Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial
Dirección del Sistema Habitacional
República de Colombia

COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES
(Creada por la Ley 400 de 1997)

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE

NSR-10



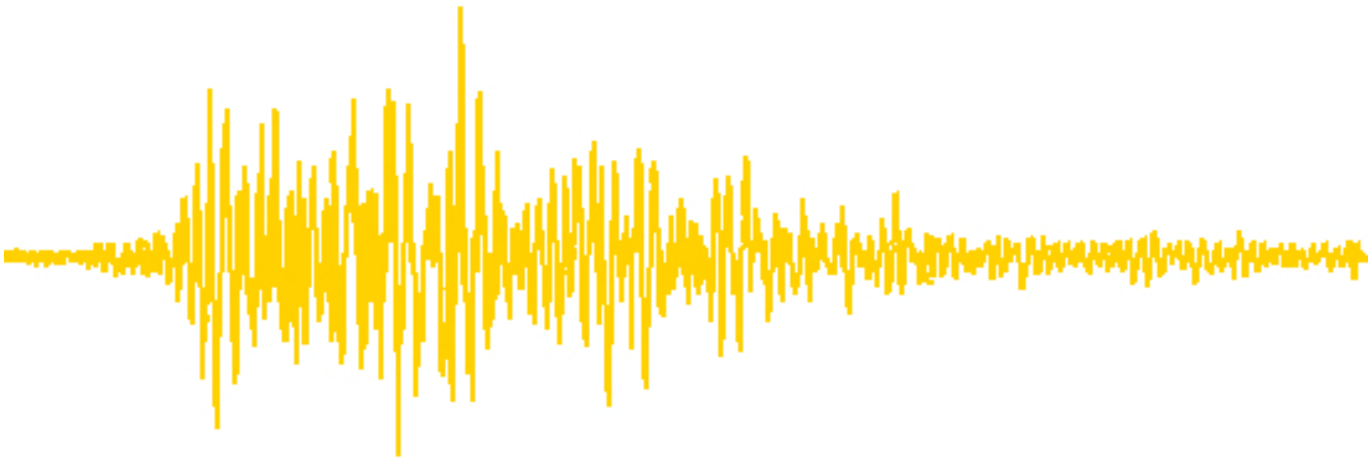
TÍTULO D — MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

Secretaría de la Comisión:

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
Carrera 20 N° 84-14 Oficina 502 • Bogotá, D. C., COLOMBIA • Teléfono: 530-0826 • Fax: 530-0827

COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES
(Creada por la Ley 400 de 1997)

NOTAS:



TÍTULO D
MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

ÍNDICE

CAPÍTULO D.1 – REQUISITOS GENERALES D-1
D.1.1 – ALCANCE D-1
D.1.1.1 – ALCANCE D-1
D.1.1.2 – ESTRUCTURAS ESPECIALES D-1
D.1.1.3 – PROPOSITO D-1
D.1.1.4 – COMPLEMENTO D-1
D.1.1.5 – REQUISITOS MINIMOS D-1
D.1.1.6 – PROCEDIMIENTO DE DISEÑO D-1
D.1.2 – PLANOS Y MEMORIAS D-1
D.1.2.1 – PLANOS ESTRUCTURALES D-1
D.1.2.2 – MEMORIAS D-2
D.1.3 – SUPERVISIÓN TÉCNICA D-2
D.1.3.1 – OBLIGATORIEDAD DE LA SUPERVISIÓN TÉCNICA D-2
D.1.3.2 – ALCANCE DE LA SUPERVISIÓN D-2
D.1.3.3 – REGISTRO DE LAS LABORES DE SUPERVISIÓN D-2
D.1.4 – REQUISITOS GENERALES PARA LAS ESTRUCTURAS EN MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL D-2
D.1.4.1 – RESISTENCIA ANTE CARGAS HORIZONTALES EN DOS DIRECCIONES ORTOGONALES EN PLANTA D-2
D.1.4.1.1 – Diferencia en rigidez entre las dos direcciones principales en planta D-2
D.1.4.2 – MODELO MATEMÁTICO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS D-2
D.1.4.3 – DIAFRAGMAS HORIZONTALES DE PISO D-2
D.1.4.4 – INCONVENIENCIA DE LA COMBINACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES D-2
D.1.4.5 – REQUISITOS PARA LA COMBINACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA D-2
D.1.4.6 – LIMITES DE DERIVA PARA SISTEMAS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL D-2
D.1.4.7 – REQUISITOS PARA LOS MATERIALES D-3
D.1.4.8 – CONDICIONES AMBIENTALES D-3
D.1.4.9 – MANO DE OBRA EN LAS ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA D-3

CAPÍTULO D.2 – CLASIFICACIÓN, USOS, NORMAS, NOMENCLATURA Y DEFINICIONES D-5
D.2.1 – CLASIFICACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL D-5
D.2.1.1 – MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA D-5
D.2.1.2 – MAMPOSTERÍA REFORZADA D-5
D.2.1.3 – MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA D-5
D.2.1.4 – MAMPOSTERÍA NO REFORZADA D-5
D.2.1.5 – MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS D-5
D.2.1.6 – MAMPOSTERÍA DE MUROS DIAFRAGMA D-5
D.2.1.7 – MAMPOSTERIA REFORZADA EXTERNAMENTE D-5
D.2.2 – USOS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL D-5
D.2.2.1 – USOS PERMITIDOS D-5
D.2.2.2 – COMBINACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES D-6
D.2.2.3 – ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO DENTRO DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL D-6
D.2.3 – NORMAS Y ESPECIFICACIONES CITADAS EN EL TITULO D DEL REGLAMENTO D-6
D.2.4 – NOMENCLATURA D-8
D.2.5 – DEFINICIONES D-11

CAPÍTULO D.3 – CALIDAD DE LOS MATERIALES EN LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL D-13
D.3.0 – NOMENCLATURA D-13
D.3.1 – ASPECTOS GENERALES D-13
D.3.1.1 – REQUISITOS PARA LOS MATERIALES D-13
D.3.1.2 – ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES D-13
D.3.2 – CEMENTO Y CAL D-13
D.3.3 – ACERO DE REFUERZO D-13
D.3.4 – MORTERO DE PEGA D-14
D.3.4.1 – REQUISITOS GENERALES D-14
Tabla D.3.4-1 – Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por porción D-14
D.3.4.2 – DOSIFICACIÓN DEL MORTERO DE PEGA D-14
D.3.4.2.1 – Probetas cilíndricas D-14
D.3.4.3 – USO DE LA CAL D-14
D.3.4.4 – AGREGADOS D-14
D.3.4.5 – AGUA D-14
D.3.4.6 – COLORANTES Y ADITIVOS D-15
D.3.4.7 – PREPARACIÓN EN OBRA D-15
D.3.4.7.1 – Morteros mezclados en seco en obra D-15
D.3.4.7.2 – Morteros premezclados de larga vida D-15
D.3.5 – MORTERO DE RELLENO D-15
D.3.5.1 – REQUISITOS GENERALES D-15
D.3.5.2 – DOSIFICACIÓN D-15

Tabla D.3.5-1 – Clasificación y dosificación por volumen de los morteros de relleno D-15
D.3.5.3 – VALOR MÁXIMO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN D-15
D.3.5.4 – USO DE LA CAL D-16
D.3.5.5 – AGREGADOS D-16
D.3.5.6 – AGUA Y ADITIVOS D-16
D.3.5.7 – MEZCLADO Y TRANSPORTE D-16
D.3.6 – UNIDADES DE MAMPOSTERÍA D-16
D.3.6.1 – TIPOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA D-16
D.3.6.2 – NORMAS DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD D-16
D.3.6.2.1 – Unidades de concreto para mampostería D-16
D.3.6.2.2 – Unidades de arcilla para mampostería D-16
D.3.6.2.3 – Unidades sílico-calcáreas para mampostería D-16
D.3.6.3 – UNIDADES ESPECIALES D-16
D.3.6.4 – UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE PERFORACIÓN VERTICAL D-16
D.3.6.4.1 – Dimensiones de las celdas y las paredes D-17
Tabla D.3.6-1 – Espesores mínimos de paredes en unidades (bloques) de mampostería de perforación vertical D-17
D.3.6.4.2 – Perforaciones secundarias D-17
D.3.6.5 – UNIDADES DE PERFORACIÓN HORIZONTAL D-17
D.3.6.6 – UNIDADES MACIZAS DE MAMPOSTERÍA D-17
D.3.7 – DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA A LA COMPRESIÓN D-17
D.3.7.1 – DETERMINACIÓN DE $\mathbf{f'_m}$ PREVIA A LA CONSTRUCCIÓN D-17
D.3.7.1.1 – Aplicabilidad de los procedimientos D-17
D.3.7.2 – ELABORACIÓN Y ENSAYO DE LOS MURETES D-18
D.3.7.2.1 – Requisitos de elaboración de los muretes D-18
D.3.7.2.2 – Determinación del valor de $\mathbf{f'_m}$ D-18
D.3.7.2.3 – Área para determinación de los esfuerzos D-18
D.3.7.2.4 – Dimensiones de los muretes D-18
D.3.7.2.5 – Corrección por esbeltez D-18
Tabla D.3.7-1 – Factor de corrección por esbeltez para $\mathbf{f'_m}$ D-18
D.3.7.2.6 – Curado de los muretes D-18
D.3.7.2.7 – Refrentado y ensayo D-18
D.3.7.3 – DETERMINACIÓN ESTADÍSTICA DE $\mathbf{f'_m}$ D-18
D.3.7.3.1 – Más de 30 ensayos históricos D-18
D.3.7.3.2 – Entre 10 y 30 ensayos históricos D-19
D.3.7.3.3 – Menos de 10 ensayos históricos D-19
D.3.7.4 – DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE $\mathbf{f'_m}$ D-19
D.3.7.4.1 – Más de 30 ensayos previos a la obra D-19
D.3.7.4.2 – Entre de 10 y 30 ensayos previos a la obra D-19
D.3.7.4.3 – Menos de 10 ensayos previos a la obra D-19
D.3.7.5 – VALOR DE $\mathbf{f'_m}$ BASADO EN LA CALIDAD DE LOS MATERIALES D-19
D.3.7.6 – VALOR DE $\mathbf{f'_m}$ CUANDO LAS CELDAS SE INYECTAN CON MORTERO DE RELLENO, BASADO EN LA CALIDAD DE LOS MATERIALES D-19
D.3.8 – EVALUACIÓN Y ACEPTACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA D-19
D.3.8.1 – FRECUENCIA DE MUESTREO Y ENSAYOS D-19
D.3.8.1.1 – Mortero de pega D-19
D.3.8.1.2 – Mortero de relleno D-19
D.3.8.1.3 – Unidades de mampostería D-20
D.3.8.1.4 – Muretes D-20
D.3.8.1.5 – Acero de refuerzo D-20
D.3.8.2 – CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO D-20
D.3.8.2.1 – Resistencia mínima D-20
D.3.8.2.2 – Medidas correctivas D-20
D.3.8.2.3 – Resultados de resistencia bajos D-20
D.3.8.2.4 – Pruebas de carga D-20

CAPÍTULO D.4 – REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL D-21
D.4.0 – NOMENCLATURA D-21
D.4.1 – ALCANCE D-21
D.4.1.1 – ALCANCE DE LOS REQUISITOS CONSTRUCTIVOS D-21
D.4.2 – DETALLES DEL REFUERZO D-21
D.4.2.1 – EMBEBIDO DEL REFUERZO D-21
D.4.2.2 – DIÁMETROS MÁXIMOS Y MÍNIMOS PERMITIDOS PARA EL REFUERZO D-21
D.4.2.2.1 – Refuerzo longitudinal en celdas y cavidades que se inyectan D-21
D.4.2.2.2 – Refuerzo de junta D-21
D.4.2.2.3 – Refuerzo longitudinal y transversal en elementos de confinamiento D-21
D.4.2.2.4 – Refuerzo longitudinal y transversal en elementos de concreto reforzado dentro de la mampostería D-22
D.4.2.3 – LIMITES PARA LA COLOCACIÓN DEL REFUERZO D-22
D.4.2.3.1 – Número de barras por celda vertical D-22
D.4.2.3.2 – Barras en paquete D-22
D.4.2.3.3 – Distancia entre la barra y el borde interior de la celda D-22
D.4.2.3.4 – Mampostería confinada D-22
D.4.2.4 – RECUBRIMIENTO DEL REFUERZO D-22

D.4.2.4.1 – Recubrimiento de barras colocadas en celdas ... D-22
D.4.2.4.2 – Recubrimiento de del refuerzo de junta ... D-22
D.4.2.5 – DESARROLLO DEL REFUERZO EMBEBIDO EN MORTERO DE RELLENO ... D-22
D.4.2.5.1 – Generalidades ... D-22
D.4.2.5.2 – Longitud de desarrollo ... D-22
D.4.2.5.3 – Longitud de empalme por traslapo ... D-23
D.4.2.5.4 – Empalmes mecánicos o soldados ... D-23
D.4.2.6 – DESARROLLO DEL REFUERZO EMBEBIDO EN CONCRETO ... D-23
D.4.2.7 – GANCHOS ESTÁNDAR ... D-23
D.4.2.8 – DIÁMETROS MÍNIMOS DE DOBLAMIENTO PARA BARRAS DE REFUERZO ... D-23
Tabla D.4.2-1 – Diámetros de doblamiento para barras de refuerzo ... D-23
D.4.3 – ACTIVIDADES PRELIMINARES A LA CONSTRUCCIÓN ... D-23
D.4.3.1 – ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES ... D-23
D.4.3.2 – ALMACENAMIENTO DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA ... D-23
D.4.3.3 – LUGAR PARA LA TOMA Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS ... D-23
D.4.4 – REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA CIMENTACIONES ... D-24
D.4.4.1 – GENERAL ... D-24
D.4.4.2 – ANCLAJE EN LA CIMENTACIÓN DEL REFUERZO DE LOS MUROS ... D-24
D.4.4.3 – TOLERANCIA DE LOCALIZACIÓN DEL REFUERZO DE EMPALME CON EL MURO ... D-24
D.4.4.4 – VACIADO DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN ... D-24
D.4.4.5 – ALINEAMIENTO HORIZONTAL ... D-24
D.4.4.6 – CORRECCIÓN DEL ALINEAMIENTO DEL CIMIENTO ... D-24
D.4.5 – REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA ... D-24
D.4.5.1 – GENERAL ... D-24
D.4.5.2 – UNIDADES DE MAMPOSTERÍA ... D-24
D.4.5.2.1 – Estado de las unidades previo a su colocación ... D-24
D.4.5.2.2 – Unidades especiales ... D-24
D.4.5.3 – MORTERO DE PEGA ... D-25
D.4.5.4 – MORTERO DE INYECCIÓN ... D-25
D.4.5.5 – ACERO DE REFUERZO ... D-25
D.4.5.5.1 – Estado de la superficie del refuerzo ... D-25
D.4.5.5.2 – Dimensiones ... D-25
D.4.5.5.3 – Doblado de refuerzo parcialmente embebido ... D-25
D.4.5.6 – TUBERIAS EMBEBIDAS ... D-25
D.4.5.6.1 – Regatas ... D-25
D.4.5.6.2 – Salidas a la superficie del muro ... D-25
D.4.5.6.3 – Tuberías embebidas en celdas inyectadas ... D-25
D.4.5.7 – APAREJO DE PETACA ... D-25
D.4.5.8 – APAREJO TRABADO ... D-25
D.4.5.9 – JUNTAS DE CONTROL ... D-25
D.4.5.9.1 – Distancia entre juntas de control ... D-25
D.4.5.9.2 – Configuración de la junta de control ... D-26
D.4.5.10 – CONSTRUCCIÓN DEL MURO ... D-26
D.4.5.10.1 – Mortero de pega ... D-26
D.4.5.10.2 – Ventanas de inspección y limpieza ... D-26
Tabla D.4.2-2 – Tolerancias constructivas para muros de mampostería ... D-26
D.4.5.11 – COLOCACIÓN DEL REFUERZO HORIZONTAL ... D-27
D.4.5.11.1 – Refuerzo horizontal de junta ... D-27
D.4.5.11.2 – Elementos embebidos para colocación del refuerzo horizontal ... D-27
D.4.5.12 – COLOCACIÓN DEL REFUERZO VERTICAL ... D-27
D.4.5.12.1 – Tolerancias ... D-27
D.4.5.12.2 – Localización de las barras en la celda ... D-27
D.4.5.12.3 – Empalmes ... D-27
D.4.5.12.4 – Sujeción del refuerzo ... D-27
D.4.5.12.5 – Cambios ... D-27
D.4.6 – REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA EL MORTERO DE RELLENO ... D-28
D.4.6.1 – PREPARACIÓN DEL MORTERO DE RELLENO ... D-28
D.4.6.2 – FLUIDEZ ... D-28
D.4.6.3 – INYECCIÓN DEL MORTERO ... D-28
D.4.6.3.1 – Altura de inyección ... D-28
Tabla D.4.6-1 – Altura máxima de inyección según el tamaño del espacio de inyección ... D-28
D.4.6.3.2 – Suspensión de la inyección ... D-28
D.4.6.3.3 – Inyección parcial ... D-28
D.4.6.3.4 – Juntas entre inyecciones de mortero ... D-28
D.4.6.4 – COMPACTACIÓN ... D-28
D.4.6.4.1 – Recompactación ... D-28
D.4.7 – REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA LOSAS DE ENTREPISO ... D-29
D.4.7.1 – ACCIÓN COMO DIAFRAGMA ... D-29
D.4.7.1.1 – Diafragmas flexibles ... D-29
D.4.7.2 – APOYO DE LOS ELEMENTOS DEL ENTREPISO ... D-29
D.4.7.3 – VOLCAMIENTO DE LA HILADA DE APOYO ... D-29
D.4.7.4 – LOSAS PREFABRICADAS ... D-29
D.4.8 – APUNTALAMIENTO DE MUROS ... D-29
D.4.9 – JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN ... D-29
D.4.10 – CURADO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA ... D-29
D.4.10.1 – MAMPOSTERÍA CON UNIDADES DE CONCRETO O SÍLICO-CALCÁREAS ... D-29

D.4.10.2 – MAMPOSTERÍA CON UNIDADES DE ARCILLA D-29

CAPÍTULO D.5 – REQUISITOS GENERALES DE ANÁLISIS Y DISEÑO D-31
D.5.0 – NOMENCLATURA D-31
D.5.1 – HIPÓTESIS Y PRINCIPIOS GENERALES D-32
D.5.1.1 – GENERALIDADES D-32
D.5.1.2 – METODOLOGÍA DE DISEÑO POR ESTADOS LIMITES DE RESISTENCIA D-32
D.5.1.3 – RESISTENCIA REQUERIDA D-32
D.5.1.4 – RESISTENCIA DE DISEÑO D-32
D.5.1.5 – VALORES DE ϕ D-32
D.5.1.5.1 – Efectos Gravitacionales y Fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro D-32
D.5.1.5.2 – Fuerzas paralelas al plano del muro D-32
D.5.1.5.3 – Valores de ϕ para esfuerzos de aplastamiento D-33
D.5.1.6 – SUPOSICIONES DE DISEÑO D-33
D.5.1.6.1 – Resistencia a la tracción de la mampostería D-33
D.5.1.6.2 – Compatibilidad de deformaciones D-33
D.5.1.6.3 – Secciones planas permanecen planas D-33
D.5.1.6.4 – Relación esfuerzo deformación para el acero de refuerzo D-33
D.5.1.6.5 – Deformación unitaria máxima en la mampostería D-33
D.5.1.6.6 – Relación esfuerzo deformación para la mampostería D-33
D.5.2. – MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y DE CORTANTE D-34
D.5.2.1 – MODULO DE ELASTICIDAD D-34
D.5.2.1.1 –Acero de refuerzo D-34
D.5.2.1.2 – Mampostería D-34
D.5.2.1.3 – Mortero de relleno D-34
D.5.2.2 – MODULO DE CORTANTE D-34
D.5.3 – CARGAS D-34
D.5.3.1 – SOLICITACIONES A EMPLEAR D-34
D.5.3.1.1 – Combinación de las solicitaciones D-34
D.5.3.1.2 – Otros efectos D-35
D.5.3.2 – DISTRIBUCIÓN DE FUERZA LATERAL D-35
D.5.3.2.1 – Efecto de las aletas de la sección D-35
D.5.3.2.2 – Efectos torsionales D-35
D.5.3.3 – CARGAS CONCENTRADAS D-35
D.5.3.4 – CARGA EXCÉNTRICA D-35
D.5.3.4.1 – Apoyos provisionales D-35
D.5.4 – CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES EFECTIVAS D-35
D.5.4.1 – ÁREA EFECTIVA ($\mathbf{A_e}$) D-35
D.5.4.2 – ESPESOR EFECTIVO PARA EVALUAR EL EFECTO DE PANDEO (**t**) D-35
Tabla D.5.4-1 – Coeficientes para muros arriostrados por machones D-36
D.5.4.3 – ALTURA EFECTIVA PARA EVALUAR EL EFECTO DE PANDEO (**h'**) D-36
D.5.4.4 – ANCHO EFECTIVO (**b**) D-36
D.5.4.4.1 – Ancho efectivo **b** para flexión perpendicular al plano del muro D-36
D.5.4.4.2 – Ancho efectivo **b** para flexión paralela al plano del muro D-36
D.5.4.5 – ÁREA EFECTIVA PARA DETERMINAR ESFUERZOS CORTANTES ($\mathbf{A_{mv}}$) D-36
D.5.4.5.1 – Área efectiva $\mathbf{A_{mv}}$ para cortante en la dirección perpendicular al plano del muro D-36
D.5.4.5.2 – Área efectiva $\mathbf{A_{mv}}$ para cortante en la dirección paralela al plano del muro D-37
D.5.4.6 – DISTANCIA ENTRE APOYOS EN VIGAS Y DINTELES D-37
D.5.4.7 – RIGIDEZ MÍNIMA A FLEXIÓN EN VIGAS Y DINTELES D-37
D.5.4.8 – VIGAS DE SECCIÓN ALTA D-37
D.5.5 – RESISTENCIA PARA CARGA AXIAL DE COMPRESIÓN D-37
D.5.5.1 – MÁXIMA RESISTENCIA AXIAL TEÓRICA D-37
D.5.5.2 – REDUCCIÓN DE RESISTENCIA AXIAL POR ESBELTEZ D-37
D.5.5.3 – RESISTENCIA NOMINAL PARA CARGA AXIAL D-37
D.5.5.4 – MÁXIMA RESISTENCIA DE DISEÑO PARA CARGA AXIAL D-37
D.5.6 – RESISTENCIA A FLEXIÓN SIN CARGA AXIAL D-38
D.5.6.1 – GENERAL D-38
D.5.6.2 – SECCIONES SOLO CON REFUERZO A TRACCIÓN D-38
D.5.6.3 – SECCIONES CON REFUERZO A COMPRESIÓN D-38
D.5.7 – DISEÑO DE MUROS EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR A SU PLANO D-38
D.5.7.1 – GENERAL D-38
D.5.7.2 – RESISTENCIA A FLEXIÓN PARA MUROS CON CARGA AXIAL MENOR QUE $\mathbf{0.10 f'_m A_e}$ D-38
D.5.7.3 – RESISTENCIA A FLEXIÓN PARA MUROS CON CARGA AXIAL MAYOR QUE $\mathbf{0.10 f'_m A_e}$ D-39
D.5.7.4 – RESISTENCIA A CORTANTE EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL PLANO DEL MURO D-39
D.5.8 – DISEÑO DE MUROS EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO D-39
D.5.8.1 – GENERAL D-39
D.5.8.2 – RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXIÓN D-39
Tabla D.5.8-1 – Módulos de ruptura $\mathbf{f_r}$ D-40
D.5.8.3 – RESISTENCIA A LA FLEXO-COMPRESIÓN D-40
D.5.8.4 – RESISTENCIA A CORTANTE EN LA DIRECCIÓN PARALELA AL PLANO DEL MURO D-40
D.5.8.4.1 – Verificación de articulación plástica D-40
D.5.8.4.2 – Valor de $\mathbf{V_m}$ D-41
Tabla D.5.8-2 – Valor del cortante nominal resistido por la mampostería, $\mathbf{V_m}$ D-41
D.5.8.4.3 – Valor de $\mathbf{V_s}$ D-41

D.5.8.4.4 – Valores máximos de V_n D-41
Tabla D.5.8-3 – Valores máximos para el cortante nominal V_m D-42
D.5.8.5 – ELEMENTOS DE BORDE D-42

CAPÍTULO D.6 – MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA D-43
D.6.1 – REQUISITOS GENERALES D-43
D.6.1.1 GENERAL D-43
D.6.1.2 – DEFINICIÓN D-43
D.6.1.2.1 – Unidades de mampostería D-43
D.6.1.2.2 – Mortero de pega D-43
D.6.1.2.3 – Mortero de relleno D-43
D.6.1.3 – ESPESOR MÍNIMO D-43
D.6.1.4 – CONECTORES D-43
D.6.1.4.1 – Propósito D-43
D.6.1.4.2 – Conectores en Z D-43
D.6.1.5 – VENTANAS DE LIMPIEZA D-43
D.6.1.6 – RESISTENCIA MÍNIMA D-43
D.6.2 – USOS DE LA MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA D-43
D.6.3 – REQUISITOS DEL REFUERZO D-44
D.6.3.1 – GENERAL D-44
D.6.3.2 – REFUERZO MÍNIMO D-44
D.6.3.2.1 – Separación del refuerzo D-44
D.6.3.3 – REFUERZO EN ABERTURAS D-44
D.6.3.4 – REFUERZO EN COMPRESIÓN D-44
D.6.3.5 – DIÁMETRO MÍNIMO D-44
D.6.3.6 – CAPAS DE REFUERZO D-44
D.6.4 – REQUISITOS DE DISEÑO D-44
D.6.4.1 – GENERAL D-44
D.6.4.2 – ANÁLISIS D-45
D.6.4.3 – MODULO DE ELASTICIDAD D-45
D.6.4.4 – SECCIÓN TRANSFORMADA D-45
D.6.4.5 – MONOLITISMO D-45
D.6.4.5.1 – Esfuerzo cortante de contacto D-45
D.6.5 – REQUISITOS ADICIONALES DE CONSTRUCCIÓN D-45
D.6.5.1 – PAREDES LATERALES D-45
D.6.5.2 – REFUERZO HORIZONTAL EN LA CAVIDAD D-45
D.6.5.3 – INYECCIÓN DE LA CAVIDAD D-45
D.6.5.3.1 – Altura de inyección D-45
D.6.5.3.2 – Longitud de la inyección D-45
D.6.5.4 – CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES D-45

CAPÍTULO D.7 – MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA CONSTRUIDOS CON UNIDADES DE PERFORACIÓN VERTICAL D-47
D.7.1 GENERALIDADES D-47
D.7.2 – USOS DE LA MAMPOSTERÍA REFORZADA D-47
D.7.2.1.1 – Muros de mampostería reforzada con capacidad especial de disipación de energía (DES) D-47
D.7.2.1.2 – Muros de mampostería reforzada con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) D-47
D.7.3 – REFUERZO DE MUROS D-48
D.7.3.1 – CUANTÍA MÍNIMA D-48
D.7.3.2 – REFUERZO VERTICAL MÍNIMO D-48
D.7.3.3 – REFUERZO HORIZONTAL MÍNIMO D-48
D.7.4 REQUISITOS DE DISEÑO D-48
D.7.5 REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN D-48

CAPÍTULO D.8 – MUROS DE MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA CONSTRUIDOS CON UNIDADES DE PERFORACIÓN VERTICAL D-49
D.8.1 – GENERALIDADES D-49
D.8.2 – USOS DE LA MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA CONSTRUIDA CON UNIDADES DE PERFORACIÓN VERTICAL D-49
D.8.3 – REFUERZO DE MUROS D-49
D.8.3.1 – CUANTÍA MÍNIMA D-49
D.8.3.2 – REFUERZO VERTICAL MÍNIMO D-49
D.8.3.3 – REFUERZO HORIZONTAL MÍNIMO D-49
D.8.4 – DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA CONSTRUIDA CON UNIDADES DE PERFORACIÓN VERTICAL D-50
D.8.5 REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN D-50

CAPÍTULO D.9 – MUROS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA D-51
D.9.1 – GENERALIDADES D-51
D.9.2 – USOS DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA D-51
D.9.3 – DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA D-51
D.9.4 REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN D-51

CAPÍTULO D.10 – MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS D-53
D.10.0 – NOMENCLATURA D-53
D.10.1 – REQUISITOS GENERALES D-54
D.10.1.1 – CLASIFICACIÓN D-54
D.10.1.2 – REQUISITOS COMPLEMENTARIOS D-54
D.10.2 – USOS DE LA MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS D-54
D.10.3 – REQUISITOS PARA LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA D-54
D.10.3.1 – GENERAL D-54
D.10.3.2 – UNIDADES DE MAMPOSTERÍA PERMITIDAS D-54
D.10.3.2.1 – Valores mínimos para la resistencia de las unidades $\mathbf{f'_{cu}}$ D-54
Tabla D.10.3-1 – Resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada D-54
D.10.3.2.2 – Restricción al uso del bloque de perforación horizontal de arcilla D-54
D.10.3.3 – ESPESOR MÍNIMO DEL MURO D-55
D.10.3.4 – ÁREA MÍNIMA DE MUROS CONFINADOS POR NIVEL D-55
D.10.4 – REQUISITOS GENERALES PARA LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO D-55
D.10.4.1 – RESISTENCIA DEL CONCRETO D-55
D.10.4.2 – COMPATIBILIDAD CON EL TITULO C D-55
D.10.4.3 – REFUERZO INTERIOR EN EL MURO D-55
D.10.5 – COLUMNAS DE CONFINAMIENTO D-55
D.10.5.1 – GENERAL D-55
D.10.5.2 – DIMENSIONES MÍNIMAS D-55
D.10.5.2.1 – Espesor mínimo D-55
D.10.5.2.2 – Área mínima D-55
D.10.5.3 – UBICACIÓN D-55
D.10.5.4 – REFUERZO MÍNIMO D-55
D.10.5.5 – ANCLAJE DEL REFUERZO D-56
D.10.5.6 – REFUERZO TRANSVERSAL DE CONFINAMIENTO D-56
D.10.6 – VIGAS DE CONFINAMIENTO D-56
D.10.6.1 – GENERAL D-56
D.10.6.2 – DIMENSIONES MÍNIMAS D-56
D.10.6.2.1 – Espesor mínimo D-56
D.10.6.2.2 – Área mínima D-56
D.10.6.3 – UBICACIÓN D-56
D.10.6.4 – REFUERZO MÍNIMO D-56
D.10.6.4.1 – Vigas que continúan fuera del muro confinado D-57
D.10.6.5 – ANCLAJE DEL REFUERZO D-57
D.10.6.6 – VIGA DE AMARRE SOBRE LA CIMENTACIÓN D-57
D.10.6.7 – CINTAS DE AMARRE D-57
D.10.7 – REQUISITOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO D-57
D.10.7.1 – GENERAL D-57
D.10.7.2 – VALORES DE ϕ D-57
D.10.7.3 – SUPOSICIONES DE DISEÑO D-57
D.10.7.4 – DISEÑO PARA CARGA AXIAL DE COMPRESIÓN D-58
D.10.7.5 – DISEÑO DEL MURO EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR A SU PLANO D-58
D.10.7.5.1 – Resistencia a flexo-compresión D-58
D.10.7.5.2 – Resistencia a cortante D-58
D.10.7.6 – DISEÑO A FLEXO-COMPRESIÓN DEL MURO EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO D-58
D.10.7.6.1 – Resistencia a flexo-compresión despreciando la contribución de la mampostería D-58
D.10.7.6.2 – Resistencia a flexo-compresión teniendo en cuenta la contribución de la mampostería D-59
D.10.7.7 – DISEÑO A CORTANTE DEL MURO EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO D-60
D.10.7.8 – VERIFICACIÓN POR APLASTAMIENTO DEL ALMA DEL MURO D-60
D.10.7.9 – VERIFICACIÓN A CORTANTE EN LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO DEL MURO D-60
D.10.7.10 – DISEÑO DEL ACERO LONGITUDINAL DE LA VIGA DE CONFINAMIENTO D-61
D.10.8 – REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN D-61
D.10.8.1 – GENERAL D-61
D.10.8.2 – DETALLES DEL REFUERZO D-61
D.10.8.3 – REQUISITOS COMPLEMENTARIOS PARA LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO D-61
D.10.8.4 – CONSTRUCCIÓN DEL MURO D-61
D.10.8.5 – JUNTAS DE CONTROL D-61
D.10.8.6 – VACIADO DE LAS COLUMNAS DE CONFINAMIENTO D-61
D.10.8.7 – VIGAS DE CONFINAMIENTO D-61

CAPÍTULO D.11 – MUROS DIAFRAGMA D-63
D.11.1 – GENERALIDADES D-63
D.11.1.1 – ALCANCE D-63
D.11.1.2 – ANÁLISIS D-63
D.11.1.3 – UNIDADES DE MAMPOSTERÍA D-63
D.11.1.4 – ESPESOR MÍNIMO, APAREJO Y MORTERO D-63
D.11.2 – USOS DE LA MAMPOSTERÍA DE MUROS DIAFRAGMA D-63
D.11.2.1 – LIMITACIONES AL USO D-63
D.11.2.2 – VALORES DE $\mathbf{R_0}$ A EMPLEAR D-63
D.11.2.3 – METODOLOGÍA DE DISEÑO D-63
D.11.3 – REFUERZOS D-63
D.11.4 – REQUISITOS DE DISEÑO PARA MAMPOSTERÍA DE MUROS DIAFRAGMA D-63

D.11.4.1 – COMPROBACIONES MÍNIMAS D-63
D.11.4.2 – CORTANTE MÁXIMO D-64
Tabla D.11.1-1 – Valores máximos para v_m en muros diafragma (MPa) D-64
D.11.4.3 – COLUMNAS Y VIGAS DEL PÓRTICO ARRIOSTRADO D-64
D.11.4.4 – OTROS REQUISITOS D-64
D.11.4.5 – CONSTRUCCIÓN D-64

CAPÍTULO D.12 – MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE D-65
D.12.0 – NOMENCLATURA D-65
D.12.1 – REQUISITOS GENERALES D-65
D.12.1.1 – GENERAL D-65
D.12.1.2 – DEFINICIÓN D-65
D.12.1.2.1 – Unidades de mampostería D-65
D.12.1.2.2 – Mortero de pega D-65
D.12.1.2.3 – Mortero de revoque D-65
D.12.1.3 – ESPESOR MÍNIMO D-65
D.12.1.4 – RESISTENCIA MÍNIMA D-65
D.12.2 – USOS DE LA MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE D-65
D.12.3 – REQUISITOS DEL REFUERZO D-66
D.12.3.1 – GENERAL D-66
D.12.3.2 – REFUERZO MÍNIMO D-66
D.12.3.2.1 – Separación del refuerzo D-66
D.12.3.3 –ANCLAJE DEL REFUERZO D-66
D.12.4 – REQUISITOS DEL DISEÑO D-66
D.12.4.1 – GENERAL D-66
D.12.4.2 – ANÁLISIS D-66
D.12.4.3 – MÓDULOS DE ELASTICIDAD D-67
D.12.4.4 – SECCIÓN TRANSFORMADA D-67
D.12.4.5 – MONOLITISMO D-67
D.12.4.6 – ANÁLISIS Y DISEÑO SIMPLIFICADO D-67
D.12.5 – REQUISITOS ADICIONALES DE CONSTRUCCIÓN D-67
D.12.5.1 – ESPESOR DE LA CAPA DE MORTERO DE RECUBRIMIENTO D-67
D.12.5.2 – RECUBRIMIENTO MÍNIMO A LA MALLA DE REFUERZO D-67
D.12.5.3 – CURADO DEL MORTERO DE RECUBRIMIENTO O REVOQUE D-67
D.12.5.4 – CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES D-67

APÉNDICE D-1 – DISEÑO DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE LOS ESFUERZOS DE TRABAJO ADMISIBLES D-69
D-1.0 – NOMENCLATURA D-69
D-1.1 – ALCANCE D-69
D-1.2. – PRINCIPIOS GENERALES D-69
D-1.3 – CARGAS D-70
D-1.4 – CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES EFECTIVAS D-70
D-1.5 – DISEÑO POR EL MÉTODO DE LOS ESFUERZOS DE TRABAJO ADMISIBLES D-70
D-1.5.1 – GENERALIDADES D-70
D-1.5.2 – ESFUERZOS ADMISIBLES PARA COMPRESIÓN AXIAL D-70
D-1.5.3 – ESFUERZOS ADMISIBLES PARA COMPRESIÓN POR FLEXIÓN D-71
D-1.5.4 – ESFUERZOS ADMISIBLES PARA TRACCIÓN POR FLEXIÓN EN LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA D-71
Tabla D-1.5-1 – Esfuerzos admisibles para tracción por flexión en muros con aparejo trabado F_t (MPa) D-71
D-1.5.5 – ESFUERZOS COMBINADOS – ECUACIÓN FUNDAMENTAL D-72
D-1.5.6 – ESFUERZOS ADMISIBLES DE CORTANTE PARA VIGAS D-72
D-1.5.7 – ESFUERZOS ADMISIBLES PARA CORTANTE EN MUROS D-72
D-1.5.9 – SECCIÓN CRÍTICA PARA CORTANTE D-73
D-1.5.10 – ESFUERZOS ADMISIBLES EN EL REFUERZO D-73

NOTAS:

TÍTULO D
MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

CAPÍTULO D.1
REQUISITOS GENERALES

D.1.1 — ALCANCE

D.1.1.1 — **ALCANCE** — El Título D de este Reglamento establece los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos. Estas estructuras tienen un nivel de seguridad comparable a las estructuras de otros materiales, cuando se diseñan y construyen de acuerdo con los requisitos del presente Reglamento.

D.1.1.2 — **ESTRUCTURAS ESPECIALES** — Para estructuras especiales tales como arcos, bóvedas, tanques, silos y chimeneas, los requisitos del Título D de este Reglamento pueden utilizarse cuando sean aplicables, a juicio del ingeniero diseñador.

D.1.1.3 — **PROPÓSITO** — Los requisitos establecidos en este Título están dirigidos a lograr un comportamiento apropiado de las construcciones en mampostería estructural y su integridad estructural bajo las condiciones de carga vertical permanente o transitoria, bajo condiciones de fuerza lateral, de viento o de sismo y bajo estados ocasionales de fuerzas anormales.

D.1.1.4 — **COMPLEMENTO** — El Título D se complementa con los otros Títulos de este Reglamento. En el eventual caso de conflicto entre uno o varios de los requisitos, debe adoptarse como válido el más severo de ellos.

D.1.1.5 — **REQUISITOS MÍNIMOS** — Los procedimientos y las especificaciones establecidas constituyen los requisitos mínimos que deben cumplir el diseño y la construcción de estructuras de mampostería, con el objetivo de la protección a la vida y en lo posible los bienes materiales de los usuarios de la edificación.

D.1.1.6 – PROCEDIMIENTO DE DISEÑO – Las estructuras de mampostería deben diseñarse por el método del estado límite de resistencia utilizando las combinaciones de carga, descritas en B.2.4, y los requisitos del Título D que se presentan para este método. No obstante, se permite el diseño de estructuras de mampostería por el método de esfuerzos de trabajo admisibles utilizando las combinaciones de carga, descritas en B.2.3 y para el efecto deben emplearse los requisitos alternos presentados en el Apéndice D-1 – Diseño de estructuras de mampostería por el método de los esfuerzos de trabajo admisibles. Todo el diseño de la estructura debe realizarse por uno de los dos métodos.

D.1.2 — PLANOS Y MEMORIAS

D.1.2.1 — **PLANOS ESTRUCTURALES** — Además de los requisitos establecidos en A.1.5.2 de este Reglamento, debe especificarse y detallarse en los planos lo siguiente:

- **(a)** Características de las unidades de mampostería utilizadas en el diseño, indicando la norma NTC, de las normas permitidas que se citan en la sección D.3.6, bajo la cual deben ser fabricadas.
- **(b)** Valor de la resistencia nominal a la compresión de la mampostería utilizada en los diferentes elementos estructurales, especificada respecto al área neta promedio de la sección $\left(\mathbf{f'_m}\right)$.
- **(c)** Definición del mortero de pega como tipo H, M, S o N, de los indicados en la sección D.3.4, fijando su resistencia mínima a la compresión, medida como se define en esa misma sección.
- **(d)** Ubicación de las celdas y cavidades que deben inyectarse con mortero de relleno.
- **(e)** Definición del tipo de mortero de relleno, de los indicados en la sección D.3.5, prescribiendo su resistencia mínima a la compresión, medida como se define en esa misma sección.
- **(f)** Tamaño y localización de todos los elementos especificados.
- **(g)** Tamaño especificado, resistencia, tipo y localización del acero de refuerzo, anclajes mecánicos y conectores utilizados en el diseño.

(h) Ubicación, tamaño y características de las juntas de control y de las juntas de construcción.
(i) Ubicación y tamaño de las celdas de inspección.

D.1.2.2 — **MEMORIAS** — Se debe cumplir lo estipulado al respecto en A.1.5.3.

D.1.3 — SUPERVISION TÉCNICA

D.1.3.1 — **OBLIGATORIEDAD DE LA SUPERVISIÓN TÉCNICA** — Toda edificación de más de 3000 m² de área construida debe someterse a una Supervisión Técnica, como lo indica la Ley 400 de 1997. El Supervisor técnico debe cumplir lo dispuesto en el Título I, Supervisión Técnica, del presente Reglamento. Dada la susceptibilidad de la mampostería estructural a los defectos de la calidad de la mano de obra y a la calidad de los materiales utilizados; es recomendable en edificaciones de menos de 3000 m², que toda obra que se realice con este sistema se construya bajo estricta supervisión técnica de un profesional idóneo, Ingeniero Civil o Arquitecto debidamente matriculado, o un representante competente bajo su responsabilidad.

D.1.3.2 — **ALCANCE DE LA SUPERVISIÓN** — El supervisor técnico debe verificar la concordancia entre la obra ejecutada y los planos y especificaciones de construcción, de acuerdo con lo estipulado en la sección I.2.4 del presente Reglamento.

D.1.3.3 – REGISTRO DE LAS LABORES DE SUPERVISIÓN - El Supervisor técnico debe llevar un registro escrito de su labor. Además de lo reglamentado en A.1.3.9 y en el Título I, el supervisor técnico debe controlar y registrar la calidad de las unidades de mampostería, de los morteros de pega y de relleno, la disposición de las armaduras, anclajes y conectores. Igualmente debe supervisar las operaciones de inyección de mortero.

D.1.4 — REQUISITOS GENERALES PARA LAS ESTRUCTURAS EN MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

D.1.4.1 — **RESISTENCIA ANTE CARGAS HORIZONTALES EN DOS DIRECCIONES ORTOGONALES EN PLANTA** — Los muros estructurales son elementos de gran rigidez para fuerzas aplicadas en su plano y de baja rigidez y resistencia cuando se aplican fuerzas perpendiculares a su plano. Por tal razón, toda estructura conformada por muros estructurales debe tener componentes en las dos direcciones ortogonales principales de la edificación, mediante la disposición de muros en las direcciones apropiadas o por medio del uso de elementos compuestos cuya geometría en planta genere rigidez en dos direcciones principales.

> **D.1.4.1.1** — ***Diferencia en rigidez entre las dos direcciones principales en planta*** — En cualquier piso en edificaciones de mampostería estructural con tres niveles o más, la rigidez aportada por el conjunto de elementos estructurales existentes en una dirección, no puede ser inferior al 20% de la rigidez existente en la dirección ortogonal. En edificaciones de uno y dos niveles esta relación puede reducirse al 10%.

D.1.4.2 — **MODELO MATEMÁTICO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS** — Se puede utilizar para el análisis estructural el modelo de muros en voladizo empotrados en la base y arriostrados lateralmente por los diafragmas de piso. En su defecto, puede utilizarse cualquier modelo estructural alternativo compatible con el funcionamiento real de la construcción ante la solicitación analizada, siempre que se garantice por evidencia experimental o teórica la mejor precisión de la respuesta determinada con el modelo alternativo.

D.1.4.3 — **DIAFRAGMAS HORIZONTALES DE PISO** — El sistema de piso utilizado como diafragma debe diseñarse para atender los esfuerzos derivados de su función, teniendo en cuenta lo dispuesto en A.3.6.8.

D.1.4.4 — **INCONVENIENCIA DE LA COMBINACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES** — Debido a que la estructura puede verse sometida a condiciones de trabajo en el rango inelástico bajo sismos severos, no se considera conveniente la combinación en altura de sistemas estructurales de diferentes capacidades de disipación de energía.

D.1.4.5 — **REQUISITOS PARA LA COMBINACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA** — En caso de que se utilice la combinación en planta, o en la altura, de sistemas estructurales diferentes, deben cumplirse los requisitos enunciados en las secciones A.3.2.4 y A.3.2.5.

D.1.4.6 — **LÍMITES DE DERIVA PARA SISTEMAS DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL** — Los valores de los limites de la deriva para construcciones en mampostería estructural están indicados en la tabla A.6.4-1 de este

Reglamento.

D.1.4.7 — **REQUISITOS PARA LOS MATERIALES** — Todos los materiales utilizados en la construcción de estructuras de mampostería deben cumplir las normas y especificaciones relacionadas en el capítulo D.3.

D.1.4.8 — **CONDICIONES AMBIENTALES** — Cuando las condiciones ambientales estén por fuera de las normales o puedan afectar negativamente las características especificadas de los materiales, deben tomarse precauciones adicionales de manera que se garantice el funcionamiento correcto de la construcción realizada en estas condiciones.

D.1.4.9 — **MANO DE OBRA EN LAS ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA** — Debe darse especial importancia a la utilización de mano de obra calificada. Los controles iniciales y previos de la construcción deben ser los especificados, con el objeto de poder determinar la calificación más exigente del personal involucrado.

Notas

CAPÍTULO D.2
CLASIFICACIÓN, USOS, NORMAS, NOMENCLATURA Y DEFINICIONES

D.2.1 — CLASIFICACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

Estas normas reconocen los siguientes tipos de mampostería:

D.2.1.1 — **MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA** — Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas ó no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto y que cumple los requisitos del capítulo D.6. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (*DES*).

D.2.1.2 — **MAMPOSTERÍA REFORZADA** — Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.7. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (*DES*) cuando todas sus celdas se inyectan con mortero de relleno o cuando se cumpla con los requisitos adicionales de refuerzos mínimos descritos en D.7.2.1.1, y como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (*DMO*) cuando sólo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo.

D.2.1.3 — **MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA** — Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.8. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico *(DMO)*.

D.2.1.4 — **MAMPOSTERÍA NO REFORZADA** — Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Debe cumplir los requisitos del capítulo D.9. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DMI*).

D.2.1.5 — **MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS** — Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro, confinándolo y que cumple los requisitos del capítulo D.10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico *(DMO).*

D.2.1.6 — **MAMPOSTERÍA DE MUROS DIAFRAGMA** — Se llaman muros diafragma de mampostería a aquellos muros colocados dentro de una estructura de pórticos, los cuales restringen su desplazamiento libre bajo cargas laterales. Los muros diafragma deben cumplir los requisitos del capítulo D.11. Este tipo de construcción no se permite para edificaciones nuevas, y su empleo sólo se permite dentro del alcance del Capítulo A.10, aplicable a la adición, modificación o remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento, o de la evaluación de su vulnerabilidad sísmica.

D.2.1.7 — **MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE** — Es la construcción de mampostería en donde el refuerzo se coloca dentro de una capa de revoque (pañete) fijándolo al muro de mampostería mediante conectores y/o clavos y cumple con los requisitos descritos en D.12. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico *(DMI).*

D.2.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

D.2.2.1 — **USOS PERMITIDOS** — Se permite, de acuerdo con el Reglamento, el uso de la mampostería estructural como sistema estructural, siempre y cuando se cumpla con las salvedades establecidas en el presente Título, las

limitaciones de uso para los diferentes tipos de mampostería estructural del capítulo A.3, según la zona de amenaza sísmica, el grupo de uso de la edificación, y el tipo de sistema estructural.

D.2.2.2 — **COMBINACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES** — La combinación de sistemas estructurales que incluyen mampostería estructural tiene las mismas limitaciones y debe cumplir con los requisitos descritos en el capítulo A.3 de este Reglamento.

D.2.2.3 — **ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO DENTRO DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL** — Se permite el empleo de elementos de concreto reforzado embebidos dentro de la mampostería estructural, o en combinación con ella, en elementos tales como dinteles, vigas, elementos colectores de diafragmas, machones, etc., para los casos diferentes a los contemplados explícitamente dentro de cada uno de los tipos de mampostería estructural. El diseño de estos elementos se debe realizar siguiendo los requisitos del Título C del Reglamento, para el mismo grado de capacidad de disipación de energía en el rango inelástico en que se clasifique el tipo de mampostería en el cual están colocados los elementos de concreto reforzado. Los enchapes realizados con piezas de mampostería cuando se utilicen como formaleta para vaciar el concreto, pueden considerarse como parte del recubrimiento de los elementos de concreto reforzado. Los valores del coeficiente básico de disipación de energía $\mathbf{R_0}$, que se emplee en el diseño de estos elementos debe ser el mismo asignado al sistema de mampostería estructural en el capítulo A.3.

D.2.3 — NORMAS Y ESPECIFICACIONES CITADAS EN EL TÍTULO D DEL REGLAMENTO

Las siguientes normas Técnicas Colombianas NTC del Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC, y de la Sociedad Americana para ensayos de Materiales, ASTM, a las cuales se hace referencia en el Título D de este Reglamento, y hacen parte integral de él. Debe consultarse A.1.6 respecto a la obligatoriedad de las normas técnicas mencionadas en este Título del Reglamento.

Normas NTC promulgadas por el ICONTEC

NTC 121 — Cemento Portland — Especificaciones físicas y mecánicas.

NTC 161 — Barras lisas de acero al carbono para concreto armado. (Nota: C.3.5.4 impone limitaciones a la utilización de este tipo de acero de refuerzo). (ASTM A615)

NTC 245 — Barras de acero al carbono trabajadas en frío para concreto reforzado armado. (Nota: Se prohibe el uso de este tipo de acero).

NTC 248 — Barras corrugadas de acero al carbono para concreto reforzado armado. (Nota: C.3.5.3 impone requisitos adicionales a los que contiene esta Norma). (ASTM A615)

NTC 296 — Dimensiones modulares de ladrillos cerámicos.

NTC 321 — Cemento Portland — Especificaciones químicas.

NTC 673 — Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C39).

NTC 922 — Ladrillos sílico-calcáreos. (ASTM C73)

NTC 1925 — Mallas soldadas fabricadas con alambre liso de acero para concreto reforzado. (ASTM A185)

NTC 2240 — Agregados usados en morteros de mampostería. (ASTM C144)

NTC 2289 — Barras y rollos corrugados de acero de baja aleación y/o termotratados para concreto reforzado en construcciones de diseño sismo resistente. (ASTM A706)

NTC 2310 — Mallas soldadas fabricadas con alambre corrugado para refuerzo de concreto. (ASTM A497)

NTC 3329 — Especificaciones del mortero para unidades de mampostería. (ASTM C270)

NTC 3356 — Mortero premezclado de larga duración para unidades de mampostería. (ASTM C1142)

NTC 3495 — Resistencia a la compresión de prismas de mampostería. (ASTM E447)

NTC 3546 — Método de ensayo para la evaluación en el laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada. Toma de muestras y ensayo del mortero de pega para mampostería. (ASTM C780)

NTC 4002 – Siderurgia. Alambre liso de acero para refuerzo de concreto. (ASTM A82)

NTC 4017 – Método de ensayo para unidades de mampostería de arcilla cocida. (ASTM C67)

NTC 4019 — Cal hidratada para mampostería. (ASTM C207)

NTC 4020 — Agregados para mortero de inyección para mampostería. (ASTM C404)

NTC 4024 — Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibrocompactados. (ASTM C140)

NTC 4026 — Unidades bloques y ladrillos de concreto para mampostería estructural. (ASTM C90)

NTC 4040 — Procedimientos de soldadura aplicables al acero para refuerzo de concreto. (ANSI/AWS D1.4)

NTC 4043 — Muestreo y ensayo de concreto fluido (Grouts). (ASTM C1019)

NTC 4046 — Cal viva (CaO) para propósitos estructurales. (ASTM C5)

NTC 4048 — Lechadas (Grouts) para mampostería. (ASTM C476)

NTC 4050 — Cemento para mampostería. (ASTM C91)

NTC 4076 — Unidades de concreto bloques y ladrillos para mampostería no estructural. (ASTM C129)

NTC 4205 — Unidades de mampostería de arcilla cocida (ladrillos y bloques) (ASTM C34, C56 y C62)

NTC 4383 — Términos y definiciones sobre mampostería de concreto.

Normas ASTM

A 82 — Specification for Steel Wire, plain for concrete reinforcement. (NTC 4002)

A 185 — Standard Specification for Steel Welded Wire Fabric, Plain, for Concrete Reinforcement. (NTC 1925)

A 706 — Specification for low-alloy steel deformed bars for concrete reinforcement. (NTC 2289)

A 497 — Standard Specification for Steel Welded Wire Fabric, Deformed, for Concrete Reinforcement. (NTC 2310)

C 5 — Specification for quicklime for structural purposes. (NTC 4046)

C 34 — Specification for structural clay load-bearing wall tile. (NTC 4205)

C 55 — Specification for concrete building brick. (NTC 4026)

C 56 — Specification for structural clay, non-load bearing tile. (NTC 4205)

C 62 — Specification for building brick (Solid masonry units made from clay or shale). (NTC 4205)

C 67 — Test methods of sampling and testing brick and structural clay tile. (NTC 4017)

C 73 — Specification for calcium silicate face brick (Sand-lime brick). (NTC 922)

C 90 — Specification for load-bearing concrete masonry units. (NTC 4026)

C 91 — Specification for masonry cement. (NTC 4050)

C 109 — Test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or 50-mm cube specimens). (NTC 220)

C 129 — Specification for non-load-bearing concrete masonry units. (NTC 4076)

C 140 — Method of sampling and testing concrete masonry units. (NTC 4024)

C 144 — Specification for aggregate for masonry mortar. (NTC 2240)

C 150 — Specification for portland cement.

C 207 — Specification for hydrated lime for masonry purposes. (NTC 4019)

C 212 — Specification for structural clay facing tile. (NTC 4205)

C 216 — Specification for facing brick (Solid masonry units made from clay or shale). (NTC 4205)

C 270 — Specification for mortar for unit masonry. (NTC 3329)

C 404 — Specification for aggregate for masonry grout. (NTC 4020)

C 476 — Specification for grout for masonry. (NTC 4048)

C 595 — Standard specification for blended hydraulic cements.

C 652 — Specification for hollow brick (Hollow masonry units made from clay or shale) (NTC 4205)

C 780 — Test method for pre-construction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry. (NTC 3546)

C 897 — Specification for Aggregate for Job-Mixed Portland Cement – Based Plasters.

C 926 — Specification for Application of Portland Cement – Based Plaster.

C 1019 — Method for sampling and testing grout. (NTC 4043)

C 1142 — Specification for ready-mixed mortar for masonry. (NTC 3356)

E 447 — Test methods for compressive strength of masonry prisms. (NTC 3495)

Normas de la AWS:

"Structural Welding Code - Reinforcing Steel" (ANSI/AWS D1.4-92) of the American Welding Society (NTC 4040).

D.2.4 — NOMENCLATURA

$\mathbf{A_a}$ = coeficiente de aceleración pico efectiva, véase el Título A.

$\mathbf{A_{ci}}$ = área de la sección de la columna de confinamiento $\mathbf{i}$, en mm². Capítulo D.10.

$\mathbf{A_{ct}}$ = área total de las columnas de confinamiento del muro, en mm². Capítulo D.10.

$\mathbf{A_e}$ = área efectiva de la sección de mampostería, mm^2. Véase D.5.4.1.

$\mathbf{A_m}$ = área mínima de los muros del piso, que actúan en la misma dirección en planta. Dentro del área de los muros se incluyen las columnas de confinamiento, en m². Capítulo D.10.

$\mathbf{A_{md}}$ = área efectiva de mampostería para verificación por aplastamiento, en mm². Capítulo D.10.

$\mathbf{A_{mv}}$ = área efectiva para determinar esfuerzos cortantes, mm^2. Véase D.5.4.5.

$\mathbf{A_p}$ = área del piso en el nivel considerado, en m². Capítulo D.10.

$\mathbf{A_{se}}$ = área efectiva de refuerzo en tracción, mm^2.

$\mathbf{A_{st}}$ = área total de acero de refuerzo en la sección de muro, o área total del acero de refuerzo longitudinal del elemento de confinamiento, en mm².

$\mathbf{A_{s1}}$ = área del refuerzo a tracción equilibrado por la compresión en la mampostería, mm^2.

$\mathbf{A_{s2}}$ = área del refuerzo a tracción equilibrado por el refuerzo a compresión, mm^2.

$\mathbf{A_v}$ = área de refuerzo horizontal que resiste cortante espaciado a una separación s medida verticalmente, mm^2.

$\mathbf{a}$ = profundidad del bloque equivalente de compresión (tomar como $\mathbf{0.85c}$), mm.

$\mathbf{a_b}$ = profundidad del bloque equivalente de compresión en condiciones balanceadas, ecuación (D.5.1-2), mm.

$\mathbf{b}$ = ancho efectivo de la sección, mm. Véase D.5.4.4.

$\mathbf{c}$ = profundidad del eje neutro en la zona de compresión, mm.

$\mathbf{d}$ = distancia de la cara de compresión al centroide del refuerzo en tracción, mm.

$\mathbf{d'}$ = distancia desde el centroide del refuerzo en compresión flexión hasta la fibra extrema en compresión.

$\mathbf{E}$ = efectos sísmicos reducidos.

$\mathbf{E_{cre}}$ = módulo de elasticidad del mortero de revoque o pañete, MPa.

$\mathbf{E_m}$ = módulo de elasticidad de la mampostería, MPa.

$\mathbf{E_r}$ = módulo de elasticidad del mortero de relleno, MPa.

$\mathbf{E_s}$ = módulo de elasticidad del acero de refuerzo, MPa.

$\mathbf{F_s}$ = fuerzas sísmicas.

$\mathbf{f'_c}$ = resistencia especificada a la compresión del concreto de los elementos de confinamiento, en MPa.

$\mathbf{f'_{cp}}$ = resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, MPa.

$\mathbf{f'_{cr}}$ = resistencia especificada a la compresión del mortero de relleno, MPa.

$\mathbf{f'_{cre}}$ = resistencia especificada a la compresión del mortero de recubrimiento ó revoque, MPa.

$\mathbf{f'_{cu}}$ = resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre área neta, MPa.

$\mathbf{f'_m}$ = resistencia especificada a la compresión de la mampostería, MPa.

$\sqrt{\mathbf{f'_m}}$ = raíz cuadrada de la resistencia a la compresión de la mampostería, en MPa.

$\mathbf{f_r}$ = módulo de ruptura de la mampostería, MPa.

$\mathbf{f_y}$ = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, MPa.

$\mathbf{G_m}$ = módulo de cortante de la mampostería, MPa.

$\mathbf{G_r}$ = módulo de cortante del mortero de relleno, MPa.

$\mathbf{h}$ = altura de la unidad de mampostería, en mm, para ser empleada en la ecuación (D.3.7-1).

$\mathbf{h'}$ = altura efectiva del elemento para evaluar efectos de pandeo, mm, véase D.5.4.3, o longitud de la diagonal del paño de muro entre elementos de confinamiento, o altura efectiva del elemento para evaluar efectos de pandeo en el Capítulo D.10.

$\mathbf{h_p}$ = altura del piso localizado por encima del elemento bajo estudio, medida centro a centro entre vigas de confinamiento, en mm. Capítulo D.10.

$\mathbf{I_{ct}}$ = momento de inercia de las columnas de confinamiento del muro, con respecto a su centroide, en mm^4. Capítulo D.10.

$\mathbf{K}$ = recubrimiento del refuerzo medido desde el extremo exterior de la unidad de mampostería**,** mm.

$\mathbf{k_p}$ = factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional, en la determinación de la resistencia a la compresión de la mampostería no inyectada.

$\mathbf{k_p = 1.4}$ para unidades de concreto

$\mathbf{k_p = 0.8}$ para unidades de arcilla o sílico-calcáreas

$\mathbf{k_r}$ = factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional, en la determinación de la resistencia a la compresión de la mampostería inyectada.

$\mathbf{k_r = 0.90}$ para unidades de concreto

$\mathbf{k_r = 0.75}$ para unidades de arcilla o sílico-calcáreas

ℓ = luz de una viga o dintel, mm.

ℓ_c = distancia horizontal entre columnas de confinamiento, medida centro a centro, para el paño de muro confinado bajo estudio, en mm. Capítulo D.10.

ℓ_w = longitud horizontal del muro, mm, o longitud horizontal total del muro, medida centro a centro entre columnas de confinamiento de borde, en el Capítulo D.10.

$\mathbf{M}$ = momento actuante que ocurre simultáneamente con $\mathbf{V}$.

$\mathbf{M_n}$ = resistencia nominal a flexión.

$\mathbf{M_{cr}}$ = momento de agrietamiento del muro de mampostería.

$\mathbf{M_u}$ = momento mayorado solicitado de diseño del muro.

$\mathbf{N}$ = número de niveles por encima del nivel considerado, Capítulo D.10.

$\mathbf{P_b}$ = carga axial nominal balanceada, N.

$\mathbf{P_n}$ = resistencia nominal a carga axial, N.

$\mathbf{P_{nc}}$ = fuerza axial resistente nominal en compresión sobre la columna de confinamiento, siempre positiva, en N.

$\mathbf{P_{nt}}$ = fuerza axial resistente nominal en tracción sobre la columna de confinamiento, siempre negativa, en N.

$\mathbf{P_o}$ = máxima resistencia axial teórica, N.

$\mathbf{P_u}$ = fuerza axial de diseño solicitada sobre el muro, en N.

$\mathbf{P_{uc}}$ = fuerza axial de diseño solicitada en compresión sobre la columna de confinamiento, siempre positiva, en N.

$\mathbf{P_{ud}}$ = fuerza axial que actúa sobre la biela diagonal del muro, en N. Capítulo D.10.

$\mathbf{P_{ut}}$ = fuerza axial de diseño solicitada en tracción sobre la columna de confinamiento, siempre negativa, en N. Capítulo D.10.

$\mathbf{\Delta P_{ui}}$ = valor absoluto del incremento de la fuerza axial sobre la columna de confinamiento $\mathbf{i}$, causada por el momento solicitado de diseño, $\mathbf{M_u}$, en N. Capítulo D.10.

$\mathbf{R}$ = coeficiente de capacidad de disipación de energía.

$\mathbf{R_e}$ = coeficiente utilizado para tener en cuenta los efectos de esbeltez en elementos a compresión.

$\mathbf{R_m}$ = parámetro definido por medio de la ecuación (D.3.7-1).

$\mathbf{R_0}$ = coeficiente básico de capacidad de disipación de energía.

$\mathbf{r}$ = relación entre el área neta y el área bruta de las unidades de mampostería, adimensional.

$\mathbf{s}$ = separación del refuerzo de cortante medida a lo largo del eje vertical del muro, mm.

$\mathbf{t}$ = espesor efectivo de la sección para evaluar efectos de pandeo, mm. Véase D.5.4.2.

$\mathbf{V}$ = fuerza cortante actuante que ocurre simultáneamente con $\mathbf{M}$.

$\mathbf{V_n}$ = fuerza cortante resistente nominal del muro, en N.

$\mathbf{V_{nc}}$ = fuerza cortante resistente nominal para una sección de concreto reforzado, calculada de acuerdo con los requisitos del Título C del Reglamento, en N. Capítulo D.10.

$\mathbf{V_m}$ = resistencia nominal para fuerza cortante contribuida por la mampostería, N.

$\mathbf{V_u}$ = fuerza cortante mayorada solicitada de diseño del muro, en N.

$\mathbf{V_{uc}}$ = fuerza cortante mayorada solicitada de diseño que actúa sobre las columnas de confinamiento cerca a la intersección con la viga de confinamiento, en N. Capítulo D.10.

$\mathbf{V_s}$ = resistencia nominal para fuerza cortante contribuida por el refuerzo de cortante, N.

$\mathbf{x_i}$ = distancia de la columna de confinamiento $\mathbf{i}$ al borde del muro, en mm. Capítulo D.10.

$\mathbf{\bar{x}}$ = distancia al borde del muro del centroide de las áreas de todas las columnas de confinamiento del muro, en mm. Capítulo D.10.

α = coeficiente para ser empleado en la ecuación (D.5.8-1).

ε_{mu} = máxima deformación unitaria permisible de compresión en la mampostería ($\varepsilon_{mu} = 0.003$).

ε_y = deformación unitaria de fluencia del acero de refuerzo

ϕ = coeficiente de reducción de resistencia.

ρ = cuantía de refuerzo a tracción por flexión, $\rho = A_s/(bd)$.

ρ_b = cuantía correspondiente a las condiciones de flexión balanceada.

ρ_n = cuantía de refuerzo horizontal que resiste cortante en un muro en un plano perpendicular al plano $\mathbf{A_{mv}}$, mm^2.

η = factor de eficiencia del refuerzo horizontal

D.2.5 — DEFINICIONES

Las definiciones siguientes corresponden a los términos de mayor uso en el presente título de este Reglamento. Deberán consultarse además, las consignadas en A.13, en el capítulo C.2, y en la norma NTC 4383.

Absorción — Cantidad de agua que penetra en los poros de la unidad en relación al peso seco.

Acción compuesta — Transferencia de esfuerzos entre los componentes de un elemento diseñado para resistir las cargas de tal manera que los componentes actúan en conjunto como un solo elemento.

Adherencia — Adhesión y enlace del concreto ó el mortero al refuerzo ó a otras superficies junto a las cuales es colocado. Capacidad del mortero para atender esfuerzos normales y tangenciales a la superficie que lo une en la estructura.

Aditivo — Es toda substancia, diferente al agua, los agregados, el cemento y los refuerzos, usada como ingrediente del concreto o mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o después del mezclado.

Altura libre efectiva — Distancia libre entre elementos que proveen apoyo lateral y que se emplea para calcular la relación de esbeltez del muro o columna.

Antepecho — Muro de altura inferior a la de piso que configura la parte inferior de una ventana, de un balcón.

Aparejo — Patrón de colocación de las unidades de mampostería.

Aparejo trabado — Patrón de colocación de las unidades de mampostería traslapadas con las unidades superiores e inferiores al menos en un cuarto de la longitud de la pieza.

Aparejo de petaca — Patrón de colocación de las unidades de mampostería alineadas verticalmente sin traslapos.

Arcilla cocida (cerámica) — Mezcla de arcilla, sílice y otros componentes menores, moldeada y que ha sido sometida a temperaturas altas por tiempo prolongado.

Área bruta de la sección — Área delimitada por los bordes externos de la mampostería en el plano bajo consideración.

Área neta de la sección — Es el área de la unidad de mampostería incluyendo los morteros de relleno y excluyendo las cavidades, medida en el plano bajo consideración, desde los bordes externos de la mampostería.

Barra de empalme — Refuerzo que transfiere por adherencia el esfuerzo entre el refuerzo longitudinal de un muro y el elemento de soporte, en el cual se ancla adecuadamente.

Bloque — Es un tipo de pieza de mampostería que tiene huecos.

Bloque de perforación horizontal — Es un bloque de concreto o arcilla cuyas perforaciones son horizontales y se asienta sobre la cara que no tiene huecos.

Bloque de perforación vertical — Es un bloque, de concreto o de arcilla cocida, que tiene perforaciones verticales que forman celdas donde se coloca el refuerzo. En las celdas donde haya refuerzo vertical debe colocarse mortero de relleno.

Cabezal — Parte extrema de un elemento estructural.

Celda — Cavidad continúa interior en la mampostería.

Cemento de mampostería — Cemento hidráulico producido para usarse en mortero de pega y que genera mayor plasticidad y retención de agua que los obtenidos usando solo cemento Portland.

Conector — Elemento mecánico para unir dos o más piezas, partes o miembros.

Cuantía — Relación entre el área transversal del refuerzo y el área bruta de la sección considerada.

Dimensiones nominales — Son las dimensiones modulares de la unidad de mampostería incluyendo los espesores de pega y/o acabados. No deben exceder en más de 10 mm a las dimensiones reales.

Dimensiones reales — Son las dimensiones externas de fabricación de la pieza.

Elemento compuesto — Muros con aletas de sección transversal en forma de L, T, C, H, Z, I, Y, etc. que trabajan con acción compuesta.

Elemento de borde — Regiones extremas de muros que soportan cargas en su plano, y que son reforzadas y confinadas para cumplir con requisitos específicos y pueden ser del mismo o de mayor espesor que el muro.

Junta de control — Cualquier separación continúa que reduzca la transferencia de esfuerzos. Se coloca para permitir desplazamientos controlados relativos dentro de los elementos, o para suspender o controlar constructivamente los tamaños de los elementos.

Junta de pega — Capa de mortero en cualquier dirección, utilizada para adherir las unidades de mampostería

Mortero de pega — Mezcla plástica de materiales cementantes, agregado fino y agua, usado para unir las unidades de mampostería.

Mortero de recubrimiento o revoque (pañete) — Mezcla plástica de materiales cementantes, agregado fino y agua, usado para dar acabado liso (enlucir) los muros de mampostería.

Mortero de relleno — Mezcla fluida de materiales cementantes, agregados y agua, con la consistencia apropiada para ser colocado sin segregación en las celdas o cavidades de la mampostería.

Murete o prisma — Ensamble de piezas de mampostería con mortero de pega inyectadas o no de mortero de relleno usado como espécimen de ensayo para determinar las propiedades de la mampostería

Muro estructural — Elemento estructural de longitud considerable con relación a su espesor, que atiende cargas en su plano adicionales a su peso propio.

Muro no estructural — Elemento dispuesto para separar espacios, que atiende cargas únicamente debidas a su peso propio.

Plasticidad (mortero de pega) — Facilidad con que se extiende el mortero de pega sobre una superficie, sin pérdida de su uniformidad.

Posición Normal — Forma típica de colocación de la unidad de mampostería en el muro de que hace parte.

Prisma — Murete.

Resistencia a la compresión de la mampostería $\left(\mathbf{f'_m}\right)$ — Mínima resistencia nominal de la mampostería a compresión, medida sobre el área transversal neta y sobre la cual se basa su diseño.

Retención de agua — Capacidad del mortero de pega para evitar la pérdida de humedad, manteniendo su estado plástico.

Tasa inicial de absorción — Medida de la cantidad de agua que absorbe una unidad de mampostería de arcilla en contacto con el agua por unidad de área**,** durante un minuto**.**

Tolete — Es una unidad de mampostería sólida. Puede ser de arcilla cocida, de concreto o sílico-calcárea.

Traba — Intersección continúa y traslapada de dos muros.

Trabajabilidad (mortero de pega) — Medida de la plasticidad de una mezcla.

Unidad de mampostería — Elemento de colocación manual, de características pétreas y estabilidad dimensional, que unida con mortero configura el muro de mampostería.

CAPÍTULO D.3
CALIDAD DE LOS MATERIALES EN LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

D.3.0 — NOMENCLATURA

f'_m = resistencia nominal a la compresión de la mampostería, MPa

f'_{cr} = resistencia a la compresión del mortero de relleno, MPa

f'_{cre} = resistencia especificada a la compresión del mortero de recubrimiento ó revoque, MPa.

f'_{cu} = resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre área neta, MPa

f'_{cp} = resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, MPa

h = altura de la unidad de mampostería, en mm, para ser empleada en la ecuación D.3.7-1

k_p = factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional

$k_p = 1.4$ para unidades de concreto, $k_p = 0.8$ para unidades de arcilla o sílico-calcáreas

k_r = factor de corrección por absorción de la unidad en la mampostería inyectada.

$k_r = 0.9$ para unidades de concreto, $k_r = 0.75$ para unidades de arcilla o sílico-calcáreas

R_m = parámetro definido por medio de la ecuación D.3.7-1

r = relación entre el área neta y el área bruta de las unidades de mampostería, adimensional

D.3.1 — ASPECTOS GENERALES

D.3.1.1 — **REQUISITOS PARA LOS MATERIALES** — Los materiales utilizados en las construcciones de mampostería estructural deben cumplir los requisitos de calidad especificados en el presente Capítulo. Este cumplimiento debe comprobarse mediante ensayos realizados sobre muestras representativas.

D.3.1.2 — **ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES** — Los ensayos de los materiales se deben realizar siguiendo los procedimientos establecidos en las normas técnicas colombianas NTC respectivas. A falta de ellas deben seguirse las normas correspondientes de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM, mencionadas en el Reglamento. En D.2.3 se indican las normas adoptadas para el presente Título, las cuales hacen parte de él.

D.3.2 — CEMENTO Y CAL

D.3.2.1 — El cemento utilizado en la obra debe estar en condiciones apropiadas y debe corresponder en su tipo y clase a aquel sobre el cual se basan las dosificaciones del concreto y los morteros. Deben cumplirse las siguientes normas:

Cemento portland:	NTC 121 y NTC 321. Se permite el uso de cementos fabricados bajo las normas ASTM C150 y C595
Cemento para mampostería:	NTC 4050 (ASTM C91)
Cal viva:	NTC 4046 (ASTM C5)
Cal hidratada:	NTC 4019 (ASTM C270)

D.3.3 — ACERO DE REFUERZO

D.3.3.1 — El acero de refuerzo debe cumplir con los mismos requisitos del numeral C.3.5 de este Reglamento y debe ajustarse a las normas de producción y uso mencionadas allí. Al momento de la colocación debe estar limpio en la superficie, sin corrosión y figurado de acuerdo a los planos.

D.3.4 — MORTERO DE PEGA

D.3.4.1 — **REQUISITOS GENERALES** — Los morteros de pega utilizados en construcciones de mampostería deben cumplir la norma NTC 3329 (ASTM C270) y con lo especificado en la Tabla D.3.4-1. El mortero premezclado para pega de unidades de mampostería debe cumplir con la norma NTC 3356 (ASTM C1142). Los morteros de pega deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento y, además, garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante.

Tabla D.3.4-1
Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad[1]			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión f'_{cp} MPa [2]	Flujo en (%)[3]	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada [4]	Cemento para Mampostería[7]	Arena/Material Cementante[5]	
							Mín.	Máx.
H	22.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
N[6]	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

Notas:
1. Solo para el diseño de mezclas de morteros en laboratorio, con base en los materiales que van a ser utilizados en obra. El control de morteros en obra se debe realizar de acuerdo con la norma NTC 3546 (ASTM C780).
2. Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días en cubos de 50 mm de lado
3. Ensayo realizado según NTC 4050 (ASTM C91)
4. Se puede utilizar cal hidratada en polvo tipo N o S.
5. Para este cálculo no se incluye como cementante la cal.
6. El mortero tipo N solo se permite en sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DMI*)
7. El tipo de cemento para mampostería (M, S o N) será el mismo que el tipo de mortero de pega.

D.3.4.2 — **DOSIFICACIÓN DEL MORTERO DE PEGA** — La dosificación de los componentes de los morteros de pega debe basarse en ensayos previos de laboratorio o en experiencia de campo en obras similares y se clasifican como **H**, **M**, **S** o **N** de acuerdo con la dosificación mínima de sus componentes y con la resistencia a la compresión, según la tabla D.3.4-1. La denominación de morteros tipo H, M, S o N es exclusiva para morteros de pega de mampostería y no deberá emplearse para designar otros tipos de morteros. La resistencia a la compresión se mide a los 28 días sobre probetas tomadas en cubos de 50 mm de lado, o en cilindros de 75 mm de diámetro por 150 mm de altura. Los diferentes tipos de mortero deben cumplir con las condiciones mínimas de flujo inicial y retención de agua establecidos en la tabla D.3.4-1. Para cada uno de los tipos de mortero, en la tabla D.3.4-1 se indican dos alternativas de dosificación, una utilizando cemento portland y cal hidratada, y la otra utilizando cemento portland y cemento para mampostería. Puede emplearse cualquiera de las dos alternativas de dosificación, pero no se permiten dosificaciones que empleen simultáneamente cal hidratada y cemento de mampostería.

> **D.3.4.2.1** — ***Probetas cilíndricas*** — En caso de utilizarse probetas cilíndricas para ensayos de resistencia a compresión, sus resultados deben correlacionarse respecto a los obtenidos en cubos de 50 mm de lado que constituyen la referencia de la dosificación**,** y deben ensayarse de acuerdo con lo estipulado en la Norma NTC 3546 (ASTM C780).

D.3.4.3 — **USO DE LA CAL** — La cal que se utilice en la preparación del mortero debe ser cal hidratada y se debe verificar que ésta no sea perjudicial a ninguna de las propiedades especificadas.

D.3.4.4 — **AGREGADOS** — Los agregados para el mortero de pega deben cumplir la norma NTC 2240 (ASTM C144) y estar libres de materiales contaminantes o deleznables que puedan deteriorar las propiedades del mortero de pega.

D.3.4.5 - AGUA - El agua utilizada para el mortero de pega debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, alcoholes, sales, materias orgánicas u otras substancias que puedan ser dañinas para el mortero o el

refuerzo embebido. Se debe cumplir con lo establecido en C.3.4 de este Reglamento.

D.3.4.6 — **COLORANTES Y ADITIVOS** — Los colorantes y aditivos que se utilicen en la preparación del mortero de pega deben someterse a la aprobación previa del supervisor técnico y debe demostrarse mediante realización de ensayos de laboratorio o evidencia confiable de obras similares, que no deterioran ninguna de las propiedades deseables del mortero ni de las unidades de mampostería, ni causan corrosión del refuerzo embebido.

D.3.4.7 — **PREPARACIÓN EN OBRA** — La preparación del mortero de pega con las dosificaciones establecidas previamente, debe hacerse utilizando mezcladoras mecánicas apropiadas en seco o con el agua de amasado suficiente para obtener la plasticidad requerida. Cuando se mezclen los componentes en seco, la adición de agua se debe realizar por el albañil hasta obtener la plasticidad y consistencia requeridas. El tiempo de mezclado debe ser el suficiente para obtener uniformidad sin segregación en la mezcla. La preparación manual sólo se admite para trabajos de obras menores no contempladas en A.1.6.1 de este Reglamento.

D.3.4.7.1 — ***Morteros mezclados en seco en obra*** — Los morteros de pega mezclados en seco en la obra deben usarse antes de que se inicie la hidratación del cemento por contacto con el agua natural de la arena. En ningún caso se pueden utilizar después de 2 horas y media de haber sido mezclados, excepto los morteros de larga vida.

D.3.4.7.2 — ***Morteros premezclados de larga vida*** — Los morteros premezclados de larga vida, deben utilizarse de acuerdo con las instrucciones y dentro del tiempo especificado por el fabricante. Debe verificarse mediante ensayos que estos morteros no presentan deterioro de sus propiedades al momento de utilizarse.

D.3.5 — MORTERO DE RELLENO

D.3.5.1 — **REQUISITOS GENERALES** — Los morteros de relleno utilizados en construcciones de mampostería deben cumplir la norma NTC 4048 (ASTM C476). Deben ser de buena consistencia y con fluidez suficiente para penetrar en las celdas de inyección sin segregación.

D.3.5.2 — **DOSIFICACIÓN** — La dosificación de los componentes de los morteros de relleno debe basarse en ensayos previos de laboratorio o con experiencia de campo en obras similares y su clasificación se debe basar en la dosificación mínima de sus componentes indicada en la tabla D.3.5-1. La resistencia, $\mathbf{f'_{cr}}$, debe medirse a los 28 días sobre probetas tomadas en las celdas de las unidades huecas o en prismas de unidades dispuestas convenientemente, con uso de papel permeable que permita la transferencia de agua entre el mortero de relleno y las unidades de mampostería, impidiendo su adherencia. El procedimiento para la toma de muestras y el ensayo debe hacerse de acuerdo a la norma NTC 4043 (ASTM C1019). La resistencia a la compresión también puede medirse a los 28 días sobre probetas tomadas en cilindros de 75 mm de diámetro por 150 mm de altura, y deben ensayarse de acuerdo con lo estipulado en la Norma NTC 3546 (ASTM C780) para los morteros de relleno fino. El mortero de relleno grueso también se puede muestrear y ensayar según lo establecido en C.5.6.3.1 y C.5.6.3.2 de este Reglamento.

Tabla D.3.5-1
Clasificación y dosificación por volumen de los morteros de relleno

Tipo de Mortero	Cemento	Agregados/Cemento			
		Fino		Grueso (tamaño < 10 mm)	
	Portland	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Fino	1	2.25	3.5	-	-
Grueso	1	2.25	3.0	1.0	2.0

D.3.5.3 — **VALOR MÁXIMO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN** — La resistencia a la compresión del mortero de relleno medida a los 28 días, $\mathbf{f'_{cr}}$, debe tener un valor máximo de 1.5 veces $\mathbf{f'_m}$ y un valor mínimo de 1.25 veces $\mathbf{f'_m}$, pero en ningún caso la resistencia a la compresión a los 28 días puede ser inferior a 12.5 MPa**.**

D.3.5.4 — **USO DE LA CAL** — En caso de utilizarse cal, esta debe cumplir la norma NTC 4019 (ASTM C207) con una dosificación máxima del 10% del volumen de cemento.

D.3.5.5 — **AGREGADOS** — Los agregados para el mortero de relleno deben cumplir la norma NTC 4020 (ASTM C404) y estar libres de materiales contaminantes o deleznables que puedan deteriorar las propiedades del mortero de relleno.

D.3.5.6 — **AGUA Y ADITIVOS** — El agua y los aditivos empleados deben cumplir lo establecido en D.3.4.5 y D.3.4.6 en concordancia con C.3.4 y C.3.6 de este Reglamento.

D.3.5.7 — **MEZCLADO Y TRANSPORTE** — La preparación del mortero de relleno debe realizarse utilizando mezcladoras mecánicas apropiadas. El transporte desde el sitio de mezclado hasta el sitio de inyección debe garantizar la conservación de la consistencia y plasticidad de la mezcla.

D.3.6 — UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

D.3.6.1 — **TIPOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA** — Las unidades de mampostería que se utilicen en las construcciones de mampostería estructural pueden ser de concreto, cerámica (arcilla cocida), sílico-calcáreas o de piedra. Según el tipo de mampostería estructural y según el tipo de refuerzo, las unidades pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o sólidas, de acuerdo con la posición normal de la pieza en el muro. Las unidades sólidas son aquellas cuyas cavidades ocupan menos de un 25% del volumen de la pieza.

D.3.6.2 — **NORMAS DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD** — Todas las unidades de mampostería utilizadas en el diseño y la construcción de estructuras de mampostería deben cumplir con las siguientes normas:

D.3.6.2.1 — ***Unidades de concreto para mampostería***

- **(a)** Las unidades (bloque) de perforación vertical portante de concreto para mampostería deben cumplir con la norma NTC 4026 (ASTM C90)
- **(b)** Las unidades portantes de concreto macizas (tolete) para mampostería, deben cumplir con la norma NTC 4026 (ASTM C55)
- **(c)** Las unidades de concreto para mampostería no estructural, deben cumplir con la norma NTC 4076 (ASTM C129)

D.3.6.2.2 — ***Unidades de arcilla para mampostería***

- **(a)** Las unidades (bloque) de perforación vertical de arcilla para mampostería estructural deben cumplir con la norma NTC 4205-1 (ASTM C34)
- **(b)** Las unidades de arcilla macizas (tolete) para mampostería estructural deben cumplir con la norma NTC 4205-1 (ASTM C62, C652)
- **(c)** Las unidades de arcilla para mampostería no estructural deben cumplir con la norma NTC 4205-2 (ASTM C56, C212, C216).
- **(d)** Las unidades de arcilla de perforación horizontal para mampostería estructural deben cumplir con la norma NTC 4205-1 (ASTM C56, C212).
- **(e)** Las unidades de mampostería de arcilla cocida que se utilicen en fachadas deben cumplir con la norma NTC 4205-3.

D.3.6.2.3 — ***Unidades sílico-calcáreas para mampostería —*** Las unidades sílico-calcáreas para mampostería deben cumplir con la norma NTC 922 (ASTM C73).

D.3.6.3 — **UNIDADES ESPECIALES** — Para la construcción de elementos de mampostería como muros, vigas, etc., son indispensables unidades especiales, las cuales deben cumplir las especificaciones adoptadas para las unidades típicas del mismo material.

D.3.6.4 — **UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE PERFORACIÓN VERTICAL** — Las unidades de mampostería de perforación vertical (bloque) se pueden utilizar en las construcciones de mampostería estructural de todos los tipos clasificados en D.2.1. Pueden ser de concreto, arcilla o sílico-calcáreas. Se establecen, además, para este tipo de unidades los siguientes requisitos:

D.3.6.4.1 — ***Dimensiones de las celdas y las paredes*** — El área de las celdas verticales de la pieza de mampostería en posición normal, no puede ser mayor que el 65% del área de la sección transversal. Las celdas verticales u horizontales continuas en donde se coloque refuerzo no pueden tener una dimensión menor de 50 mm, ni menos de 3000 mm² de área. Las paredes externas e internas no pueden tener un espesor menor que el establecido en la tabla D.3.6-1.

Tabla D.3.6-1
Espesores mínimos de paredes en unidades (bloques)
de mampostería de perforación vertical (mm)

Espesor externo	Espesor mínimo de paredes exteriores		Espesor mínimo de tabiques transversales
nominal	sin perforaciones verticales secundarias	con perforaciones verticales secundarias	sin perforaciones verticales secundarias
80[(1)]	20	30	20
100	20	30	20
120	22	32	20
150	25	35	25
200	30	40	25
250	35	45	30
300	40	50	30

Nota [(1)]: La unidad de 80 mm de espesor externo nominal sólo se permite en muros no estructurales y en las paredes laterales de mampostería de cavidad.

D.3.6.4.2 — ***Perforaciones secundarias*** — Las unidades de perforación vertical en arcilla cocida pueden tener perforaciones secundarias en las paredes, distintas a las celdas principales y paralelas a ellas. Las perforaciones en las paredes no pueden tener una dimensión transversal mayor de 20 mm ni pueden estar a menos de 10 mm del borde de la pared perforada.

D.3.6.5 — **UNIDADES DE PERFORACIÓN HORIZONTAL** — Las unidades de mampostería de perforación horizontal (bloque) sólo se pueden utilizar en los siguientes tipos de estructuras de mampostería clasificados en D.2.1: mampostería de muros confinados**,** mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzada externamente. También se pueden usar combinadas con unidades de perforación vertical, en edificaciones de uno y dos pisos del grupo de uso **I** para mampostería no reforzada y para mampostería parcialmente reforzada.

D.3.6.6 — **UNIDADES MACIZAS DE MAMPOSTERÍA** — Las unidades macizas de mampostería (tolete) sólo se pueden utilizar en los siguientes tipos de estructuras de mampostería clasificados en D.2.1: mampostería de muros confinados**,** mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzada externamente. También se pueden utilizar, combinadas con unidades de perforación vertical para mampostería parcialmente reforzada.

D.3.7 — DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA A LA COMPRESIÓN $\mathbf{f'_m}$

D.3.7.1 — **DETERMINACIÓN DE $\mathbf{f'_m}$ PREVIA A LA CONSTRUCCIÓN** — El valor especificado para la resistencia a la compresión de la mampostería $\mathbf{f'_m}$, se debe determinar de acuerdo con uno de los siguientes procedimientos:

(a) Por medio de registros históricos D.3.7.3.
(b) Por determinación experimental sobre muretes de prueba D.3.7.4.
(c) Por medio de ensayos sobre materiales individuales D.3.7.5

D.3.7.1.1 — ***Aplicabilidad de los procedimientos*** — Los valores de $\mathbf{f'_m}$ definidos en esta sección que se basan en la calidad de los materiales, solo se pueden utilizar en el diseño previo a la construcción y no para control de calidad.

D.3.7.2 — **ELABORACIÓN Y ENSAYO DE LOS MURETES** — La elaboración y el ensayo de los muretes que se utilicen para la determinación de f'_m, deben llevarse a cabo de acuerdo con la norma NTC 3495 (ASTM E447); cumpliendo, además, con los siguientes requisitos:

D.3.7.2.1 — ***Requisitos de elaboración de los muretes*** — Los muretes deben elaborarse con los mismos materiales y bajo las mismas condiciones que se presenten en la estructura. El contenido de humedad de los materiales debe ser el mismo que se tiene en la estructura en el momento de construirse. La calidad de la mano de obra debe ser la misma que se va a utilizar en la construcción. Cuando en la construcción se coloca el mortero de pega solamente en las paredes laterales de las unidades de perforación vertical, los muretes deben elaborarse colocando mortero de pega sólo sobre las paredes laterales y sin mortero de pega en los tabiques transversales, incluyendo los terminales. Véase D.4.5.10.1 (b). Se deben elaborar muretes, tanto, con las celdas vacías, como muretes con las celdas rellenas, cuando especifique mampostería parcial o totalmente inyectada.

D.3.7.2.2 — ***Determinación del valor de*** f'_m — El valor de f'_m, para una muestra debe ser el promedio obtenido del ensayo de 3 muretes de igual procedencia, pero no debe ser mayor del 125 por ciento del menor valor obtenido en los ensayos.

D.3.7.2.3 — ***Área para determinación de los esfuerzos*** — El valor de cada ensayo se obtiene de dividir la carga última obtenida por el área neta de la mampostería que tiene el murete ensayado.

D.3.7.2.4 — ***Dimensiones de los muretes*** — Los muretes deben tener un mínimo de 300 mm de altura y una relación altura-ancho mayor ó igual a 1.5 y menor ó igual a 5. Los muretes de mampostería de bloque de perforación vertical deben tener al menos el largo de una pieza completa. Los muretes de otros tipos deben tener al menos 100 mm de largo. El ancho y el tipo de construcción deben ser representativos del tipo de mampostería que se va a utilizar en la construcción.

D.3.7.2.5 — ***Corrección por esbeltez*** — El valor de f'_m debe corregirse multiplicándolo por el factor de corrección por esbeltez del murete dado en la tabla D.3.7-1.

Tabla D.3.7-1
Factor de corrección por esbeltez para f'_m

Relación altura/espesor del murete	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.86	1.0	1.04	1.07	1.15	1.22

D.3.7.2.6 — ***Curado de los muretes*** — Los muretes deben guardarse por siete días al aire a una temperatura de 21 grados centígrados, más/menos 5 grados, a una humedad relativa que exceda el 90 por ciento, y posteriormente a las mismas condiciones, pero con una humedad relativa que puede estar entre el 30 y el 50 por ciento, hasta su ensayo a los 28 días de la fabricación. Los muretes que se construyan a pie de obra deben guardarse bajo condiciones que les conserve la humedad por un lapso de 48 a 96 horas y después de este tiempo se pueden llevar al laboratorio.

D.3.7.2.7 — ***Refrentado y ensayo*** — Los muretes deben refrentarse y ensayarse bajo la norma NTC 3495 (ASTM E447).

D.3.7.3 — **DETERMINACIÓN ESTADÍSTICA DE f'_m** — Cuando existan registros históricos confiables y suficientes de resultados de ensayos de muestras de muretes de construcciones anteriores realizadas con los materiales especificados para la obra, llevadas a cabo con similares procesos técnicos y de supervisión, en caso de que el coeficiente de variación de los resultados sea inferior o igual al 30%, se permite seleccionar el valor de f'_m con base en estos registros, según el número de resultados de ensayos registrados y de acuerdo con:

D.3.7.3.1 — ***Más de 30 ensayos históricos*** — Cuando el número de resultados de ensayos de muestras registradas, sea superior o igual a 30, se puede seleccionar f'_m como el 75% del valor promedio de los resultados del registro.

D.3.7.3.2 — ***Entre 10 y 30 ensayos históricos*** — Cuando el número de resultados de ensayos de muestras registradas sea de 10 a 30, se puede seleccionar f'_m como el 70% del valor promedio de los resultados del registro.

D.3.7.3.3 — ***Menos de 10 ensayos históricos*** — Cuando el número de pruebas registradas, con tres o más muretes por prueba, sea inferior a 10, no se pueden utilizar los registros históricos para la selección de f'_m.

D.3.7.4 — **DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE f'_m** — La resistencia especificada a la compresión de la mampostería f'_m, se puede determinar experimentalmente para los mismos materiales que se van a emplear, realizando ensayos sobre muretes preliminares a la obra, de acuerdo con lo indicado en el numeral D.3.7.2, exceptuando el número de muretes por muestra, los cuales deben ser los indicados a continuación:

D.3.7.4.1 — ***Más de 30 ensayos previos a la obra*** — Cuando el número de muretes ensayados sea superior o igual a 30, f'_m se puede tomar como el 85% del valor promedio de los ensayos realizados.

D.3.7.4.2 — ***Entre de 10 y 30 ensayos previos a la obra*** — Cuando el número de muretes ensayados sea superior a 10 e inferior a 30, f'_m se puede tomar como el 80% del valor promedio de los ensayos.

D.3.7.4.3 — ***Menos de 10 ensayos previos a la obra*** — Cuando el número de muretes ensayados sea inferior a 10 pero no menor de 3, f'_m se puede tomar como el 75% del valor promedio de los ensayos.

D.3.7.5 — **VALOR DE f'_m BASADO EN LA CALIDAD DE LOS MATERIALES** — Cuando f'_m no se seleccione mediante ensayos de muretes preliminares o históricos, su valor puede determinarse con base en una correlación apropiada de la calidad de los materiales empleados. En ausencia de tal correlación, el valor de f'_m, se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$R_m = \left(\frac{2h}{75+3h}\right) f'_{cu} + \left(\frac{50\,k_p}{75+3h}\right) f'_{cp} \le 0.8\, f'_{cu} \qquad \textbf{(D.3.7-1)}$$

$$f'_m = 0.75 R_m \qquad \textbf{(D.3.7-2)}$$

Los valores empleados en la ecuación D.3.7-1 deben indicarse en los planos estructurales y controlarse en la obra de acuerdo con lo establecido en la sección D.3.8, pero esto no exime de la obligación de comprobar el valor de f'_m por medio de muretes como lo indica la sección D.3.8.1.4.

D.3.7.6 — **VALOR DE f'_m CUANDO LAS CELDAS SE INYECTAN CON MORTERO DE RELLENO, BASADO EN LA CALIDAD DE LOS MATERIALES** — En la mampostería de cavidad reforzada o de perforación vertical, inyectada con mortero de relleno, se puede obtener el valor de f'_m de la siguiente forma:

$$f'_m = 0.75\left[r R_m + 0.9 k_r (1-r) f'_{cr}\right] \le 0.94 R_m \qquad \textbf{(D.3.7-3)}$$

D.3.8 — EVALUACIÓN Y ACEPTACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

D.3.8.1 — **FRECUENCIA DE MUESTREO Y ENSAYOS** — El número de pruebas y su frecuencia deben ser como mínimo los siguientes:

D.3.8.1.1 — ***Mortero de pega*** — Para el mortero de pega debe realizarse por lo menos un ensayo de resistencia a la compresión (promedio de 3 probetas) por cada doscientos (200) metros cuadrados de muro o por cada día de pega. Igualmente se debe verificar con frecuencias semanales las condiciones de plasticidad y retención de agua de los morteros de pega usados en la obra.

D.3.8.1.2 — ***Mortero de relleno*** — Para el mortero de relleno se debe realizar al menos un ensayo de resistencia a la compresión (promedio de 3 probetas) por cada diez (10) metros cúbicos de mortero inyectado o por cada día de inyección.

D.3.8.1.3 — ***Unidades de mampostería*** — Para las unidades de mampostería se deben realizar los ensayos establecidos de absorción inicial, absorción total, estabilidad dimensional y resistencia a la compresión de por lo menos cinco (5) unidades por cada lote de producción hasta de 5000 unidades o menos, y no menos de una unidad por cada doscientos (200) metros cuadrados de muro construido.

D.3.8.1.4 — ***Muretes*** — La resistencia a la compresión de la mampostería, $\mathbf{f'_m}$, debe verificarse mediante el ensayo de al menos tres (3) muretes por cada quinientos (500) metros cuadrados de muro o fracción, realizados con los materiales y procedimientos empleados en obra. Para unidades de perforación vertical debe medirse el efecto del mortero de relleno en la resistencia de la mampostería, mediante ensayos adicionales de muretes inyectados con mortero, en la cantidad y frecuencia apropiadas, a juicio del supervisor técnico, de acuerdo con lo establecido en el Título I, pero en ningún caso en cantidad inferior al 50% del total de especímenes ensayados. Deben tomarse y ensayarse muretes para todos los tipos de unidades utilizadas.

D.3.8.1.5 — ***Acero de refuerzo*** — La calidad del acero de refuerzo se debe comprobar de acuerdo con los requisitos de C.3.5.10.

D.3.8.2 — **CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO** — Deben aplicarse los siguientes criterios para aceptar la calidad de la mampostería:

D.3.8.2.1 — ***Resistencia mínima*** — La calidad de la mampostería se considera satisfactoria si se cumplen simultáneamente que el promedio de los resultados de resistencia a la compresión de los morteros de pega, morteros de relleno, unidades y muretes es mayor o igual a la resistencia especificada, y ningún valor individual es inferior al 80% de la resistencia especificada.

D.3.8.2.2 — ***Medidas correctivas*** — Si no se cumple uno o varios de los requisitos anteriores deben tomarse de inmediato las medidas necesarias para aumentar el promedio de las subsiguientes evaluaciones de resistencia.

D.3.8.2.3 — ***Resultados de resistencia bajos*** — Si algún resultado individual de resistencia a la compresión de los morteros de pega, morteros de relleno, unidades y muretes es inferior al 80% del valor especificado deben tomarse las medidas necesarias para asegurar que la capacidad de carga de la estructura no se haya comprometido. En caso de confirmarse que la mampostería es de baja resistencia y si los cálculos indican que la capacidad de soportar carga de la estructura se ha reducido significativamente se puede apelar al ensayo de extracción de porciones cortadas de los muros afectados. En tal caso deben tomarse 3 porciones por cada lote afectado. La dimensión mínima de los muretes extraídos debe cumplir con lo especificado en D.3.7.2.4. La resistencia promedio de las porciones cortadas debe ser por lo menos igual al 80% de la resistencia especificada.

D.3.8.2.4 — ***Pruebas de carga*** — Si los criterios de D.3.8.2.3 no se cumplen y si la seguridad estructural permanece en duda, el supervisor técnico puede ordenar que se hagan pruebas de carga como las descritas en el Capítulo C.20 para la parte dudosa de la estructura.

CAPÍTULO D.4
REQUISITOS CONSTRUCTIVOS
PARA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

D.4.0 — NOMENCLATURA

$\mathbf{d_b}$ = diámetro de la barra, mm.
$\mathbf{f_y}$ = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, MPa.
$\mathbf{f'_m}$ = resistencia a la compresión de la mampostería, MPa.
$\sqrt{\mathbf{f'_m}}$ = raíz cuadrada de la resistencia a la compresión de la mampostería, en MPa.
= longitud de desarrollo requerida para el refuerzo, mm.
$\mathbf{K}$ = recubrimiento del refuerzo medido desde el extremo exterior de la unidad de mampostería, mm.
ϕ = coeficiente de reducción de resistencia, dado en el Capítulo D.5

D.4.1 — ALCANCE

D.4.1.1 — **ALCANCE DE LOS REQUISITOS CONSTRUCTIVOS** — Los requisitos constructivos para edificaciones de mampostería estructural que se dan en el presente Capítulo cubren los diferentes sistemas de mampostería estructural. Cuando los requisitos son propios de un solo sistema de mampostería se indica en el texto para cual de ellos es aplicable. Si no se hace esta advertencia se entiende que el requisito es obligatorio para todos los tipos de mampostería estructural. En el Título E se dan requisitos especiales para casas de uno y dos pisos construidas con mampostería confinada.

D.4.2 — DETALLES DEL REFUERZO

D.4.2.1 — **EMBEBIDO DEL REFUERZO** — Todo refuerzo que se emplee en los diferentes tipos de mampostería estructural debe estar embebido en concreto, mortero de relleno o mortero de pega, y debe estar localizado de tal manera que se cumplan los requisitos de recubrimiento mínimo, anclaje, adherencia, y separación mínima y máxima con respecto a las unidades de mampostería y a otros refuerzos.

D.4.2.2 — **DIÁMETROS MÁXIMOS Y MÍNIMOS PERMITIDOS PARA EL REFUERZO** — Los refuerzos que se empleen en la mampostería estructural deben cumplir los siguientes diámetros mínimos y máximos:

D.4.2.2.1 — ***Refuerzo longitudinal en celdas y cavidades que se inyectan*** — El refuerzo longitudinal que se coloca dentro de celdas de unidades de perforación vertical, celdas de unidades especiales tipo viga o cavidades que posteriormente se inyectan con mortero debe cumplir los siguientes requisitos:

(a) El diámetro mínimo es N° 3 (3/8") o 10M (10 mm).
(b) Para muros con espesor nominal de 200 mm o más no puede tener un diámetro mayor que N° 8 (1") ó 25M (25 mm).
(c) Para muros de menos de 200 mm de espesor nominal no puede tener un diámetro mayor que N° 6 (3/4") ó 20M (20 mm).
(d) El diámetro no puede exceder 1/3 de la menor dimensión libre de la celda.

D.4.2.2.2 — ***Refuerzo de junta*** — El refuerzo horizontal colocado en las juntas de mortero de pega debe cumplir los siguientes requisitos:

(a) El diámetro debe ser mínimo 4 mm.
(b) El diámetro no puede exceder la mitad del espesor del mortero de pega.

D.4.2.2.3 — ***Refuerzo longitudinal y transversal en elementos de confinamiento*** — Los diámetros mínimos y máximos que debe cumplir el refuerzo longitudinal y transversal en los elementos de confinamiento de la mampostería confinada deben consultarse en el Capítulo D.10.

D.4.2.2.4 — ***Refuerzo longitudinal y transversal en elementos de concreto reforzado dentro de la mampostería*** — Los diámetros mínimos y máximos que debe cumplir el refuerzo longitudinal y transversal en los elementos de concreto reforzado embebidos o usados en combinación con la mampostería estructural, excepto los elementos de confinamiento de la mampostería confinada, deben cumplir lo especificado en el Título C del Reglamento, para el mismo grado de capacidad de disipación de energía en el rango inelástico (*DES*, *DMO*, o *DMI*) del sistema de mampostería estructural.

D.4.2.3 — **LÍMITES PARA LA COLOCACIÓN DEL REFUERZO** — Se establecen los siguientes límites respecto a la colocación del refuerzo en la mampostería estructural:

D.4.2.3.1 — ***Número de barras por celda vertical*** — En la mampostería de unidades de perforación vertical solo debe colocarse una barra de refuerzo vertical por celda. Cuando la dimensión menor de la celda sea mayor de 140 mm se permite colocar dos barras por celda siempre y cuando su diámetro no sea mayor de N° 5 (5/8") ó 16M (16 mm).

D.4.2.3.2 — ***Barras en paquete*** — Cuando se permiten dos barras por celda en la mampostería de unidades de perforación vertical, las barras pueden ser colocadas en paquete y en contacto para actuar como una unidad. Los puntos de corte de las barras individuales de un paquete deben estar espaciados como mínimo 40 veces el diámetro de la barra.

D.4.2.3.3 — ***Distancia entre la barra y el borde interior de la celda*** — El espesor de mortero de relleno entre el refuerzo y la unidad de mampostería no debe ser menor de 6.5 mm para mortero fino o 13 mm para mortero grueso.

D.4.2.3.4 — ***Mampostería confinada*** — En la mampostería de muros confinados el número de barras y la cantidad de refuerzo depende de la sección y del tipo de elemento diseñado para confinamiento. Los requisitos adicionales de construcción de este sistema se definen en el Capítulo D.10.

D.4.2.4 — **RECUBRIMIENTO DEL REFUERZO** — La distancia de recubrimiento de las barras de refuerzo en mampostería de unidades de perforación vertical o mampostería de cavidad reforzada, es la siguiente:

D.4.2.4.1 — ***Recubrimiento de barras colocadas en celdas*** — Las barras de refuerzo deben tener un recubrimiento, incluyendo el mortero de relleno y la pared de la unidad de mampostería, no menor de lo siguiente:

- **(a)** Para mampostería expuesta al contacto con la tierra o intemperie: **50** mm para barras mayores a N° 5 (5/8") o 16M (16 mm) o **40** mm para barras menores o iguales a N° 5 (5/8") o 16M (16 mm).
- **(b)** Para mampostería no expuesta al contacto con la tierra o intemperie: **40** mm

D.4.2.4.2 — ***Recubrimiento del refuerzo de junta*** — El refuerzo horizontal colocado en las juntas de pega debe estar completamente embebido en mortero con un recubrimiento mínimo de 12 mm cuando la mampostería está en contacto con la tierra o intemperie, o 6 mm cuando no se encuentra en contacto con la tierra o intemperie. El refuerzo horizontal debe protegerse con productos anticorrosivos cuando la mampostería esté en contacto con la tierra o agua permanente.

D.4.2.5 — **DESARROLLO DEL REFUERZO EMBEBIDO EN MORTERO DE RELLENO**

D.4.2.5.1 — ***Generalidades*** — La tracción o compresión calculada en el refuerzo en cada sección, debe ser desarrollada a cada lado de la sección mediante la longitud de desarrollo, gancho, anclaje mecánico o una combinación de los mismos.

D.4.2.5.2 — ***Longitud de desarrollo*** — La longitud de desarrollo, ℓ_d, para barras corrugadas embebidas en mortero de relleno en tracción o en compresión, debe ser determinada por la ecuación D.4.2-1. Para barras lisas la longitud de desarrollo se debe tomar como el doble de la obtenida para barras corrugadas.

$$\ell_d = \frac{1.5\, d_b^2\, f_y}{K\sqrt{f'_m}} \geq 300\ \text{mm} \qquad \textbf{(D.4.2-1)}$$

K es el recubrimiento del refuerzo medido desde el extremo exterior de la unidad de mampostería, y no debe exceder del espaciamiento libre entre empalmes de refuerzo adyacentes, ni de $5d_b$.

D.4.2.5.3 — ***Longitud de empalme por traslapo*** — La longitud de empalme por traslapo se debe tomar igual a la longitud de desarrollo, ℓ_d . Las barras unidas por medio de empalmes por traslapo que no estén en contacto, no deben estar espaciadas transversalmente más de una quinta parte de la longitud requerida de traslapo ni más de 200 mm.

D.4.2.5.4 — ***Empalmes mecánicos o soldados*** — Los empalmes mecánicos o soldados deben ser capaces de resistir por lo menos 1.25 veces el f_y de la barra. Todas las soldaduras deben cumplir la norma NTC 4040 (ANSI/AWS D.1.4).

D.4.2.6 — **DESARROLLO DEL REFUERZO EMBEBIDO EN CONCRETO** — El desarrollo del refuerzo anclado o embebido en concreto, se rige por los requisitos del Título C del Reglamento. Este es el caso de barras de empalme ancladas en los elementos de la cimentación o de barras de elementos de concreto reforzado embebidos dentro de la mampostería o trabajando en combinación con ella.

D.4.2.7 — **GANCHOS ESTÁNDAR** — El término gancho estándar usado en esta sección significa:

(a) Un doblez de 180 grados más una extensión recta de al menos 4 veces el diámetro de la barra pero no menor de 64 mm en el extremo libre de la barra.
(b) Un doblez de 90 grados más una extensión recta de al menos 12 veces el diámetro de la barra en el extremo libre de la barra.
(c) Un doblez de 135 grados más una extensión recta de al menos 6 veces el diámetro de la barra en el extremo libre de la barra.

D.4.2.8 — **DIÁMETROS MÍNIMOS DE DOBLAMIENTO PARA BARRAS DE REFUERZO** — El diámetro mínimo de doblamiento medido por el lado interior de las barras del refuerzo no debe ser menor que los valores especificados en la tabla D.4.2-1.

Tabla D.4.2-1
Diámetros de doblamiento para barras de refuerzo

Diámetro (d_b)	f_y	Diámetro mínimo
N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) a N° 7 (7/8”) ó 22M (22 mm)	240 MPa	$5d_b$
N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) a N° 8 (1”) ó 25M (25 mm)	420 MPa	$6d_b$

D.4.3 — ACTIVIDADES PRELIMINARES A LA CONSTRUCCIÓN

D.4.3.1 — **ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES** — Todos los materiales de la obra deben almacenarse de manera que permanezcan protegidos contra deterioro anormal o contaminación y deben utilizarse en los tiempos previstos. Materiales que presenten deterioro de sus propiedades físicas por debajo de las especificadas, deben rechazarse.

D.4.3.2 — **ALMACENAMIENTO DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA** — En el sitio de la obra debe ubicarse un espacio destinado al almacenamiento de las unidades de mampostería, preferiblemente cubierto y ventilado, con acceso externo e interno.

D.4.3.3 — **LUGAR PARA LA TOMA Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS** — En la obra debe ubicarse un espacio para la toma de muestras de los distintos materiales especificados, un espacio apropiado para su curado y almacenamiento en las condiciones previstas en las normas respectivas.

D.4.4 — REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA CIMENTACIONES

D.4.4.1 — **GENERAL** — Las características propias de las cimentaciones para mampostería estructural, obedecen a las condiciones del suelo de cimentación y del proyecto en sí mismo. Su diseño y construcción se debe ajustar a lo dispuesto en este Reglamento en el Título C y en el Título H.

D.4.4.2 — **ANCLAJE EN LA CIMENTACIÓN DEL REFUERZO DE LOS MUROS** — Todos los refuerzos verticales de los muros estructurales deben quedar anclados de acuerdo con lo establecido en el Título C de este Reglamento en el sistema de cimentación, mediante barras de empalme que sobresalgan la longitud necesaria para realizar el traslapo, fijadas a la armadura del cimiento, de tal manera que los desplazamientos en el proceso de compactación y vaciado del concreto de cimentación estén dentro de las tolerancias establecidas en el numeral D.4.4.3

D.4.4.3 — **TOLERANCIA DE LOCALIZACIÓN DEL REFUERZO DE EMPALME CON EL MURO** — La tolerancia de colocación longitudinal y transversal de la barra de empalme debe ser como máximo una cuarta parte de la dimensión de la celda en cada sentido. En caso de que se exceda esta tolerancia, la posición de la barra de empalme se puede corregir con inclinación suave 1H:6V. Se prohíbe la corrección brusca de la posición de la barra de empalme**,** y el corte de tabiques de las unidades de mampostería.

D.4.4.4 — **VACIADO DE LOS ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN** — El vaciado de los elementos estructurales de la cimentación debe realizarse con la aprobación previa del supervisor técnico. Las juntas de vaciado deben ser verticales y estar ubicadas en el tercio central entre los vanos libres de muros.

D.4.4.5 — **ALINEAMIENTO HORIZONTAL** — Los entramados y losas de cimentación deben alinearse y nivelarse por la cara superior, buscando alturas modulares de los muros.

D.4.4.6 — **CORRECCIÓN DEL ALINEAMIENTO DEL CIMIENTO** — Terminado el vaciado de la cimentación deben verificarse los alineamientos de la misma y las posiciones finales de las barras de empalme. Las diferencias verticales de alineamiento se pueden corregir de la siguiente forma:

(a) Si el error en el nivel superior de la cimentación es inferior a 25 mm, éste se puede corregir repartiendo en las juntas de pega del primer tramo teniendo en cuenta las tolerancias de la tabla D.4.2-2.
(b) Si el error en el nivel superior de la cimentación es mayor de 25 mm, se puede corregir el alineamiento con un realce en concreto reforzado de tal manera que se garantice su funcionamiento monolítico con el cimiento.

D.4.5 — REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA

D.4.5.1 — **GENERAL** — Los requisitos constructivos establecidos en esta sección son fundamentalmente para muros de mampostería hechos con unidades de perforación vertical. Para otros sistemas de mampostería estructural se establecen requisitos constructivos especiales adicionales:

(a) Para mampostería de cavidad reforzada en la Sección D.6.5.
(b) Para mampostería de muros confinados en la Sección D.10.8

D.4.5.2 — **UNIDADES DE MAMPOSTERÍA** — Los siguientes requisitos de construcción deben cumplirse en forma adicional a lo establecido en D.3.6.

D.4.5.2.1 — ***Estado de las unidades previo a su colocación*** — Al momento de colocarse las unidades de mampostería, deben estar limpias y libres de imperfecciones que afecten negativamente las propiedades mecánicas o físicas del muro. Las unidades de arcilla cocida que excedan una tasa inicial de absorción de 0.15 gramos por minuto por cm² determinada según la norma NTC 4017 (ASTM C67), deben humedecerse convenientemente antes de colocarlas. Para valores de tasa inicial de absorción mayores de 0.25 gramos por minuto por cm² deben humedecerse las unidades durante 24 horas previas a la colocación. Todas las unidades deben colocarse sin exceso de agua en sus superficies, la cual debe ser removida mediante frote con un paño seco. Las unidades de concreto siempre deben colocarse secas.

D.4.5.2.2 — ***Unidades especiales*** — La configuración del muro y de los refuerzos, así como las juntas de control, los remates, los dinteles, antepechos, etc., requieren de unidades especiales que deben estar disponibles al momento de la colocación.

D.4.5.3 — **MORTERO DE PEGA** — Debe cumplir con los requisitos de D.3.4.

D.4.5.4 — **MORTERO DE INYECCIÓN** — Debe cumplir con los requisitos en D.3.5.

D.4.5.5 — **ACERO DE REFUERZO** — El acero de refuerzo debe cumplir con los requisitos de C.3.5, y además con las siguientes disposiciones:

D.4.5.5.1 — ***Estado de la superficie del refuerzo*** — El refuerzo debe tener la superficie limpia de grasas, arcillas y demás sustancias perjudiciales. No debe presentar corrosión, aunque puede permitirse, a juicio del supervisor técnico, la oxidación superficial.

D.4.5.5.2 — ***Dimensiones*** — Todo refuerzo debe cumplir con las dimensiones, figuración y ubicación indicadas en los planos.

D.4.5.5.3 — ***Doblado de refuerzo parcialmente embebido*** — No se permite realizar dobleces al acero de refuerzo que ya esté parcialmente embebido en el mortero o en el concreto; excepto en los conectores flexibles los cuales pueden doblarse y en las barras de empalme cuando se cumple lo indicado en D.4.4.3.

D.4.5.6 — **TUBERÍAS EMBEBIDAS** — Se pueden embeber tuberías en los muros de mampostería siempre y cuando se coloquen en celdas no inyectadas y que tengan un diámetro inferior a la menor dimensión de la celda.

D.4.5.6.1 — ***Regatas*** — Se prohíbe la colocación de tuberías en los muros de mampostería estructural de unidades de perforación vertical mediante regatas.

D.4.5.6.2 — ***Salidas a la superficie del muro*** — Las salidas de sistemas de instalaciones interiores que empleen tuberías embebidas deben ubicarse en unidades especialmente diseñadas para este propósito.

D.4.5.6.3 — ***Tuberías embebidas en celdas inyectadas*** — Se pueden colocar tuberías embebidas en los muros de mampostería inyectada en los siguientes casos:

(a) Cuando conducen líquidos a temperatura inferior a 65°C.
(b) Cuando estén sometidas a presión inferior a 0.4 MPa.
(c) Cuando el líquido que contengan no pueda congelarse bajo la temperatura de servicio.
(d) Cuando el diámetro individual o del paquete de tuberías sea inferior a la tercera parte del espesor del muro.
(e) Cuando el material de fabricación no reaccione nocivamente con el mortero de relleno.
(f) Cuando en la celda no exista una barra.

En ningún caso se permiten tuberías que ocupen más del 5% del área transversal del muro. Además, deben estar separadas más de 5 diámetros de la tubería centro a centro y no se pueden colocar en celdas adyacentes.

D.4.5.7 — **APAREJO DE PETACA** — Se prohíbe el uso de aparejo de petaca en muros estructurales. Se admite su uso solamente en machones y columnas aisladas.

D.4.5.8 — **APAREJO TRABADO** — El patrón de colocación en aparejo trabado debe permitir continuidad en las celdas verticales que se inyectan con mortero de relleno.

D.4.5.9 — **JUNTAS DE CONTROL** — Deben proveerse juntas de control en los muros para permitir los movimientos relativos previstos en la construcción, en los siguientes sitios:

(a) En donde la altura del muro cambia de manera apreciable.
(b) En cambios de espesor en la longitud del muro.
(c) Cuando esté previsto así su funcionamiento en el diseño.
(d) En empates con elementos estructurales de función diferente y no integrados a la función del muro.
(e) En donde haya juntas de control en la fundación, en las losas ó en las cubiertas.
(f) En antepechos de ventanas cuando así se haya previsto.

D.4.5.9.1 — ***Distancia entre juntas de control*** — La distancia máxima entre juntas de control es de 8 metros. Esta distancia entre juntas de control puede aumentarse en caso de que haya evidencia técnica que

lo permita.

D.4.5.9.2 — ***Configuración de la junta de control*** — La junta de control se configura con las unidades de mampostería apropiadas para tal función. En ausencia de las unidades especiales para junta, ésta debe estar diseñada y detallada en los planos de construcción. En todos los casos se debe garantizar que no haya movimiento diferencial en la dirección transversal, entre los muros separados por la junta.

D.4.5.10 — **CONSTRUCCIÓN DEL MURO** — El muro debe levantarse siguiendo el patrón de colocación de las unidades, con la metodología apropiada al rendimiento de la mano de obra, sin perjuicio del cumplimiento de las disposiciones de este Reglamento ó de la condición de adherencia del mortero con las unidades de mampostería. Las tolerancias para alineamiento del muro se establecen en la tabla D.4.2-2.

D.4.5.10.1 — ***Mortero de pega*** — Debe colocarse mortero de pega en todas las juntas entre piezas de mampostería con los siguientes requisitos especiales:

(a) En las juntas horizontales de las unidades de perforación vertical, debe colocarse mortero de pega sobre las paredes laterales de la unidad y sobre sus tabiques transversales.

(b) Alternativamente, en las juntas horizontales se permite la colocación del mortero de pega solamente sobre las paredes laterales de la unidad, siempre y cuando la comprobación del valor de $\mathbf{f'_m}$, requerida en D.3.8, se realice sobre muretes que sólo tienen mortero de pega sobre las paredes laterales de la unidad de mampostería y este requisito se indique claramente en los planos.

(c) En las juntas verticales de las unidades de perforación vertical, en las paredes laterales de la unidad.

(d) Cuando se utilicen piezas macizas o bloques de perforación horizontal, el mortero de pega debe colocarse en todo el ancho del muro en las juntas verticales y horizontales.

(e) El avance del mortero de pega debe ser tal que al momento de colocar las unidades no se haya reducido la plasticidad del mortero colocado.

(f) El espesor máximo de las juntas de pega debe ser de 10 mm con las tolerancias establecidas en la Tabla D.4.2-2.

D.4.5.10.2 — ***Ventanas de inspección y limpieza*** — Deben dejarse ventanas de inspección y limpieza en la base de los muros en cada celda que se vaya a inyectar y a distancia no mayor de 1.0 metro en mampostería de cavidad. Cumpliendo los siguientes requisitos:

(a) Las dimensiones de las ventanas no deben ser menores de 75 mm x 75 mm, ni mayores de 100 mm x 100 mm.

(b) Cuando se hagan inyecciones parciales en altura no se requiere el uso de ventana de inspección si la porción de muro de inyectar no supera 1.4 metros.

(c) Se deben retirar las rebabas internas y externas de la junta de pega.

Tabla D.4.2-2
Tolerancias constructivas para muros de mampostería

Elemento	Tolerancia
1. Dimensiones de elementos (sección o elevación)	- 6 mm + 12.5 mm
2. Junta de mortero (10 mm)	- 4 mm + 4 mm
3. Cavidad ó celda de inyección	- 6 mm + 9 mm
4. Variación del nivel de junta horizontal Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12.5 mm
5. Variación de la superficie de apoyo (cara superior del muro) Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
6. Variación del plomo del muro Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
7. Variación del alineamiento longitudinal Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 12 mm
8. Tolerancia de elementos en planta Máximo	± 2 mm/metro (1/500) ± 20 mm
9. Tolerancia de elementos en elevación Máximo	± 6 mm/piso ± 20 mm

D.4.5.11 — **COLOCACIÓN DEL REFUERZO HORIZONTAL** — El refuerzo horizontal en muros de mampostería de unidades de perforación vertical puede colocarse de dos maneras diferentes según su función:

D.4.5.11.1 — ***Refuerzo horizontal de junta*** — Este refuerzo se emplea principalmente para el control de la fisuración por efectos de cambios de temperatura y retracción de fraguado. Se coloca dentro de las juntas horizontales de pega, cumpliendo los siguientes requisitos:

(a) Este refuerzo puede tenerse en cuenta para efecto de resistencia a los esfuerzos cortantes contribuidos por el refuerzo.
(b) El área del refuerzo de junta puede tenerse en cuenta en el cumplimiento de las cuantías mínimas de refuerzo horizontal del muro.
(c) El refuerzo de las juntas de mortero no debe atravesar las juntas de control. Debe anclarse mediante un gancho estándar doblado sobre el refuerzo vertical en cada extremo del muro y antes de la junta de control.

D.4.5.11.2 — ***Elementos embebidos para colocación del refuerzo horizontal*** — En los muros de mampostería de unidades de perforación vertical, el refuerzo horizontal que se coloca para resistir esfuerzos cortantes, y en aquellos casos en que no se puede colocar refuerzo de junta, se debe localizar dentro de unidades de mampostería especiales, de acuerdo con los siguientes requisitos:

(a) Las unidades especiales exteriormente deben tener la misma apariencia de las unidades de perforación vertical empleadas en el resto del muro.
(b) Las unidades especiales deben tener tabiques transversales de menor altura para permitir la colocación del refuerzo horizontal.
(c) La cavidad horizontal que forma se debe inyectar con mortero de relleno para embeber el refuerzo horizontal, llevándola hasta la parte superior de la unidad especial.
(d) Antes de asentar las unidades especiales, colocando un angéo, o malla metálica, o por medio de otro procedimiento apropiado, se debe impedir que el mortero de relleno caiga dentro de las celdas verticales que no se inyectan; sin afectar el paso del mortero de relleno en las celdas verticales que se van a inyectar.
(e) El refuerzo horizontal que se coloca dentro de la celda que producen las unidades especiales debe cumplir los mismos requisitos de diámetros máximos y mínimos del refuerzo que se coloca en las celdas verticales.
(f) El refuerzo horizontal que se coloca dentro de la celda debe terminar en sus extremos en un gancho estándar. El gancho puede tener su extensión libre colocada hacia arriba, hacia abajo, u horizontal, teniendo cuidado de no obstruir las operaciones de inyección del mortero de relleno. Cuando el refuerzo termina en vigas o en columnas, debe quedar totalmente anclado allí.

D.4.5.12 — **COLOCACIÓN DEL REFUERZO VERTICAL** — La colocación de los refuerzos y su disposición, deben tener en cuenta los siguientes requisitos, además de lo especificado en D.4.2

D.4.5.12.1 — ***Tolerancias*** — La colocación del refuerzo debe cumplir las tolerancias siguientes:

(a) Tolerancia transversal: La cuarta parte de la dimensión transversal de la celda.
(b) Tolerancia longitudinal: La cuarta parte de la dimensión longitudinal de la celda.

D.4.5.12.2 — ***Localización de las barras en la celda*** — Las barras verticales deben colocarse preferiblemente en el centro de la celda.

D.4.5.12.3 — ***Empalmes*** — En la zona de empalme, las barras traslapadas pueden estar en contacto mediante posicionadores, o pueden estar separadas una distancia no menor de 25 mm. Se puede empalmar refuerzo entre celdas adyacentes, siempre y cuando ambas celdas estén completamente inyectadas de mortero de relleno.

D.4.5.12.4 — ***Sujeción del refuerzo*** — Antes de la inyección del mortero, el refuerzo debe asegurarse contra desplazamientos, mediante posicionadores de alambre o dispositivos similares.

D.4.5.12.5 — ***Cambios*** — El cambio de posición o de dimensión del refuerzo sólo puede ser autorizado por el responsable del diseño estructural o su delegado.

D.4.6 — REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA EL MORTERO DE RELLENO

D.4.6.1 — **PREPARACIÓN DEL MORTERO DE RELLENO** — El mortero de relleno preparado en el sitio se debe mezclar durante un período entre 3 y 10 minutos en equipo mecánico, con la cantidad de agua requerida para la trabajabilidad deseada.

D.4.6.2 — **FLUIDEZ** — Al momento de la colocación del mortero de relleno, éste debe presentar las condiciones de fluidez requeridas sin que se haya iniciado endurecimiento por hidratación del cemento, de manera que el mortero de relleno fluya sin segregación por los espacios a inyectar.

D.4.6.3 — **INYECCIÓN DEL MORTERO** — El mortero de relleno se debe colocar directamente con bomba o manualmente con embudo, teniendo la precaución de que todo el espacio inyectado quede homogéneo y compacto, buscando vinculación íntima entre el mortero de relleno y las unidades de mampostería.

D.4.6.3.1 — ***Altura de inyección*** — La altura máxima de inyección se determinará teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

(a) Distancia entre traslapos del refuerzo vertical.
(b) Condición resistente de las unidades de mampostería a la presión hidrostática del mortero de relleno.
(c) Altura de inyección en un día con intervalos máximos de una hora.
(d) Tamaño del espacio a inyectar según altura de inyección (tabla D.4.6-1).

Tabla D.4.6-1
Altura máxima de inyección según el tamaño del espacio de inyección

Altura de Inyección		Dimensiones mínimas de celda requerida[1]	Dimensión mínima de cavidad [2] [3]
Mortero Fino	**Mortero Grueso**	**(mm)**	**(mm)**
0.4 m	-	40 x 50	25
1.2 m	0.4 m	50 x 60	38
1.5 m	1.2 m	50 x 75	50
3.0 m	1.5 m	60 x 75	60
-	3.0 m	75 x 75	75

(1) Espacio libre entre rebabas internas.
(2) Se refiere al espacio entre muros en la mampostería de cavidad reforzada.
(3) El área del refuerzo no ocupará más del 6% del área de la cavidad.

D.4.6.3.2 — ***Suspensión de la inyección*** — Cuando el proceso de inyección se suspenda por más de una hora, debe iniciarse un nuevo vaciado del mortero de relleno con las precauciones anotadas, como ventanas de inspección, etc.

D.4.6.3.3 — ***Inyección parcial*** — Es conveniente proveer de controles laterales de flujo al mortero de relleno cuando la inyección del muro es parcial. Para tal efecto se pueden rellenar con arena las celdas seleccionadas como barrera, o utilizar otro mecanismo apropiado al efecto.

D.4.6.3.4 — ***Juntas entre inyecciones de mortero*** — La junta de vaciado entre etapas de inyección debe hacerse al mismo nivel con un mínimo de 40 mm por debajo de una junta de mortero de pega.

D.4.6.4 — **COMPACTACIÓN** — El mortero de relleno debe compactarse adecuadamente con vibrador o barra lisa en porciones de 300 mm de altura o menos. En las celdas donde exista refuerzo vertical, se puede realizar la compactación haciendo vibrar la barra del refuerzo.

D.4.6.4.1 — ***Recompactación*** — Cuando se coloque el mortero de relleno en porciones de más de 300 mm de altura y pasado un tiempo prudencial de unos 5 minutos, es necesario recompactar el mortero de relleno colocado para garantizar la adherencia con las unidades, por la reducción de volumen que sufre el mortero al perder el agua succionada por las unidades. Alternativamente puede usarse un aditivo de expansión de volumen en el mortero de relleno.

D.4.7 — REQUISITOS CONSTRUCTIVOS PARA LOSAS DE ENTREPISO

D.4.7.1 — **ACCIÓN COMO DIAFRAGMA** — Las losas de entrepiso utilizadas en las construcciones de mampostería estructural deben cumplir los requisitos para diafragma de A.3.6.8 y C.21.11 de este Reglamento.

D.4.7.1.1 — ***Diafragmas flexibles*** — Los diafragmas flexibles que no cumplan los requisitos indicados en esta sección, se pueden utilizar en edificaciones de 1 y 2 niveles del grupo de uso I cumpliendo los requisitos de control de desplazamientos y distribución especial de cargas laterales dados en el Título A.

D.4.7.2 — **APOYO DE LOS ELEMENTOS DEL ENTREPISO** — Los elementos de la losa del entrepiso que se apoyan directamente sobre los muros deben quedar suficientemente soportados durante la construcción y vinculados adecuadamente en forma permanente a los muros.

D.4.7.3 – VOLCAMIENTO DE LA HILADA DE APOYO - Se debe garantizar que el apoyo de la losa no cause volcamiento en la hilada de apoyo por exceso de excentricidad, ni que haya posibilidad de desprendimiento de la placa en la etapa constructiva o en la etapa de servicio.

D.4.7.4 — **LOSAS PREFABRICADAS** — Cuando se utilicen losas prefabricadas, se deben cumplir las siguientes condiciones:

(a) El espesor mínimo nominal del muro de carga es 120 mm

(b) Deben cumplirse los requisitos de A.3.6.8 y C.21.11, de acuerdo con la capacidad de disipación de energía en rango inelástico del sistema de resistencia sísmica.

(c) Debe utilizarse apuntalamiento provisional de la placa hasta que se garantice el funcionamiento del conjunto losa muro. En la intersección debe garantizarse la transferencia de esfuerzos entre la losa y el muro tanto para carga vertical como para la carga lateral.

D.4.8 — APUNTALAMIENTO DE MUROS

D.4.8.1 — Cuando así lo requieran, los muros expuestos a las condiciones ambientales como viento y humedad, deben protegerse contra sus efectos, de manera provisional o definitiva.

D.4.9 — JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

D.4.9.1 — Las juntas de construcción entre edificaciones estructuralmente independientes deben realizarse permitiendo los desplazamientos laterales sin interferencias por golpeteo entre las mismas. Las juntas de construcción deben estar libres de escombros y demás materiales que limiten la libertad a los desplazamientos horizontales. El acabado de las fachadas se debe suspender en las juntas de construcción utilizando elementos flexibles para prevenir la humedad.

D.4.10 — CURADO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA

D.4.10.1 — ***Mampostería con unidades de concreto o sílico-calcáreas*** — A este tipo de mampostería debe dársele protección contra la lluvia, el viento y la exposición excesiva al sol durante los tres primeros días después de pegar las unidades o de inyectar las celdas. Este tipo de mampostería no debe curarse mediante riego con agua; sólo en el caso de que haya evidencia de deficiente hidratación del mortero de pega se debe curar humedeciendo con brocha húmeda las juntas de mortero de pega teniendo cuidado de no humedecer las unidades de mampostería.

D.4.10.2 — ***Mampostería con unidades de arcilla*** — Esta mampostería debe curarse proporcionando humedad y temperatura adecuadas durante por lo menos 7 días después de pegadas las unidades o de inyectar las celdas.

Notas

CAPÍTULO D.5
REQUISITOS GENERALES DE ANÁLISIS Y DISEÑO

D.5.0 — NOMENCLATURA

$\mathbf{A_e}$ = área efectiva de la sección de mampostería, mm^2. Véase D.5.4.1.
$\mathbf{A_{mv}}$ = área efectiva para determinar esfuerzos cortantes, mm^2. Véase D.5.4.5.
$\mathbf{A_{se}}$ = área efectiva de refuerzo en tracción, mm^2.
$\mathbf{A_{st}}$ = área total de acero de refuerzo en la sección de muro, mm^2.
$\mathbf{A_{s1}}$ = área del refuerzo a tracción equilibrado por la compresión en la mampostería, mm^2.
$\mathbf{A_{s2}}$ = área del refuerzo a tracción equilibrado por el refuerzo a compresión, mm^2.
$\mathbf{A_v}$ = área del refuerzo para cortante, mm^2.
$\mathbf{a}$ = profundidad del bloque equivalente de compresión (tomar como $\mathbf{0.85c}$), mm.
$\mathbf{a_b}$ = profundidad del bloque equivalente de compresión en condiciones balanceadas, ecuación D.5.1-2, mm.
$\mathbf{b}$ = ancho efectivo de la sección, mm. Véase D.5.4.4.
$\mathbf{c}$ = profundidad del eje neutro en la zona de compresión, mm.
$\mathbf{d}$ = distancia de la cara de compresión al centroide del refuerzo en tracción, mm.
$\mathbf{d'}$ = distancia desde el centroide del refuerzo en compresión flexión hasta la fibra extrema en compresión.
$\mathbf{E}$ = efectos sísmicos reducidos.
$\mathbf{E_m}$ = módulo de elasticidad de la mampostería, MPa.
$\mathbf{E_r}$ = módulo de elasticidad del mortero de relleno, MPa.
$\mathbf{E_s}$ = módulo de elasticidad del acero de refuerzo, MPa.
$\mathbf{F_s}$ = fuerzas sísmicas.
$\mathbf{f'_m}$ = resistencia a la compresión de la mampostería, MPa.
$\sqrt{\mathbf{f'_m}}$ = raíz cuadrada de la resistencia a la compresión de la mampostería, en MPa.
$\mathbf{f_r}$ = módulo de ruptura de la mampostería, MPa.
$\mathbf{f_y}$ = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, MPa.
$\mathbf{G_m}$ = módulo de cortante de la mampostería, MPa.
$\mathbf{G_r}$ = módulo de cortante del mortero de relleno, MPa.
$\mathbf{h'}$ = altura efectiva del elemento para evaluar efectos de pandeo, mm. Véase D.5.4.3.
ℓ = luz de una viga o dintel, mm.
ℓ_w = longitud horizontal del muro, mm.
$\mathbf{M}$ = momento actuante que ocurre simultáneamente con $\mathbf{V}$.
$\mathbf{M_{cr}}$ = momento de agrietamiento del muro de mampostería.
$\mathbf{M_n}$ = resistencia nominal a flexión.
$\mathbf{M_u}$ = resistencia solicitada de diseño a flexión
$\mathbf{P_b}$ = carga axial nominal balanceada, N.
$\mathbf{P_n}$ = resistencia nominal a carga axial, N.
$\mathbf{P_o}$ = máxima resistencia axial teórica, N.
$\mathbf{P_u}$ = resistencia solicitada de diseño a carga axial, N.
$\mathbf{R}$ = coeficiente de capacidad de disipación de energía.
$\mathbf{R_e}$ = coeficiente utilizado para temer en cuenta el efecto de esbeltez de elementos en compresión.
$\mathbf{R_0}$ = coeficiente básico de capacidad de disipación de energía.
$\mathbf{s}$ = separación del refuerzo de cortante medida a lo largo del eje vertical del muro, mm.
$\mathbf{t}$ = espesor efectivo de la sección para evaluar efectos de pandeo, mm. Véase D.5.4.2.
$\mathbf{V}$ = fuerza cortante actuante que ocurre simultáneamente con $\mathbf{M}$.
$\mathbf{V_n}$ = resistencia nominal para fuerza cortante, N.
$\mathbf{V_m}$ = resistencia nominal para fuerza cortante contribuida por la mampostería, N.

$\mathbf{V_u}$ = resistencia solicitada de diseño de fuerza cortante, N.

$\mathbf{V_s}$ = resistencia nominal para fuerza cortante contribuida por el refuerzo de cortante, N.

α = coeficiente para ser empleado en la ecuación D.5.8-1.

ε_{mu} = máxima deformación unitaria permisible de compresión en la mampostería $\left(\varepsilon_{mu} = 0.003\right)$

ε_y = deformación unitaria de fluencia del acero de refuerzo.

ϕ = coeficiente de reducción de resistencia.

ρ = cuantía de refuerzo a tracción por flexión, $\rho = A_s/(bd)$

ρ_b = cuantía correspondiente a las condiciones de flexión balanceada.

ρ_n = cuantía de refuerzo horizontal que resiste cortante en un muro en un plano perpendicular al plano A_{mv}, mm^2.

D.5.1 — HIPÓTESIS Y PRINCIPIOS GENERALES

D.5.1.1 — **GENERALIDADES** — El análisis y diseño de la mampostería estructural debe hacerse utilizando métodos racionales basados en principios aceptados por la buena práctica de la ingeniería y que reflejen las características y propiedades de los materiales componentes, los métodos constructivos utilizados y el comportamiento individual y en conjunto del sistema estructural.

D.5.1.2 — **METODOLOGÍA DE DISEÑO POR ESTADOS LIMITES DE RESISTENCIA** — Los requisitos de análisis y diseño del Título D están basados en el método del estado límite de resistencia, utilizando las combinaciones de carga descritas en B.2.4. No obstante, se permite el diseño de estructuras de mampostería por el método de esfuerzos de trabajo, utilizando las combinaciones de carga descritas en B.2.3, y para el efecto pueden emplearse los requisitos alternos presentados en el Apéndice D-1. Todo el diseño de la estructura debe realizarse por uno de estos dos métodos

D.5.1.3 — **RESISTENCIA REQUERIDA** — La resistencia requerida para los elementos de mampostería estructural se obtiene como el valor máximo, expresado en términos de carga o momentos y fuerzas internas asociadas, que resultan de aplicar a la estructura las diferentes cargas tales como muertas, vivas, sísmicas, de viento e impuestas por cambios de temperatura, retracción de fraguado y flujo plástico, empuje de tierra o líquidos, etc.; combinadas y mayoradas de acuerdo con B.2.4 de este Reglamento.

D.5.1.4 — **RESISTENCIA DE DISEÑO** — La resistencia de diseño que tiene un elemento, sus conexiones con otros elementos y cualquier parte o sección de él, en términos de momentos flectores, carga axial, cortantes y torsión, debe ser igual a su resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos y suposiciones del presente capítulo, multiplicada por un coeficiente de reducción de resistencia, ϕ. Por lo tanto:

$$\text{Resistencia de Diseño} = \phi \times \text{Resistencia Nominal} \geq \text{Resistencia Requerida} = U \quad \textbf{(D.5.1-1)}$$

D.5.1.5 — **VALORES DE ϕ** — Los coeficientes de reducción de resistencia deben ser los siguientes:

D.5.1.5.1 — ***Efectos gravitacionales y fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro*** — En el diseño de muros de mampostería estructural para efectos gravitacionales solos o acompañados por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro, deben emplearse los siguientes coeficientes de reducción de resistencia:

(a) Flexión y flexo-compresión ..... $\phi = 0.80$

(b) Cortante ..... $\phi = 0.60$

D.5.1.5.2 — ***Fuerzas paralelas al plano del muro*** — En el diseño de muros de mampostería estructural para efectos causados por fuerzas horizontales paralelas al plano del muro, deben emplearse los siguientes coeficientes de reducción de resistencia:

(a) Flexión ..... $\phi = 0.85$

(b) Compresión y flexo-compresión ..... $\phi = 0.60$

Para muros con refuerzo simétrico en los cuales f_y no excede 420 MPa, el valor de ϕ puede incrementarse linealmente hasta $\phi = 0.85$ en la medida que ϕP_n disminuye desde $0.10 f'_m A_e$ ó $0.25 P_b$ hasta cero. Para muros con todas sus celdas inyectadas, P_b puede calcularse utilizando la ecuación (D.5.1-2).

$$P_b = 0.80 f'_m b a_b \qquad \text{y} \qquad a_b = 0.85 d \frac{\varepsilon_{mu}}{\varepsilon_{mu} + \frac{f_y}{E_s}} \qquad \textbf{(D.5.1-2)}$$

(c) Cortante..... $\phi = 0.60$

Este valor puede subirse a $\phi = 0.85$ en muros donde la resistencia nominal a cortante excede el cortante correspondiente al desarrollo de su resistencia nominal a flexión para la combinación de fuerzas mayoradas.

D.5.1.5.3 — ***Valores de ϕ para esfuerzos de aplastamiento*** — El valor de ϕ para esfuerzos de aplastamiento debe ser $\phi = 0.60$

D.5.1.6 — **SUPOSICIONES DE DISEÑO** — El diseño de mampostería estructural por el método del estado límite de resistencia se basa en las siguientes suposiciones:

D.5.1.6.1 — ***Resistencia a la tracción de la mampostería*** — La mampostería no resiste esfuerzos de tracción.

D.5.1.6.2 — ***Compatibilidad de deformaciones*** — El refuerzo está totalmente rodeado y adherido a los materiales de la mampostería de una manera tal, que trabajan como un material homogéneo.

D.5.1.6.3 — ***Secciones planas permanecen planas*** — Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en la mampostería deben suponerse proporcionales a la distancia al eje neutro de la sección. La resistencia nominal de las secciones de muros de mampostería para las condiciones de flexo-compresión se debe obtener de la aplicación de los principios de equilibrio y compatibilidad de deformaciones.

D.5.1.6.4 — ***Relación esfuerzo deformación para el acero de refuerzo*** — Los esfuerzos en el acero, para valores menores que el esfuerzo de fluencia, f_y, deben considerarse linealmente proporcionales a la deformación unitaria multiplicada por E_s. Para valores superiores de deformación unitaria correspondiente al esfuerzo de fluencia, $\varepsilon_y = f_y / E_s$, el esfuerzo en el acero se debe considerar independiente de la deformación e igual a f_y.

D.5.1.6.5 — ***Deformación unitaria máxima en la mampostería*** — La máxima deformación unitaria en la fibra extrema en compresión de la mampostería, ε_{mu}, debe tomarse como 0.003.

D.5.1.6.6 — ***Relación esfuerzo-deformación para la mampostería*** — En el diseño por el método de resistencia puede considerarse una distribución rectangular de esfuerzos de compresión en la mampostería definida de la siguiente forma:

(a) Se puede suponer un esfuerzo uniforme de compresión en la mampostería con intensidad de $0.80 f'_m$ sobre una zona equivalente limitada por los bordes de la sección efectiva y una línea recta paralela al eje neutro de la sección.

(b) La dimensión de la zona equivalente de compresión, a, medida en dirección perpendicular al eje neutro a partir de la fibra de máxima compresión, debe ser el 85% de la dimensión comprimida, c, de la sección en esa dirección $(a = 0.85c)$.

D.5.2 — MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y DE CORTANTE

D.5.2.1 — MÓDULO DE ELASTICIDAD — Para los módulos de elasticidad se deben tomar los siguientes valores:

D.5.2.1.1 — *Acero de refuerzo* — El valor para el módulo de elasticidad del acero de refuerzo debe tomarse como:

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D.5.2-1)}$$

D.5.2.1.2 — *Mampostería* — El valor para el módulo de elasticidad de la mampostería se debe establecer por medio de ensayos de laboratorio de muretes fabricados y ensayados como se indica en D.3.7.2, calculando en la curva esfuerzo-deformación obtenida en el ensayo la pendiente de la secante desde $0.05f'_m$ hasta $0.33f'_m$. Los registros históricos del módulo de elasticidad determinado experimentalmente para proyectos en construcción, pueden utilizarse en diseños posteriores de obras con materiales similares. En ausencia de los valores experimentales, pueden emplearse los siguientes:

Para mampostería en concreto

$$E_m = 900f'_m \le 20\,000 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D.5.2-2)}$$

Para mampostería en arcilla

$$E_m = 750f'_m \le 20\,000 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D.5.2-3)}$$

D.5.2.1.3 — *Mortero de relleno* — El valor para el módulo de elasticidad del mortero de relleno se debe establecer por medio de ensayos de laboratorio de cilindros fabricados y ensayados como se indica en C.8.5. En ausencia de valores experimentales, puede emplearse el siguiente:

$$E_r = 2500\sqrt{f'_{cr}} \le 20\,000 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D.5.2-4)}$$

D.5.2.2 — MÓDULO DE CORTANTE — Para los módulos de cortante se deben tomar los siguientes valores:

Mampostería

$$G_m = 0.4E_m \qquad \textbf{(D.5.2-5)}$$

Mortero de relleno

$$G_r = 0.5E_r \qquad \textbf{(D.5.2-6)}$$

D.5.3 — CARGAS

D.5.3.1 — SOLICITACIONES A EMPLEAR — Las estructuras de mampostería deben diseñarse para los efectos de las cargas combinadas especificadas en el Título B de este Reglamento. Así mismo en la evaluación de los esfuerzos de diseño, se deben tener en cuenta los efectos de las cargas sobre los desplazamientos.

D.5.3.1.1 — *Combinación de las solicitaciones* — Las diferentes solicitaciones que deben ser tenidas en cuenta, se combinan para obtener las fuerzas internas de diseño de la estructura, de acuerdo con los requisitos de B.2.4 por el método del estado límite de resistencia. En cada una de las combinaciones de carga requeridas, las solicitaciones se multiplican por el coeficiente de carga prescrito para esa combinación en B.2.4. En los efectos causados por el sismo se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos de diseño, E, obtenidos dividiendo las fuerzas sísmicas F_s, determinadas de acuerdo con los requisitos del Título A del Reglamento, por el coeficiente de capacidad de disipación de energía $R\left(E = F_s/R\right)$. El coeficiente de capacidad de disipación de energía, R, es función de:

(a) El sistema de resistencia sísmica de acuerdo con la clasificación dada en el capítulo A.3,
(b) El grado de irregularidad de la edificación,
(c) La ausencia de redundancia según se especifica en A.3.3.8, y
(d) Los requisitos de diseño y detallado de cada tipo de mampostería estructural, para el grado de capacidad de disipación de energía correspondiente (*DMI*, *DMO*, o *DES*), tal como se especifica en el presente Título y en el capítulo A.3.

D.5.3.1.2 — ***Otros efectos*** — Además de las combinaciones de cargas verticales y horizontales especificadas, se debe capacitar la estructura y sus partes para atender los efectos causados por contracción, expansión, flujo plástico, asentamientos previstos y condiciones ambientales de funcionamiento.

D.5.3.2 — **DISTRIBUCIÓN DE FUERZA LATERAL** — Las fuerzas laterales deben distribuirse al sistema estructural de acuerdo con la rigidez de los elementos y del diafragma de acuerdo con lo prescrito en el Título A del Reglamento.

D.5.3.2.1 — ***Efecto de las aletas de la sección*** — Puede considerarse el incremento en la rigidez de los elementos por el efecto de aleta en muros que se intersectan monolíticamente. El ancho efectivo de aleta a cada lado (tipo T, I) no debe exceder 6 veces el espesor del muro intersectado. El ancho efectivo de aleta a un solo lado (tipo L, Z, C), no debe exceder 6 veces el espesor del muro intersectado. La aleta no se deben considerar en la resistencia a cortante.

D.5.3.2.2 — ***Efectos torsionales*** — Las cargas laterales distribuidas deben tener en cuenta los efectos torsionales horizontales de asimetría en las cargas, las masas o la estructura, tal como lo establece el Título A del Reglamento.

D.5.3.3 — **CARGAS CONCENTRADAS** — Los siguientes aspectos referentes a cargas concentradas deben tenerse en cuenta en el análisis y diseño.

(a) Para el cálculo de los esfuerzos de aplastamiento, en aparejo trabado se debe tomar un área cuya profundidad es el espesor neto del elemento de apoyo y cuya longitud no puede ser mayor que el ancho de la pieza soportada más cuatro veces el espesor del apoyo, sin ser mayor que la distancia entre centros de las cargas concentradas. Para mampostería con aparejo de petaca, la longitud del área de cálculo se debe tomar como el tamaño de la unidad de mampostería en esa dirección.
(b) Los esfuerzos de aplastamiento bajo cargas concentradas mayoradas, evaluadas sobre el área especificada en el literal anterior, no deben exceder $\phi\ 0.85f'_m$.
(c) Se considera que las cargas concentradas se distribuyen a un ángulo de 45^o con la vertical en muros con aparejo trabado y de 30^o en muros con aparejo de petaca.

D.5.3.4 — **CARGA EXCÉNTRICA** — Los esfuerzos que producen las cargas con excentricidad paralela o normal al plano del elemento estructural, deben considerarse en el diseño teniendo en cuenta su posición relativa al centro de rigidez de la sección neta. Todo esfuerzo que se produzca debe estar dentro de los límites establecidos en cada caso.

D.5.3.4.1 — ***Apoyos provisionales*** — En la evaluación de los esfuerzos por cargas excéntricas, se debe tener en cuenta la condición transitoria de su acción y los efectos permanentes. Cuando los efectos por la acción transitoria se mitiguen por medio de apoyos provisionales, estos apoyos se deben especificar claramente en los planos de construcción.

D.5.4 — CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES EFECTIVAS

D.5.4.1 — **ÁREA EFECTIVA** (A_e) — El área efectiva a utilizar para el cálculo de los esfuerzos axiales debe ser la suma del área mínima de contacto entre el mortero de pega y la unidad de mampostería y el área inyectada. Cuando la junta de mortero sea ranurada el área efectiva debe reducirse proporcionalmente. En la mampostería confinada incluye el área de los elementos de confinamiento.

D.5.4.2 — **ESPESOR EFECTIVO PARA EVALUAR EL EFECTO DE PANDEO** (t) — El espesor efectivo t a utilizar para el cálculo del coeficiente de reducción por pandeo, se debe tomar de la siguiente forma:

(a) Para muros sin machones o columnas de arriostramiento, el espesor efectivo es su espesor real.
(b) Para muros arriostrados a distancias regulares por machones integrados monolíticamente al muro, el

espesor efectivo es el producto del espesor real del muro por el coeficiente de la tabla D.5.4-1

(c) Los muros de cavidad reforzada se deben asimilar para el efecto, a un solo muro con un espesor real medido entre los bordes externos del conjunto.

(d) En elementos de sección rectangular se debe considerar como espesor efectivo la dimensión de la sección en la dirección considerada. Para secciones no rectangulares se debe considerar como espesor efectivo en cada dirección el espesor de una sección rectangular de igual ancho e inercia equivalente.

Tabla D.5.4-1
Coeficientes para muros arriostrados por machones (*)

$\frac{\text{Espaciamiento machón}}{\text{Espesor machón}}$	$\frac{\text{Espesor machón}}{\text{Espesor muro}}$		
	1.0	2.0	3.0
6 ó menos	1.0	1.4	2.0
8	1.0	1.3	1.7
10	1.0	1.2	1.4
15	1.0	1.1	1.2
20 ó más	1.0	1.0	1.0

(*) Interpolar linealmente para valores intermedios.

D.5.4.3 — **ALTURA EFECTIVA PARA EVALUAR EL EFECTO DE PANDEO** $(\mathbf{h'})$ — La altura efectiva $\mathbf{h'}$ de un elemento para el cálculo del coeficiente de reducción por pandeo se debe tomar de la siguiente forma:

(a) En elementos soportados lateralmente arriba y abajo en la dirección considerada, como la distancia libre entre apoyos.

(b) En elementos no soportados en un extremo en la dirección considerada, como el doble de la dimensión medida desde el apoyo.

(c) Cuando se justifique apropiadamente, se puede utilizar como altura efectiva una dimensión menor a la distancia libre entre apoyos.

D.5.4.3.1 — La relación entre altura efectiva y espesor efectivo no puede ser superior a 25 en muros estructurales.

D.5.4.4 — **ANCHO EFECTIVO** $(\mathbf{b})$ — El ancho efectivo para ser empleado en los cálculos de la resistencia a flexión y flexo-compresión de muros de mampostería construidos con unidades de perforación vertical, debe tomarse de la siguiente manera:

D.5.4.4.1 — ***Ancho efectivo*** $\mathbf{b}$ ***para flexión perpendicular al plano del muro*** — Cuando la dirección de las fuerzas horizontales es perpendicular al plano del muro, e inducen flexión o flexo-compresión con respecto a un eje paralelo al muro, el ancho efectivo $\mathbf{b}$ que se debe tomar para efectos de diseñar la sección es, para aparejo trabado, la mayor entre 6 veces el ancho nominal del muro y la distancia centro a centro entre refuerzos verticales; y para aparejo en petaca, la mayor entre 3 veces el ancho nominal del muro y la distancia centro a centro entre refuerzos verticales. En la mampostería con todas sus celdas inyectadas, la sección se considera sólida y no hay necesidad de aplicar las reducciones indicadas anteriormente.

D.5.4.4.2 — ***Ancho efectivo*** $\mathbf{b}$ ***para flexión paralela al plano del muro*** — Cuando la dirección de las fuerzas horizontales es paralela al plano del muro, e inducen flexión o flexo-compresión con respecto a un eje perpendicular al plano del muro, el ancho efectivo $\mathbf{b}$ que se debe tomar para efectos de diseñar la sección es igual al ancho sólido promedio del muro. El ancho efectivo $\mathbf{b}$, corresponde al área efectiva dividida por la longitud horizontal del muro $\mathbf{b = A_e / \ell_w}$.

D.5.4.5 — **ÁREA EFECTIVA PARA DETERMINAR ESFUERZOS CORTANTES** $(\mathbf{A_{mv}})$ — El área efectiva para calcular esfuerzos cortantes en muros de mampostería construidos con unidades de perforación vertical, debe tomarse de la siguiente manera:

D.5.4.5.1 — ***Área efectiva*** $\mathbf{A_{mv}}$ ***para cortante en la dirección perpendicular al plano del muro*** — Cuando

la dirección de la fuerza horizontal es perpendicular al plano del muro, e induce esfuerzos cortantes en esa dirección, el área efectiva para cortante es igual a $\mathbf{A_e}\left(\mathbf{A_{mv} = A_e}\right)$, excepto cuando se emplea mortero de pega sólo en las paredes laterales de la unidad de perforación vertical, véase D.4.5.10.1(b), caso en el cual $\mathbf{A_{mv}}$ corresponde a la suma de las porciones del muro inyectadas con mortero de relleno, incluyendo las paredes de las unidades de mampostería que las circundan y que tienen mortero de pega.

D.5.4.5.2 — ***Área efectiva*** $\mathbf{A_{mv}}$ ***para cortante en la dirección paralela al plano del muro*** — Cuando la dirección de las fuerzas horizontales es paralela al plano del muro, e induce esfuerzos cortantes en esa dirección, sólo el alma de la sección resiste esfuerzos cortantes y $\mathbf{A_{mv}}$ es el área neta del alma de la sección. Generalmente $\mathbf{A_{mv} = b\ell_w}$, siendo $\mathbf{b}$ el ancho efectivo del alma. No obstante, cuando hay concentraciones de celdas inyectadas con mortero de relleno en los extremos del muro, el ancho efectivo para este propósito debe calcularse en la zona central del alma.

D.5.4.6 — **DISTANCIA ENTRE APOYOS EN VIGAS Y DINTELES** — Para vigas y dinteles la distancia máxima entre apoyos que les den soporte lateral debe ser de 32 veces el ancho efectivo.

D.5.4.7 — **RIGIDEZ MÍNIMA A FLEXIÓN EN VIGAS Y DINTELES** — La rigidez mínima a flexión de un elemento debe ser tal que no se produzcan flechas elásticas mayores a $\ell/\mathbf{500}$ bajo la totalidad de las cargas verticales de diseño sin mayorar.

D.5.4.8 — **VIGAS DE SECCIÓN ALTA** — Las vigas que tengan relaciones de longitud/altura menores de 1.25 en luces simples y menores de 2.5 en luces continuas, se deben diseñar teniendo en cuenta relaciones no lineales en la distribución de esfuerzos en la sección.

D.5.5 — RESISTENCIA PARA CARGA AXIAL DE COMPRESIÓN

D.5.5.1 — **MÁXIMA RESISTENCIA AXIAL TEÓRICA** — La máxima resistencia axial teórica del muro sometido a carga axial sin excentricidad, $\mathbf{P_o}$, se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$\mathbf{P_o = 0.80f'_m\left(A_e - A_{st}\right) + A_{st}f_y \le f'_m A_e} \qquad \textbf{(D.5.5-1)}$$

D.5.5.2 — **REDUCCIÓN DE RESISTENCIA AXIAL POR ESBELTEZ** — El efecto de la esbeltez del muro en la resistencia nominal para carga axial se obtiene por medio del parámetro $\mathbf{R_e}$:

$$\mathbf{R_e = 1 - \left[\frac{h'}{42t}\right]^2} \text{ para } \mathbf{h'/t \le 30} \qquad \textbf{(D.5.5-2)}$$

$$\mathbf{R_e = \left[\frac{21t}{h'}\right]^2} \text{ para } \mathbf{h'/t > 30}$$

D.5.5.3 — **RESISTENCIA NOMINAL PARA CARGA AXIAL** — La resistencia nominal para carga axial de compresión $\mathbf{P_n}$, sin excentricidad y teniendo en cuenta los efectos de esbeltez, no puede ser mayor que el valor dado a continuación:

$$\mathbf{P_n = 0.80P_oR_e} \qquad \textbf{(D.5.5-3)}$$

D.5.5.4 — **MÁXIMA RESISTENCIA DE DISEÑO PARA CARGA AXIAL** — La máxima resistencia de diseño para carga axial de compresión $\mathbf{P_u}$, sin excentricidad y teniendo en cuenta los efectos de esbeltez, está dada por la siguiente expresión

$$\mathbf{P_u \le \phi P_n = \phi 0.80 P_o R_e} \qquad \textbf{(D.5.5-4)}$$

D.5.6 — RESISTENCIA A FLEXIÓN SIN CARGA AXIAL

D.5.6.1 — **GENERAL** — Cuando la sección del muro esta sometida a momento flector sin la presencia de carga axial, se debe cumplir la siguiente condición:

$$\mathbf{M_u \le \phi M_n} \qquad \textbf{(D.5.6-1)}$$

D.5.6.2 — **SECCIONES SOLO CON REFUERZO A TRACCIÓN** — Cuando la sección del muro esta simplemente reforzada, y su cuantía es menor del 75% de la cuantía para condiciones balanceadas, la resistencia nominal a flexión $\mathbf{M_n}$, se puede obtener por medio de la ecuación (D.5.6-2).

$$\mathbf{M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \qquad \textbf{(D.5.6-2)}$$

y

$$\mathbf{a = \frac{A_s f_y}{0.80 f'_m b}} \qquad \textbf{(D.5.6-3)}$$

D.5.6.3 — **SECCIONES CON REFUERZO A COMPRESIÓN** — Cuando la sección del muro tiene refuerzo que trabaja a compresión, y se puede probar que el refuerzo a compresión está en fluencia, la resistencia nominal a flexión $\mathbf{M_n}$, se puede obtener por medio de la ecuación D.5.6-4.

$$\mathbf{M_n = A_{s1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_{s2} f_y \left(d - d' \right)} \qquad \textbf{(D.5.6-4)}$$

D.5.7 — DISEÑO DE MUROS EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR A SU PLANO

D.5.7.1 — **GENERAL** — Los requisitos de esta sección se emplean para el diseño por el método del estado límite de resistencia, de muros de mampostería estructural de unidades de perforación vertical y de cavidad reforzada para el efecto de las cargas horizontales perpendiculares al plano del muro, además de las fuerzas verticales que actúan sobre el muro.

D.5.7.2 — **RESISTENCIA A FLEXIÓN PARA MUROS CON CARGA AXIAL MENOR QUE $\mathbf{0.10 f'_m A_e}$** — Cuando la carga axial que actúa sobre el muro $\mathbf{P_u}$ en la sección bajo estudio es menor que $\mathbf{0.10 f'_m A_e}$, el momento de diseño solicitado, $\mathbf{M_u}$, debe cumplir la condición dada por la ecuación D.5.7-1:

$$\mathbf{M_u \le \phi R_e M_n} \qquad \textbf{(D.5.7-1)}$$

donde $\mathbf{R_e}$ está dado por la ecuación D.5.5-2, y $\mathbf{M_n}$ se obtiene por medio de:

$$\mathbf{M_n = A_{se} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \qquad \textbf{(D.5.7-2)}$$

$$\mathbf{A_{se} = \frac{A_s f_y + P_u}{f_y}} \qquad \textbf{(D.5.7-3)}$$

y

$$\mathbf{a = \frac{A_s f_y + P_u}{0.80 f'_m b}} \qquad \textbf{(D.5.7-4)}$$

y la cuantía de refuerzo a flexión, $\rho = A_s / (bd)$ no debe exceder $0.5\rho_b$.

D.5.7.3 — RESISTENCIA A FLEXIÓN PARA MUROS CON CARGA AXIAL MAYOR QUE $0.10f'_mA_e$ — Cuando la carga axial que actúa sobre el muro P_u en la sección bajo estudio es mayor que $0.10f'_mA_e$, la relación de esbeltez del muro h'/t no debe ser mayor que 30, y el momento de diseño solicitado, M_u, que acompaña la carga axial P_u, debe cumplir la condición dada por la ecuación D.5.7-5:

$$M_u \le \phi R_e M_n \qquad \textbf{(D.5.7-5)}$$

donde R_e está dado por la ecuación D.5.5-2, y M_n se obtiene teniendo en cuenta la interacción entre momento y carga axial, de acuerdo con los principios enunciados en D.5.1.6 y empleando el coeficiente de reducción de resistencia, ϕ, apropiado de los dados en D.5.1.5.1.

D.5.7.4 — RESISTENCIA A CORTANTE EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL PLANO DEL MURO — Se debe cumplir la siguiente condición con respecto a la fuerza cortante que actúa en la dirección perpendicular al plano del muro:

$$V_u \le \phi V_n \qquad \textbf{(D.5.7-6)}$$

donde:

$$V_n = \frac{1}{6} A_{mv} \sqrt{f'_m} \qquad \textbf{(D.5.7-7)}$$

donde A_{mv} está definido en D.5.4.5.1 y el valor del coeficiente de reducción de resistencia, ϕ, está dado en D.5.1.5.1.

D.5.8 — DISEÑO DE MUROS EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO

D.5.8.1 — GENERAL — Los requisitos de esta sección se emplean para el diseño por el método del estado límite de resistencia, de muros de mampostería estructural de unidades de perforación vertical y de cavidad reforzada para el efecto de las cargas horizontales paralelas al plano del muro, además de las fuerzas verticales que actúan sobre el muro.

D.5.8.2 — RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXIÓN — Cuando el modo de falla dominante del muro es la flexión, la resistencia nominal a flexión del muro M_n, debe cumplir la siguiente relación:

$$M_n \ge \alpha M_{cr} \qquad \textbf{(D.5.8-1)}$$

donde $\alpha = 1.8$ para mampostería con todas sus celdas inyectadas con mortero de relleno, $\alpha = 3.0$ para mampostería donde solo están inyectadas las celdas que contienen refuerzo y $\alpha = 3.0$ para mampostería de cavidad reforzada. M_{cr} es el momento de agrietamiento, el cual se obtiene por medio de la ecuación D.5.8-2.

$$M_{cr} = \frac{b\ell_w^2}{6} f_r \qquad \textbf{(D.5.8-2)}$$

El módulo de ruptura de la mampostería, f_r, se obtiene de la tabla D.5.8-1:

Tabla D.5.8-1
Módulo de ruptura, f_r (MPa)

Dirección de los esfuerzos de tracción por flexión y tipo de mampostería.	Morteros de cemento portland y cal		Morteros de cemento para mampostería	
	H, M, ó S	N	H, M, ó S	N
Perpendicular a las juntas horizontales				
- Unidades Macizas	0.69	0.52	0.41	0.26
- Unidades de perforación vertical[(1)]				
- Sin rellenar	0.43	0.33	0.26	0.16
- Rellenas con morteros de inyección	1.12	1.09	1.06	1.00
Perpendicular a la junta vertical				
- Unidades Macizas	1.38	1.03	0.83	0.52
- Unidades de perforación vertical				
- Sin rellenar	0.86	0.66	0.52	0.33
- Rellenas y parcialmente rellenas con morteros de inyección	1.38	1.03	0.83	0.52

[(1)]Para mampostería parcialmente inyectada, el módulo de ruptura deberá ser determinado por interpolación lineal de los valores dados para las unidades de perforación vertical sin rellenar y las rellenas con mortero de relleno basada en la cantidad (porcentaje) relleno con mortero de relleno.

D.5.8.3 — **RESISTENCIA A LA FLEXO-COMPRESIÓN** — El momento de diseño solicitado, $\mathbf{M_u}$, que acompaña la carga axial $\mathbf{P_u}$, debe cumplir la condición dada por la ecuación D.5.8-2, para el nivel de carga $\mathbf{P_u}$:

$$\mathbf{M_u \le \phi M_n} \qquad \textbf{(D.5.8-3)}$$

$\mathbf{M_n}$ se obtiene teniendo en cuenta la interacción entre momento y carga axial, de acuerdo con los principios enunciados en D.5.1.6, los cuales permiten calcular un diagrama de interacción del muro, empleando el coeficiente de reducción de resistencia, ϕ, apropiado de los dados en D.5.1.5.2, el cual, a su vez, depende del nivel de carga axial.

D.5.8.4 — **RESISTENCIA A CORTANTE EN LA DIRECCIÓN PARALELA AL PLANO DEL MURO** — Se debe cumplir la siguiente condición con respecto a la fuerza cortante que actúa en la dirección paralela al plano del muro:

$$\mathbf{V_u \le \phi V_n} \qquad \textbf{(D.5.8-4)}$$

y

$$\mathbf{V_n = V_m + V_s} \qquad \textbf{(D.5.8-5)}$$

Si $\mathbf{V_u \ge \phi V_m}$, el refuerzo debe tomar todo el esfuerzo cortante, y entonces:

En las ecuaciones anteriores, $\mathbf{V_m}$ se calcula de acuerdo con lo indicado en D.5.8.4.2 y $\mathbf{V_s}$ de acuerdo con D.5.8.4.3. Además, el cortante nominal total, $\mathbf{V_n}$ dado por la ecuación D.5.8-5 no puede exceder en ninguna sección horizontal del muro el valor dado en D.5.8.4.4.

D.5.8.4.1 — ***Verificación de articulación plástica*** — Si el cortante nominal del muro, $\mathbf{V_n}$, excede el cortante que se produce con la resistencia nominal a flexión del muro, $\mathbf{M_n}$, existe la posibilidad de que se desarrolle una articulación plástica en la base del muro y deben adoptarse precauciones especiales dentro de una región que va desde la base del muro hasta una altura igual a ℓ_w. Todas las secciones dentro de esta región deben tener una resistencia nominal al cortante igual a:

$$\mathbf{V_n = V_s} \qquad \textbf{(D.5.8-6)}$$

La resistencia al corte requerida, V_u, para esta región puede determinarse con base en el momento resistente M_n en una sección localizada a una altura igual a $\ell_w/2$, pero no más de medio piso, por encima de la base del muro. La separación, s, del refuerzo horizontal de cortante dentro de esta región comprendida entre la base y una altura igual a ℓ_w, no puede exceder tres veces el ancho nominal del muro, t, ni 600 mm. En el resto del muro hacia arriba, la resistencia nominal al cortante puede determinarse por medio de la ecuación D.5.8-5.

D.5.8.4.2 — ***Valor de*** V_m — El cortante nominal resistido por la mampostería, V_m, se calcula utilizando las expresiones dadas en la tabla D.5.8-2, donde M_u es el momento que ocurre simultáneamente con V_u en la sección bajo consideración, y d puede tomarse como $0.8\ell_w$ en ausencia de un análisis de compatibilidad de deformaciones. A_{mv} está definida en D.5.4.5.2. El cociente $M_u/(V_u d)$ debe tomarse siempre como positivo y no hay necesidad que sea mayor que la unidad.

Tabla D.5.8-2
Valor del cortante nominal resistido por la mampostería, V_m

$\frac{M_u}{V_u d}$	V_m
$\frac{M_u}{V_u d} \le 0.25$	$V_m = 0.30 A_{mv}\sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$
$0.25 < \frac{M_u}{V_u d} < 1.00$	$V_m = \left[0.33 - 0.13\left(\frac{M_u}{V_u d}\right)\right] A_{mv}\sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$
$\frac{M_u}{V_u d} \ge 1.00$	$V_m = 0.20 A_{mv}\sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$

D.5.8.4.3 — ***Valor de*** V_s — El cortante nominal resistido por el refuerzo horizontal de cortante, V_s, se calcula utilizando la ecuación D.5.8-7:

$$V_s = \rho_n f_y A_{mv} \qquad \textbf{(D.5.8-7)}$$

donde f_y es la resistencia a la fluencia del refuerzo de cortante, y ρ_n es la cuantía del refuerzo que contribuye a resistir la fuerza cortante, calculada de acuerdo con la ecuación D.5-8-8:

$$\rho_n = \frac{A_v}{sb}\eta \qquad \textbf{(D.5.8-8)}$$

η = Factor de eficiencia del refuerzo horizontal.

A_v es el área de refuerzo horizontal que resiste cortante, espaciado una separación s medida verticalmente.
Cuando A_v es colocado dentro de elementos horizontales embebidos dentro del muro,
como se describe en D.4.5.11.2 ..... $\eta = 0.70$
Cuando A_v, es el refuerzo horizontal de junta descrito en D.4.5.11.1 ..... $\eta = 0.35$

D.5.8.4.4 – ***Valores máximos de*** V_n – El cortante nominal, V_n, no puede exceder los valores dados en la tabla D.5.8-3, donde M_u es el momento que ocurre simultáneamente con V_u en la sección bajo consideración, y d puede tomarse como $0.8\ell_w$ en ausencia de un análisis de compatibilidad de deformaciones. El cociente $M_u/(V_u d)$ debe tomarse siempre como positivo y no hay necesidad que sea mayor que la unidad.

Tabla D.5.8-3
Valores máximos para el cortante nominal V_n

$\frac{M_u}{V_u d}$	máximo valor permitido para V_n
$\frac{M_u}{V_u d} \le 0.25$	$0.50 A_{mv} \sqrt{f'_m}$
$0.25 < \frac{M_u}{V_u d} < 1.00$	$\left[0.56 - 0.23\left(\frac{M_u}{V_u d}\right)\right] A_{mv} \sqrt{f'_m}$
$\frac{M_u}{V_u d} \ge 1.00$	$0.33 A_{mv} \sqrt{f'_m}$

D.5.8.5 — **ELEMENTOS DE BORDE** — Se deben utilizar elementos de borde en los muros de mampostería de unidades de perforación vertical y de mampostería de cavidad reforzada, cuando el modo de falla del muro sea en flexión y el esfuerzo de compresión de la fibra extrema en condiciones de cargas mayoradas exceda $0.20 f'_m$ para mampostería de cavidad reforzada como se define en D.2.1.1 y para mampostería reforzada como se define en D.2.1.2, y cuando exceda $0.30 f'_m$ para mampostería parcialmente reforzada como se define en D.2.1.3. Deben cumplirse además los siguientes requisitos:

(a) Los elementos de borde se pueden suspender a partir de la sección en la que el esfuerzo de compresión sea inferior a $0.15 f'_m$, pero no deben suspenderse antes de llegar a una altura igual a ℓ_w, medida desde la base del muro.

(b) Los esfuerzos se calculan para las fuerzas mayoradas, utilizando un modelo linealmente elástico y considerando la sección como no fisurada.

(c) Los elementos de borde deben tener estribos de confinamiento de diámetro N° 3 (3/8") ó 10M (10 mm), separados verticalmente a 200 mm, o su equivalente, dentro del espacio inyectado con mortero de relleno. Las celdas deben tener como mínimo 100 mm x 100 mm.

(d) En muros de cavidad reforzada**,** los elementos de borde deben cumplir con lo especificado para muros de concreto en C.21.9.6.

CAPÍTULO D.6
MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA

D.6.1 — REQUISITOS GENERALES

D.6.1.1 — **GENERAL** — Además de lo especificado en este Capítulo, las estructuras en mampostería de cavidad reforzada deben cumplir los Capítulos D.1, D.2 y D.3.

D.6.1.2 — **DEFINICIÓN** — Se clasifican como muros de cavidad reforzada aquellos que se construyen con dos paredes laterales de mampostería que dejan una cavidad interior continua, reforzada como se indica en el presente Capítulo, que se inyecta posteriormente en su totalidad con mortero o concreto fluido.

D.6.1.2.1 — ***Unidades de mampostería*** — Las unidades de mampostería utilizadas en la construcción de las paredes laterales pueden ser de concreto, arcilla cocida o sílico-calcáreas, macizas, de perforación vertical u horizontal, y deben cumplir las normas establecidas para las unidades de mampostería en D.3.6.

D.6.1.2.2 — ***Mortero de pega*** — Los morteros para pega de las paredes laterales deben cumplir lo establecido en D.3.4 de estas normas.

D.6.1.2.3 — ***Mortero de relleno*** — Los morteros de relleno para las celdas verticales de las paredes deben cumplir lo establecido en D.3.5. Igualmente se deben cumplir dichas especificaciones en el mortero de relleno que se utilice en la cavidad continua, el cual debe corresponder al tipo de mortero de relleno grueso, clasificado en la tabla D.3.5-1. Alternativamente, la cavidad continua se puede inyectar con concreto fluido cuyo tamaño máximo del agregado grueso no exceda la quinta parte del espesor de la cavidad y cuya fluidez y consistencia puedan garantizar su colocación sin que se presente segregación.

D.6.1.3 — **ESPESOR MÍNIMO** — Los muros en mampostería de cavidad reforzada deben tener un espesor real total no menor de 190 mm, los cuales corresponden a 70 mm de espesor real mínimo (80 mm de espesor nominal) en cada pared lateral y a 50 mm de espesor mínimo de la cavidad.

D.6.1.4 — **CONECTORES** — Las paredes laterales deben estar conectadas horizontalmente con alambres de diámetro no inferior a 4 mm, espaciados verticalmente máximo a 600 mm y horizontalmente máximo a 800 mm. Se pueden utilizar conectores en cercha, en escalera, en zeta o estribos rectangulares con abertura de 100 a 150 mm.

D.6.1.4.1 — ***Propósito*** — El propósito de los conectores es el de garantizar la acción compuesta conjunta de los dos muros laterales y de la cavidad. Bajo ciertas circunstancias estos conectores pueden ser insuficientes para atender los efectos de la presión hidrostática del material de inyección sobre las paredes laterales, por lo tanto deben tenerse en cuenta los requisitos establecido en D.6.5.4.

D.6.1.4.2 — ***Conectores en Z*** — Los conectores en zeta sólo pueden utilizarse cuando las paredes laterales se construyan con unidades sólidas o de perforación horizontal. En estos conectores la longitud de la pata debe ser de 50 mm ó más, la cual debe quedar totalmente embebida en el mortero de pega. Cuando se utilicen conectores en zeta las distancias entre ellos no pueden exceder 400 mm verticales ni 600 mm horizontales.

D.6.1.5 — **VENTANAS DE LIMPIEZA** — Se deben dejar ventanas de limpieza en cada pared con dimensiones no menores de 75 mm por 75 mm espaciadas máximo a 1 m de un extremo al otro de muro y alternadas en las paredes.

D.6.1.6 — **RESISTENCIA MÍNIMA** — El mortero de relleno ó el concreto fluido deben tener una resistencia mínima a la compresión de 12.5 MPa medida a los 28 días. La resistencia a la compresión de la mampostería de las paredes, $\mathbf{f'_m}$, no puede ser inferior a 6.25 MPa ni al 50% de la resistencia a la compresión especificada para el material de inyección de la cavidad, ni mayor que dos veces la resistencia especificada para el material de inyección.

D.6.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA

D.6.2.1 — Las limitaciones de uso y los requisitos especiales sísmicos del sistema de mampostería de cavidad reforzada, utilizado individualmente ó como parte de un sistema combinado, se rigen por el Capítulo A.3. La

mampostería de cavidad reforzada se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (*DES*).

D.6.3 — REQUISITOS DEL REFUERZO

D.6.3.1 — **GENERAL** — Los refuerzos utilizados en la mampostería de cavidad reforzada deben cumplir las especificaciones establecidas en el Capítulo D.2. El uso, las características, el manejo y la colocación del refuerzo debe tener en cuenta las demás disposiciones establecidas en este Título.

D.6.3.2 — **REFUERZO MÍNIMO** — La cantidad de refuerzo dispuesta en los muros de cavidad reforzada no puede ser inferior a los siguientes valores:

(a) En la cavidad se debe colocar un refuerzo continuo tanto horizontal como vertical, que cumpla con las siguientes cuantías evaluadas sobre el área bruta de la cavidad:

Refuerzo vertical mínimo..... **0.0015**

Refuerzo horizontal mínimo **0.0020**

(b) Sumando el refuerzo de la cavidad y el refuerzo de las paredes laterales, la cantidad de refuerzo dispuesto en cualquier dirección no puede ser inferior a 0.0007 respecto al área bruta de la sección transversal completa. La suma de las cuantías vertical y horizontal no puede ser inferior a 0.0020 medida respecto al área bruta de la sección transversal completa.

D.6.3.2.1 — ***Separación del refuerzo*** — Dentro de la cavidad la separación del refuerzo utilizado no puede ser mayor de 400 mm ni menor de 50 mm. El refuerzo vertical debe tener posicionadores a distancias no mayores de 250 diámetros de la barra ó 3 m. El refuerzo horizontal debe soportarse en los conectores transversales.

D.6.3.3 — **REFUERZO EN ABERTURAS** — En cada extremo de un muro de cavidad reforzada deben colocarse como mínimo dos barras N° 4 (1/2") ó 12M (12 mm) dispuestas en toda la altura del muro y ancladas en los extremos. Mínimo deben colocarse horizontalmente, en toda la longitud del muro, dos barras N° 4 (1/2") ó 12M (12 mm) en el remate y en el arranque de todo muro de cavidad reforzada. Estas barras deben estar ancladas en los extremos. A cada lado de las aberturas de puertas o ventanas, deben colocarse mínimo dos barras N° 4 (1/2") ó 12M (12 mm) tanto horizontal como verticalmente, cuya longitud debe ser tal, que cada extremo de las barras sobrepase el borde de la abertura una distancia no menor que la longitud de desarrollo ni 500 mm.

D.6.3.4 — **REFUERZO EN COMPRESIÓN** — Cuando el refuerzo vertical de la cavidad no contribuya a resistir los esfuerzos de compresión, su diámetro mínimo es N° 2 (1/4") ó 6M (6 mm). Cuando el refuerzo vertical de la cavidad contribuya a los esfuerzos de compresión, su diámetro mínimo es N° 4 (1/2") ó 12M (12 mm). Este refuerzo que trabaja a compresión debe soportarse lateralmente mediante estribos de diámetro no inferior a N° 2 (1/4") ó 6M (6 mm), con un espaciamiento máximo de 200 mm ó 16 diámetros de barra vertical.

D.6.3.5 — **DIÁMETRO MÍNIMO** — El diámetro de las barras de la cavidad no puede ser mayor que la cuarta parte de su espesor.

D.6.3.6 — **CAPAS DE REFUERZO** — El refuerzo debe disponerse en una sola capa para espesores de la cavidad hasta de 150 mm. Para espesores mayores se deben disponer dos capas de refuerzo, las cuales individualmente no pueden contener más del 66% del refuerzo total de la cavidad.

D.6.4 — REQUISITOS DE DISEÑO

D.6.4.1 — **GENERAL** — Los muros de cavidad reforzada se deben diseñar siguiendo los requisitos del Capítulo D.5 y del Apéndice D-1, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los materiales especificados y las características dimensionales de la sección compuesta, y siguiendo los procedimientos apropiados para el estudio de la distribución de esfuerzos en elementos de varios materiales. Adicionalmente deben tenerse en cuenta para el diseño los requisitos de esta sección.

D.6.4.2 — **ANÁLISIS** — El análisis estructural de los muros de mampostería de cavidad reforzada debe basarse en la sección transformada elástica de la sección neta compuesta. Los esfuerzos evaluados en cualquier porción de la mampostería compuesta, deberán estar dentro de los límites establecidos para el material de esa porción. Los esfuerzos admisibles para el material de inyección se deben determinar con las mismas fórmulas utilizadas para la mampostería reemplazando el valor de $\mathbf{f'_m}$ por $\mathbf{f'_{cr}}$ cuando el diseño se haga por el método de los esfuerzos de trabajo admisibles.

D.6.4.3 — **MÓDULO DE ELASTICIDAD** — El módulo de elasticidad de cada pared componente de la mampostería de cavidad reforzada, se debe determinar de acuerdo con D.5.2. Cuando la relación entre los módulos sea superior a 2, o inferior a 0.5, los módulos de elasticidad deben determinarse mediante ensayos, tomando el valor secante entre $\mathbf{0.05f'_m}$ y $\mathbf{0.33f'_m}$ y entre $\mathbf{0.05f'_{cr}}$ y $\mathbf{0.33f'_{cr}}$ respectivamente.

D.6.4.4 — **SECCIÓN TRANSFORMADA** — Al transformar la sección se debe tomar uno de los materiales como base. La dimensión paralela al eje neutro de la sección, debe ser el producto de la relación modular por la dimensión original, sin alterar las dimensiones en la dirección ortogonal al eje neutro. Ni la altura efectiva, ni la longitud de los elementos se pueden modificar debido a la transformación de la sección. El espesor efectivo considerado debe ser el de la sección original.

D.6.4.5 — **MONOLITISMO** — La mampostería de cavidad reforzada se debe diseñar para que tenga un funcionamiento monolítico. Se deben estudiar y atender los esfuerzos internos derivados de cambios de volumen, y otros efectos reológicos si los hay.

> **D.6.4.5.1** — ***Esfuerzo cortante de contacto*** — El esfuerzo cortante en la superficie de contacto de la cavidad con las paredes de mampostería se debe limitar, en todos los casos, a 0.07 MPa.

D.6.5 — REQUISITOS ADICIONALES DE CONSTRUCCIÓN

Además de lo establecido en el Capítulo D.4, se deben tener en cuenta los siguientes requisitos adicionales para construcciones en mampostería de cavidad reforzada:

D.6.5.1 — **PAREDES LATERALES** — La construcción de las paredes laterales de mampostería tiene las tolerancias de alineamiento establecidas en este Título. Su ejecución debe ser simultánea, con desfase vertical entre las paredes máximo de 400 mm. La cavidad interior debe estar libre de rebabas, escombros y chorreaduras de mortero.

D.6.5.2 — **REFUERZO HORIZONTAL EN LA CAVIDAD** — El refuerzo horizontal de la cavidad se debe colocar en la medida que avanza la ejecución del muro, soportado por los conectores y fijado a éstos.

D.6.5.3 — **INYECCIÓN DE LA CAVIDAD** — La inyección de la cavidad debe hacerse mínimo a los 3 días de construidas las paredes, garantizando el arriostramiento contra la presión hidrostática del material de inyección.

> **D.6.5.3.1** — ***Altura de inyección*** — La inyección de la cavidad se puede llevar a cabo después de realizar limpieza del fondo y una vez se haya colocado y asegurado el refuerzo vertical. El proceso de inyección se debe realizar en el mismo día con alturas sucesivas de 1.2 m, dejando un tiempo entre 60 y 90 minutos entre capas. Al finalizar cada capa, pasados 5 minutos, se debe recompactar la mezcla.
>
> **D.6.5.3.2** — ***Longitud de la inyección*** — La longitud horizontal de inyección en una sola operación no debe exceder 8 metros. En caso necesario, se deben colocar barreras continuas verticales que impidan el flujo lateral del material de inyección, para garantizar el monolitismo del muro al finalizar la construcción.

D.6.5.4 — **CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES** — El control de calidad de los materiales se debe realizar de acuerdo con las normas de producción de los diferentes materiales y con las frecuencias indicadas en D.3.8.

Notas

CAPÍTULO D.7
MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA CONSTRUIDOS CON UNIDADES DE PERFORACIÓN VERTICAL

D.7.1 — GENERALIDADES

D.7.1.1 — Las edificaciones de muros de mampostería reforzada construidos con unidades de perforación vertical deben cumplir los requisitos de este Capítulo. Además deben cumplir lo establecido como requisitos generales en el Capítulo D.1, las normas y procedimientos del Capítulo D.2, las especificaciones para materiales del Capítulo D.3 y los requisitos de construcción del Capítulo D.4.

D.7.1.2 — Los muros de mampostería reforzada deben construirse utilizando unidades de perforación vertical que cumplan los requisitos de D.3.6.4.

D.7.1.3 — Los muros de este tipo de mampostería deben tener un espesor nominal mínimo de 120 mm. Sólo se admite el aparejo trabado y no se permite el uso de morteros tipo N.

D.7.1.4 — La resistencia a la compresión de la mampostería $\mathbf{f'_m}$ en este tipo de mampostería estructural, no puede tener una resistencia menor de 10 MPa, ni una resistencia mayor de 28 MPa.

D.7.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA REFORZADA

D.7.2.1 — Las restricciones al uso de la mampostería reforzada se basan en lo establecido al respecto en el Capítulo A.3. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, de la siguiente manera:

D.7.2.1.1 — ***Muros de mampostería reforzada con capacidad especial de disipación de energía (DES)*** — Cuando todas las celdas verticales, inclusive las que no llevan refuerzo, se inyectan con mortero de relleno, la mampostería reforzada construida con unidades de perforación vertical (bloque) se clasifica para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (*DES*).

Cuando se cumplan los siguientes requisitos de refuerzo mínimo adicionales a los exigidos en D.7.3, la mampostería reforzada construida con unidades de perforación vertical se clasifica para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas de capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico *(DES):*

- **(a)** El espaciamiento horizontal entre refuerzos verticales deberá ser el menor de un tercio de la longitud del muro, un tercio de la altura del muro o de 120 mm.
- **(b)** El refuerzo horizontal requerido para resistir la fuerza cortante en la dirección paralela al plano del muro deberá ser espaciado uniformemente a una distancia vertical no mayor de un tercio de la longitud del muro, un tercio de la altura del muro o 120 mm y deberá estar embebido en mortero de relleno.
- **(c)** El área mínima del refuerzo vertical deberá ser mayor de un tercio del refuerzo requerido para cortante.

D.7.2.1.2 — ***Muros de mampostería reforzada con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)*** — Cuando sólo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo, la mampostería reforzada construida con unidades de perforación vertical (bloque) se clasifica para efectos de diseño sismo resistente como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (*DMO*).

D.7.3 — REFUERZO DE MUROS

D.7.3.1 — **CUANTÍA MÍNIMA** — Deben cumplirse las siguientes cuantías mínimas:

(a) La cuantía del refuerzo evaluada sobre el área bruta de la sección del muro, en cada una de las direcciones, vertical y horizontal, no debe ser menor de 0.0007.
(b) La suma de ambas cuantías, horizontal y vertical, no puede ser menor que 0.0020.
(c) La cuantía de refuerzo vertical no puede ser menos de la mitad de la cuantía de refuerzo horizontal.
(d) En la evaluación de las cuantías se puede tener en cuenta los refuerzos requeridos en D.7.3.2 y D.7.3.3, siempre y cuando sean continuos en el tramo del muro.
(e) El refuerzo requerido por cortante colocado en los elementos embebidos descritos en D.4.5.11.2 se puede considerar dentro de la evaluación de la cuantía horizontal.

D.7.3.2 — **REFUERZO VERTICAL MÍNIMO** — Deben cumplirse los siguientes requisitos para el refuerzo vertical:

(a) El espaciamiento horizontal entre refuerzos verticales no puede ser mayor de 1200 mm
(b) Se debe disponer como mínimo una barra N° 4 (1/2”) ó 12M (12 mm) en cada extremo del muro.
(c) Se debe disponer como mínimo una barra N° 4 (1/2”) ó 12M (12 mm) al lado de ventanas o aberturas interiores mayores de 600 mm horizontal o verticalmente. Este refuerzo debe ser continuo dentro del tramo de muro.

D.7.3.3 — **REFUERZO HORIZONTAL MÍNIMO** — Deben cumplirse los siguientes requisitos para el refuerzo horizontal:

(a) El diámetro del refuerzo horizontal en las juntas horizontales de pega no puede ser menor de 4 mm y no puede espaciarse verticalmente a más de 600 mm.
(b) El refuerzo horizontal colocado dentro de elementos embebidos dentro de unidades de mampostería especiales, véase D.4.5.11.2, no puede espaciarse verticalmente a más de 120 mm.
(c) Se debe colocar un refuerzo horizontal mínimo de dos barras N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) en el remate y arranque de los muros, y al nivel de las losas de entrepiso.
(d) Se debe colocar además un refuerzo horizontal mínimo de dos barras N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) en la parte superior y en la parte inferior de aberturas interiores con dimensiones mayores de 600 mm. Este refuerzo debe extenderse dentro del muro al menos 600 mm.

D.7.4 — REQUISITOS DE DISEÑO

D.7.4.1 — Las estructuras de mampostería reforzada construidas con unidades de perforación vertical deben diseñarse siguiendo los requisitos de los Capítulos D.1 a D.5, cumpliendo las cuantías de refuerzo dadas en el presente Capítulo.

D.7.5 — REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

D.7.5.1 — Las estructuras de mampostería reforzada de unidades de perforación vertical deben construirse siguiendo los requisitos del Capítulo D.4.

CAPÍTULO D.8
MUROS DE MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA CONSTRUIDOS CON UNIDADES DE PERFORACIÓN VERTICAL

D.8.1 — GENERALIDADES

D.8.1.1 — Una edificación de muros de mampostería parcialmente reforzada se clasifica como tal si cumple los requisitos de este Capítulo. Además debe cumplir lo establecido como requisitos generales en el Capítulo D.1, las normas y procedimientos del Capítulo D.2, las especificaciones para materiales del Capítulo D.3 y los requisitos de construcción del Capítulo D.4.

D.8.1.2 — Los muros de mampostería parcialmente reforzada deben construirse utilizando unidades de perforación vertical que cumplan los requisitos de D.3.6.4.

> **D.8.1.2.1** — En edificaciones de uno y dos pisos del grupo de uso $\mathbf{I}$, cuando se utilicen piezas de arcilla cocida, se pueden combinar unidades de perforación vertical en los sitios de refuerzo vertical, combinadas con unidades macizas o de perforación horizontal de igual coordinación modular, colocadas en donde no se requiera refuerzo vertical y utilizando aparejo trabado únicamente.

D.8.1.3 — Los muros de este tipo de mampostería deben tener un espesor mínimo nominal de 120 mm, exceptuando los espesores mínimos establecidos en la tabla E.3.5-1 para vivienda de uno y dos pisos. No se admite el uso de morteros tipo N.

D.8.1.4 — La resistencia a la compresión de la mampostería, $\mathbf{f'_m}$ de este tipo de mampostería estructural no puede ser menor de 8 MPa.

D.8.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA CONSTRUIDA CON UNIDADES DE PERFORACION VERTICAL

D.8.2.1 — Las restricciones al uso de la mampostería parcialmente reforzada se deben basar en lo establecido al respecto en el Capítulo A.3. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (*DMO*).

D.8.3 — REFUERZO DE MUROS

D.8.3.1 — **CUANTÍA MÍNIMA** — La cuantía del refuerzo en cada una de las direcciones, vertical u horizontal, no debe ser menor del 0.00027, evaluadas sobre el área bruta de la sección del muro, teniendo en cuenta en la evaluación de la cuantía únicamente el refuerzo que sea continuo en el tramo del muro.

D.8.3.2 — **REFUERZO VERTICAL MÍNIMO** — Deben cumplirse los siguientes requisitos para el refuerzo vertical:

- **(a)** El espaciamiento entre refuerzos verticales no puede ser mayor de 2.40 m.
- **(b)** Se debe disponer como mínimo de una barra N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) en cada extremo del muro
- **(c)** Se debe disponer como mínimo de una barra N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) al lado de ventanas o aberturas interiores mayores de 600 mm horizontal o verticalmente. Estas barras deben ser continuas dentro del tramo de muro.

D.8.3.3 — **REFUERZO HORIZONTAL MÍNIMO** — Deben cumplirse los siguientes requisitos para el refuerzo horizontal:

- **(a)** El refuerzo horizontal en las juntas de pega no puede estar espaciado a más de 800 mm.
- **(b)** El refuerzo horizontal colocado dentro de elementos embebidos dentro de unidades de mampostería especiales, véase D.4.5.11.2, no puede espaciarse verticalmente a más de 3.00 m.
- **(c)** Se debe disponer además refuerzo horizontal mínimo de dos barras N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm) en el

remate y arranque de los muros, al nivel de las losas de entrepiso

(d) En la parte superior e inferior de las aberturas interiores mayores de 600 mm. Este refuerzo debe extenderse dentro del muro al menos 600 mm.

D.8.4 — DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA CONSTRUIDA CON UNIDADES DE PERFORACION VERTICAL

D.8.4.1 — Las estructuras de mampostería parcialmente reforzada construidas con unidades de perforación vertical deben diseñarse siguiendo los requisitos de los Capítulos D.1 a D.5, cumpliendo las cuantías de refuerzo dadas en el presente Capítulo.

D.8.4.2 — Cuando se utilicen unidades de perforación horizontal o unidades macizas según lo especificado en D.8.1.2.1, la resistencia a la compresión de la mampostería $\mathbf{f'_m}$ construida con estas unidades debe cumplir con la resistencia especificada para las unidades de perforación vertical.

D.8.5 — REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

D.8.5.1 — Las estructuras de mampostería parcialmente reforzada de unidades de perforación vertical deben construirse siguiendo los requisitos del Capítulo D.4.

CAPÍTULO D.9
MUROS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

D.9.1 — GENERALIDADES

D.9.1.1 — Una edificación de muros de mampostería no reforzada se clasifica como tal si cumple los requisitos de este Capítulo. Además deben cumplir lo establecido como requisitos generales en el Capítulo D.1, las normas y procedimientos del Capítulo D.2, las especificaciones para materiales del Capítulo D.3 y los requisitos de construcción del Capítulo D.4.

D.9.1.2 — Cuando una edificación en mampostería no cumple con todos los requisitos que este Reglamento establece para mampostería parcialmente reforzada o mampostería reforzada, debe clasificarse y diseñarse como mampostería no reforzada.

D.9.1.3 — Los muros de este tipo de mampostería deben tener un espesor mínimo nominal de 120 mm, exceptuando los espesores mínimos establecidos en la tabla E.3.5-1 para viviendas de uno y dos pisos.

D.9.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

D.9.2.1 — Las restricciones al uso de la mampostería no reforzada se deben basar en lo establecido al respecto en el Capítulo A.3 de este Reglamento. La mampostería no reforzada sólo puede utilizarse como sistema de resistencia sísmica en aquellas regiones de las zonas de amenaza sísmica baja donde el valor de $\mathbf{A_a}$ sea menor o igual a 0.05. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DMI*).

D.9.3 — DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

D.9.3.1 — Los muros de mampostería no reforzada deben diseñarse por el método de los esfuerzos admisibles de trabajo, de acuerdo con lo dispuesto en el Apéndice D-1 de este Título.

D.9.4 — REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

D.9.4.1 — Las estructuras de mampostería no reforzada deben construirse siguiendo los requisitos del Capítulo D.4.

Notas

CAPÍTULO D.10
MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS

D.10.0 — NOMENCLATURA

A_a = coeficiente de aceleración pico efectiva, véase el Título A.

A_{ci} = área de la sección de la columna de confinamiento i, en mm².

A_{ct} = área total de las columnas de confinamiento del muro, en mm².

A_e = área efectiva de la sección de mampostería, en mm².

A_m = área mínima de los muros del piso, que actúan en la misma dirección en planta. Dentro del área de los muros se incluyen las columnas de confinamiento, en m².

A_{md} = área efectiva de mampostería para verificación por aplastamiento, en mm².

A_{mv} = área efectiva para determinar esfuerzos cortantes, véase D.5.4.5, en mm².

A_p = área del piso en el nivel considerado, en m².

A_{st} = área total del acero de refuerzo longitudinal del elemento de confinamiento, en mm².

b = ancho efectivo de la sección de muro para efectos en el plano del muro, véase D.5.4.4, en mm.

f'_c = resistencia a la compresión del concreto de los elementos de confinamiento, en MPa.

f'_{cu} = resistencia a la compresión de la unidad de mampostería, en MPa.

f'_m = resistencia a la compresión de la mampostería, en MPa.

$\sqrt{f'_m}$ = raíz cuadrada de la resistencia a la compresión de la mampostería, en MPa.

f_y = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, MPa.

h' = longitud de la diagonal del paño de muro entre elementos de confinamiento, o altura efectiva del elemento para evaluar efectos de pandeo, en mm.

h_p = altura del piso localizado por encima del elemento bajo estudio, medida centro a centro entre vigas de confinamiento, en mm.

I_{ct} = momento de inercia de las columnas de confinamiento del muro, con respecto a su centroide, en mm^4.

ℓ_w = longitud horizontal total del muro, medida centro a centro entre columnas de confinamiento de borde, en mm.

ℓ_c = distancia horizontal entre columnas de confinamiento, medida centro a centro, para el paño de muro confinado bajo estudio, en mm.

M_n = momento resistente nominal del muro.

M_u = momento mayorado solicitado de diseño del muro.

N = número de niveles por encima del nivel considerado

P_{nc} = fuerza axial resistente nominal en compresión sobre la columna de confinamiento, siempre positiva, en N.

P_{nd} = fuerza axial resistente nominal a la compresión de la mampostería sola, en N.

P_{nt} = fuerza axial resistente nominal en tracción sobre la columna de confinamiento, siempre negativa, en N.

P_u = fuerza axial de diseño solicitada en compresión sobre el muro, en N.

P_{uc} = fuerza axial de diseño solicitada en compresión sobre la columna de confinamiento, siempre positiva, en N.

P_{ud} = fuerza axial que actúa sobre la biela diagonal del muro, en N.

P_{ut} = fuerza axial de diseño solicitada en tracción sobre la columna de confinamiento, siempre negativa, en N.

R_e = coeficiente utilizado para tener en cuenta los efectos de esbeltez en elementos a compresión.

t = espesor efectivo del elemento para evaluar efectos de pandeo, mm.

V_n = fuerza cortante resistente nominal del muro, en N.

V_u = fuerza cortante mayorada solicitada de diseño del muro, en N.

V_{nc} = fuerza cortante resistente nominal para una sección de concreto reforzado, calculada de acuerdo con los requisitos del Título C del Reglamento, en N.

V_{uc} = fuerza cortante mayorada solicitada de diseño que actúa sobre las columnas de confinamiento cerca a la intersección con la viga de confinamiento, en N.

x_i = distancia de la columna de confinamiento i al borde del muro, en mm.

$\bar{x}$ = distancia al borde del muro del centroide de las áreas de todas las columnas de confinamiento del muro, en mm.

ΔP_{ui} = valor absoluto del incremento de la fuerza axial sobre la columna de confinamiento i, causada por el momento solicitado de diseño, M_u, en N.

ϕ = coeficiente de reducción de resistencia.

D.10.1 — REQUISITOS GENERALES

D.10.1.1 — **CLASIFICACIÓN** — Se clasifica como mampostería confinada aquélla que se construye utilizando muros de mampostería rodeados con elementos de concreto reforzado, vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con éste.

D.10.1.2 — **REQUISITOS COMPLEMENTARIOS** — Las estructuras en mampostería de muros confinados deben cumplir los requisitos dados en los Capítulos D.1, D.2, D.3, D.4 y D.5 de este Reglamento, con las excepciones que se anotan dentro del presente Capítulo.

D.10.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS

D.10.2.1 — La mampostería de muros confinados debe cumplir con las limitaciones establecidas en el Capítulo A.3 del presente Reglamento. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (*DMO*).

D.10.3 — REQUISITOS PARA LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA

D.10.3.1 — **GENERAL** — Los muros estructurales de mampostería confinada deben cumplir los requisitos de esta sección. La resistencia ante todas las cargas se obtiene por medio de los muros estructurales, los cuales deben ser confinados. Para que un muro confinado se considere como muro estructural debe ser continuo desde la cimentación hasta su nivel superior y no puede tener ningún tipo de aberturas. Los muros que no cumplan los requisitos anteriores, se consideran como muros no estructurales y deben cumplir los requisitos del Capítulo A.9.

D.10.3.2 — **UNIDADES DE MAMPOSTERÍA PERMITIDAS** — La mampostería de muros confinados se debe construir utilizando unidades de concreto, de arcilla cocida o sílico-calcáreas. Las unidades de mampostería pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o macizas y deben cumplir las especificaciones establecidas en D.3.6.

D.10.3.2.1 — ***Valores mínimos para la resistencia de las unidades,*** f'_{cu} — Las unidades de mampostería que se empleen en la construcción de muros de mampostería confinada deben tener al menos las resistencias mínimas que se dan en la tabla D.10.3-1.

Tabla D.10.3-1
Resistencia mínima de las unidades
para muros de mampostería confinada

Tipo de unidad	f'_{cu} (MPa)
Tolete de arcilla	15
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)	5

D.10.3.2.2 — ***Restricción al uso del bloque de perforación horizontal de arcilla*** — Sólo se permite el uso del bloque de perforación horizontal de arcilla en edificaciones de uno y dos pisos y en los dos pisos

superiores de edificaciones de más de dos pisos, cuando se permita su empleo, éste se limitará a muros donde se cumpla $P_u / A_e \le 0.15 f'_m$.

D.10.3.3 — **ESPESOR MÍNIMO DEL MURO** — Los muros de mampostería confinada en ningún caso pueden tener una la relación entre la altura libre del muro y su espesor mayor de 25 y deben tener un espesor nominal no menor de 110 mm. En viviendas de uno y dos niveles se pueden utilizar como espesores mínimos los establecidos en la tabla E.3.5-1.

D.10.3.4 — **ÁREA MÍNIMA DE MUROS CONFINADOS POR NIVEL** — El área mínima de muros confinados por nivel en cada dirección principal, esta limitada por la siguiente expresión:

$$A_m \ge \frac{N\, A_a\, A_p}{20} \qquad \textbf{(D.10.3-1)}$$

D.10.4 — REQUISITOS GENERALES PARA LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO

D.10.4.1 — **RESISTENCIA DEL CONCRETO** — Tanto las columnas como las vigas de confinamiento se deben construir utilizando concreto cuya resistencia mínima a la compresión debe ser 17.5 MPa medida a los 28 días.

D.10.4.2 — **COMPATIBILIDAD CON EL TÍTULO C** — Las longitudes de desarrollo, las longitudes de empalme por traslapo, y el anclaje, del refuerzo de los elementos de confinamiento son los mismos establecidos en el Título C, con excepción de las dimensiones mínimas y las cantidades de refuerzo mínimas establecidas en el presente Capítulo.

D.10.4.3 — **REFUERZO INTERIOR EN EL MURO** — Todo refuerzo debe ir colocado dentro de las columnas y vigas de confinamiento, no se permite colocar los refuerzos de confinamiento dentro de unidades de perforación vertical. Se exceptúan las vigas de remate de los muros, las cuales se pueden realizar en unidades tipo U, inyectadas con mortero de resistencia a la compresión no menor de 14 MPa.

D.10.5 — COLUMNAS DE CONFINAMIENTO

D.10.5.1 — **GENERAL** — Se consideran columnas de confinamiento los elementos de concreto reforzado que se colocan en los dos bordes del muro que confinan y en puntos intermedios dentro del muro. Las columnas de confinamiento deben ser continuas desde la cimentación hasta la parte superior del muro y se deben vaciar directamente contra el muro con posterioridad al alzado de los muros estructurales de cada piso.

D.10.5.2 — **DIMENSIONES MÍNIMAS** — Las dimensiones mínimas para los elementos de confinamiento debe ser las siguientes:

D.10.5.2.1 — ***Espesor mínimo*** — El espesor mínimo de los elementos de confinamiento debe ser el mismo del muro confinado.

D.10.5.2.2 — ***Área mínima*** — El área mínima de la sección transversal de los elementos de confinamiento es de 20 000 mm² (200 cm²).

D.10.5.3 — **UBICACIÓN** — Deben colocarse columnas de confinamiento en los siguientes lugares:

(a) En los extremos de todos los muros estructurales.
(b) En las intersecciones con otros muros estructurales.
(c) En lugares intermedios a distancias no mayores de 35 veces el espesor efectivo del muro, 1.5 veces la distancia vertical entre elementos horizontales de confinamiento ó 4 m.

D.10.5.4 — **REFUERZO MÍNIMO** — El refuerzo mínimo de la columna de confinamiento debe ser el siguiente:

(a) ***Refuerzo longitudinal*** - No debe ser menor de 3 barras N° 3 (3/8”) ó 10M (10 mm). El área de refuerzo longitudinal debe ser mayor o igual a 0.0075 veces el área de la sección bruta del elemento, pero el refuerzo longitudinal no puede ser menor al requerido para atender los esfuerzos de diseño de acuerdo a D.10.7.

(b) ***Refuerzo transversal*** – Debe utilizarse refuerzo transversal consistente en estribos cerrados mínimo de diámetro N° 2 (1/4") ó 6M (6 mm), espaciados a una separación no mayor de 1.5 veces la menor dimensión del elemento, o 200 mm. En ningún caso, el refuerzo transversal puede ser menos que el requerido para atender los esfuerzos de diseño, de acuerdo con D.10.7.

D.10.5.5 — **ANCLAJE DEL REFUERZO** — El refuerzo vertical de las columnas de confinamiento debe anclarse al sistema de cimentación. Pueden utilizarse barras de empalme ancladas en la cimentación mediante ganchos a 90°. Estas barras deben sobresalir la longitud de empalme por traslapo desde la cara superior del cimiento. Los empalmes del refuerzo vertical de las columnas de confinamiento deben cumplir los requisitos establecidos en el Capítulo C.12. En el extremo superior de la columna de confinamiento los refuerzos longitudinales debe anclarse en un elemento de confinamiento transversal a su dirección con un gancho de 90°.

D.10.5.6 — **REFUERZO TRANSVERSAL DE CONFINAMIENTO** — En las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia se deben utilizar estribos cerrados de confinamiento mínimo N° 2 (1/4") ó 6M (6 mm), espaciados a 100 mm y cuyas ramas no pueden estar separadas a distancias mayores de 150 mm. La distancia en cada extremo del elemento, medida a partir del elemento transversal de confinamiento, en la cual se deben colocan los estribos de confinamiento debe ser la mayor entre 450 mm, 3 veces la mayor dimensión de la sección del elemento o la sexta parte de la luz en cuestión.

D.10.6 — VIGAS DE CONFINAMIENTO

D.10.6.1 — **GENERAL** — Se consideran vigas de confinamiento los elementos de concreto reforzado que se colocan en la parte inferior y superior de muros confinados. Las vigas de amarre se vacían directamente sobre los muros estructurales que confinan. La viga de cimentación se considera como una viga de amarre y debe cumplir los requisitos mínimos de las vigas de amarre.

D.10.6.2 — **DIMENSIONES MÍNIMAS** — Las dimensiones mínimas para las vigas de confinamiento debe ser las siguientes:

D.10.6.2.1 — ***Espesor mínimo*** — El espesor mínimo de las vigas de confinamiento debe ser el mismo del muro confinado.

D.10.6.2.2 — ***Área mínima*** — El área mínima de la sección transversal de los elementos de confinamiento es de 20 000 mm² (200 cm²). En caso de utilizarse una losa de entrepiso maciza de espesor superior o igual a 100 mm, se puede prescindir de las vigas de amarre en la zona ocupada por este tipo de losa, colocando el refuerzo requerido para la viga dentro de la losa. En vigas que requieran enchaparse, el ancho especificado puede reducirse hasta en 75 mm, siempre y cuando se incremente su altura, de tal manera que el área transversal no sea inferior al mínimo.

D.10.6.3 — **UBICACIÓN** — Deben colocarse vigas horizontales de confinamiento en el arranque y en el remate del muro, en los entrepisos y a distancias libres verticales no mayores de 25 veces el espesor del muro. Las vigas deben disponerse formando anillos cerrados en un plano horizontal, entrelazando los muros estructurales en las dos direcciones principales para conformar diafragmas con ayuda del entrepiso ó la cubierta. Deben ubicarse vigas amarres en los siguientes sitios:

(a) ***A nivel de cimentación*** — El sistema de cimentación constituye el primer nivel de amarre horizontal.
(b) ***A nivel del sistema de entrepiso*** — Las vigas de amarre deben ser parte del sistema de entrepiso.
(c) ***A nivel del enrase de cubierta*** — Se presentan dos opciones para la ubicación de las vigas de amarre y la configuración del diafragma:
  1. Vigas horizontales al nivel de dinteles más cintas de amarre como remate de las culatas.
  2. Vigas de amarre horizontales en los muros sin culatas, combinadas con vigas de amarre inclinadas, configurando los remates de las culatas.

D.10.6.4 — **REFUERZO MÍNIMO** — El refuerzo mínimo de las vigas de amarre debe ser el siguiente:

(a) ***Refuerzo longitudinal*** — El refuerzo longitudinal no debe ser inferior a 3 barras N° 3 (3/8") ó 10M (10 mm), El área de refuerzo longitudinal no puede ser menor a 0.0075 veces el área de la sección bruta del elemento. Para anchos inferiores a 110 mm, y en los casos en que el entrepiso sea una losa maciza, el refuerzo mínimo debe ser dos barras N° 4 (1/2") ó 12M (12 mm). En ningún caso, el refuerzo longitudinal

puede ser menos que el requerido para atender los esfuerzos de diseño, de acuerdo con D.10.7.

(b) ***Refuerzo transversal*** — El refuerzo transversal mínimo debe consistir en estribos cerrados N° 2 (1/4") ó 6M (6 mm), espaciados a distancias no mayores de 200 mm ni de 1.5 veces la menor dimensión del elemento. En ningún caso, el refuerzo transversal puede ser menos que el requerido para atender los esfuerzos de diseño, de acuerdo con D.10.7.

D.10.6.4.1 — ***Vigas que continúan fuera del muro confinado*** — Cuando una viga de amarre continúa fuera del muro confinado, y cumpla funciones de dintel, de apoyo para losa, o como elemento colector dentro del diafragma, la viga debe diseñarse de acuerdo a los requisitos del Título C.

D.10.6.5 — **ANCLAJE DEL REFUERZO** — El refuerzo de las vigas de confinamiento debe anclarse en los extremos terminales con ganchos de 90° dentro de un elemento de confinamiento transversal a su dirección.

D.10.6.6 — **VIGA DE AMARRE SOBRE LA CIMENTACIÓN** — Sobre la cimentación debe colocarse una viga de amarre que cumpla con los requisitos mínimos para vigas de confinamiento dados en esta sección. Cuando la cimentación está construida con elementos de concreto reforzado, éstos se consideran como equivalentes a la viga de amarre y sólo se debe cumplir con las cuantías mínimas, pero en ningún caso, el refuerzo puede ser menos que el requerido para atender los esfuerzos de diseño, de acuerdo con D.10.7.

D.10.6.7 — **CINTAS DE AMARRE** — Se consideran las cintas de amarre como elementos suplementarios a las vigas de amarre, utilizables en antepechos de ventanas, en remates de culatas, en remates de parapetos, etc. Las cintas de amarre deben construirse de tal manera que se garantice el trabajo monolítico con el elemento que remata. El refuerzo longitudinal de las cintas de amarre se debe anclar en los extremos terminales. Indistintamente, se puede utilizar como cinta de amarre cualquiera de los siguientes elementos:

(a) Un elemento de concreto reforzado de altura superior o igual a 100 mm, con ancho igual al espesor del elemento que remata y reforzada mínimo con dos barras longitudinales N° 3 (3/8") ó 10M (10 mm). El refuerzo transversal debe ser el necesario para mantener en la posición deseada las barras longitudinales.

(b) Un elemento construido con piezas de mampostería tipo U, reforzado longitudinalmente mínimo con dos barras N° 3 (3/8") ó 10M (10 mm) ó una barra N° 4 (1/2") ó 12M (12 mm), e inyectado con mortero de inyección de resistencia a la compresión no inferior a 14 MPa.

D.10.7 — REQUISITOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO

D.10.7.1 — **GENERAL** — Las estructuras de mampostería de muros confinados se debe analizar y diseñar de acuerdo a los requisitos de dados en el Capítulo D.5 con las excepciones dadas en el la presente sección. El diseño se debe realizar de acuerdo con el método de diseño por estados límites de resistencia.

D.10.7.2 — **VALORES DE ϕ** — En vez de los valores de ϕ dados en D.5.1.5, deben emplearse los siguientes:

(a) Carga axial de compresión, con o sin flexión ..... $\phi = 0.65$

(b) Carga axial de tracción ..... $\phi = 0.85$

(c) Flexión sin carga axial ..... $\phi = 0.85$

(d) Cortante ..... $\phi = 0.50$

D.10.7.3 — **SUPOSICIONES DE DISEÑO** — Deben tenerse en cuenta las siguientes suposiciones, en el diseño de muros de mampostería confinada:

(a) Las suposiciones de diseño indicadas en D.5.1.6.

(b) Debe considerarse, en el caso de mampostería de muros confinados, que el muro es un elemento homogéneo que incluye la porción de mampostería y los elementos de confinamiento. Las propiedades mecánicas del muro, como conjunto, se describen a través de las de la mampostería, las cuales, a su vez, deben ser las que se definen en el Capítulo D.5.

(c) Para efectos de aplicar las características dimensionales efectivas indicadas en D.5.4, debe considerarse que los elementos de confinamiento son equivalentes a celdas inyectadas con mortero de relleno, a menos que dentro de los requisitos del presente Capítulo se indique explícitamente algo diferente..

D.10.7.4 — **DISEÑO PARA CARGA AXIAL DE COMPRESIÓN** — El muro, globalmente, debe verificarse para las cargas axiales de compresión, de acuerdo con lo indicado en D.5.5. El área de refuerzo a emplear allí, corresponde a la del acero longitudinal de las columnas de confinamiento. Cuando los procedimientos de diseño requieren que se verifiquen las resistencias axiales de los elementos de confinamiento, pueden emplearse las siguientes resistencias nominales a compresión axial, $\mathbf{P_{nc}}$, y tracción axial, respectivamente, $\mathbf{P_{nt}}$:

$$\mathbf{P_{nc} = 0.80\left[0.85f'_c\left(A_{ci} - A_{st}\right) + f_y A_{st}\right]} \qquad \textbf{(D.10.7-1)}$$

$$\mathbf{P_{nt} = -f_y\ A_{st}} \qquad \textbf{(D.10.7-2)}$$

La resistencia nominal a la compresión de la mampostería sola, $\mathbf{P_{nd}}$, sin contribución de los elementos de confinamiento, está definida por:

$$\mathbf{P_{nd} = 0.80\left(0.80f'_m A_{md}\right)R_e} \qquad \textbf{(D.10.7-3)}$$

donde $\mathbf{A_{md}}$ es el área de la sección de mampostería, y $\mathbf{R_e}$ se obtiene por medio de:

$$\mathbf{R_e = 1 - \left[\frac{h'}{42t}\right]^2} \text{ para } \mathbf{h'/t \le 30} \qquad \textbf{(D.10.7-4)}$$

$$\mathbf{R_e = \left[\frac{21t}{h'}\right]^2} \text{ para } \mathbf{h'/t > 30}$$

D.10.7.5 — **DISEÑO DEL MURO EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR A SU PLANO** — Los requisitos de esta sección se emplean para el diseño por el método del estado límite de resistencia de muros de mampostería confinada sometidos a cargas horizontales perpendiculares al plano del muro, además de las fuerzas verticales que actúan sobre el muro.

D.10.7.5.1 — ***Resistencia a flexo-compresión*** — La resistencia del muro a flexión producida por fuerzas horizontales perpendiculares a su propio plano, debe evaluarse con base a los siguientes requisitos:

- **(a)** La resistencia a flexo-compresión es contribuida únicamente por las columnas de confinamiento.
- **(b)** Como ancho efectivo, $\mathbf{b}$, debe tomarse únicamente el de las columnas de confinamiento, medido en la dirección del muro.
- **(c)** El diseño se realiza en su totalidad de acuerdo con los requisitos de concreto reforzado del Título C.
- **(d)** La carga axial, $\mathbf{P_u}$, que actúa sobre el elemento de confinamiento debe considerarse como el doble de la que se obtiene proporcionalmente a las áreas de mampostería y de columnas de confinamiento, a menos que se realice un análisis más detallado, teniendo en cuenta las relaciones modulares y la posición de las cargas que la inducen.

D.10.7.5.2 — ***Resistencia a cortante*** — La resistencia del muro a cortante producido por fuerzas horizontales perpendiculares a su propio plano, debe evaluarse con base a los requisitos de D.5.7.4.

D.10.7.6 — **DISEÑO A FLEXO-COMPRESIÓN DEL MURO EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO** — Los requisitos de esta sección se emplean para el diseño a flexo-compresión por el método del estado límite de resistencia, de muros de mampostería confinada sometidos a cargas horizontales paralelas al plano del muro, además de las fuerzas verticales que actúan sobre él. El diseño puede realizarse por uno de los dos procedimientos dados a continuación:

D.10.7.6.1 — ***Resistencia a flexo-compresión despreciando la contribución de la mampostería*** — En este procedimiento se desprecia la contribución de la mampostería a la resistencia a flexo-compresión del muro. Deben calcularse las fuerzas axiales solicitadas máximas, de compresión $\mathbf{P_{uc}}$ y de tracción $\mathbf{P_{ut}}$ sobre cada una de las columnas de confinamiento, por medio de las ecuaciones D.10.7-5 y D.10.7-6 respectivamente.

$$P_{uc} = \frac{A_{ci}}{A_{ct}} P_u + \Delta P_{ui} \qquad \textbf{(D.10.7-5)}$$

$$P_{ut} = \frac{A_{ci}}{A_{ct}} P_u - \Delta P_{ui} \le 0 \qquad \textbf{(D.10.7-6)}$$

Donde P_u y ΔP_{ui} son siempre positivas, y ΔP_{ui} se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{ui} = \left| \frac{M_u A_{ci} \left(x_i - \bar{x} \right)}{I_{ct}} \right| \qquad \textbf{(D.10.7-7)}$$

En las ecuaciones anteriores,

$$A_{ct} = \sum_i A_{ci} \qquad \textbf{(D.10.7-8)}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_i A_{ci}\ x_i}{A_{ct}} \qquad \textbf{(D.10.7-9)}$$

$$I_{ct} = \sum_i A_{ci} \left(x_i - \bar{x} \right)^2 \qquad \textbf{(D.10.7-10)}$$

En cada una de las columnas de confinamiento del muro deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$P_{uc} \le \phi P_{nc} \qquad \textbf{(D.10.7-11)}$$

$$P_{ut} \ge \phi P_{nt} \qquad \textbf{(D.10.7-12)}$$

Cuando se trata de un muro confinado que únicamente tiene dos columnas de confinamiento iguales en sus bordes, las ecuaciones (D.10.7-5) a (D.10.7-7) se simplifican a:

$$P_{uc} = \frac{P_u}{2} + \Delta P_u \qquad \textbf{(D.10.7-13)}$$

$$P_{ut} = \frac{P_u}{2} - \Delta P_u \le 0 \qquad \textbf{(D.10.7-14)}$$

Donde P_u y ΔP_u son siempre positivas, y ΔP_u se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_u = \frac{M_u}{\ell_w} \qquad \textbf{(D.10.7-15)}$$

D.10.7.6.2 – ***Resistencia a flexo-compresión teniendo en cuenta la contribución de la mampostería*** – El momento de diseño solicitado, M_u, que acompaña la carga axial P_u, debe cumplir la condición dada por la ecuación D.10.7-16, para el nivel de carga P_u:

$$M_u \le \phi M_n \qquad \textbf{(D.10.7-16)}$$

M_n se obtiene teniendo en cuenta la interacción entre momento y carga axial, de acuerdo con los principios enunciados en D.5.1.6 y en D.10.7.3, los cuales permiten calcular un diagrama de interacción del muro, empleando el coeficiente de reducción de resistencia, ϕ, apropiado de los dados en D.10.7.2.

D.10.7.7 — DISEÑO A CORTANTE DEL MURO EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO — En la mampostería de muros confinados toda la fuerza cortante sobre el muro debe ser resistida por la mampostería, y se supone que no hay contribución a la resistencia a cortante por parte de los elementos de confinamiento. La resistencia de diseño solicitada, V_u, debe cumplir la siguiente condición:

$$V_u \le \phi V_n \qquad \textbf{(D.10.7-17)}$$

y la resistencia nominal a cortante por tracción diagonal, se obtiene de:

$$V_n = \left(\frac{1}{12}\sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3A_e} \right) A_{mv} \le \frac{1}{6}\sqrt{f'_m}\, A_{mv} \qquad \textbf{(D.10.7-18)}$$

donde P_u, en este caso, es la carga axial mayorada que actúa simultáneamente con la máxima fuerza cortante mayorada solicitada, V_u, para la cual se realiza el diseño.

D.10.7.8 — VERIFICACIÓN POR APLASTAMIENTO DEL ALMA DEL MURO — Debe verificarse que el paño de muro enmarcado por las vigas y columnas de confinamiento, no falle por aplastamiento. Para el efecto se considera una biela de compresión en la diagonal del muro, la cual tiene un ancho efectivo igual a un quinto de la longitud de la diagonal. Debe cumplirse la condición:

$$P_{ud} \le \phi P_{nd} \qquad \textbf{(D.10.7-19)}$$

La fuerza axial que actúa en la diagonal, P_{ud}, se obtiene por medio de:

$$P_{ud} = \frac{h'}{\ell_w} V_u \qquad \textbf{(D.10.7-20)}$$

Donde h' es la longitud de la diagonal del paño de muro entre elementos de confinamiento, ℓ_w es la longitud total del muro sobre el cual actúa el cortante horizontal de diseño solicitado V_u. La resistencia nominal al aplastamiento se obtiene por medio de la ecuación D.10.7-3. Allí hay que emplear una longitud para evaluación de pandeo h' igual a la dimensión de la diagonal del muro en el paño en estudio, y un espesor efectivo para pandeo t, igual al espesor del muro. El área de la biela de compresión A_{md} es igual al ancho efectivo de la biela, $h'/5$, multiplicada por el espesor efectivo del muro, b, para efectos en la dirección paralela al plano del muro, tal como se define en D.5.4.4.2.

D.10.7.9 — VERIFICACIÓN A CORTANTE EN LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO DEL MURO — Los elementos de confinamiento reciben la fuerza de la biela de compresión en la esquina de intersección entre vigas y columnas de confinamiento, por lo tanto hay necesidad de verificar que están en capacidad de resistir como fuerza cortante aplicada, transversal al eje longitudinal del elemento de confinamiento, al menos una fuerza cortante igual a la mitad de la componente correspondiente de la fuerza de compresión que actúa sobre la biela.

La fuerza cortante actuante, V_{uc}, sobre la columna de confinamiento es:

$$V_{uc} = \frac{\ell_c}{2\ell_w} V_u \qquad \textbf{(D.10.7-21)}$$

y la fuerza cortante actuante, V_{uc}, sobre la viga de confinamiento es:

$$V_{uc} = \frac{h_p}{2\ell_w} V_u \qquad \textbf{(D.10.7-22)}$$

En ambos casos debe cumplirse que:

$$V_{uc} \le \phi V_{nc} \qquad \textbf{(D.10.7-23)}$$

donde $\mathbf{V_{nc}}$ para el elemento de confinamiento debe calcularse de acuerdo con los requisitos del Título C del Reglamento, Capítulo C.11.

D.10.7.10 — **DISEÑO DEL ACERO LONGITUDINAL DE LA VIGA DE CONFINAMIENTO** — La componente horizontal de la biela de compresión que actúa en la diagonal del muro debe ser resistida como fuerza de tracción en la viga de confinamiento que llega a la misma esquina del paño del muro donde actúa la biela de compresión. Esta fuerza de tracción es igual a la fuerza cortante que lleva el paño de muro. Por lo tanto:

$$\mathbf{P_{ut}} = -\frac{\ell_c}{\ell_w}\mathbf{V_u} \qquad \textbf{(D.10.7-24)}$$

La fuerza axial de tracción sobre la viga de confinamiento debe ser resistida en su totalidad por el acero de refuerzo longitudinal de la viga:

$$-\mathbf{P_{ut}} \le -\phi\,\mathbf{P_{nt}} \qquad \textbf{(D.10.7-25)}$$

donde $\mathbf{P_{nt}}$, se obtiene por medio de la ecuación D.10.7-2.

D.10.8 — REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

D.10.8.1 — **GENERAL** — Deben cumplirse los requisitos de construcción dados en el Capítulo D.4 del Reglamento, exceptuando las siguientes secciones: D.4.2 y D.4.5.10, D.4.5.11, D.4.5.12 Y D.4.6. Además deben cumplirse los requisitos adicionales dados a continuación:

D.10.8.2 — **DETALLES DEL REFUERZO** — Todo refuerzo debe estar colocado en elementos de confinamiento. El refuerzo debe cumplir los requisitos dados en el Título C.

D.10.8.3 — **REQUISITOS COMPLEMENTARIOS PARA LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO** — Las especificaciones, requisitos, controles y tolerancias de los elementos de confinamiento son los mismos establecidos en el Título C, con excepción de las dimensiones y las cantidades de refuerzo mínimas establecidas en el presente Capítulo.

D.10.8.4 — **CONSTRUCCIÓN DEL MURO** — La ejecución del muro se debe hacer de manera previa al vaciado de las columnas, dejando el espacio especificado para ellas, siguiendo los procedimientos y controles establecidos en el Capítulo D.4 de este título. Se deben cumplir las tolerancias constructivas dadas en la tabla D.4.2-2. El mortero de pega debe cumplir los requisitos de D.3.4.

D.10.8.5 — **JUNTAS DE CONTROL** — En el espacio confinado entre columnas no se permiten juntas de control. Si se requiriesen, éstas deben localizarse entre columnas adyacentes diseñadas para tal propósito.

D.10.8.6 — **VACIADO DE LAS COLUMNAS DE CONFINAMIENTO** — Una vez dispuesto el refuerzo vertical y el refuerzo horizontal de las columnas, se deben colocar los testeros laterales que constituyen la formaleta de las columnas, permitiendo que el concreto vaciado haga contacto con la superficie terminal del muro confinado, la cual debe estar libre de rebabas y de materiales que restrinjan la adherencia entre el concreto y la mampostería. El refuerzo vertical de la columna debe sobresalir de la superficie de enrase la cantidad necesaria para realizar los empalmes por traslapo con la columna superior si la hubiese; el remate del refuerzo vertical se debe anclar en la cara superior de la viga de confinamiento, utilizando ganchos de 90°.

D.10.8.7 — **VIGAS DE CONFINAMIENTO** — Una vez vaciadas las columnas de confinamiento, se debe proceder a realizar el vaciado de la losa o de las vigas de confinamiento que van directamente sobre los muros confinados y en contacto con éstos.

Notas

CAPÍTULO D.11
MUROS DIAFRAGMA

D.11.1 — GENERALIDADES

D.11.1.1 — **ALCANCE** — Se consideran como muros diafragma aquellos muros continuos desde la cimentación hasta el nivel superior de la edificación, rodeados completamente por vigas y columnas de una estructura de concreto reforzado y que al estar en contacto pleno con ella la rigidizan de manera similar al efecto de diagonales concéntricas dentro de un pórtico con diagonales. Para que un muro pueda ser considerado como diafragma, aparte de lo anterior, se limita su denominación a los muros sin aberturas ni juntas, de manera que el diafragma sea de un solo cuerpo.

D.11.1.2 — **ANÁLISIS** — En el análisis estructural de estructuras que contengan muros diafragma, debe emplearse un modelo matemático adecuadamente sustentado con evidencia experimental previa, que tome en cuenta apropiadamente la interacción de los muros diafragma con el pórtico de concreto reforzado que los rodea. En ningún caso el modelo matemático puede suponer que la diagonal equivalente que simule el efecto del muro diafragma lleve esfuerzos de tracción.

D.11.1.3 — **UNIDADES DE MAMPOSTERÍA** — En la mampostería de muros diafragma se permite el empleo de unidades de mampostería de cualquier tipo que cumplan D.3.6 de este Reglamento.

D.11.1.4 — **ESPESOR MÍNIMO, APAREJO Y MORTERO** — Los requisitos establecidos en los Capítulos D.1 a D.5, se consideran obligatorios en su totalidad. El espesor nominal mínimo del muro diafragma debe ser al menos de 120 mm. El aparejo debe ser trabado y el mortero de pega debe cumplir los requisitos de tipo M.

D.11.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA DE MUROS DIAFRAGMA

D.11.2.1 — **LIMITACIONES AL USO** — Este tipo de construcción no se permite para edificaciones nuevas, y su empleo solo se permite dentro del alcance del capítulo A.10, aplicable a la adición, modificación o remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento, o en la evaluación de su vulnerabilidad sísmica. Cuando se realicen adiciones, modificaciones o remodelaciones del sistema estructural de edificaciones existentes que contengan muros diafragmas, la verificación y el diseño de estos elementos puede realizarse de acuerdo con los requisitos del presente Capítulo.

D.11.2.2 — **VALORES DE R_0 A EMPLEAR** — El valor del coeficiente básico de capacidad de disipación de energía, R_0, a emplear en el diseño y verificación sismo resistente de edificaciones que contengan muros diafragma como parte del sistema de resistencia sísmica, en ningún caso puede ser mayor de 2.0 $\left(R_0 \leq 2.0\right)$.

D.11.2.3 — **METODOLOGÍA DE DISEÑO** — Los muros diafragma deben diseñarse empleando el método del estado límite de resistencia descrito en B.2.4, y se deben emplear las combinaciones de carga dadas allí.

D.11.3 — REFUERZOS

D.11.3.1 — La cantidad mínima de refuerzo interior, su disposición y su detallado debe corresponder al tipo de mampostería utilizado en el muro diafragma y a los requisitos de diseño y resistencia derivados de su función estructural.

D.11.4 — REQUISITOS DE DISEÑO PARA MAMPOSTERÍA DE MUROS DIAFRAGMA

D.11.4.1 — **COMPROBACIONES MÍNIMAS** — Los muros diafragma deben diseñarse para resistir los esfuerzos derivados de su interacción con los pórticos estructurales que restringen. Las condiciones de falla deben establecerse en valores de resistencia para los efectos más desfavorables sobre el muro entre los siguientes:

(a) Falla de cortante por tracción diagonal, de acuerdo a lo indicado en D.11.4.2.

(b) Falla por aplastamiento diagonal, tomando para el efecto un área efectiva máxima de compresión igual a la quinta parte de la dimensión diagonal del muro multiplicada por su espesor efectivo, para lo cual se deben emplear los requisitos establecidos en el Capítulo D.5. El valor de la altura efectiva para efectos de pandeo, h', debe ser igual a la dimensión diagonal del muro.

D.11.4.2 — **CORTANTE MÁXIMO** — El muro diafragma puede tomar un cortante máximo que no debe exceder el siguiente valor:

$$V_u \le \phi v_m A_m \qquad \textbf{(D.11.4-1)}$$

donde:

V_u = cortante horizontal solicitado al muro diafragma en N

v_m = resistencia al cortante de la mampostería definida en la tabla D.11.1-1, en MPa

A_m = área neta horizontal de la mampostería del diafragma (mm²)

ϕ = coeficiente de reducción de resistencia para corte $(\phi = 0.50)$

En la definición del valor de v_m en estructuras existentes, no se pueden emplear valores mayores a los dados en la tabla D.11.1-1, a menos que se realicen ensayos experimentales, en una cantidad representativa estadísticamente, para definir un valor apropiado.

Tabla D.11.1-1
Valores máximos para v_m en muros diafragma (MPa)

Unidades de mampostería	Valores de v_m
• Unidades macizas de concreto o arcilla	0.35
• Unidades de perforación vertical de concreto o arcilla	0.25
• Unidades de perforación horizontal de arcilla	0.15

D.11.4.3 — **COLUMNAS Y VIGAS DEL PÓRTICO ARRIOSTRADO** — Las vigas y las columnas del pórtico arriostrado por medio de los muros diafragma deben ser capaces de resistir las condiciones mas desfavorables establecidas en la interacción con los muros diafragma. La fuerza cortante de diseño en cada miembro no puede ser menor a la cuarta parte de la fuerza cortante establecida para el muro en la ecuación D.11-1, resistida en una zona igual al 25% de la longitud del miembro.

D.11.4.4 — **OTROS REQUISITOS** — El sistema estructural, en general, debe cumplir los requisitos indicados en el Título A de este Reglamento. Además los pórticos de concreto reforzado deben cumplir los requisitos del Título C. En la ausencia del cumplimiento de algunos requisitos del Título C, se deben aplicar las prescripciones del Capítulo A.10 del Reglamento.

D.11.4.5 — **CONSTRUCCIÓN** — Los muros diafragma pueden construirse de manera previa, simultánea o posterior a los pórticos que los rodean. En la construcción previa o simultánea debe garantizarse que haya contacto pleno entre el muro y los elementos del pórtico, sin espacios que separen los entornos. En la construcción posterior, los bordes del muro deben llenarse con mortero apropiado, de manera que se garantice el contacto pleno entre el pórtico y el muro diafragma.

CAPÍTULO D.12
MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE

D.12.0 — NOMENCLATURA

$\mathbf{E_{cre}}$ = módulo de elasticidad del mortero de revoque o pañete, MPa.

$\mathbf{f'_c}$ = resistencia especificada a la compresión del concreto de los elementos de confinamiento, en MPa.

$\mathbf{f'_{cp}}$ = resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, MPa.

$\mathbf{f'_{cre}}$ = resistencia especificada a la compresión del mortero de recubrimiento ó revoque, MPa.

$\mathbf{f'_m}$ = resistencia especificada a la compresión de la mampostería, MPa.

$\mathbf{f_y}$ = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, MPa.

D.12.1 — REQUISITOS GENERALES

D.12.1.1 — **GENERAL** — Además de lo especificado en este Capítulo, las estructuras de mampostería reforzada externamente deben cumplir los Capítulos D.1, D.2 y D.3 de este título.

D.12.1.2 — **DEFINICIÓN** — Se clasifican como muros de mampostería reforzada externamente aquellos en donde el refuerzo consiste en mallas electrosoldadas que se colocan dentro del mortero de recubrimiento o revoque (pañete) en ambas caras laterales de los muros fijándolas a ellos mediante conectores y/o clavos de acero con las especificaciones y procedimientos descritos en el presente Capítulo.

D.12.1.2.1 — ***Unidades de mampostería*** — Las unidades de mampostería utilizadas en este sistema pueden ser de concreto, arcilla cocida o silicio calcáreas, macizas, de perforación vertical u horizontal, y deben cumplir las normas establecidas para las unidades de mampostería establecidas en D.3.6

D.12.1.2.2 — ***Mortero de pega*** — Los morteros de pega para este sistema de mampostería deben cumplir lo establecido en D.3.4.

D.12.1.2.3 — ***Mortero de revoque*** — Los morteros de recubrimiento o de revoque (pañete) son similares a los morteros de pega descritos en D.3.4, pero utilizando arenas finas que cumplan con las especificaciones de las Normas **ASTM C-926 y ASTM C-897.**

D.12.1.3 — ESPESOR MÍNIMO — Los muros de este tipo de mampostería deben tener un espesor real total no menor de 130 mm, los cuales corresponden a 90 mm de espesor real mínimo del muro de mampostería y a 20 mm de espesor mínimo de mortero de revoque en cada uno de los 2 lados del muro.

D.12.1.4 — **RESISTENCIA MÍNIMA** — La resistencia de la mampostería $\mathbf{f'_m}$ no puede ser inferior a 8 MPa. La resistencia del mortero de recubrimiento o revoque (pañete) $\mathbf{f'_{cre}}$ debe ser como mínimo de 12.5 MPa.

D.12.2 — USOS DE LA MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE

D.12.2.1 — Las limitaciones al uso de la mampostería reforzada externamente se basan en lo establecido al respecto en el Capítulo A.3 de este Reglamento. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente como uno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).

D.12.3 — REQUISITOS DEL REFUERZO

D.12.3.1 — **GENERAL** — El refuerzo utilizado en la mampostería reforzada externamente deberá cumplir con las especificaciones establecidas en el Capítulo D.2.

El uso, las características, el manejo y la colocación del refuerzo debe tener en cuenta las demás disposiciones establecidas en este Título.

D.12.3.2 — **REFUERZO MÍNIMO** — La cantidad de refuerzo dispuesta en los muros de mampostería reforzados externamente no pueden se menor de los siguientes valores:

En cada lado del muro se debe colocar una malla electrosoldada que cumpla con las siguientes cuantías evaluadas con respecto al área bruta total del muro (incluye los espesores de mortero de revoque).

Refuerzo vertical mínimo 0.00035
Refuerzo horizontal mínimo 0.00035

D.12.3.2.1 — ***Separación del refuerzo*** — La separación tanto horizontal como vertical de los alambres de las mallas electrosoldadas utilizadas como refuerzo no puede ser mayor de 300 mm.

D.12.3.3 — ANCLAJE DEL REFUERZO — Las mallas de alambre electrosoldado se deberán anclar a la mampostería de tal manera que puedan alcanzar su resistencia a la fluencia especificada $\mathbf{f_y}$.

Si la malla se fija a la mampostería mediante conectores instalados a través de una carga explosiva de potencia controlada (tiro) o mediante clavos de acero, el número mínimo será de nueve (9) por m^2 .Los clavos y tiros deben tener un diámetro mínimo de 3 mm; la cabeza del clavo o del tiro debe quedar salida del muro por lo menos 10 mm.

Las mallas también se pueden anclar colocando conectores de barras o alambres de acero con diámetro mínimo de 4.5 mm, de tal manera que atraviesen el muro de mampostería y abracen con un gancho de 90° en cada extremo a las 2 mallas electrosoldadas; el número mínimo será de cuatro (4) por metro cuadrado

Las mallas se deben amarrar a los conectores utilizando alambre galvanizado número 16 (diámetro igual a 1.3 mm).

Las mallas deberán rodear los bordes verticales de los muros y los bordes de las aberturas y prolongarlas como mínimo 200 mm más allá del extremo de los bordes del muro .

El refuerzo deberá ser continuo a lo largo y alto de los muros (disponiendo de los traslapos que sean necesarios) y deberá anclarse adecuadamente en la fundación de concreto reforzado cumpliendo las longitudes de desarrollo y los traslapos según se especifica en el Titulo C.

D.12.4 — REQUISITOS DE DISEÑO

D.12.4.1 — **GENERAL** — Los muros reforzados externamente se deben diseñar siguiendo los requisitos de este Reglamento, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los materiales especificados y las características dimensiónales de la sección compuesta, y siguiendo los procedimientos apropiados para el estudio de la distribución de esfuerzos en elementos compuestos de varios materiales.

Adicionalmente deben tenerse en cuenta para el diseño los requisitos de esta sección.

D.12.4.2 — **ANÁLISIS** — El análisis estructural de los muros de mampostería reforzada externamente debe basarse en la sección transformada elástica de la sección neta compuesta. Cuando el diseño se realice por el método de los esfuerzos de trabajo admisibles, los esfuerzos evaluados en cualquier porción de la mampostería compuesta, deberán estar dentro de los límites establecidos para el material de esa porción. Los esfuerzos admisibles para el material de recubrimiento (revoque o pañete) se deben determinar con las mismas fórmulas utilizadas para la mampostería reemplazando el valor de $\mathbf{f'_m}$ por $\mathbf{f'_{cre}}$.

D.12.4.3 — **MÓDULO DE ELASTICIDAD** — El módulo de elasticidad de cada material componente de la mampostería reforzada externamente, se debe determinar de acuerdo con D.5.2, pero el módulo de elasticidad del mortero de revoque podrá tomarse como $\mathbf{E_{cre} = 2000\sqrt{f'_{cre}}}$ MPa. Cuando la relación entre los módulos sea superior a 2 ó inferior a 0.5 los módulos de elasticidad deben determinarse mediante ensayos, tomando el valor secante entre $\mathbf{0.05f'_m}$ y $\mathbf{0.33f'_m}$ y entre $\mathbf{0.05f'_{cre}}$ y $\mathbf{0.33f'_{cre}}$ respectivamente.

D.12.4.4 — **SECCIÓN TRANSFORMADA** — Al transformar la sección en un solo material, se debe tomar uno de ellos como base. La dimensión paralela al eje neutro de la sección, debe ser el producto de la relación modular por la dimensión original, sin alterar las dimensiones en la dirección ortogonal al eje neutro. Ni la altura efectiva, ni la longitud de los elementos se pueden modificar debido a la transformación de la sección. El espesor efectivo considerado debe ser el de la sección original.

D.12.4.5 — **MONOLITISMO** — La mampostería reforzada externamente se debe diseñar para que tenga un funcionamiento monolítico. Se deben estudiar y atender los esfuerzos internos derivados de los cambios de volumen y otros efectos reológicos si se presentan.

D.12.4.6 — **ANÁLISIS Y DISEÑO SIMPLIFICADO** — El análisis y diseño de los muros de mampostería reforzada externamente se pueden hacer de una manera simplificada despreciando el aporte a la resistencia de la porción de mampostería dándole toda la responsabilidad a las capas de mortero de recubrimiento o revoque (pañete). El análisis y diseño se puede hacer cumpliendo los requisitos del Titulo C, como si se tratase de muros de concreto con un espesor igual a la suma de los 2 espesores de las capas de recubrimiento y con una resistencia especificada a la compresión $\mathbf{f'_c = f'_{cre}}$.

Se deben cumplir todos los requisitos de este Capítulo excepto los relacionados con sección compuesta.

D.12.5 — REQUISITOS ADICIONALES DE CONSTRUCCIÓN

D.12.5.1 — **ESPESOR DE LA CAPA DE MORTERO DE RECUBRIMIENTO** — El espesor de cada uno de las capas de mortero de recubrimiento (revoque) no podrá ser menor de 15 mm ni mayor de 45 mm. Cuando el espesor total de la capa de mortero de recubrimiento sea mayor de 15 mm dicho mortero se deberá colocar en capas sucesivas con espesores entre 10 y 15 mm hasta completar el espesor total.

D.12.5.2 — **RECUBRIMIENTO MÍNIMO A LA MALLA DE REFUERZO** — La malla electrosoldada colocada como refuerzo en los muros de mampostería reforzada externamente deberán tener los siguientes recubrimientos mínimos, los cuales deben garantizarse durante el proceso constructivo utilizando dispositivos plásticos o similares desarrollados para tal fin:

- Recubrimiento mínimo a la superficie de mampostería = 5 mm
- Recubrimiento mínimo externo a la malla = 10 mm

D.12.5.3 — **CURADO DEL MORTERO DE RECUBRIMIENTO O REVOQUE** — El mortero de recubrimiento o revoque que se utilice en los muros de mampostería reforzada externamente debe ser sometido a un curado húmedo continuo durante por lo menos 7 días utilizando los mismos procedimientos y técnicas descritas y especificadas en el Título C.

D.12.5.4 — **CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES** — El control de calidad de los materiales se debe realizar de acuerdo con las normas de producción de los diferentes materiales y con las frecuencias descritas en D.3.8

Notas

APÉNDICE D-1
DISEÑO DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE LOS ESFUERZOS DE TRABAJO ADMISIBLES

D-1.0 - NOMENCLATURA

$\mathbf{A_e}$ = área efectiva de la sección transversal del elemento, mm².
$\mathbf{A_{st}}$ = área del refuerzo longitudinal del elemento, mm².
$\mathbf{A_v}$ = área del refuerzo a cortante, mm².
$\mathbf{b}$ = ancho efectivo de una sección rectangular, mm.
$\mathbf{b_w}$ = ancho del alma del elemento, mm.
$\mathbf{d}$ = altura efectiva de la sección del elemento, mm.
$\mathbf{E}$ = efectos sísmicos reducidos.
$\mathbf{F_a}$ = esfuerzo admisible de compresión debido a carga axial, MPa.
$\mathbf{F_b}$ = esfuerzo admisible de compresión debido a flexión, MPa.
$\mathbf{F_s}$ = esfuerzo admisible en el refuerzo, MPa., o fuerzas sísmicas.
$\mathbf{F_t}$ = esfuerzo admisible de tracción debida a flexión, MPa.
$\mathbf{F_v}$ = esfuerzo admisible de cortante, MPa.
$\mathbf{f_a}$ = esfuerzo causado por la fuerza axial calculado con el área efectiva, MPa.
$\mathbf{f_b}$ = esfuerzo de compresión causado por la flexión calculado con el área efectiva, MPa.
$\mathbf{f'_m}$ = resistencia a la compresión de la mampostería, MPa.
$\mathbf{f_v}$ = esfuerzo cortante solicitado, MPa.
$\mathbf{f_y}$ = esfuerzo nominal de fluencia del refuerzo, MPa.
$\mathbf{h'}$ = altura efectiva del muro o columna, mm.
$\mathbf{j}$ = factor del brazo de palanca tracción-compresión, adimensional.
$\mathbf{M}$ = momento flector que actúa sobre la sección debida a la carga de servicio.
$\mathbf{P_a}$ = fuerza axial de compresión admisible, N.
$\mathbf{R}$ = coeficiente de capacidad de disipación de energía.
$\mathbf{R_e}$ = coeficiente utilizado para tener en cuenta los efectos de esbeltez en elementos a compresión.
$\mathbf{s}$ = espaciamiento del refuerzo transversal en medida paralela al eje del elemento, mm.
$\mathbf{t}$ = espesor efectivo de la sección para evaluar efectos de pandeo, mm. Véase D.5.4.2.
$\mathbf{V}$ = fuerza de cortante bajo cargas de servicio, N.

D-1.1 — ALCANCE

D-1.1.1 — Se permite diseñar la mampostería estructural por el método de los esfuerzos de trabajo, utilizando las combinaciones de carga descritas en B.2.3, como un procedimiento alterno a los procedimientos de diseño presentados en el Capítulo D.5.

D-1.1.2 — Se permite el diseño de estructuras de mampostería por el método de los esfuerzos de trabajo descrito en B.2.3.

D-1.2 — PRINCIPIOS GENERALES

D-1.2.1 — Puede despreciarse la resistencia a tracción en la mampostería para esfuerzos inducidos por cargas axiales de tracción y por efectos de flexión paralela o perpendicular al plano del muro.

D-1.2.2 — Para efectos de la aplicación del presente Apéndice se puede considerar una distribución lineal entre

esfuerzos y deformaciones, con los materiales trabajando en el rango elástico.

D-1.2.3 — Los esfuerzos permisibles para el diseño se deben basar en el valor seleccionado para f'_m de acuerdo a D.3.7.

D-1.2.4 — El diseño estructural de la mampostería debe cumplir los principios de equilibrio y compatibilidad de deformaciones, así como las características mecánicas del material.

D-1.2.5 — Se pueden emplear para el diseño por la metodología presentada en este Apéndice, los módulos de elasticidad y de cortante prescritos en D.5.2.

D-1.3 — CARGAS

D-1.3.1 — Las estructuras de mampostería deben diseñarse para los efectos de las cargas combinadas especificadas en el Título B de este Reglamento. Así mismo en la evaluación de los esfuerzos de diseño, se deben tener en cuenta los efectos de las cargas sobre los desplazamientos.

D-1.3.2 — Las diferentes solicitaciones que deben ser tenidas en cuenta, se combinan para obtener las fuerzas internas de diseño de la estructura, de acuerdo con los requisitos de B.2.3 del Reglamento. En cada una de las combinaciones de carga requeridas, las solicitaciones se multiplican por el coeficiente de carga prescrito para esa combinación allí. En los efectos causados por el sismo se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos, E, obtenidos dividiendo las fuerzas sísmicas de diseño F_s, determinadas de acuerdo con los requisitos del Título A del Reglamento, por el coeficiente de capacidad de disipación de energía $R\left(E = F_s / R\right)$.

D-1.3.3 — Además de las combinaciones de cargas verticales y horizontales especificadas, se debe capacitar la estructura y sus partes para atender los efectos causados por contracción, expansión, flujo plástico, asentamientos previstos y condiciones ambientales de funcionamiento.

D-1.3.4 — Cuando en la evaluación de los esfuerzos se hayan incluido las cargas transitorias laterales de viento ó sismo, los esfuerzos permisibles se pueden incrementar siguiendo lo indicado en B.2.3.4.

D-1.4 — CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES EFECTIVAS

D-1.5.1 — Deben cumplirse la totalidad de los requisitos de la sección D.5.4 en el diseño de mampostería por el método de los esfuerzos de trabajo.

D-1.5 — DISEÑO POR EL MÉTODO DE LOS ESFUERZOS DE TRABAJO ADMISIBLES

D-1.5.1 — **GENERALIDADES** — Los esfuerzos máximos calculados en los elementos de estructuras de mampostería bajo cargas de servicio, no deben exceder los valores establecidos en esta sección, utilizando las características dimensionales y en los materiales especificados.

D-1.5.2 — **ESFUERZOS ADMISIBLES PARA COMPRESIÓN AXIAL** — Los esfuerzos admisibles de compresión axial $\left(F_a\right)$ no deben exceder los valores siguientes:

Muros de mampostería

$$F_a = 0.20\, f'_m\, R_e \qquad \textbf{(D-1.5-1)}$$

Columnas de mampostería:

No reforzadas

$$F_a = 0.20\, f'_m R_e \qquad \text{(D-1.5-2)}$$

Reforzadas

$$F_a = P_a / A_e \qquad \text{(D-1.5-3)}$$

donde:

$$P_a = \left(0.20\, f'_m \left(A_e - A_{st}\right) + 0.65\, A_{st}\, F_s\right) R_e \qquad \text{(D-1.5-4)}$$

$$R_e = 1 - \left[\frac{h'}{42t}\right]^2 \text{ para } h'/t \le 30$$

$$R_e = \left[\frac{21t}{h'}\right]^2 \text{ para } h'/t > 30 \qquad \text{(D-1.5-5)}$$

D-1.5.3 — **ESFUERZOS ADMISIBLES PARA COMPRESIÓN POR FLEXIÓN** — El valor para el esfuerzo máximo admisible de trabajo para compresión por flexión (F_b) se debe tomar como $0.33 f'_m$, pero no puede ser mayor que 14 MPa.

$$F_b = 0.33\ f'_m \le 14 \text{ MPa} \qquad \text{(D-1.5-6)}$$

D-1.5.4 — **ESFUERZOS ADMISIBLES PARA TRACCIÓN POR FLEXIÓN EN LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA** — La tracción desarrollada en las juntas de mortero por flexión en muros con aparejo trabado, no puede exceder los valores indicados en la tabla D-1.5-1. Cuando el mortero contenga cemento de mampostería, dichos valores deben reducirse en un 50%.

D-1.5.4.1 — No se permite suponer resistencia a la tracción en las juntas, para esfuerzos producidos por cargas axiales de tracción (no producidos por efectos de flexión).

D-1.5.4.2 — Los valores prescritos en la presente sección no son aplicables a elementos sin carga axial, como vigas y dinteles.

Tabla D-1.5-1
Esfuerzos admisibles para tracción por flexión de la mampostería con aparejo trabado F_t (MPa)

Dirección de los esfuerzos de tracción por flexión y tipo de mampostería.	Morteros de cemento pórtland y cal		Morteros de cemento para mampostería	
	H, M, ó S	N	H, M, ó S	N
Perpendicular a las juntas horizontales				
- Unidades Macizas	0.28	0.21	0.17	0.10
- Unidades de perforación vertical[1]				
- Sin rellenar	0.17	0.13	0.10	0.06
- Rellenas con morteros de inyección	0.45	0.43	0.42	0.40
Perpendicular a la junta vertical				
- Unidades Macizas	0.55	0.41	0.33	0.21
- Unidades de perforación vertical				
- Sin rellenar	0.35	0.26	0.21	0.13
- Rellenas y parcialmente rellenas con morteros de inyección	0.55	0.41	0.33	0.21

1. Para mampostería parcialmente inyectada, los esfuerzos admisibles deberán ser determinados por interpolación lineal de los valores dados para las unidades de perforación vertical sin rellenar y las rellenas con mortero de relleno basada en la cantidad (porcentaje) relleno con mortero de relleno.

D-1.5.5 — **ESFUERZOS COMBINADOS — ECUACIÓN FUNDAMENTAL** — Cuando se combinen esfuerzos de compresión por carga axial y por flexión, se debe utilizar un procedimiento apropiado basado en los principios de la mecánica de sólidos. En su defecto se pueden verificar los esfuerzos por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1.0 \qquad \textbf{(D-1.5-7)}$$

D-1.5.6 — **ESFUERZOS ADMISIBLES DE CORTANTE PARA VIGAS** — Para el método de esfuerzos admisibles en el cálculo de cortante en elementos a flexión (vigas), se deben emplear los siguientes valores:

Esfuerzo cortante solicitado:

$$f_v = \frac{V}{bjd} \qquad \textbf{(D-1.5-8)}$$

En donde j se puede tomar como 0.8 en caso de no realizar un análisis de compatibilidad de deformaciones. Para miembros con secciones en T o I, se debe reemplazar b por b_w.

Esfuerzo cortante admisible para elementos sin refuerzo para cortante

$$F_v = \frac{\sqrt{f'_m}}{12} \leq 0.35 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-9)}$$

Si se exceden los valores especificados, el refuerzo debe tomar todo el cortante y se debe espaciar a distancias no mayores que $d/2$. En este caso no se debe exceder el siguiente límite:

$$F_v = \frac{\sqrt{f'_m}}{4} \leq 1.1 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-10)}$$

D-1.5.7 — **ESFUERZOS ADMISIBLES PARA CORTANTE EN MUROS** — Para el método de esfuerzos admisibles, en el cálculo del cortante en muros de mampostería, se deben emplear los siguientes valores:

Esfuerzo cortante solicitado:

$$f_v = \frac{V}{bjd} \qquad \textbf{(D-1.5-11)}$$

En donde j se puede tomar como 0.8 en caso de no realizar un análisis de compatibilidad de deformaciones. Para miembros con secciones en T o I, se debe reemplazar b por b_w.

(a) Esfuerzo cortante admisible en muros de mampostería no reforzada:

$$F_v = \frac{\sqrt{f'_m}}{40} \leq 0.56 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-12)}$$

El esfuerzo admisible F_v puede ser incrementado en $0.2f_{am}$, donde f_{am} es el esfuerzo de compresión debido a carga muerta solamente.

(b) Esfuerzo cortante admisible en muros de mampostería con refuerzo:

La mampostería toma todo el cortante

$$\frac{M}{Vd} < 1.0 \qquad F_v = \left(4 - \frac{M}{Vd}\right)\frac{\sqrt{f'_m}}{40} \le \left(0.6 - 0.3\frac{M}{Vd}\right) \quad \text{MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-13)}$$

$$\frac{M}{Vd} \ge 1.0 \qquad F_v = \frac{\sqrt{f'_m}}{12} \le 0.25 \quad \text{MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-14)}$$

El refuerzo toma todo el cortante

$$\frac{M}{Vd} < 1.0 \qquad F_v = \left(4 - \frac{M}{Vd}\right)\frac{\sqrt{f'_m}}{24} \le \left(0.84 - 0.3\frac{M}{Vd}\right) \quad \text{MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-15)}$$

$$\frac{M}{Vd} \ge 1.0 \qquad F_v = \frac{\sqrt{f'_m}}{8} \le 0.52 \ \text{MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-16)}$$

D-1.5.8 — La cantidad de refuerzo transversal requerido se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$A_v = \frac{f_v\, b_w\, s}{F_s} \qquad \textbf{(D-1.5-17)}$$

Donde s es el espaciamiento del refuerzo al corte, el cual no debe exceder 1.20 m ni $d/2$, b_w es el ancho efectivo del alma de la sección, F_s es el esfuerzo admisible en el refuerzo a cortante en MPa, f_v es el esfuerzo cortante de diseño en MPa y A_v es el área del refuerzo a cortante en mm².

D-1.5.8.1 — El refuerzo transversal de cortante debe colocarse en piezas especiales tipo viga, ubicadas máximo cada 1.20 m. y a distancias no mayores a $d/2$. Dentro del área de refuerzo transversal de cortante no debe incluirse el refuerzo colocados en las juntas de mortero de la mampostería, el cual solo cumple funciones de disminución de la fisuración.

D-1.5.9 — **SECCIÓN CRÍTICA PARA CORTANTE** — La sección crítica de diseño a cortante debe localizarse teniendo en cuenta las condiciones de apoyo, aplicación de cargas y las condiciones particulares de funcionamiento del elemento.

D-1.5.10 — **ESFUERZOS ADMISIBLES EN EL REFUERZO** — Se tomarán los siguientes valores para los esfuerzos máximos en el refuerzo (F_s):

(a) Esfuerzos de tracción, por flexión o por cortante

Barras corrugadas

$$F_s = 0.5 f_y \le 170 \ \text{MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-18)}$$

Barras lisas

$$F_s = 0.4 f_y \le 140 \ \text{MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-19)}$$

Alambres

$$F_s = 0.5 f_y \le 210 \ \text{MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-20)}$$

(b) Esfuerzos de compresión

En columnas

$$F_s = 0.4f_y \leq 170 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-21)}$$

En elementos sometidos a flexión, la resistencia del acero de refuerzo a la compresión debe despreciarse a menos que el refuerzo vertical sea provisto de refuerzo transversal como se indica en el artículo D.4.2.

Barras corrugadas

$$F_s = 0.5f_y \leq 170 \text{ MPa} \qquad \textbf{(D-1.5-22)}$$

Barras lisas

$$F_s = 0.4f_y \leq 140 \text{ Mpa} \qquad \textbf{(D-1.5-23)}$$