

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICAS Y NATURALES



TESIS DE MAESTRÍA

**RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN
ARMADO BASADO EN LA VULNERABILIDAD DE SUS
COMPONENTES**

Alumno: Ing. Agostini, Magdalena.

Tutor: Dr. Ing. Gerbaudo, Guillermo. M.

Año 2017



Resumen

En este trabajo se implementa una metodología para estimar el riesgo sísmico de edificios de hormigón armado basado en la vulnerabilidad de sus componentes. Se evalúan los daños probables en el edificio y los costos de reparación asociados, considerando las características particulares de cada construcción y la fragilidad de cada uno de sus componentes susceptibles de sufrir daño debido a la acción sísmica. Para ello se aplica la metodología "Assembly-Based Vulnerability (ABV)", cuyos pasos básicos consisten en el análisis estructural detallado de los edificios, seguido de una evaluación de los daños en una variedad de componentes basados en su respuesta estructural mediante funciones de fragilidad específica del componente. Posteriormente, el porcentaje de daños para cada componente se transforma en un costo de reparación. El daño final del edificio se obtiene sumando el costo de reparación de todos sus componentes. La metodología, finalmente se aplica a algunos casos particulares para demostrar la capacidad de esta metodología.

Palabras clave: vulnerabilidad basada en componentes, curva de fragilidad, curva de capacidad, curva de vulnerabilidad, pushover.



Abstract

In this work a methodology is implemented to estimate the seismic risk of reinforced concrete buildings based on the vulnerability of their components. The probable damages in the building and the associated repair costs are evaluated, considering the particular characteristics of each construction and the fragility of each one of its components susceptible to suffer damage due to the seismic action. To this end, the "Assembly-Based Vulnerability (ABV)" methodology is applied, whose basic steps consist of the detailed structural analysis of the buildings, followed by an evaluation of the damages in a variety of components based on their structural response through functions of fragility. specifies the component. Subsequently, the percentage of damages for each component is transformed into a repair cost. The final damage to the building is obtained by adding the cost of repair of all its components. The methodology finally applies to some particular cases to demonstrate the capacity of this methodology.

Keywords: *assembly based vulnerability (ABV), fragility curve, capacity curve, vulnerability curve, pushover.*



Agradecimientos

- A Guillermo M. Gerbaudo quien fue mi gran guía a lo largo de estos últimos años para llevar a cabo este trabajo. Gracias a su paciencia y voluntad pude crecer en el ámbito de las Estructuras, junto con conocimientos que afianzan la profesión del Ingeniero.
- A Carlos F. Gerbaudo y Mercedes Videla, quienes sin su buena predisposición esta tesis jamás podría haber sido posible.
- A mis padres, Miguel A. Agostini y A. Carolina Jorge, ya que fueron mi principal apoyo a lo largo de toda mi vida. Sin ellos nunca habría podido alcanzar todo lo que logré hasta el día de hoy.
- A mis hermanos, Emiliano Agostini y Josefina Agostini por su apoyo incondicional que siempre sobrellevaron ante todas las adversidades.
- A mis compañeros de trabajo en INGROUP especialmente Lucia Bonino, Mauricio Destéfanis, Diego Sampó, Agustín Nardi y Omar Bordolini, entre otros, por su gran dedicación, paciencia y apoyo a lo largo de todo este tiempo juntos.
- A mis amigos y amigas que siempre estuvieron a mi lado durante este proceso, especialmente Carolina Figueroa, Milagro Weibel, Victoria Jimenez,



Andrea Calvo, Florencia Fermi, Nieves Rinaudi, Lucas Quiroga y Mariano de Napoli.



Índice

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE	VI
ÍNDICE FIGURAS	XI
ÍNDICE TABLAS	XVI
1. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO	6
1.2. ALCANCE	7
1.3. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	8
2. CAPITULO 2: BACKGROUND	9
2.1. INTRODUCCIÓN	9
2.2. METODOLOGÍAS PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	9
2.3. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL TIPO DE RESULTADO.....	10
2.3.1. <i>Técnicas convencionales</i>	10
2.3.2. <i>Técnicas directas</i>	12
2.3.3. <i>Técnicas indirectas</i>	19
2.4. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LOS DATOS, MÉTODO Y RESULTADOS.....	20
2.4.1. <i>Datos de entrada</i>	21



2.4.2.	<i>Métodos</i>	22
2.4.3.	<i>Resultados</i>	23
2.5.	SOFTWARES QUE ESTIMAN EL RIESGO SÍSMICO	23
2.5.1.	<i>HAZUS</i>	24
2.5.2.	<i>EQVIS</i>	25
2.5.3.	<i>CAPRA</i>	26
2.5.4.	<i>ST-RISK y ALLRISK</i>	29
2.6.	TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA METODOLOGÍA ABV	30
3.	CAPITULO 3: METODOLOGÍA	35
3.1.	INTRODUCCIÓN	35
3.2.	UBICACIÓN Y DISEÑO DEL EDIFICIO.....	37
3.3.	DEMANDA SÍSMICA	38
3.4.	RESPUESTA ESTRUCTURAL MÁXIMA.....	38
3.4.1.	<i>Análisis no lineal “pushover” y método del espectro de capacidad</i>	41
3.4.2.	<i>Curva de capacidad</i>	43
3.4.3.	<i>Punto de Desempeño</i>	47
3.4.3.1.	<i>Espectro de capacidad</i>	48
3.4.3.2.	<i>Espectro en formato ADRS</i>	51
3.4.3.3.	<i>Construcción Bilineal del espectro de capacidad</i>	52
3.4.3.4.	<i>Amortiguamiento viscoso equivalente y espectro de demanda reducido</i>	53
3.4.3.5.	<i>Intersección del espectro de capacidad y de demanda</i>	58
3.5.	NIVEL DE DAÑO DE LOS COMPONENTES.	62
3.5.1.	<i>Introducción</i>	62
3.5.2.	<i>Elementos propensos al daño</i>	63
3.5.3.	<i>Daño en componentes estructurales</i>	66
3.5.4.	<i>Daño componentes no estructurales</i>	68
3.5.5.	<i>Curvas de fragilidad</i>	70
3.5.5.1.	<i>Placas de Yeso</i>	72
3.5.5.2.	<i>Cielorraso</i>	77
3.5.5.3.	<i>Vidrios Exteriores</i>	80
3.5.5.4.	<i>Mampostería</i>	82



3.5.5.5. <i>Curvas de fragilidad adicionales</i>	84
3.6. COSTOS DE RECONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN DE LOS COMPONENTES.....	86
3.7. CURVA DE VULNERABILIDAD.....	92
3.8. ESTIMACIÓN DE PERDIDAS PROBABLES POR AÑO	94
4. CAPITULO 4: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA	97
4.1. INTRODUCCIÓN	97
4.2. MODELO NUMÉRICO	98
4.2.1. <i>Elementos</i>	98
4.2.2. <i>Condición de rigidez de los elementos</i>	99
4.2.3. <i>Diafragmas rígidos</i>	100
4.2.4. <i>Fundación</i>	101
4.2.5. <i>Masa traslacional y rotacional</i>	101
4.2.6. <i>Materiales y Armaduras</i>	102
4.2.7. <i>Rotulas Plásticas</i>	103
4.2.7.1. <i>Posición de las rotulas plásticas</i>	103
4.2.7.2. <i>Longitud de rotula</i>	105
4.2.7.3. <i>Diagramas momento-curvatura M/M_y vs ϕ/ϕ_y</i>	106
4.2.8. <i>Tabiques no lineales</i>	110
4.2.9. <i>Influencia de la mampostería</i>	111
4.2.9.1. <i>Definición de los resortes equivalentes</i>	112
4.2.10. <i>Estados de Carga</i>	117
4.2.10.1. <i>Carga Gravitacional</i>	117
4.2.10.2. <i>Carga Lateral</i>	117
4.2.10.3. <i>Estado de Carga No Lineal Gravitacional</i>	118
4.2.10.4. <i>Estado de Carga No Lineal Lateral Pushover</i>	121
4.3. UTILIZACIÓN DE LOS RESULTADOS EN LA PLANILLA DE LA METODOLOGÍA "ABV"	121
5. CAPITULO 5: CASOS DE ESTUDIO	123
5.1. INTRODUCCIÓN	123
5.2. UBICACIÓN	124
5.3. DEMANDA SÍSMICA.....	126



5.4. EDIFICIO N°1.....	130
5.5. EDIFICIO N°2.....	137
5.6. RESORTES EQUIVALENTES.....	141
5.7. RESULTADOS.....	145
5.7.1. <i>Curvas de Capacidad</i>	145
5.7.1.1. <i>Edificio N°1</i>	146
5.7.1.2. <i>Edificio N°2</i>	148
5.7.2. <i>Punto de desempeño</i>	149
5.7.2.1. <i>Edificio N°1</i>	150
5.7.2.2. <i>Edificio N°2</i>	155
5.7.3. <i>Nivel de daño</i>	159
5.7.3.1. <i>Edificio N°1</i>	159
5.7.3.2. <i>Edificio N°2</i>	164
5.7.4. <i>Curvas de Vulnerabilidad</i>	168
5.7.4.1. <i>Edificio N°1</i>	169
5.7.4.2. <i>Edificio N°2</i>	170
5.7.5. <i>Perdidas probables por año</i>	171
5.7.5.1. <i>Edificio N°1</i>	172
5.7.5.2. <i>Edificio N°2</i>	173
6. CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES.....	176
6.1. CONCLUSIONES.....	176
6.2. FUTURAS INVESTIGACIONES.....	179
6.2.1. AUTOMATIZACIÓN DE ABV.....	179
6.2.2. MODELO NUMÉRICO.....	180
6.2.3. NIVEL DE DAÑOS.....	181
6.2.4. COSTOS DE REPARACIÓN.....	181
6.2.5. LA INFLACIÓN DE COSTOS IMPULSADA POR LA DEMANDA (AUMENTO DE LA DEMANDA).....	182
6.2.6. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LA VIDA.....	183
6.2.7. MAPAS DE VULNERABILIDAD.....	184
6.2.8. FUNCIONES DE VULNERABILIDAD POR CATEGORÍAS DE EDIFICIOS UTILIZANDO ABV.....	184
6.2.9. RESUMEN.....	185



7. CAPITULO 7: REFERENCIAS.....	186
A. ANEXO A: PLANILLA METODOLOGÍA “ABV”.....	193
B. ANEXO B: ARMADURAS MODELOS.....	232
C. ANEXO C: MODELO NUMÉRICO.....	259
D. ANEXO D: PUNTOS DE DESEMPEÑO.....	275



Índice Figuras

FIGURA 1-1: COMPONENTES DEL RIESGO SÍSMICO	2
FIGURA 2-1: ESQUEMA DE MODELO UTILIZADO PARA PREDECIR EL DAÑO EN COMPONENTES DESPUÉS DE SCHOLL (1981).	32
FIGURA 3-1: PASOS DE LA METODOLOGÍA ABV.	36
FIGURA 3-2: CONCEPTO CURVA DE CAPACIDAD (ATC-40, 1996).	43
FIGURA 3-3: SEGMENTOS DEL ANÁLISIS PUSHOVER (ATC-40, 1996).	45
FIGURA 3-4: MÚLTIPLES CURVAS PARA MODELAR EL EFECTO DE DEGRADACIÓN DE CAPACIDAD (ATC-40, 1996).	46
FIGURA 3-5: COMPARACIÓN ENTRE EL ESPECTRO TRADICIONAL Y EL ESPECTRO EN FORMATO ADRS (ATC-40, 1996).	50
FIGURA 3-6: COMPARACIÓN DEL ESPECTRO DE CAPACIDAD SOBRE EL ESPECTRO DE DEMANDA TRADICIONAL Y EL ESPECTRO DE DEMANDA SÍSMICO EN FORMATO ADRS (ATC-40, 1996).	51
FIGURA 3-7: PASOS PARA LA CONVERSIÓN DEL ESPECTRO SÍSMICO TRADICIONAL A EL ESPECTRO EN FORMATO ADRS (ATC-40, 1996).	52
FIGURA 3-8: REPRESENTACIÓN BILINEAL DEL ESPECTRO DE CAPACIDAD (ATC-40, 1996).	53
FIGURA 3-9: OBTENCIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO EQUIVALENTE PARA EL ESPECTRO REDUCIDO (ATC-40, 1996).	54
FIGURA 3-10: DERIVACIÓN DE ECUACIONES DE ENERGÍA DISIPADA (ATC-40, 1996).	55
FIGURA 3-11: ESPECTRO DE RESPUESTA REDUCIDO (ATC-40, 1996).	57
FIGURA 3-12: FAMILIA DE DEMANDA ESPECTRAL CON VARIACIÓN EN EL AMORTIGUAMIENTO (ATC-40, 1996).	58
FIGURA 3-13: FAMILIA DE DEMANDA ESPECTRAL Y ESPECTRO DE CAPACIDAD BILINEAL (ATC-40, 1996).	59
FIGURA 3-14: PUNTOS D_{PI} , B_{EFF} (ATC-40, 1996).	61
FIGURA 3-15: UNIÓN DE LOS PUNTOS D_{PI} , B_{EFF} (ATC-40, 1996).	61
FIGURA 3-16: EJEMPLO DE DAÑO PRODUCIDO POR LA FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS (HUBERT, 2016).	66
FIGURA 3-17: ESQUEMA DE COMPONENTES TÍPICOS EN EDIFICIOS (PARADIGMENGINEERING.CA, 2017).	69
FIGURA 3-18: EJEMPLO DE CURVAS DE FRAGILIDAD (NIBS, 1995).	71



FIGURA 3-19: CURVAS DE FRAGILIDAD OBTENIDAS PARA LOS GRUPOS DE FRAGILIDAD SÍSMICA (RETAMALE, DAVIES, MOSQUEDA, & FILIATRAULT, 2007).....	75
FIGURA 3-20: DETALLES TÍPICOS DE LA ESTRUCTURA DE PLACAS DE YESO UTILIZADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO (WWW.DURLOCK.COM, 2017).....	76
FIGURA 3-21: CURVA DE FRAGILIDAD ADOPTADA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS EDIFICIOS CON PAREDES DE PLACA DE YESO (RETAMALE, DAVIES, MOSQUEDA, & FILIATRAULT, 2007).	77
FIGURA 3-22: CIELORRASO TÍPICO DE LA ZONA DE ESTUDIO (WWW.DURLOCK.COM, 2017).	78
FIGURA 3-23: CURVA DE FRAGILIDAD CIELORRASO (AMARAZ, ANDREW S. WHITTAKER, & M. REINHORM, 2013).	79
FIGURA 3-24: MARCO DE ENSAYO DE LOS VIDRIOS (BEHR, 1998).	81
FIGURA 3-25: CURVA DE FRAGILIDAD DEL VIDRIO (BEHR, 1998).	82
FIGURA 3-26: MODELO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA (SIPOS & SIGMUND, 2014).	83
FIGURA 3-27: EJEMPLO DE CURVA DE VULNERABILIDAD.	93
FIGURA 3-28: CURVA DE PÉRDIDAS PROBABLES POR AÑO.	96
FIGURA 4-1: CÁLCULO MASA ROTACIONAL.	102
FIGURA 4-4: MECANISMOS DE COLAPSOS IDEALES (ATC-40, 1996).	104
FIGURA 4-5: POSICIÓN POSIBLES DE LA RÓTULA PLÁSTICA EN VIGAS (ATC-40, 1996).	105
FIGURA 4-6: DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS RÓTULAS PLÁSTICAS GENERADO POR 5 PUNTOS (FEMA-365, 2000).	107
FIGURA 4-7: PARÁMETROS DE MODELADO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN EN VIGAS (FEMA-365, 2000).	109
FIGURA 4-8: PARÁMETROS DE MODELADO Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN EN COLUMNAS (FEMA-365, 2000).	109
FIGURA 4-9: DIRECCIONES PRINCIPALES DEL ELEMENTO ÁREA.	110
FIGURA 4-10: MODELO ANALÍTICO USADO PARA MODELAR PAREDES DE MAMPOSTERÍA (AGUDELO C. & LÓPEZ R., 2009).	112
FIGURA 4-11: MODELO NO LINEAL DE FUERZA-DESPLAZAMIENTO PARA RESOLVER EL RESORTE EQUIVALENTE (AGUDELO C. & LÓPEZ R.).	114
FIGURA 4-12: EFECTO CARGAS GRAVITATORIAS EN VIGAS (ATC-40, 1996).....	119
FIGURA 4-13: EFECTO DE LA CARGA GRAVITATORIA EN COLUMNAS (ATC-40, 1996).....	120
FIGURA 5-1: UBICACIÓN DEL BARRIO DE NUEVA CÓRDOBA, CÓRDOBA, ARGENTINA (WIKIPEDIA, 2017).	124
FIGURA 5-2: FOTO DEL BARRIO DE NUEVA CÓRDOBA (WIKIPEDIA, 2017).	125
FIGURA 5-3: MAPA DE ZONACIÓN O RIESGO SÍSMICO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA (INPRES-CIRSOC-103, 2013).	126
FIGURA 5-4: MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (HUBERT, 2016).	127
FIGURA 5-5: ESPECTROS SÍSMICOS ZONA 1 (INPRES-CIRSOC-103, 2013).	129
FIGURA 5-6: PLANTA TIPO EDIFICIO N°1 SIN BALCÓN.	130



FIGURA 5-7: PLANTA BAJA EDIFICIO N°1.....	130
FIGURA 5-8: MODELO MANDER PARA EL HORMIGÓN CONFINADO (MANDER, PRIESTLEY, & AND PARK, 1988).....	134
FIGURA 5-9: MODELO DE CURVA COMPLETA PARA EL ACERO.....	134
FIGURA 5-9 MODELO EDIFICIO N°1.....	135
FIGURA 5-11: PLANTA TIPO EDIFICIO N°2.....	136
FIGURA 5-12: PLANTA BAJA EDIFICIO N°2.....	137
FIGURA 5-14: MODELO EDIFICIO N°2.....	139
FIGURA 5-15: CURVA FUERZA-DEFORMACIÓN EDIFICIO N°1.....	142
FIGURA 5-16: CURVA FUERZA-DEFORMACIÓN EDIFICIO N°2.....	142
FIGURA 5-17: CASOS DE ESTUDIO TENIENDO EN CUENTA LA INFLUENCIA DE LA MAMPOSTERÍA.....	143
FIGURA 5-18: CURVAS DE CAPACIDAD EDN°1 EJE X.....	145
FIGURA 5-19: CURVAS DE CAPACIDAD EDN°1 EJE Y.....	146
FIGURA 5-20: CURVA DE CAPACIDAD EDIFICIO N°2 EJE X, SIN Y CON MAMPOSTERÍA.....	147
FIGURA 5-21: CURVA DE CAPACIDAD EDIFICIO N°2 EJE Y, SIN Y MAMPOSTERÍA.....	148
FIGURA 5-22: EJEMPLO DE PUNTO DE DESEMPEÑO ALCANZADO EDN°1.....	150
FIGURA 5-23: EJEMPLO DE PUNTO DE DESEMPEÑO ALCANZADO EDN°2.....	155
FIGURA 5-24: NIVEL DE DAÑO TOTAL EDN°1.....	160
FIGURA 5-25: NIVEL DE DAÑO COMPONENTES NO ESTRUCTURALES EDN°1.....	161
FIGURA 5-26: NIVEL DE DAÑO COMPONENTES ESTRUCTURALES-EDN°1.....	163
FIGURA 5-27: NIVEL DE DAÑO TOTAL EDN°2.....	165
FIGURA 5-28: NIVEL DE DAÑO COMPONENTES NO ESTRUCTURALES EDN°2.....	167
FIGURA 5-29: NIVEL DE DAÑO COMPONENTES ESTRUCTURALES-EDN°1.....	168
FIGURA 5-30: CURVAS DE VULNERABILIDAD EDN°1.....	169
FIGURA 5-31: CURVAS DE VULNERABILIDAD EDN°2.....	170
FIGURA 5-32: ESPECTROS PARA ESTIMAR LA PÉRDIDA PROBABLE POR AÑO.....	171
FIGURA 5-33: PERDIDA PROBABLE POR AÑO EDN°1.....	173
FIGURA 5-34: PERDIDA PROBABLE POR AÑO EDN°2.....	175
FIGURA 1: ARMADURAS TABIQUES EDN°1.....	237
FIGURA C-1: DEFINICIÓN DE LA ARMADURA DE UNA VIGA TÍPICA EN EL SOFTWARE.....	253
FIGURA C-2: DEFINICIÓN DE ARMADURA EN UNA COLUMNA EN EL SOFTWARE.....	254
FIGURA C-3: DEFINICIÓN DE ROTULAS EN VIGAS Y COLUMNAS (FEMA-365, 2000).....	254
FIGURA C-4: ESQUEMA DE ROTULACIÓN DE COLUMNAS EN EL MODELO (FEMA-365, 2000).....	255



FIGURA C-5: ESQUEMA DE ROTULACIÓN DE VIGAS (FEMA-365, 2000).	255
FIGURA C-6: DEFINICIÓN DEL ELEMENTO SHELL NO LINEAL EDIFICIO N°1.	256
FIGURA C-7: RIGIDEZ EFECTIVA DE LOS TABIQUES.	257
FIGURA C-8: DEFINICIÓN DE ARMADURAS Y MATERIALES DEL TABIQUE.	257
FIGURA C-9: ESTADO DE NO LINEALIDAD DE LAS CAPAS DEL TABIQUE.....	258
FIGURA C-10: DEFINICIÓN DEL RESORTE DE CORTE EN SAP2000.	259
FIGURA C-11: CASO DE CARGA NO LINEAL PARA CARGAS GRAVITACIONALES.	260
FIGURA C-12: CASO DE CARGA NO LINEAL PARA PRIMER MODO EN LA DIRECCIÓN X.	261
FIGURA C-13: CASO DE CARGA NO LINEAL PRIMER MODO EN LA DIRECCIÓN Y.	261
FIGURA C-14: FORMULARIO PARA ESPECIFICAR EL CONTROL DE LA CARGA APLICADA.....	262
FIGURA C-15: FORMULARIO PARA ESPECIFICAR NÚMERO DE PASOS A SALVAR.	264
FIGURA C-16: DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE DESEMPEÑO SEGÚN (ATC-40, 1996)	267
FIGURA D-1: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO A EN EL EJE X (PASO 33 DEL ANÁLISIS PUSHOVER).	271
FIGURA D-2: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE X (PASO 40 DEL ANÁLISIS PUSHOVER).	273
FIGURA D-3: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO E EN EL EJE X (PASO 52 ANÁLISIS PUSHOVER).	275
FIGURA D-4: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO A EN EL EJE Y (PASO 10 ANÁLISIS PUSHOVER).	277
FIGURA D-5: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE Y (PASO 13 ANÁLISIS PUSHOVER).	279
FIGURA D-6: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO E EN EL EJE Y. (PASO 16 ANÁLISIS PUSHOVER).	281
FIGURA D-7: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO A EN EL EJE X. (PASO 27 ANÁLISIS PUSHOVER).	283
FIGURA D-8: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE X. (PASO 35 ANÁLISIS PUSHOVER).	285
FIGURA D-9: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO E EN EL EJE X. (PASO 44 ANÁLISIS PUSHOVER).	287
FIGURA D-10: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO A EN EL EJE Y. (PASO 10 ANÁLISIS PUSHOVER).	289



FIGURA D-11: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE Y. (PASO 14 ANÁLISIS PUSHOVER).....	291
FIGURA D-12: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°1 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO E EN EL EJE Y. (PASO 18 ANÁLISIS PUSHOVER).....	293
FIGURA D-13: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO A EN EL EJE X (PASO 9 ANÁLISIS PUSHOVER).....	295
FIGURA D-14: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2-SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE X (PASO 11 ANÁLISIS PUSHOVER).....	297
FIGURA D-15: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO E EN EL EJE X (PASO 14 ANÁLISIS PUSHOVER).....	299
FIGURA D-16: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2-SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO A EN EL EJE Y (PASO 11 ANÁLISIS PUSHOVER).....	301
FIGURA D-17: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE Y (PASO 13 ANÁLISIS PUSHOVER).....	302
FIGURA D-18: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2-SM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO E EN EL EJE Y (PASO 17 ANÁLISIS PUSHOVER).....	304
FIGURA D-19: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO A EN EL EJE X (PASO 6 ANÁLISIS PUSHOVER).....	306
FIGURA D-20: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE X (PASO 8 ANÁLISIS PUSHOVER).....	308
FIGURA D-21: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO E EN EL EJE X (PASO 10 ANÁLISIS PUSHOVER).....	310
FIGURA D-22: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO A EN EL EJE Y (PASO 6 ANÁLISIS PUSHOVER).....	312
FIGURA D-23: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE Y (PASO 8 ANÁLISIS PUSHOVER).....	314
FIGURA D-24: PUNTO DE DESEMPEÑO OBTENIDO PARA EL EDN°2 CM EN ZONA SÍSMICA 1, TIPOLOGÍA DE SUELO D EN EL EJE Y (PASO 11 ANÁLISIS PUSHOVER).....	316



Índice Tablas

TABLA 2-1: FORMATO DE LA MATRIZ DE PROBABILIDAD DE DAÑO PARA UNA TIPOLOGÍA DADA (WHITMAN, 1974)	14
TABLA 2-2: INTERACCIÓN DE LOS DIFERENTES MÓDULOS CAPRA.....	28
TABLA 2-3: COMPONENTES ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES CONSIDERADOS SEGÚN SCHOLL (1981).....	31
TABLA 3-1: VALORES PARA EL FACTOR DEL AMORTIGUAMIENTO HISTERÉTICO (ATC-40, 1996).....	56
TABLA 3-2: VALORES MÍNIMOS REQUERIDOS (ATC-40, 1996).....	57
TABLA 3-3: CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES.	64
TABLA 3-4: ESTADO DE DEÑO EN FUNCIÓN DEL ESTADO DE ROTULACIÓN.....	67
TABLA 3-5: CONFIGURACIONES DE LAS PLACAS DE YESO ENSAYADAS POR NEESR (RETAMALE, DAVIES, MOSQUEDA, & FILIATRAULT, 2007).....	73
TABLA 3-6: ESTADOS DE DAÑO DE LAS PLACAS DE YESO (RETAMALE, DAVIES, MOSQUEDA, & FILIATRAULT, 2007).....	73
TABLA 3-7: AGRUPACIÓN DE CASOS EN FUNCIÓN DE LA FRAGILIDAD SÍSMICA (RETAMALE, DAVIES, MOSQUEDA, & FILIATRAULT, 2007).....	74
TABLA 3-8: PLACAS DE YESO TÍPICAS UTILIZADAS EN NUEVA CÓRDOBA (WWW.DURLOCK.COM, 2017).....	75
TABLA 3-9: VALORES DE MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA PLACAS DE YESO (RETAMALE, DAVIES, MOSQUEDA, & FILIATRAULT, 2007).....	76
TABLA 3-10: DESCRIPCIÓN DE LOS ESTADOS DE DAÑOS ASOCIADOS (AMARAZ, ANDREW S. WHITTAKER, & M. REINHORM, 2013).....	78
TABLA 3-11: VALORES DE MEDIANA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA CIELORRASOS (AMARAZ, ANDREW S. WHITTAKER, & M. REINHORM, 2013).....	79
TABLA 3-12: VIDRIOS ANALIZADOS EN EL ENSAYO (BEHR, 1998).....	80
TABLA 3-13: DESCRIPCIÓN DE LOS ESTADOS DE DAÑOS ASOCIADOS (BEHR, 1998).....	81



TABLA 3-14: VALORES DE MEDIANA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA VIDRIOS (BEHR, 1998).	81
TABLA 3-15: ESTADOS DE DAÑO DE LA MAMPOSTERÍA EN FUNCIÓN DE LA DERIVA DE PISO (SIPOS & SIGMUND, 2014).	84
TABLA 3-16: CURVAS DE FRAGILIDAD ADICIONALES (GEORGE C. & YING-LIEH, MARCH, 2012).	85
TABLA 3-17: PORCENTAJE DE INCIDENCIA COSTO TOTAL (WWW.COPAIPA.ORG.AR, S.F.).	89
TABLA 3-18: PORCENTAJE DE INCIDENCIA PARA VIGAS Y COLUMNAS QUE FORMAN ROTULAS PLÁSTICAS (ESTIMADO EN FUNCIÓN DE LOS COSTOS DE REPARACIÓN LOCALES VER ANEXO A).....	92
TABLA 4-1: RIGIDEZ INICIAL DE LOS COMPONENTES (ATC-40, 1996).	99
TABLA 4-3: POSICIÓN DE LAS ROTULAS PLÁSTICAS.	105
TABLA 5-1: CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN ZONA SÍSMICA 1 SEGÚN INPRES-CIRSOC 103 (INPRES-CIRSOC-103, 2013).	128
TABLA 5-2: DIMENSIONES DE VIGAS PARA EDN°1.....	132
TABLA 5-3: DIMENSIONES DE COLUMNAS PARA EDN°1.....	133
TABLA 5-4: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	134
TABLA 5-4: DIMENSIONES DE VIGAS PARA EDIFICIO N°2.....	138
TABLA 5-5: DIMENSIONES DE COLUMNAS EDIFICIO N°2.	138
TABLA 4-4: RESISTENCIA ESPECIFICA MAMPOSTERÍA (INPRES CIRSOC 103 PARTE III: CONTRUCCIONES DE MAMPOSTERIA, 2016)	140
TABLA 5-6: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA MAMPOSTERÍA INTERNA DE LOS CASOS DE ESTUDIO.	141
TABLA 5-7: PUNTOS DE DESEMPEÑO EDN°1.	151
TABLA 5-8: PUNTOS DE DESEMPEÑO EDN°2.	155
TABLA 5-9: COSTO TOTAL ALCANZADO POR EDN°1.....	158
TABLA 5-10: COSTO DE REPARACIÓN COMPONENTES NO ESTRUCTURALES-EDN°1	160
TABLA 5-11: COSTO DE REPARACIÓN COMPONENTES ESTRUCTURALES-EDN°1	162
TABLA 5-12: COSTO TOTAL ALCANZADO POR EDN°2.....	164
TABLA 5-13: COSTO DE REPARACIÓN COMPONENTES NO ESTRUCTURALES-EDN°2.....	166
TABLA 5-14: COSTO DE REPARACIÓN COMPONENTES ESTRUCTURALES-EDN°2	167
TABLA 5-15: ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS PROBABLES POR AÑO.	172
TABLA 5-16: PERDIDA PROBABLE POR AÑO EDN°1.	172
TABLA 5-17: PERDIDA PROBABLE POR AÑO EDN°2.	174
TABLA B-1: ARMADURAS DE VIGAS EDN°1.	225
TABLA B-2: ARMADURA DE COLUMNAS EDN°1.....	235
TABLA B-3: ARMADURAS DE VIGAS EDN°2.....	238



TABLA B-4: ARMADURAS DE COLUMNAS EDN°2. 249