

ÍNDICE

INDICE	pág. v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	2
MOTIVACIÓN	8
OBJETIVO	9
ALCANCES	10
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
1.1 ESPECÍMENES ANALIZADOS	12
1.1.1. Geometrías	13
1.1.2. Refuerzo Interno	14
1.1.3. Materiales propuestos	15
1.2 CIMENTACIÓN	16
1.3 MATERIALES UTILIZADOS	19
1.3.1. Elementos de la mampostería	19
1.3.1.1. <i>Piezas a compresión</i>	20
1.3.1.2. <i>Pilas a compresión</i>	21
1.3.1.3. <i>Muretes a compresión diagonal</i>	25
1.3.1.4. <i>Mortero</i>	28
1.3.2. Elementos de confinamiento	31
1.3.2.1. Castillos	33
1.3.2.2. Dalas y losa	35
1.4. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LAS PRUEBAS	36
1.4.1. Galgas extenso métricas	36
1.4.2. Micrómetros y Transductores	37
1.4.3. Arreglos de instrumentación	38
1.4.4. Elementos Ópticos	40

1.5.	APLICACIÓN DE CARGA	43
1.5.1.	Marco de Carga	43
1.5.1.1.	<i>Elementos para la aplicación de la carga</i>	43
1.5.1.2.	<i>Elementos para la transmisión de carga</i>	45
1.5.2.	Historial de cargas	47
2.	MODELOS MATEMÁTICOS DE ANÁLISIS	51
2.1.	INTRODUCCIÓN	51
2.2.	OBJETIVO	51
2.3.	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EN LOS ESPECIMENES	52
2.3.1.	Mampostería	52
2.3.2.	Dalas y castillos	53
2.3.3.	Losa	53
2.3.4.	Viga de transmisión de carga	53
2.4.	MODELACIÓN POR METODO DE COLUMNA ANCHA	54
2.5.	MODELACIÓN POR ELEMENTO FINITO	55
2.5.1.	Geometrías	56
2.5.1.1.	<i>Secciones de mampostería</i>	56
2.5.1.2.	<i>Secciones de castillos</i>	58
2.5.1.3.	<i>Secciones de losa</i>	58
2.5.1.4.	<i>Secciones en viga</i>	60
2.5.2.	Condiciones de Frontera	62
2.5.2.1.	<i>Condición de empotramiento en cimentación</i>	62
2.5.2.2.	<i>Conexiones</i>	62
2.5.3.	Cargas aplicadas	64
2.5.4.	Distorsión obtenida y rigidez	65
2.6.	MODELACION POR ELEMENTO FINITO SIMPLIFICADO	66
3.	RESULTADOS GENERALES	68
3.1.	INTRODUCCIÓN	68
3.2.	PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS	68
3.3.	CURVAS DE HISTÉRESIS	69
3.4.	AGRIETAMIENTOS INICIALES	70
3.5.	ESFUERZOS CORTANTES	73
3.6.	RIGIDEZ EXPERIMENTAL	75

3.7.	RIGIDEZ TEORICA	76
3.7.1.	Rigidez con el Método de columna ancha	76
3.7.2.	Rigidez con el Método de los elementos finitos (MEF)	77
3.7.3.	Rigidez en MEF simplificado	78
3.8.	RIGIDEZ NORMALIZADA	80
3.9.	DEFORMADA EXPERIMENTAL	84
4.	CONCLUSIONES	92
4.1.	CONCLUSIONES GENERALES	92
4.2.	RECOMENDACIONES	93
 APENDICES		
A.	MATERIALES ELASTICOS	95
A.1.	INTRODUCCIÓN	95
A.2.	PRINCIPIOS DE ELASTICIDAD	95
A.3.	RIGIDEZ DEBIDO A CORTANTE Y FLEXION EN COLUMNA ANCHA	98
A.4.	CONSIDERACIONES PARA MATERIAL COMPUESTO.	103
B.	DATOS DE MATERIALES UTILIZADOS	106
B.1.	ESPECÍMENES ANALIZADOS	106
B.2.	PILAS A COMPRESIÓN	107
B.3.	MURETES A COMPRESION DIAGONAL	108
B.4.	MORTERO	110
B.5.	CILINDROS DE CONCRETO	111
C.	RIGIDEZ LATERAL ANTE DISTINTOS NIVELES DE CARGA VERTICAL	114
C.1.	OBTENCIÓN DE LA RIGIDEZ LATERAL CON DIFERENTE NIVEL DE CARGA VERTICAL POR CICLOS	115
C.2.	CONCLUSIONES	119
BIBLIOGRAFIA		120

LISTA DE FIGURAS

Fig. I.1. Estimación de las fuerzas laterales a una estructura ocasionadas por sismo	5
Fig. I.2. Modelos de análisis ante cargas laterales	6
Fig. I.3. Planta arquitectónica y vista perspectiva de vivienda tipo	6
Fig. I.4. Esquema de rigideces en una vivienda	7
Fig. I.5. Relación de aspecto de muros H/L	8
Fig. 1.1. Geometría de los especímenes, acotaciones en cm.	13
Fig. 1.2. Armados de los castillos de los especímenes, dimensiones en mm.	14
Fig. 1.3. Armado de elementos de concreto	15
Fig. 1.4. Geometría de la viga de cimentación	16
Fig. 1.5. Colocación del armado de los castillos en los huecos de la viga de cimentación	17
Fig. 1.6. Detalle de las pilas y muretes en el sitio de construcción	19
Fig. 1.7. Arreglo de ubicación de muestras de pilas y muretes en los especímenes.	20
Fig. 1.8. Distribución estadística de las muestras de piezas a compresión	21
Fig. 1.9. Descripción dimensiones en pila, espesor altura.	21
Fig. 1.10. Consideraciones generales para el establecimiento de la elástica en la curva de esfuerzo-deformación unitaria.	22
Fig. 1.11. Distribución estadística de los resultados de las muestras de pilas a compresión	23
Fig. 1.12. Resultados de las muestras de pilas a compresión, por espécimen	24
Fig. 1.13. Componentes elásticas de las pilas	24
Fig. 1.14. Posicionamiento del murete para las pruebas de compresión diagonal	25
Fig. 1.15. Esquema de instrumentación óptica en muretes	25
Fig. 1.16. Distribución estadística de la resistencia a cortante de la mampostería	26
Fig. 1.17. Resistencia a la compresión diagonal por espécimen	27
Fig. 1.18. Componentes elásticas G_m	27
Fig. 1.19. Moldes de bronce para muestras de mortero.	28
Fig. 1.20. Distribución estadística de resistencia del mortero a compresión.	28
Fig. 1.21. Resultados generales de la resistencia del mortero	29
Fig. 1.22. Distribución de las muestras de mortero respecto a las hiladas de construcción de los especímenes.	30
Fig. 1.23. Procedimiento de muestreo de los cilindros en el ensaye, ejemplo ME1	31
Fig. 1.24. Determinación del módulo de elasticidad en cilindros de concreto	32
Fig. 1.25. Medición y peso de los cilindros de concreto.	32
Fig. 1.26. Resistencia a compresión de los cilindros de concreto	34
Fig. 1.27. Componente elástica en cilindros de concreto	34
Fig. 1.28. Cimbrado de la losa y detalle de la tarima superior para anclaje.	35
Fig. 1.29. Detalle de circuito de galga extenso métrica	36
Fig. 1.30. Colocación de las galgas en las varillas de los castillos.	36
Fig. 1.31. Ubicación de las galgas en el armado del castillo	37
Fig. 1.32. Transductores utilizados micrómetro (DDP-50 ^a), y los transductores CDP	37
Fig. 1.33. Arreglos generales de instrumentación en los cuatro muros	39
Fig. 1.34. Modo de operación de la cámara de leds en los ensayos.	40
Fig. 1.35. Cámara receptora, y módulo de adquisición de datos del sistema Krypton-600	41
Fig. 1.36. Arreglo de Led's para las pruebas de muros, para a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4.	41

Fig. 1.37. Ubicación de los leds por franjas _____	42
Fig. 1.38. Actuador A1 empotrado en el muro de reacción en posición horizontal. _____	43
Fig. 1.39. Arreglo frontal y lateral del muro de reacción. _____	44
Fig. 1.40. Dimensiones superiores y vista isométrica del muro de reacción. _____	44
Fig. 1.41. Viga VL, con corte frontal y arreglo de union con actuadores _____	46
Fig. 1.42. Arreglo general de ensayos _____	47
Fig. 1.43. Historia de cargas laterales y distorsión _____	48
Fig. 2.1. Vista general del modelo ME1 por elementos finitos. _____	55
Fig. 2.2. Segmentación de los especímenes por tipo de material y geometría. _____	56
Fig. 2.3. Subdivisión de los elementos de mampostería. _____	57
Fig. 2.4. Sección tipo para los elementos de mampostería. _____	57
Fig. 2.5. Subdivisión de los elementos de los castillos. _____	58
Fig. 2.6. Seccionamiento de la losa, ejemplificado con el modelo ME1 _____	59
Fig. 2.7. Sección tipo para losa. _____	59
Fig. 2.8. Seccionamiento de la viga de transmisión de carga VL. _____	60
Fig. 2.9. Sección tipo para las placas de la viga VL. _____	60
Fig. 2.10. Seccionamiento de la plaza de conexión al actuador, y pretensado. _____	61
Fig. 2.11. Sección tipo para las placas de conexión y pretensado. _____	61
Fig. 2.12. Corte del muro con la losa de reacción y cimentación _____	62
Fig. 2.13. Ductos correspondientes para la losa de cada muro, en la viga de transmisión de carga. ____	63
Fig. 2.14. Zona de aplicación de carga en la placa de pretensado de la viga de transmisión. _____	64
Fig. 2.15. Evaluación de elasticidad para modelo Sin viga, presentando distorsión teórica en los transductores H1,H3,H4 y H5 para a)ME1, b)ME2, c) ME3 y d)ME4 _____	65
Fig. 2.16. Modelos de MEF simplificado, para los especímenes: a) ME1, b) ME2 y c) ME3, ME4. _____	66
Fig. 3.1. Curvas de histéresis de los especímenes: a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4. _____	69
Fig. 3.2. Envoltentes de respuesta ante carga lateral en los muros. _____	70
Fig. 3.3. Patrón de agrietamientos en muros: a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4. _____	71
Fig. 3.4. Aspecto final de los muros: a) ME1, b) ME2, c) ME3 y d) ME4. _____	72
Fig. 3.5. Envoltentes de respuesta en valores de esfuerzo. _____	73
Fig. 3.6. Envoltentes de respuesta normalizadas con esfuerzos cortantes de diseño. La línea punteada determina la zona de predicción de agrietamiento inicial. _____	74
Fig. 3.7. Rigidez experimental en cada espécimen. _____	75
Fig. 3.8. Rigidez teórica por método de columna ancha, visualizando rigidez experimental. _____	76
Fig. 3.9. Rigidez teórica por MEF, comparando rigidez experimental. _____	78
Fig. 3.10. Rigidez teórica de MEF simplificado con la rigidez experimental. _____	79
Fig. 3.11. Modelos de comparación para las rigideces en arreglo paralelo _____	80
Fig. 3.12. Comparativas con respecto a la rigidez de ME4, con el método de la columna ancha. _____	81
Fig. 3.13. Comparativas con respecto a la rigidez de ME4, con el método de elemento finito _____	82
Fig. 3.14. Comparación general de rigideces normalizadas con ME4 _____	83
Fig. 3.15. Distribución de los errores de exactitud en los muros. _____	85
Fig. 3.16. Obtención de curva elástica a partir de leds, ME1. _____	86
Fig. 3.17. Obtención de curva elástica a partir de leds, ME2. _____	87

Fig. 3.18. Obtención de curva elástica a partir de leds, ME3. _____	87
Fig. 3.19. Obtención de curva elástica a partir de leds, ME4. _____	88
Fig. 3.20. Deformada real del muro ME1, ciclo elástico $v=-2.42$ t. _____	89
Fig. 3.21. Deformada Real ME2, para ciclo elástico $v=2.99$ t. _____	89
Fig. 3.22. Deformada real en ME4, para ciclo elástico $v=7.33$ t. _____	90
Fig. AP.1. Regiones elásticas y plásticas, en una grafica esfuerzo deformación. _____	96
Fig. AP.2. Deformación por cortante en un plano. _____	97
Fig. AP.3. Viga en cantiléver, y sus componentes mecánicas de momento y cortante. _____	98
Fig. AP.4. Elemento en doble empotrado. _____	100
Fig. AP.5. Ejemplo de columnas de misma área transversal y diferente altura. _____	102
Fig. AP.6. Porcentaje de deformación que toma un material con respecto a su relación de aspecto. _	102
Fig. AP.7. Área Transformada de una sección compuesta de mampostería. _____	103
Fig. AC.1. Comportamiento de las rigideces laterales de acuerdo al nivel de carga vertical para ME1.	115
Fig. AC.2. Comportamiento de las rigideces laterales de acuerdo al nivel de carga vertical para ME2.	116
Fig. AC.3. Comportamiento de las rigideces laterales de acuerdo al nivel de carga vertical para ME3.	117
Fig. AC.4. Comportamiento de las rigideces laterales de acuerdo al nivel de carga vertical para ME4.	118

LISTA DE TABLAS

Tabla I.1. Clasificación de muros de mampostería según la función estructural. _____	2
Tabla I.2. Clasificación de muros de mampostería según su refuerzo. _____	3
Tabla I.3. Cronología de algunas investigaciones relevantes en materia de mampostería en México. __	4
Tabla 1.1. Esfuerzo a compresión y modulo elástico de la mampostería _____	23
Tabla 1.2. Valores promedio de esfuerzo a compresión diagonal, por espécimen _____	26
Tabla 1.3. Valores promedio para componente elástica en el concreto de los castillos. _____	33
Tabla 1.4. Resultados de esfuerzo a compresión, de los cilindros de dala y losa _____	35
Tabla 1.5. Nomenclatura general para los dispositivos de medición. _____	38
Tabla 1.6. Distancia de posición de los leds desde la parte superior, y leds asociados. _____	42
Tabla 1.7. Área transversal bruta por espécimen, contando el área de castillos. _____	47
Tabla 1.8. Cargas laterales aplicadas, resumen de historial de cargas. _____	49
Tabla 2.1. Valores promedio de las propiedades mecánicas para mampostería _____	52
Tabla 2.2. Valores promedio de modulo de cortante en muretes de mampostería, por espécimen. ____	52
Tabla 2.3. Valores promedio de las propiedades mecánicas para el concreto en castillos _____	53
Tabla 2.4. Valores promedio de las propiedades mecánicas del concreto para losa. _____	53
Tabla 2.5. Valores característicos del acero A-36 _____	53
Tabla 2.6. Propiedades de los materiales en muros y sus respectivas áreas de cortante y momento de inercia. _____	54
Tabla 2.7. Cargas laterales incluidas en la simulación _____	64
Tabla 3.1. Valores de las cargas de agrietamiento iniciales en los muros. _____	70
Tabla 3.2. Comparativas de la cortante resistente V_{mR} y de agrietamiento experimentales. _____	74
Tabla 3.3. Rigideces experimentales promedio por muro y ciclo. _____	75
Tabla 3.4. Rigidez teórica con el método de la columna ancha. _____	76
Tabla 3.5. Rigidez teórica en MEF para cada espécimen. _____	77
Tabla 3.6. Rigidez teórica con MEF simplificado _____	79
Tabla 3.7. Comparativa de rigidez lateral experimental, con respecto a ME4. _____	81
Tabla 3.8. Comparativa de rigidez lateral con método de columna ancha, con respecto a ME4. ____	81
Tabla 3.9. Comparativa de rigidez lateral con MEF, con respecto a ME4. _____	82
Tabla 3.10. Comparativa de rigidez lateral con MEF simplificado, con respecto a ME4. _____	82
Tabla 3.11. Comparativas geométricas, con respecto a ME4. _____	83
Tabla AC.1. Rigideces laterales en ciclos iniciare con diferente carga axial para el modelo ME1 ____	115
Tabla AC.2. Rigideces laterales en ciclos iniciare con diferente carga axial para el modelo ME2 ____	116
Tabla AC.3. Rigideces laterales en ciclos iniciare con diferente carga axial para el modelo ME3 ____	117
Tabla AC.4. Rigideces laterales en ciclos iniciare con diferente carga axial para el modelo ME4 ____	118