente se refiere a sus resistencias a compresión, tensión y adherencia con las piezas de mampostería. Si las lechadas se diseñan adecuadamente, se pueden inyectar grietas con anchuras de 0.08 mm hasta 12 mm o más.

Para su colocación, se debe barrenar el muro a lo largo de la grieta para colocar ahí las boquillas de inyección. Las boquillas deben estar separadas entre 70 y 300 mm; su separación dependerá de la anchura y rugosidad de la grieta. Si la anchura de las grietas es menor que 1 mm, se recomienda colocar las boquillas dentro de los barrenos y separarlas entre sí 70 mm. Los barrenos deben tener diámetros entre 6 y 12 mm, y una profundidad de 50 mm. Se debe usar sellador de silicón para fijar y sellar las boquillas al muro. Si las grietas son de mayor anchura, se pueden usar boquillas de superficie, que constan de una base metálica, que se adhiere al muro, y un tubo perpendicular (boquilla) que se conecta a la manguera.

Si el agrietamiento es por corte, es decir, sigue las juntas de mortero, se recomienda colocar boquillas a la mitad de la altura de las juntas verticales, ya que es menor probable ahí la presencia de finos o partículas que bloqueen el flujo de la lechada.

Posteriormente, se limpia la grieta y los barrenos, retirando el polvo y material flojo o suelto con aspiradora. Existen en el mercado taladros con bombas de vacío o succión que usan brocas huecas, a través de las cuales se aspira el polvo mientras se perfora. Las brocas convencionales tienden a forzar el polvo y pedazos dentro de la grieta que se pretende inyectar, de modo que bloquean el paso de la lechada.

Después, se sellan las grietas con algún material de fraguado rápido y capaz de resistir la presión de inyección. Generalmente, se usa pasta de viniléster o poliéster. Las pastas a base de vinil poseen la desventaja de ser ligeramente solubles al agua, de modo que pueden fugar durante la inyección.

Posteriormente, se retiran las partículas de la grieta con agua a presión (1 kg/cm^2), empezando desde la parte más alta. Se debe dejar que el agua fluya hasta que el agua que sale de las boquillas este libre de partículas. Con este procedimiento se logra saturar el muro, de modo de retrasar o evitar el fraguado prematuro de la lechada. Conviene practicar esta limpieza 24 h antes de la inyección; 30 minutos antes se debe aplicar un ligero flujo de agua. Con objeto de evitar que la lechada se adhiera a las superficies del muro, también es recomendable humedecerlas.

La lechada se mezcla de modo de lograr su homogeneización; se recomienda aplicar 3 500 r.p.m. para deshacer los componentes en partículas individuales más pequeñas. El tiempo de mezclado depende del equipo empleado; generalmente es del orden de 3 minutos con intervalos para mezclado de 5 min.

La inyección se hace a presiones de 0.5 a 1 kg/cm², aunque la presión dependerá del nivel de daño en el muro y de la calidad de la mampostería. Una vez que sale la lechada por la boquilla inmediata superior, conviene mantener la inyección por 30 s adicionales, para asegurar la compactación de la lechada. Adicionalmente para evitar problemas de estabilidad estructural, se debe revisar que la presión hidrostática producto de la lechada inyectada no sea excesiva. Se recomienda iniciar con la inyección de las grietas de mayor anchura. Para inyectar, se usa un recipiente a presión que posea un regulador y un manómetro para verificar y mantener la presión de inyección señalada.

Muros que han sido reparados mediante inyección de morteros de cemento han recuperado, e incluso mejorado, su resistencia (80 a 120% de recuperación), rigidez (50 a 100%) y capacidad de deformación (80 a 90%) con respecto a las propiedades originales.

Reparación de grietas con rajuelas.

Cuando la grieta tiene una anchura superior 5 mm, resulta conveniente repararla con rajuelas, que son pedazos de piezas que se insertan en cajas abiertas en la grieta para el propósito. Las rajuelas deben acuñarse debidamente y deben pegarse con mortero tipo I. Antes de colocar el mortero, se debe limpiar y humedecer las superficies que estarán en contacto con él. Es conveniente usar algún aditivo estabilizador de volumen en el mortero de pega, de modo de controlar los cambios volumétricos y la contracción por fraguado que pueda sufrir.

Inserción de barras de refuerzo

Otra técnica de rehabilitación de muros de mampostería consiste en colocar barras de refuerzo a lo largo de las juntas de mortero. Para alojarlas, se requiere preparar la junta con ranuras longitudinales y practicar barrenos transversales al muro a ciertos intervalos para amarrar a las barras entre sí. Una vez colocadas las barras, generalmente una en cada lado del muro, se recubren con mortero de cemento o tipo epóxico. Las barras se deben anclar en los extremos de los muros, preferentemente mediante ganchos estándar a 90° en los elementos confinantes, si existen.

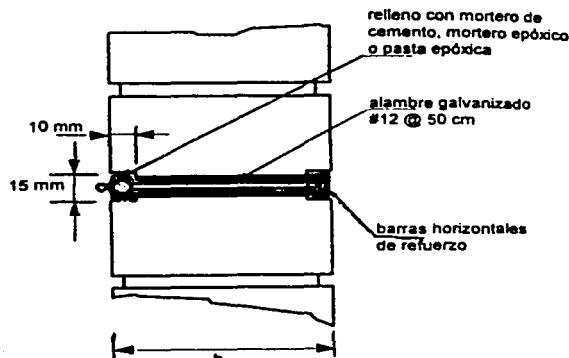


Figura. 5.42 Ejemplo de inserción de barras de refuerzo en las juntas de un muro.

Aunque con esta técnica se alcancen recuperaciones aceptables de resistencia, rigidez y capacidad de deformación, exige un procedimiento muy laborioso y con buena supervisión. Su desempeño es altamente dependiente de la calidad de la ejecución. Se recomienda evaluar con cuidado el usar esta técnica según la condición del sitio, y de la mano de obra.

Otra alternativa de reparación es engrapar las fisuras del muro. Este método es práctico si el número de grietas es pequeño. Consiste en alojar barras de refuerzo con ganchos a 90° en sus extremos (de forma de una grapa para papel) en sendos sendas ranuras y barrenos practicados en el muro. Las ranuras y barrenos se rellenan con mortero de cemento o, de preferencia, epóxico. Las grapas se deben colocar ortogonalmente a la grieta de modo que resistan las tensiones que se producen cuando la grieta tiende a abrirse. Resultados de laboratorio han indicado un pobre comportamiento ante sismo de muros reparados con grapas debido al pandeo de las grapas inclinadas cuando el sentido de aplicación de la acción se invierte y las grapas tienen que trabajar a compresión. Sin embargo, su desempeño ante acciones monótonas ha sido satisfactorio. Esta técnica es bastante popular para restaurar monumentos históricos.

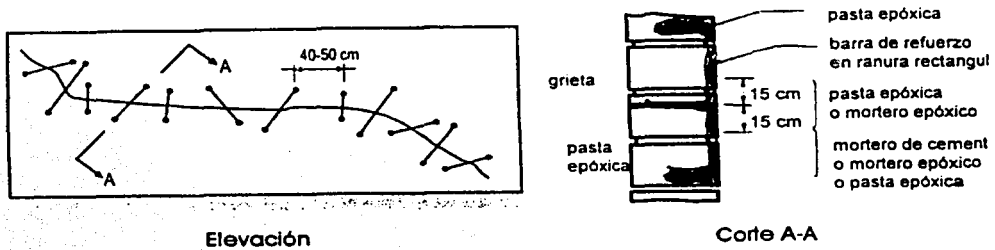


Figura. 5.43 Colocación de grapas sobre grietas en muros de mampostería.

Encamisado de muros

El término encamisado se refiere al aumento de la sección transversal del elemento de mampostería mediante la colocación de concreto, mortero o material similar, reforzado con barras de acero convencionales, mallas de alambre electro soldadas, mallas o bandas sintéticas u otras. Es común que cuando se emplean bandas sintéticas no se emplee material de recubrimiento.

Los muros se pueden rehabilitar adosando mallas metálicas al muro y recubriéndolas con mortero de cemento colocado a mano o bien lanzado. Además, se pueden encamisar con ferro cemento, con un aplanado de concreto lanzado con fibras metálicas o con materiales sintéticos. Aunque los encamisados de ferro cemento se han sugerido como una opción, no existe información suficiente sobre su desempeño.

Una desventaja del encamisado de muros es la modificación de la apariencia de la estructura, lo cual puede ser determinante si el edificio posee un valor histórico o estético sobresaliente.

Encamisado con mallas metálicas.

Una de las técnicas más confiable y económica es la colocación de mallas metálicas, preferentemente electro soldadas o hechas con barras convencionales, adecuadamente ancladas a los muros y recubiertas con 3 cm o más de mortero o concreto lanzado. Con esta técnica se pueden esperar incrementos en resistencia, rigidez y capacidad de deformación originales superiores al 50, 20 y 100%, respectivamente. Además, el aumento de la resistencia a carga lateral debido a la malla conduce a que el costo por unidad de carga resistida sea menor que en muros confinados con o sin refuerzo horizontal. La técnica se ha usado en varios países del mundo, siendo la primera vez que se utilizó de modo masivo después del sismo de Friuli, Italia, en 1976.

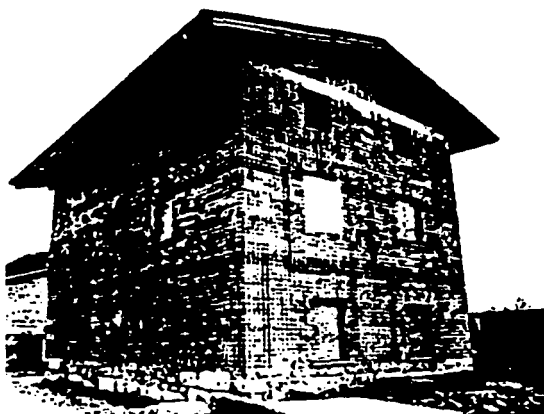


Figura. 5.44 Encamisado con mallas metálicas después del sismo de Friuli, Italia en 1976.

Se ha demostrado que el comportamiento de muros con daño muy severo (agrietamiento inclinado de 2 cm de anchura y aplastamiento del concreto en los extremos de los castillos) reparados con mallas electro soldadas y recubrimiento de mortero fue incluso mejor que el de la estructura original en términos de resistencia y capacidad de deformación. La rigidez de la estructura reparada es 2/3 veces la original.

A continuación se presentan las recomendaciones desarrolladas a partir de resultados experimentales. Estas son también aplicables a muros con daño rehabilitados con encamisado con mallas metálicas. Para lograr un comportamiento monolítico del encamisado con la mampostería existente, es indispensable tratar la superficie del muro antes de colocar la malla y aplicar el mortero. Se debe retirar todo recubrimiento del muro y, en caso de muros dañados, los fragmentos y piezas sueltas de la superficie de la mampostería; limpiar el polvo y las partículas en el interior de las grietas mediante chorro de agua. Pevio al encamisado, se recomienda reparar las grietas de acuerdo con lo descrito en el apartado de reparación de grietas.

Las mallas se pueden fijar directamente sobre las caras del muro, o bien usando separadores. Para espesores de 3 o 4 cm, no representa ningún inconveniente adosar las mallas directamente al muro.

En muros hechos con piezas macizas, las mallas de calibre pequeño (8 y 10) se pueden fijar con clavos de 64 mm de longitud para madera colocados manualmente con martillo.



Figura 5.45 Malla metálica anclada a un muro de mampostería con clavos.

Se recomienda una densidad de 9 clavos por m^2 ; si las piezas son de mala calidad, se puede incrementar la densidad a $16/m^2$. Para mallas de mayor calibre (calibre 4 o alambres con 6.4 mm de diámetro, por ejemplo), se recomienda usar clavos Hilti tipo X-ZF o similar, de 51 mm de longitud. Estos clavos son fijados a pólvora con una pistola especial. Se recomienda usar una densidad de 9 fijadores por m^2 . Los fijadores Hilti o similar, también pueden ser usados en mallas de bajo calibre.

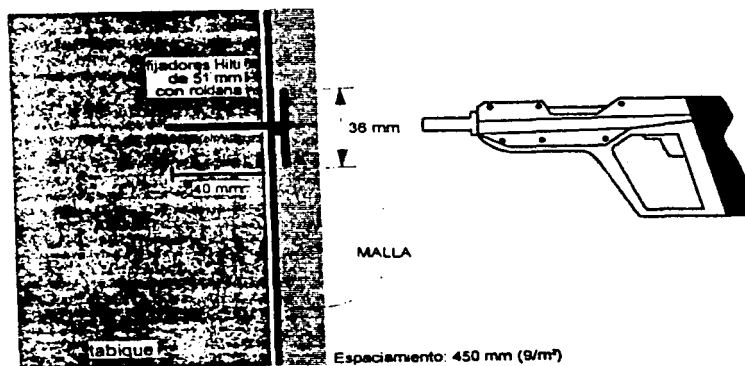


Figura. 5.46 Fijadores Hilti tipo X-ZF y herramienta para colocación



Figura. 5.47 Malla metálica anclada a un muro de mampostería con fijadores Hilti.

En la practica nacional, se sugiere el uso de alambres (grapas o sujetadores) que pasen de lado a lado del muro para fijar mallas en ambos lados. Esto requiere, por supuesto, de la perforación del muro en su espesor en varios lugares, así como el relleno del hueco que queda entre el alambre y el barreno con resina epóxica o un material similar. Esta solución es más costosa que usar clavos tipo Hilti colocados con pistola; sin embargo, el comportamiento del muro es comparable. La separación máxima recomendada es de 80 cm.

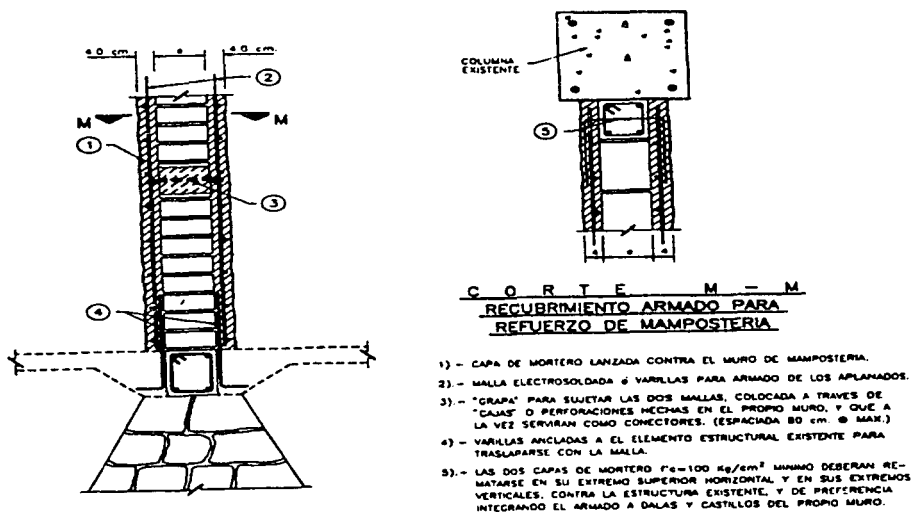


Figura 5.48 Recubrimiento armado para rehabilitación de mampostería.

En muros hechos con piezas huecas, como los bloques de concreto, se emplean alcayatas hechas de acero de bajo carbono (tipo A-36) o de barra corrugada de refuerzo convencional. Se puede obtener un comportamiento satisfactorio si las alcayatas se alojan en las juntas de mortero y si tienen una longitud igual al espesor del muro. Con esto se logra que la alcayata quede apoyada en las dos caras exteriores del bloque. En contraste, si la alcayata se conecta solamente a una cara del muro, la conexión es flexible y poco resistente.

Las mallas deben rodear a los castillos. Esto se puede resolver traslapando la malla en forma de U que rodeara el castillo con las mallas sobre el muro. Para el traslape se siguen las recomendaciones para diseño de estructuras de concreto reforzado.



Figura 5.49 Confinamiento de un castillo con mallas metálicas traslapadas.

Las mallas deben ser continuas en muros ortogonales; en los cambios de dirección conviene incrementar el número de fijadores. Si las mallas no se pueden doblar, debido particularmente a que son de alto calibre, se pueden usar mallas de menor calibre traslapadas adecuadamente. Las mallas deben rodear las aberturas en los muros.

El mortero se puede colocar manualmente o bien con dispositivos neumáticos (lanzado), siguiendo los procedimientos recomendados para concreto lanzado.

En caso de mampostería confinada será necesario anclar las mallas a los castillos y dalas, así como recubrir estos elementos con el mortero o concreto del encamisado.

Encamisado con mallas y bandas plásticas.

Recientemente se han venido aplicando encamisados de muros de mampostería con materiales plásticos. Las estructuras son reforzadas usando la capacidad de carga a tensión de las fibras plásticas, de modo análogo al papel que juega el acero de refuerzo en el concreto. Esta propiedad se puede usar para reforzar a flexión, corte o compresión, dependiendo de cómo se orienta el material plástico. Así, por ejemplo, para reforzar a flexión un muro, el material compuesto se coloca externamente sobre la cara a tensión, de modo que las fibras largas sean colineales con el eje vertical del muro.

Fibras.

Las fibras usadas son largas y continuas, y pueden ser de vidrio, carbono o aramid. Las fibras pueden exhibir varias configuraciones: cables, bandas unidireccionales, o telas. La configuración afecta la tasa de saturación de la resina, así como la forma que ésta humedece a las fibras. Adicionalmente, influye en la facilidad para su aplicación y para adaptarse al entorno del elemento. Las fibras a tensión exhiben un comportamiento elástico lineal hasta la rotura. La resistencia transversal de las fibras es muy baja.

Las ventajas de las fibras son su excelente durabilidad, y las altas relaciones de resistencia / peso y rigidez / peso, en comparación con placas de acero.

Resinas.

El papel de las resinas, o del material de la matriz de los materiales sintéticos, es distribuir la carga a las fibras. La resina sirve también para mantener a las fibras alineadas, así como para protegerlas del ambiente. Las resinas que más se usan son poliéster isoftálico, viniléster y epóxica.

El tipo de resina y la clase de fibra deben ser compatibles para la aplicación deseada. Las resinas de poliéster y viniléster se usan como fibras de vidrio, mientras que las epoxicas se usan para las tres clases de fibras.

Las fibras plásticas no exhiben deterioro de su resistencia a tensión por exposición a rayos ultravioleta (UV); no así la resina epóxica, que se vuelve blanca con la exposición. Por tanto, si se espera que el sistema fibra-resina este expuesto a la luz solar directa, será necesario protegerlo con una capa que limite la radiación UV. Pruebas de laboratorio han indicado que un recubrimiento de uretano sobre fibras de carbono ayuda a mantener la resistencia a tensión aun después de 4000 horas de exposición a UV; en las fibras de vidrio y de aramid, se observa una disminución del 10 al 20% de su resistencia.



Figura 5.50 Preparación de la superficie de un muro de mampostería con resina epóxica.



Figura 5.51 Colocación de bandas de fibras de carbono.

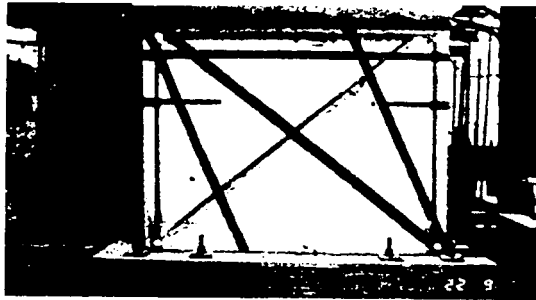


Figura 5.52 Rehabilitación de un muro de mampostería usando bandas de fibras de carbono.

Conclusions

Concreto Simple

En la exposición de este tema se mostraron las generalidades acerca de los factores que ocasionan el deterioro de los elementos que componen el concreto simple, se inicia describiendo situaciones del medio físico como pueden ser la mecánica del suelo y la hidráulica, que son factores cuando se habla por ejemplo de una vía de comunicación y pueden influir en el deterioro del concreto simple. En el caso del concreto simple se tratan en forma más general y se agrupan también al concreto asfáltico y al mortero de cemento tipo portland.

En este tema se enfocan factores que no inciden directamente en con el producto pero que si tienen que ver con el buen desempeño del concreto simple y que a su vez puede ser utilizado de diferentes formas, ya que este material puede utilizarse como piso, pavimento, banquetta, firme, entortado y como material para unir elementos de mampostería. Sin embargo también se tratan situaciones relacionadas con la calidad de los componentes del concreto asfáltico e hidráulico, esto es que se mencionan estándares de calidad de los materiales que intervienen, como pueden ser las características físicas los agregados pétreos que se utilizarán, los volúmenes o proporciones de cada material, las pruebas o ensayos que se deben hacer a un material específico o al concreto recién mezclado.

Además de todo esto se plantean practicas recomendadas en la colocación y manejo de los materiales para obtener mejores resultados en el funcionamiento de los mismos.

Este trabajo pretende ser una guía práctica e introductoria para personas interesadas en el estudio de los materiales descritos, ya que el tratamiento que se le da apenas deja de ser elemental, esto debido a la variedad y amplitud de enfoques que tiene un material al tratar de exponer alguna causa que lo haya deteriorado y después ver cual es el camino seguir para remediar la situación. Por ejemplo para que un elemento cualquiera como una trabe, losa, muro etc. sea útil y se conserve en buen estado debe pasar un proceso muy largo y de muchas variables antes de ser construido, como puede ser desde la determinación de estudios de mecánica de suelos, proyecto estructural, especificaciones y estándares de calidad, uso que se dará a la edificación, arquitectura, aspectos culturales (antropología, religión, historia), programa de construcción, pruebas a los materiales, correcta ejecución, buen y real mantenimiento, todas las variables anteriores aunque indirectamente se relacionan con el elemento a construir, pero existe al menos otra situación que parece ajena al fin que se persigue pero que no lo es, se trata de la administración de una obra y este problema tiene que ver con duplicidad de funciones o falta de personal en una obra, exceso de reportes a diversas autoridades o cambios de proyecto que obedecen a variables económicas o de otro tipo pero que no contribuyen en nada al buen desarrollo de una obra y en cambio si la perjudican.

Después de ver que durante el proceso de la obra y en su proyecto todo esté bien viene la etapa de utilización en la cual requerirá en mayor o menor medida acciones de mantenimiento, es aquí en que por razones de no contar con una cultura de dar mantenimiento a las obra civiles en ocasiones se considera al mantenimiento como un gasto innecesario o que puede esperar para atender otras necesidades.

Finalmente en lo que se refiere a la conservación de una obra civil o a la reparación del deterioro no se puede dar una fórmula de reparación o hacer un grupo casos con sus posibles soluciones, en lugar de eso se expone un caso en el cual se tienen diversas situaciones con las que tiene que convivir una obra y los problemas normales de la obra, además de conocer la logística que conlleva el que antes, durante o después de la obra se desvíen canales, se construyan drenajes, se transplanten árboles, tener vías de tren, etc. este caso sirve para ejemplificar que en las diferentes obras se van a encontrar diferentes situaciones y que es importante tener una cultura básica en construcción para poder enfrentar y resolver con éxito los diferentes puntos que interesan en la conclusión de una obra

CONCRETO REFORZADO

El concreto de cemento Portland ha probado ser el material de construcción más adecuado para las estructuras, superando con grandes ventajas a la madera, acero o mampostería.

Cada día es mayor el número de estructuras de concreto armado que prematuramente presentan deterioros por la corrosión del acero de refuerzo, causando consecuencias económicas muy elevadas, ya que las reparaciones en general son técnicamente complejas.

La calidad y duración de estas reparaciones dependen de la correcta evaluación y diagnóstico del estado de dichas estructuras, las cuales deben estar basadas en una adecuada y correcta inspección.

Luego de la inspección, estudio y diagnóstico de las manifestaciones de deterioro, la indicación de un procedimiento de corrección debe tener en cuenta varios factores tales como: la eficiencia de la intervención, la seguridad, los materiales, los equipos, los costos y las condiciones específicas de la obra, la temperatura, los plazos y la agresividad del ambiente antes y después de la corrección. Para cada tipo de problema puede haber más de una solución y más de un procedimiento de corrección, que serán adoptados en función de factores económicos y técnicos.

No obstante el concreto pudiera ser considerado un material prácticamente eterno (siempre que reciba un mantenimiento sistemático y programado) hay construcciones que presentan manifestaciones de deterioro de significativa intensidad e incidencia, acompañada de elevados costos de reparación. Ante estas manifestaciones se observa una actitud inconsecuente, que conduce en algunos casos a simples reparaciones superficiales, y en otros a demoliciones o refuerzos injustificados. Ninguno de los dos extremos es recomendable.

Considerando el grado actual de conocimiento de los procesos y mecanismos destructivos que actúan sobre las estructuras y considerando la gran evolución tecnológica es posible diagnosticar la mayoría de los problemas.

La conservación de las estructuras de concreto armado (mantenimiento preventivo y correctivo) es una actividad necesaria para alargar la vida de las mismas. Esta última puede verse amenazada por un conjunto de factores externos que incluyen los agentes naturales como la intemperie, los sismos, hundimientos de terreno, vientos, lluvia, o por las actividades humanas, como las vibraciones inducidas por el tráfico, la contaminación, y los efectos negativos de excavaciones o construcciones cercanas. Cuando cualquiera de estos agentes haya afectado significativamente una estructura en su integridad, la actividad necesaria para la conservación pasa de ser una acción de mantenimiento a una más profunda que es la restauración.

Acero

El acero es uno de los materiales de mayor importancia en la industria de la construcción, debido a sus propiedades y su fácil manejo además de poseer una gran resistencia a cargas de tensión, flexión y compresión.

Como estructura metálica el acero en comparación con el concreto armado, posee poco peso y esto le permite ser mas manejable, ya que también se pueden hacer conexiones con otros miembros por medio de tornillos y soldadura.

Con el acero es posible hacer estructuras de cascarón y reticulares que son muy bien aprovechadas, no solo en la construcción sino, además en otros casos muy particulares, pero no podemos dejar de pasar sin duda todos aquellos factores que intervienen en la corrosión del acero como lo son: la humedad, el viento, el fuego, los químicos, los factores biológicos, la contaminación y sobre todo la acción del hombre, todo esto lleva a la corrosión de éste material tan útil en la vida del ser humano, por lo que se buscan día con día formas y maneras de evitar su deterioro.

Algunas maneras de prevenir y atacar a la corrosión son: la limpieza en los elementos estructurales, la pintura, recubrimientos, protección catódica y otros revestimientos; No-solo con esto es suficiente para mantener la protección contra la corrosión en el acero, sino el hacer supervisiones constantes y visitas consecutivas hasta en lo más íntimo de los elementos de acero, ya que el hecho de ponerle un recubrimiento al acero esto no quiere decir que éste no va a permitir ya la corrosión, sino al contrario solo la mantendrá por un cierto periodo.

En resumen mientras haya vida en éste nuestro planeta tierra y por lo tanto "aire" siempre existirá la corrosión en el acero por todo el medio ambiente que nos rodea, es sin duda una respuesta de la naturaleza, al saber que es atacada por la mano del hombre.

Por lo tanto el hombre, siempre estará buscando soluciones para mantener y proteger todo aquello relacionado con el acero.

Mampostería

La durabilidad de la mampostería es muy elevada si se compara con la de la madera y los materiales féreos; prueba de ello es la permanencia de los monumentos de mampostería a lo largo de los siglos y hasta de milenios; no obstante, también los materiales pétreos están sujetos a un proceso de envejecimiento y de deterioro por agentes externos, que los afectan en su apariencia y en su capacidad estructural.

El principal proceso de deterioro de estos materiales corresponde a la penetración del agua y por ende, su efecto se relaciona directamente con la porosidad, o la permeabilidad del material. Los materiales más densos y compactos y con menor permeabilidad superficial, son menos propensos al deterioro.

El proceso inicial de deterioro se asocia a la penetración del agua por los poros del material, pero especialmente, por las microfisuras de su superficie externa. Al ser todos estos materiales de baja resistencia a la tensión, son propensos al fisuramiento por esfuerzos de tensión superficial que se generan por la contracción por secado, por los cambios de temperatura y, en algunos casos, por las cargas que actúan sobre el elemento estructural. Adicionalmente, debido al comportamiento frágil de estos materiales, las grietas se propagan fácilmente hacia el interior, con lo que se acelera el proceso de deterioro.

El agua penetra en el material por capilaridad, a través de los poros y de las microfisuras. En regiones de clima severo, el mecanismo crítico para el deterioro es la congelación del agua absorbida, lo que da lugar a una expansión que produce mayores fisuras del material. En zonas de clima cálido húmedo el factor crítico es la continua absorción y evaporación de la humedad, que deja depositados en el interior del material cristales de distintos compuestos que atacan químicamente la roca y el mortero.

El proceso anterior se debe más al rocío que al agua de lluvia, ya que el primero penetra más profundamente en el material. Tanto la lluvia como la humedad atmosférica contienen ácidos que reaccionan químicamente con los materiales pétreos y los deteriora. El ácido carbónico y el sulfúrico son los más importantes, sobre todo el segundo, que ataca los carbonatos y silicatos de los materiales y los transforma en sulfato de calcio.

Las atmósferas contaminadas por la combustión en los motores y quemadores contienen mayores proporciones de estos ácidos agresivos y aceleran el proceso de deterioro. Por otra parte, las partículas suspendidas que abundan en las atmósferas contaminadas se depositan sobre los materiales pétreos, principalmente por el rocío y por la llamada lluvia ácida, y van formando costras negras que se adhieren a la superficie y favorecen el ataque químico abajo de ellas.

El agua puede penetrar en los materiales en cantidades muy elevadas cuando se absorbe por capilaridad del subsuelo, y se evapora por las superficies laterales del elemento constructivo. En las zonas de evaporación quedan depositados los cristales que producen el deterioro.

Todavía mayor es el deterioro que se puede producir por la filtración del agua de lluvia debido a la falta de impermeabilidad de las construcciones. En este caso, más que el ataque químico, resulta crítico el efecto mecánico de lavado del material y el efecto biológico de la formación de musgo y hasta el crecimiento de plantas cuyas raíces rompen el material.

Las acciones de remedio ante estos fenómenos de deterioro se enfocan a la protección contra la penetración de los agentes agresivos. Las medidas que permiten reducir la exposición del elemento constructivo a la humedad atmosférica y a la penetración directa del agua, son las más efectivas. El sellado de fisuras y el recubrimiento con materiales impermeables son medidas muy convenientes si se pueden realizar sin afectar la autenticidad de la edificación.

En la actualidad se han desarrollado materiales sintéticos y técnicas para la protección de los materiales pétreos contra los factores del deterioro; su uso estará sujeto a su análisis y evaluación.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- **Cartilla del concreto.**
IMCYC
- **Aspectos fundamentales del concreto reforzado**
Oscar M. Gonzáles Cuevas.
- **Concrete water towers, bunkers, silos and other elevated structures**
Gray y Manning.
- **Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto.**
Miguel Ángel Sanjuán Barbudo, Pedro Castro Borges
IMCYC.2001
- **El empleo de aditivos para mejorar la resistencia química del concreto.**
Ward R.Malisch.
Construcción y Tecnología
Vol.XII, num.134, julio de 1999.
- **La carbonatación, enemigo olvidado del concreto.**
Rick Montani.
Construcción y Tecnología.
- **Concreto durable, el inicio del cambio.**
Roberto Uribe Afif.
Construcción y Tecnología.
- **Cómo construir con calidad.**
Gary R. Mass.
Construcción y Tecnología.
- **Reacción alcali-sílice en el concreto: causas, efecto y medios de solución.**
Manuel Mena Ferrer.
Construcción y Tecnología.
- **Reacción álcali- agregado.**
D.E. Davis.
Construcción y Tecnología.
- **Durabilidad del concreto expuesto a ambiente marino.**
Andrés A. Torres Acosta.
Construcción y Tecnología.
Vol.XIII, num.157,
Junio de 2001.
- **Más allá de la herrumbre, tomo I.**
- **Tecnología del concreto.**
Adam Neville.

- **Manual de productos Imperquimia
Sealcrete, Fester, Sika**
- **Criterios generales para el proyecto básico de estructuras de concreto**
Ing. Arq. Pablo F. Peña C.
IMCYC, 1986.
- **Criterios de dimensionamiento estructura**
Francisco Méndez Chamorro,
Trillas 1991.
- **Corrosión de estructuras de concreto armado**
IMCYC 2001
- **Vías de comunicación**
Ing. Carlos Crespo Villalaz
Limusa 1996.
- **Emulsiones Asfálticas**
Ing. Gustavo Rivera E.
Representaciones y servicios de ingeniería S.A. 1977
- **Estructuración de Vías Terrestres**
Ing. Fernando Olivera Bustamante
1999
- **Pavimentos de Concreto**
Arq. Gustavo G. Méndez Fregoso
Procedimientos para autoconstrucción
- **La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres**
Dr. Alfonso Rico e Ing. Hermilo del Castillo
Limusa S.A. México, 1974
- **Revista Obras N° 340**
Abril 2001
Pisos Industriales.
- **Instituto Mexicano del Transporte**
Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Publicación Técnica N° 21 Safandalia Qro. 1998
Téllez Gutiérrez R 1991
- **Diseño de acero estructural**
Joseph E. Bowles.
Editorial Limusa
México 1984
- **Construcción (Defectos comunes)**
H. J. Eldridge, B. Sc.
Editorial Gustavo Gili, S. A.
España, Barcelona 1982

- **Deterioro, Conservación y reparación de estructuras.**
Johnson, Sidney M.
Editorial Blume
España, Madrid 1973
- **Corrosiones Metálicas**
Ulick R. Evans
Editorial Reverte, S. A.
España, Barcelona 1987
- **La construcción antiácida.**
Friedrich Karl Falcke.
Editorial URMO S. A. Ediciones
España, Bilbao 1977
- **Introducción a la Mecánica Estructural.**
Trefor J. Reynolds y Lewis E. Kent.
Editorial continental
México D. F. 1963
- **Manual de construcción en acero**
Vol. Uno
Instituto Mexicano de la Construcción en acero, A. C.
Editorial Limusa
México 1994
- **Fisuras y grietas en morteros y hormigones.**
Albert Joisel
Editores Técnicos Asociados, S.A. de C.V.
Barcelona 1965.
- **Mampostería y construcción.**
Esteban Villasante Sánchez
Editorial Trillas
México 1995.
- **Mampostería de exteriores.**
Mike Lawrence
Ediciones G. Gili, S.A. de C.V.
México 1996.
- **Manual de albañilería.**
Coord. Luis Lesur
Editorial Trillas
México 1991.
- **Albañilería y autoconstrucción III.**
Coord. Luis Lesur
Editorial Trillas
México 1998.
- **Procedimientos de restauración y materiales.**
Ricardo Prado Nuñez
Editorial Trillas
México 2000.

- **Albañilería y autoconstrucción II.**
Coord. Luis Lesur
Editorial Trillas
México 1998.
- **Tecnología de la construcción.**
Editorial CEAC
Barcelona 1984.
- **Los tabiques en el edificio.**
Rene Bayon
Editores Técnicos Asociados, S.A. de C.V.
Barcelona 1982.
- **Muros pantalla.**
Georges Schneebeli
Editores Técnicos Asociados, S.A. de C.V.
Barcelona 1974.
- **Muros de contención.**
Marcel y Andre Reimbert
Editores Técnicos Asociados, S.A. de C.V.
Barcelona 1972.
- **Estudios previos de cimientos y muros.**
Delfina Berasategui B.
Jaime Espuga B.
Ediciones UPC
Universitat Politècnica de Catalunya 1993.
- **Ingeniería.**
Órgano Oficial de la Fac. de Ing. UNAM
Palacio de Minería 1968.
- **Efecto de la composición de morteros en las humedades de los muros.**
Publicación de la National Lime Association
Editado por ANFACAL
Asociación Nal. de Fabricantes de Cal, A.C.
- **Propiedades mecánicas de la mampostería.**
Roberto Meli P. Alejandro Reyes G.
Fondo de operación y desc. bancario a la vivienda.
UNAM 1971.
- **Rehabilitación de la vivienda. Guía práctica.**
Editorial G. Gili, S.A.
Barcelona 1980.
- **Estanquidad e impermeabilización en la edificación.**
Shild – Oswald – Rogier.
Editores Técnicos Asociados, S.A. de C.V.
Barcelona 1978.

- **La rehabilitación de edificios urbanos.**
Baglioni.
Editorial G.G.
- **Patología de las cimentaciones.**
Louis Legeais
Editorial G.G.
- **Las humedades en las construcciones.**
Federico Ulsamer
Monografías CEAC de construcción.
Barcelona 1979.
- **Reparación de estructuras de concreto y mampostería.**
Jesús Iglesias.
UAM Azcapotzalco.
México 1998.
- **Normas Técnicas Complementarias de Mampostería.**
UNAM
México 1974.
- **Publicación. Construcción y Tecnología.**
Reportaje técnico.
México, Diciembre 1989.
- **Publicación. Ingeniería Civil.**
Reportaje técnico.
México, Octubre 1993.
- **Edificaciones de mampostería para vivienda.**
Fundación ICA, A.C.
Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.
México, 1999.
- **Ingeniería estructural de los edificios históricos.**
Roberto Meli P.
Fundación ICA, A.C.
México, Noviembre 1998.