



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

"INFLUENCIA DE LA PROPORCIÓN ÁUREA EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICACIONES HISTÓRICAS DE TIPO RELIGIOSO DE LA CIUDAD DE MORELIA"

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA EN EL ÁREA DE ESTRUCTURAS

PRESENTA:
MARISELA ZAVALA CORNEJO

ASESOR:
DOCTOR EN INGENIERIA GUILLERMO MARTÍNEZ RUIZ

Morelia, Michoacán, Agosto 2014



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad superar nuevos restos.

A mi familia que siempre ha estado a mi lado brindándome apoyo, en especial a mis padres Carlos y Micaela, así como a mis hermanos y mis sobrinos que son una parte fundamental de mi vida.

A mis amigos por compartir conmigo momentos importantes en mi vida.

A mi compañera Leslie por todos los días de trabajo que hemos compartido llenos de sonrisas, tristezas, desesperación y locuras, porque puede decir que ella no es solo mi amiga, sino mi hermana.

A mi asesor el Dr. Guillermo por su paciencia, tolerancia y confianza y sobre todo porque aparte de ser mi profesor ha sido un gran amigo.

A mi compañero de vida Martín del cual siempre he recibido apoyo y
cariño.

DEDICATORIAS

A Dios que me dio la oportunidad de culminar otra nueva etapa de mi vida, y me ha dado la perseverancia para seguir adelante.

A mis padres, con los cuales quiero compartir este logro, a mis hermanos por sus consejos y apoyo, y a mis sobrinos que con sus sonrisas y sus palabras me hacen querer salir adelante.

A mis amigos quienes recorrieron a mi lado el camino para llegar a este punto.

A mi esposo por su amor y tolerancia.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	III
Antecedentes	III
Planteamiento del caso en estudio.	IV
OBJETIVOS	V
<i>Objetivo general:</i>	V
<i>Objetivos particulares:</i>	V
Pregunta de investigación	V
Justificación	V
Marco de referencia	VI
CAPÍTULO	
LA PROPORCIÓN ÁUREA	1
1.1 Concepto de Proporción Áurea.	2
1.2 El número phi y el pentágono.	5
1.3 La Proporción Áurea en la arquitectura.	7
1.4 Contribuciones de Fibonacci con la Proporción Áurea	8
1.5 Luca Pacioli y la Divina Proporción	8
CAPÍTULO 2	
EL NÚMERO PHI (φ) EN LA ARQUITECTURA	10
2.1 Edificios históricos en Europa	11
2.1.1 Colegio de San Nicolás. Instituto Cardenal López de Mendoza Burgos, España (1538-1967)	11
2.1.2 La sinfonía áurea de la fachada de la Universidad de Salamanca	14
2.1.3 Instituto Jorge Manrique de Palencia (España)	15
2.1.4 Iglesia de Benínar (España)	18
2.1.5 Catedral de Notre Dame (París)	19

2.1.6 El Partenón (Atenas)	19
2.1.7 Arco Bara de Tarragona (Atenas)	21
2.1.8 Puerta de Alcalá de Madrid	21
2.1.9 Monasterio de San Lorenzo El Real o El Escorial (Madrid)	22
2.1.10 Torre Eiffel	23
2.2 Edificios históricos en la ciudad de Morelia	23
 CAPÍTULO 3	
CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS	25
3.1 Demanda sísmica	26
3.2 Método de elementos rígidos	27
3.2.1 Filosofía	28
3.3 Programa de análisis estructural RIGID V0.4.1	29
3.3.1 Modelo constitutivo	30
3.3.2 Definición de parámetros	33
3.4 Identificación de los edificios en estudio	33
3.5 Descripción geométrica de los templos en estudio	35
3.6 Generación de macroelementos	42
3.7 Índices de daño	43
 CAPÍTULO 4	
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	46
4.1 ANÁLISIS POR PESO PROPIO	47
4.1.1 Macroelementos transversales	47
4.1.2 Macroelementos longitudinales	55
4.2 ANÁLISIS TEMPORAL NO LINEAL	62
4.2.1 Periodo de Retorno de 475 años	62
4.2.1.1 Macroelementos Transversales	63
4.2.1.2 Macroelementos Longitudinales	90

4.2.2 Periodo de Retorno de 975 años	130
4.2.2.1 Macroelementos Transversales	130
4.2.2.2 Macroelementos Longitudinales	157
CAPÍTULO 5	
CONCLUSIONES	198
LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	202
ANEXO A	204
ANEXO B	218
REFERENCIAS	232
REFERENCIAS ELECTRONICAS	234

Índice de figuras

Capítulo 1. El número phi (ϕ) en la arquitectura

Figura 1.0	Definición del número phi (ϕ)	3
Figura 1.1	Progresión de pentagramas y pentágonos.	6
Figura 1.2	Sólidos Platónicos	6
Figura 1.3	Triángulos Áureos	7
Figura 1.4	Disección de triángulo isósceles	7

Capítulo 3. Criterio para el análisis

Figura 3.0	Fuerzas y Desplazamientos	28
Figura 3.1	Conexión de dos elementos rígidos continuos	28
Figura 3.2	Ley Mohr-Coulomb	30
Figura 3.3	Ley Trilineal	31
Figura 3.4	Ley Exponencial	31
Figura 3.5	Ley Parabólica	32
Figura 3.6	Macro localización del centro histórico en la Ciudad de Morelia	34
Figura 3.7	Ubicación de los templos en estudio, en el centro histórico de Morelia	35
Figura 3.8	Generación de secciones áureas	43

Capítulo 4. Comportamiento estructural

Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 475 años para macroelementos transversales

Figura 4.0	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de Capuchinas	64
Figura 4.1	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de la Cruz	66
Figura 4.2	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de la Merced	68
Figura 4.3	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo Franciscano de San Buenaventura	70
Figura 4.4	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San José	72
Figura 4.5	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Juan Bautista	74

Figura 4.6	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Francisco Javier	76
Figura 4.7	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo del Carmen	78
Figura 4.8	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de las Monjas	80
Figura 4.9	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo Santa Rosa de Lima	82
Figura 4.10	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Agustín	84
Figura 4.11	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de Guadalupe	86
Figura 4.12	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para la Catedral del Transfiguración	88
<i>Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 475 años para macroelementos longitudinales</i>		
Figura 4.13	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de Capuchinas	91
Figura 4.14	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de la Cruz	94
Figura 4.15	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de la Merced	97
Figura 4.16	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo Franciscano de San Buenaventura	100
Figura 4.17	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San José	103
Figura 4.18	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Juan Bautista	106
Figura 4.19	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Francisco Javier	109
Figura 4.20	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo del Carmen	112
Figura 4.21	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de las Monjas	115

Figura 4.22	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo Santa Rosa de Lima	118
Figura 4.23	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Agustín	121
Figura 4.24	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de Guadalupe	124
Figura 4.25	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para la Catedral del Transfiguración	127
<i>Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 975 años para macroelementos transversales</i>		
Figura 4.26	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de Capuchinas	131
Figura 4.27	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de la Cruz	133
Figura 4.28	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de la Merced	135
Figura 4.29	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo Franciscano de San Buenaventura	137
Figura 4.30	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San José	139
Figura 4.31	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Juan Bautista	141
Figura 4.32	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Francisco Javier	143
Figura 4.33	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo del Carmen	145
Figura 4.34	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de las Monjas	147
Figura 4.35	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo Santa Rosa de Lima	149
Figura 4.36	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Agustín	151
Figura 4.37	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de Guadalupe	153

Figura 4.38	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para la Catedral del Transfiguración	155
<i>Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 975 años para macroelementos longitudinales</i>		
Figura 4.39	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de Capuchinas	158
Figura 4.40	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de la Cruz	161
Figura 4.41	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de la Merced	164
Figura 4.42	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo Franciscano de San Buenaventura	167
Figura 4.43	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San José	170
Figura 4.44	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Juan Bautista	173
Figura 4.45	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Francisco Javier	176
Figura 4.46	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo del Carmen	179
Figura 4.47	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de las Monjas	182
Figura 4.48	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo Santa Rosa de Lima	185
Figura 4.49	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de San Agustín	188
Figura 4.50	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para el templo de Guadalupe	191
Figura 4.51	Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante para la Catedral del Transfiguración	194

Índice de imágenes

Capítulo 2. El número phi (ϕ) en la arquitectura

Imagen 2.0	La proporción áurea en la fachada principal del Colegio de San Nicolás	11
Imagen 2.1	La proporción áurea en la parte central de la fachada del Colegio San Nicolás	12
Imagen 2.2a	Motivos decorativos de la fachada principal	12
Imagen 2.2b	Escultura de S. Nicolás de Bari en la fachada principal	12
Imagen 2.3a	Claustro con rectángulos en sentido horizontal	13
Imagen 2.3b	Claustro con rectángulos en sentido vertical	13
Imagen 2.4	Planta del Instituto San Nicolás	14
Imagen 2.5	Fachada de la Universidad de Salamanca	14
Imagen 2.6	Fachada lateral del Instituto Jorge Manrique de Palencia	15
Imagen 2.7	Rectángulo áureo en el cuerpo central del Instituto	15
Imagen 2.8	Rectángulo áureo en la torre del Instituto Jorge Manrique de Palencia	16
Imagen 2.9	Rectángulo en el cuerpo remetido del Instituto	16
Imagen 2.10	Fachada principal del Instituto	17
Imagen 2.11	La proporción áurea en los ventanales del Instituto	18
Imagen 2.12	Iglesia de Benínar	18
Imagen 2.13	Catedral de Notre Dame	19
Imagen 2.14	El Partenón y la proporción áurea	20
Imagen 2.15	Planta del Partenón	20
Imagen 2.16	Arco de Bara de Tarragona con la proporción divina	21
Imagen 2.17	Puerta de Alcalá	22
Imagen 2.18	Fachada Oeste del Escorial. Entrada principal a la basílica	22
Imagen 2.19	Torre Eiffel	23
Imagen 2.20	Catedral de la Transfiguración	24

Capítulo 4. Comportamiento estructural

Análisis por peso propio para macroelementos transversales

Imagen 4.0	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Capuchinas	48
Imagen 4.1	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Cruz	48
Imagen 4.2	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Merced	49
Imagen 4.3	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Buenaventura	49

Imagen 4.4	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San José	50
Imagen 4.5	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Juan Bautista	50
Imagen 4.6	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Francisco Javier	51
Imagen 4.7	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo del Carmen	51
Imagen 4.8	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de las Monjas	52
Imagen 4.9	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo Santa Rosa de Lima	52
Imagen 4.10	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Agustín	53
Imagen 4.11	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Guadalupe	53
Imagen 4.12	Estado de esfuerzos principales y cortantes de la Catedral de la Transfiguración	54

Análisis por peso propio para macroelementos longitudinales

Imagen 4.13	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Capuchinas	55
Imagen 4.14	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Cruz	56
Imagen 4.15	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Merced	56
Imagen 4.16	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Buenaventura	57
Imagen 4.17	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San José	57
Imagen 4.18	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Juan Bautista	58
Imagen 4.19	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Francisco Javier	58
Imagen 4.20	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo del Carmen	59
Imagen 4.21	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de las Monjas	59
Imagen 4.22	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo Santa Rosa de Lima	60
Imagen 4.23	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Agustín	60
Imagen 4.24	Estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Guadalupe	61
Imagen 4.25	Estado de esfuerzos principales y cortantes de la Catedral de la Transfiguración	61

Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 475 años para macroelementos transversales

Imagen 4.26	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Capuchinas	65
Imagen 4.27	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Cruz	67
Imagen 4.28	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Merced	69
Imagen 4.29	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Buenaventura	71
Imagen 4.30	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San José	73
Imagen 4.31	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Juan Bautista	75
Imagen 4.32	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Francisco Javier	77
Imagen 4.33	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo del Carmen	79
Imagen 4.34	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de las Monjas	81
Imagen 4.35	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo Santa Rosa de Lima	83
Imagen 4.36	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Agustín	85
Imagen 4.37	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Guadalupe	87
Imagen 4.38	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes de la Catedral de la Transfiguración	89

Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 475 años para macroelementos longitudinales

Imagen 4.39	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Capuchinas	92
Imagen 4.40	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Cruz	95

Imagen 4.41	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Merced	98
Imagen 4.42	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Buenaventura	101
Imagen 4.43	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San José	104
Imagen 4.44	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Juan Bautista	107
Imagen 4.45	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Francisco Javier	110
Imagen 4.46	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo del Carmen	113
Imagen 4.47	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de las Monjas	116
Imagen 4.48	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Santa Rosa de Lima	119
Imagen 4.49	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Agustín	122
Imagen 4.50	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Guadalupe	125
Imagen 4.51	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes de la Catedral de la Transfiguración	128
<i>Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 975 años para macroelementos transversales</i>		
Imagen 4.52	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Capuchinas	132
Imagen 4.53	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Cruz	134
Imagen 4.54	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Merced	136
Imagen 4.55	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Buenaventura	138
Imagen 4.56	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San José	140

Imagen 4.57	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Juan Bautista	142
Imagen 4.58	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Francisco Javier	144
Imagen 4.59	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo del Carmen	146
Imagen 4.60	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de las Monjas	148
Imagen 4.61	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo Santa Rosa de Lima	150
Imagen 4.62	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Agustín	152
Imagen 4.63	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Guadalupe	154
Imagen 4.64	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes de la Catedral de la Transfiguración	156
<i>Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 975 años para macroelementos longitudinales</i>		
Imagen 4.65	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Capuchinas	159
Imagen 4.66	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Cruz	162
Imagen 4.67	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de la Merced	167
Imagen 4.68	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Buenaventura	168
Imagen 4.69	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San José	171
Imagen 4.70	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Juan Bautista	174
Imagen 4.71	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Francisco Javier	177
Imagen 4.72	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo del Carmen	180

Imagen 4.73	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de las Monjas	183
Imagen 4.74	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo Santa Rosa de Lima	186
Imagen 4.75	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de San Agustín	189
Imagen 4.76	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes del templo de Guadalupe	192
Imagen 4.77	Deformación dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes de la Catedral de la Transfiguración	195

Índice de tablas y gráficas

Capítulo 3. Criterio para el análisis

Tabla 1	Demanda sísmica considerada	27
Tabla 2	Propiedades mecánicas	33
Tabla 3	Espesores de arcos según Martínez de Aranda	36
Tabla 4	Características transversales de los templos reales en estudio	38
Tabla 5	Características longitudinales de los templos reales en estudio	39
Tabla 6	Características de las secciones transversales áureas	40
Tabla 7	Características de las secciones longitudinales áureas	41

Capítulo 4. Comportamiento estructural

Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 475 años para macroelementos transversales

Gráfica 1	Índices de daño de los macroelementos transversales	90
Gráfica 2	Índices de daño de los macroelementos longitudinales	130

Análisis temporal no lineal con periodo de retorno de 975 años para macroelementos transversales

Gráfica 3	Índices de daño de los macroelementos transversales	156
Gráfica 4	Índices de daño de los macroelementos longitudinales	197

ABSTRACT

In this paper the seismic behavior of the naves of thirteen religious structures built between the sixteenth and eighteenth centuries on firm soil of the historical downtown of the city of Morelia, which were modified geometrically following the Golden Ratio is studied. The naves were characterized by macroelements in the transversal and longitudinal sections of the building which were analyzed using eleven seismic records and nonlinear analysis. In all cases the seismic records were scaled for the maximum ground acceleration expected on site for return periods of 475 and 975 years. Finally damage degrees and damage index for each case were established and the influence of the Golden ratio or Divine Proportion over the original structures was analyzed.

Key words: Golden ratio, rigid elements, religious buildings, damage degree, damage index.

RESUMEN

En la presente investigación se estudia el comportamiento sísmico de las naves de trece estructuras de tipo religioso, construidas entre los siglos XVI y XVIII sobre terreno firme del centro histórico de la ciudad de Morelia, las cuales fueron modificadas geométricamente siguiendo la Proporción Áurea o Divina. Las naves fueron caracterizadas mediante dos macroelementos, uno transversal y otro longitudinal los cuales fueron analizados empleando análisis temporales no lineales para once registros sísmicos, escalados a la aceleración máxima del terreno para periodos de retorno de 475 y 975 años. Finalmente se establecieron los grados e índices de daño para cada caso y se estudió la influencia de la proporción Dorada en el comportamiento sísmico de este tipo de edificaciones.

Palabras clave: Proporción Áurea, elementos rígidos, edificaciones religiosas, grados de daño, índices de daño.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se estudia el comportamiento sísmico de las naves de veintiséis estructuras, de las cuales trece son ficticias ya que la geometría fue modificada siguiendo la Proporción Áurea y las restantes son edificaciones patrimoniales de tipo religioso construidas entre los siglos XVI y XVIII, ubicadas en terreno firme del centro histórico de la ciudad de Morelia. Según Doglioni et al (1994), las estructuras de este tipo se pueden subdividir ya que se considera que los templos están formados por elementos arquitectónicos repetitivos caracterizados por presentar una respuesta sísmica autónoma con respecto al resto del sistema conformando así los llamados macroelementos.

Basado en lo anterior se decidió generar dos macroelementos para cada nave, uno transversal y otro longitudinal; éstos fueron analizados mediante análisis temporales no lineales empleando once registros sísmicos, de los cuales, uno de ellos es un registro artificial y los restantes son reales, ambos escalados a la aceleración máxima del terreno para periodos de retorno de 475 y 975 años. Posteriormente se establecieron los grados e índices de daño para cada sección.

Antecedentes

La necesidad de vivienda surgió a partir de que el hombre se volvió sedentario, debido a que tuvo la necesidad de establecerse en un sólo lugar, y así fue como empezaron a desarrollar los sistemas de construcción utilizando ramas, palmeras, piedras, madera, para cubrirse y protegerse del sol, lluvia, viento, animales, etc.

Al paso del tiempo las construcciones han ido evolucionando, ya que surge la necesidad de implementar nuevos sistemas para el confort y seguridad del usuario. Sin embargo el Estado debe de conservar sus edificios históricos, pues estos son parte de su identidad.

El patrimonio cultural mexicano consta de cerca de ochenta y cinco mil edificios, de los cuales alrededor de seis mil se encuentran en el estado de Michoacán y aproximadamente mil ciento trece monumentos en el centro histórico de la ciudad de Morelia, cifra que respalda la gran riqueza monumental que tiene esta ciudad, lo cual le ha valido para ser reconocida por la UNESCO en el año 1991, distinción que mantiene hoy en día. Sin embargo se cuenta con muy poca información sobre este tipo de construcciones, y en algunos casos se carece por completo de dicho datos para realizar un correcto diagnóstico para fines de intervención.

Por lo anterior dentro del contexto multidisciplinario que implica el correcto estudio, conservación, restauración y rehabilitación de estos inmuebles, la parte correspondiente a la ingeniería sísmica y estructural representa un reto muy particular, ya que por su importancia y gran valor cultural existe el firme propósito de procurar su permanencia en el tiempo. De ahí la relevancia en encaminar estudios que contribuyan en la identificación de daños ocultos bajo intervenciones cosméticas, buscando ser respetuosos con su historia y concepción original apoyados en bases científicas rigurosas.

La ciudad de Morelia se encuentra ubicada en una de las zonas de mayor sismicidad del mundo puesto que la costa de Michoacán forma parte del cinturón de fuego de Pacífico. Esta ciudad se localiza aproximadamente a 340 kilómetros de la zona de subducción de la costa del Pacífico debido a lo cual sufre sismos de tipo local y normal; principalmente éstos últimos, aunque suelen tener distancias hipocentrales intermedias históricamente han evidenciado un carácter altamente destructivo, un ejemplo claro es el terremoto del 19 de junio de 1858 que colapsó construcciones dentro del Estado y fuera del mismo, además de producir daños en estructuras de tipo religioso tales como la catedral de Morelia (García y Suárez, 1996), situación que no se ha vuelto a presentar en los sismos recientes.

En las bibliotecas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo no existe ninguna tesis que trate sobre el comportamiento estructural de edificaciones históricas de tipo religioso que cuenten con la proporción áurea.

Planteamiento del caso en estudio.

En la presente investigación se comparará la proporción áurea contra las proporciones reales de las edificaciones históricas ubicadas en el centro histórico de la Ciudad de Morelia; se decidió emplear esta razón debido a la incertidumbre que se tiene sobre ella, ya que se dice que esta proporción es empleada solo por estética, sin embargo no hay algún escrito o documento que mencione que dicha razón puede o no influir en el comportamiento de estructuras. A consecuencia de lo anterior, se realiza la presente investigación la cual pretende resolver dicha incógnita.

OBJETIVOS

La presente investigación es realizada para alcanzar los siguientes objetivos.

Objetivo general:

Conocer el efecto de la Proporción Áurea en la respuesta estructural sísmica de edificios históricos de tipo religiosos ubicados en el Centro Histórico de la Ciudad de Morelia.

Objetivos particulares:

1. Identificar las edificaciones religiosas dentro del patrimonio arquitectónico moreliano que fueron concebidas entre los siglos XVI-XVIII, y determinar cuál de ella cuenta con la proporción áurea.
2. Conocer el comportamiento ante las cargas gravitacionales de las estructuras con la proporción real y las generadas con la razón áurea.
3. Conocer el desempeño de las edificaciones reales y las estructuras áureas ante acciones de tipo sísmico.

Pregunta de investigación

Muchas de las edificaciones históricas cuentan con la proporción áurea, debido a lo cual surge la necesidad de preguntarse ¿La proporción áurea en las edificaciones históricas influye en el comportamiento estructural de éstas?

De esta incógnita se derivan las siguientes preguntas secundarias:

1. ¿Cuáles edificaciones y elementos estructurales del patrimonio de Morelia cuentan con la proporción áurea?
2. ¿Cómo es el comportamiento de las estructuras "Áureas" ante cargas gravitacionales comparado con el de las edificaciones reales?
3. ¿Qué edificaciones de las que se analizarán tienen un mejor comportamiento estructural ante cargas sísmicas?

Justificación

Esta investigación será importante, puesto que la Ciudad de Morelia cuenta con una gran riqueza monumental y se tiene muy poca información sobre este tipo de construcciones. Dicha investigación forma parte de una serie de trabajos encaminados a

conocer de manera más precisa el comportamiento de este tipo de edificaciones de mampostería sin reforzar ante futuras acciones sísmicas, con la finalidad de colaborar en un mejor conocimiento de nuestro patrimonio mexicano y despejar la incógnita sobre la influencia de la Proporción Áurea el comportamiento sísmico de estructuras.

Las personas beneficiadas con este trabajo de tesis serán principalmente los estudiantes de la licenciatura y posgrado en Ingeniería Civil y Arquitectura, ya que servirá para consulta, así como también se verá beneficiada la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pues contará con un nuevo tema de tesis, el cual al mismo tiempo enriquece la rama de la ingeniería, debido a que se aporta una investigación y se pone en práctica la teoría de ésta ciencia, así mismo será un beneficio a nivel mundial puesto que, la sociedad y cualquier persona podrá consultar el presente trabajo, el cual podrá tomar como antecedente o referencia ante un problema similar que se le presente.

Marco de referencia

La investigación será enfocada en el Centro Histórico de la Ciudad de Morelia Michoacán.

CAPÍTULO 1

LA PROPORCIÓN ÁUREA



LA PROPORCIÓN ÁUREA

En el presente capítulo se analiza el concepto matemático de la divina proporción o proporción áurea.

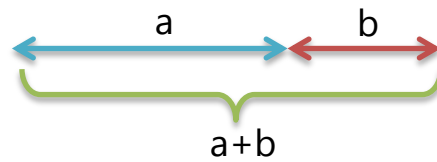
1.1 Concepto de Proporción Áurea.

La Proporción Áurea es también conocida como: número de oro, proporción divina, regla dorada, número áureo o con la letra phi (ϕ). El número phi es una proporción geométrica conocida desde la antigüedad y este ha sido relacionado con la belleza del arte y la naturaleza, por dicha razón se conoce como “divina”. Esta proporción se encuentra en algunos edificios, pétalos de rosa, en pinturas como la sonrisa de la Gioconda, en la forma de reproducción de algunas especies animales, en el cuerpo humano, formas geométricas, etc.

Se dice que el arte y la naturaleza se rigen por principios matemáticos que generan armonía, equilibrio y belleza. Y curiosamente es considerada como armoniosa para la sensibilidad humana y se corresponde con las proporciones que nos presenta la naturaleza (5).

La proporción áurea muestra medidas armónicas que son agradables intuitivamente, las personas al estar rodeadas con dicha razón se sienten cómodas, relajadas y disfrutarían con todos los sentidos de la armonía entre las dimensiones.

La primera definición de esta proporción se realizó aproximadamente en el año 300 a.C. por Euclides de Alejandría; él cual definió esta proporción con una división de una línea en lo que denominó media y extrema razón. De acuerdo con Mario Livio (2002), Euclides definió esta proporción basándose en un segmento que está dividido en media y extrema razón donde el segmento total es a la parte mayor como la parte mayor es a la menor; en otras palabras la recta $(a+b)$ es más larga que el segmento (a) , así mismo el segmento (a) es más largo que el (b) . Si la proporción del segmento (a) con respecto a (b) es igual a la proporción de $(a+b)$ con respecto a la línea (a) , entonces se puede decir que la recta ha sido cortado en media y extrema razón o en Proporción Áurea; como se puede observar en la figura siguiente:



$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} = \varphi$$

Figura 1.0 Definición del número phi (ϕ)

Si resolvemos la ecuación anterior obtendremos el número dorado, sustituyendo variables, obtendremos la siguiente ecuación de la proporción áurea:

$$\frac{x}{1} = \frac{x+1}{x} \quad \text{Ec. (1.0)}$$

Si multiplicamos ambos lados de la ecuación por x , resultará una ecuación cuadrática simple:

$$x^2 - x - 1 = 0 \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Al despejar x se generaran dos resultados, de los cuales el positivo nos da el valor de la Proporción Áurea:

$$x_1 = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1,6180339887 \dots \quad \text{Ec. (1.2a)}$$

$$x_2 = \frac{1 - \sqrt{5}}{2} = 0,6180339887 \dots \quad \text{Ec. (1.2b)}$$

El valor numérico de la Proporción Áurea es infinito e irrepetible 1.6180339887..., este tipo de números ha intrigado a la sociedad desde la antigüedad, puesto que continúa indefinidamente sin mostrar ninguna repetición o patrón lo cual provocó una crisis filosófica. Se dice que con el descubrimiento del número φ , representó a su vez el descubrimiento de la inconmensurabilidad. Según Mario Livio (2002), si dos longitudes no disponen de medidas comunes se conocen por el nombre de inconmensurables.

Según la literatura matemática, el símbolo para representar la Proporción Áurea es la letra griega tau (τ), la cual tiene como significado: el corte o la sección, sin embargo el matemático estadounidense Mark Barr le dio el nombre de phi (ϕ).

La Proporción Áurea no se encuentra solamente en el mundo de las matemáticas, sino en mundos tan diversos como el de los biólogos, artistas, músicos, arquitectos, etc.

Existe una definición del número phi en la enciclopedia francesa, en este documento se menciona que: es un número utilizado para indicar cada uno de los años del ciclo lunar, lo cual hace referencia a un calendario donde las fases de la luna se repiten en las mismas fechas.

Esta razón es definida como proporción geométrica, así que es de esperarse que se encuentre en rectángulos o triángulos. Este número áureo se ha empleado en varias obras para conseguir lo que se podría denominar: efectividad visual o auditiva, esto de acuerdo con Mario Livio (2002).

El número áureo tiene la capacidad para aparecer del modo más enigmático donde menos se le espera, lo cual la hace tan interesante y despierta la curiosidad en las personas.

Como ya se mencionó esta proporción se asocia a la belleza, y al definir belleza se obtiene que es la cualidad que hace que un elemento resulte agradable de un modo determinado.

La Proporción Áurea resultó ser, por un lado, la más simple de las fracciones continuas y, por el otro, el corazón de un número inacabable de fenómenos naturales complejos. De algún modo, la Proporción Áurea siempre aparece por sorpresa en la unión de lo simple y lo complejo, en la intersección de la geometría euclidiana y la geometría fractal.

Así mismo Constantino de la Fuente (2008) menciona que Luis de Rouen, uno de los personajes de la novela El Número de Dios, en uno de los momentos en los que Luis transmite a Enrique su sobrino algunos secretos del gremio de los maestros constructores menciona:

“Lo que me importa es la luz, Enrique, la luz y la armonía. Y para ello estoy aplicando las proporciones ideales, las que los grandes matemáticos y geómetras han descubierto durante siglos. Busco reflejar en este templo la armonía de los números que regulan la naturaleza y cada una de las obras del Creador [...].

“[...] Por eso, querido sobrino, es tan importante saber determinar la armonía en las proporciones de nuestras obras, porque a través de ellas vamos a mostrar la armonía de Dios, su número divino. Ese es el secreto de esta catedral: está construida siguiendo las proporciones del número áureo, el que Dios eligió para construir el universo. Sólo nosotros, los maestros de obra, lo conocemos, y no debemos confiarlo a nadie que no

sea capaz de guardar la confianza que en cada uno de nosotros deposita nuestra hermandad.

“Escucha bien: ese número es la unidad y su relación constante con dos tercios de la unidad más la unidad misma. Así ha construido Dios el mundo y así nos ha encargado que construyamos sus templos. Somos la mano de Dios” (pág. 134 de El Número de Dios).

De acuerdo a la novela podemos ver que el número $5/3$, es una aproximación bastante manejable desde el punto de vista práctico, que facilita mucho su presencia en el trabajo cotidiano a personas a las que, sobre todo, interesaban las características funcionales o de utilidad de los números, no sus aspectos formales o la exactitud, imposible en el caso del número áureo.

1.2 El número phi y el pentágono.

El número cinco está muy ligado con el phi, puesto que este se dice que lleva a los orígenes de la Proporción Áurea. Se dice que este número representa la unión del primer número femenino que es el 2, y el primer masculino que corresponde al 3, y es el número del amor y matrimonio.

El pentágono se encuentra relacionado con el pentagrama. El pentagrama como ya se sabe es una estrella formada por cinco puntas, las cuales están representadas con cinco triángulos isósceles que configuran las esquinas, y cuentan con la siguiente propiedad: La longitud del lado más largo con relación al más corto es igual a ϕ .

Al conectar con diagonales los vértices del pentágono se obtiene el pentagrama. Y al mismo tiempo las diagonales forman en el centro un pentágono de menor tamaño, y las diagonales de este pentágono forman un pentagrama y un pentágono más pequeño. Esta progresión puede continuar hasta el infinito, sin embargo lo que es interesante es la siguiente característica de estas figuras: “si se mira los segmentos en línea en orden de longitud decreciente, que se señalan como I, II, III, IV, V, VI, en la siguiente figura se puede demostrar, que todo segmento es menor que el anterior por un factor igual a phi.

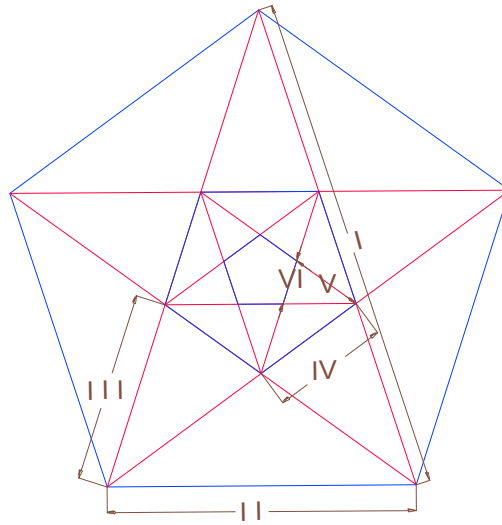


Figura 1.1 Progresión de pentagramas y pentágonos.

Por ejemplo, si tomamos el segmento I y el II, se darán cuenta que la proporción de dichas diagonales es phi, lo mismo pasa si tomamos la línea II y III.

Es importante recordar que aquellos números que no pueden expresarse como proporciones de dos números enteros, se les conoce como números irracionales. Por lo que con lo anterior se corrobora que ϕ es un número irracional.

El dodecaedro se encuentra compuesto por doce caras, las cuales son un pentágono, éste es conocido como uno de los cinco sólidos platónicos, los cuales están muy relacionados con la Proporción Áurea. Los sólidos platónicos se distinguen por que tienen las siguientes características: todas sus caras son iguales y equiláteras, cada una de sus sólidos puede inscribirse en una esfera. Estos sólidos son: el tetraedro, el cubo o hexaedro, el octaedro, el dodecaedro y el icosaedro. (Ver la imagen 1.2).

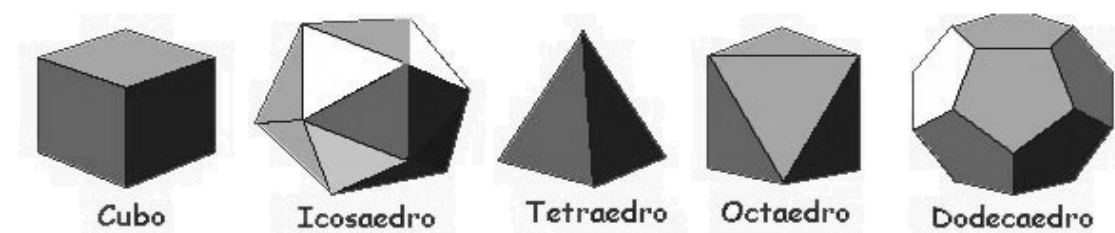


Figura 1.2 Sólidos Platónicos

Fuente: http://www.calendario-maya.net/dia/guerrero_marzo_2012/onda_guerrero_marzo_2012.htm

Como se puede observar en la figura anterior el cubo está compuesto de seis caras cuadradas, el tetraedro de cuatro caras triangulares, el dodecaedro de doce caras

pentagonales, el icosaedro de veinte caras triangulares y el octaedro de ocho caras triangulares.

Se dice que la diagonal y el lado del pentágono son inconmensurables puesto que la construcción de pentágonos cada vez de menor dimensión puede continuar indefinidamente.

Es probable que la inconmensurabilidad y los números irracionales fueran descubiertos por medio de ϕ , la versión más tradicional cree que estos conceptos fueron descubiertos a través de la proporción diagonal y el lado del cuadrado. Según Aristóteles la diagonal de un cuadrado es inconmensurable con el lado, puesto que los números impares son iguales aunque se crean conmensurables.

Así mismo, si en un pentágono dibujamos dos diagonales adyacentes a él obtendremos un triángulo isósceles, el cual se sabe que tiene dos lados iguales como en la figura 1.3. El triángulo isósceles que se forma dentro del pentágono es un triángulo áureo puesto que tiene una proporción entre el lado y la base igual a $1/\phi$, los otros dos triángulos que se forman en el pentágono con la proporción anterior se le conoce en ocasiones como gnomons áureos.

En la figura 1.4, se puede observar como los triángulos anteriores al diseccionarse formarán triángulos áureos y gnomons áureos.

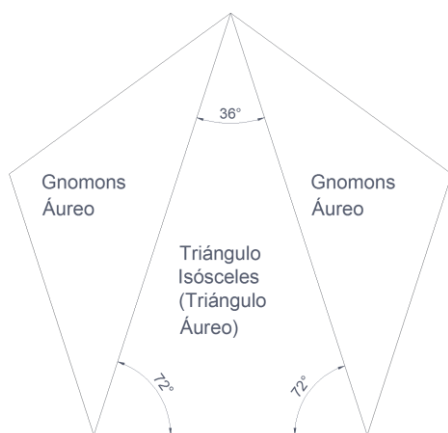


Figura 1.3 Triángulos Áureos

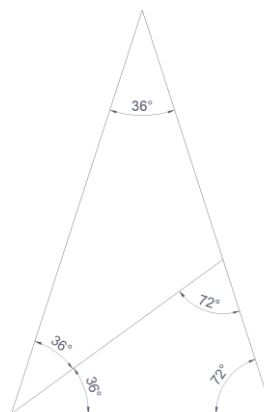


Figura 1.4 Disección de triángulo isósceles

1.3 La Proporción Áurea en la arquitectura.

Se dice que la Proporción divina se encuentra en la arquitectura, sin embargo no se sabe a ciencia cierta si los que llevaron a cabo estas construcciones tenían en mente incluir esta proporción.

Al tratar de comprobar lo anterior Mario Livio (2002), hizo una prueba la cual consiste en sacar la proporción de un televisor de acuerdo a la altura saliente de la parte posterior de este, respecto a su anchura; la altura es de 10.6 y el ancho de 6.5, y su proporción corresponde a 1.63. Este número es cercano a ϕ , pero esto ¿Significa que decidieron que el televisor incluyera la Proporción Áurea?, Mario Livio aclara que no es así, y que lo anterior pone en al descubierto que los dos defectos más importantes sobre la presencia de ϕ en la arquitectura u obras de arte que están basadas únicamente en las dimensiones.

El primer defecto es la implicación de la manipulación de cifras; ya que cada vez que uno mide una estructura, se puede elegir entre una extensa gama de valores o longitudes. El segundo defecto es que se pasan por alto errores de cálculo de dimensiones, puesto que se olvidan que cualquier medición implica errores e inexactitudes, por lo cual es importante comprender que al tener un error en la longitud, traerá consigo un error más grande en la proporción calculada.

1.4 Contribuciones de Fibonacci con la Proporción Áurea

Su contribución más emocionante a la Proporción Áurea, es la serie de Fibonacci, la cual es una sucesión infinita de números naturales:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987 ...

La serie anterior como se observa comienza con los números 1 y 1, y a partir de estos, cada término es la suma de los dos anteriores. Al estudiar la sucesión de Fibonacci observamos que si tomamos un número de esta serie y lo dividimos entre el inmediatamente anterior y hacemos esto con varios números observamos que los resultados tendrán variaciones, pero llegara un punto donde se estabilizara en el número áureo.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f_{n+1}}{f_n} = \phi \quad \text{Ec. (1.3)}$$

1.5 Luca Pacioli y la Divina Proporción

Pacioli ofrece cinco razones por las que cree que *La Proporción Divina* debería ser el nombre apropiado para la Proporción Áurea de acuerdo Mario Livio (2002).

1. Es única. Pacioli compara el valor de la Proporción Áurea al hecho de que hay un Dios supremo.

2. Pacioli encuentra una similitud entre el hecho de que la definición de la Proporción Áurea comprenda tres longitudes ($A+B$, A y B en la figura 1.0) y la existencia de la Santísima Trinidad: Padre, Hijo y Espíritu Santo.
3. Para Pacioli, la incomprensibilidad de Dios y el hecho de que la Proporción Áurea sea un número irracional son equivalentes. En palabras suyas: Del mismo modo que Dios no puede ser definido ni comprendido con palabras, nuestra proporción no puede designarse con números inteligibles ni expresarse con ninguna cantidad racional, sino que ha de permanecer escondida y en secreto, y es denominada irracional por los matemáticos.
4. Pacioli compara la omnipresencia y la invariabilidad de Dios con la auto-similitud asociada a la Proporción Áurea, es decir, el valor es siempre el mismo y no depende de que se divida la longitud de la línea o del tamaño del pentágono en que se calculen las proporciones de las longitudes.
5. La quinta razón nos revela una visión de la existencia más platónica que la del mismo Platón. Pacioli afirma que, del mismo modo que Dios creó todo el cosmos a través de la quinta esencia, representada por el dodecaedro, la Proporción Áurea crea el dodecaedro, ya que no puede construirse sin la Proporción Áurea. Añade que sin la Proporción Áurea es imposible comparar los otros cuatro sólidos platónicos (que representan la tierra, el agua, el aire y el fuego) entre sí.

CAPÍTULO 2

EL NÚMERO PHI (φ) EN LA ARQUITECTURA



EL NÚMERO PHI (ϕ) EN LA ARQUITECTURA

2.1 Edificios históricos en Europa

Europa es conocida como el viejo continente, se considera un continente por motivos sobre todo históricos y culturales a pesar de que la masa de tierra de Europa está única con otros continentes, que formarían el súper continente Eurasia. Europa es un lugar donde no hay ciudad que no cuente con monumentos conocidos a nivel mundial, los cuales son símbolos del país en muchos casos.

Muchos de estos monumentos fueron construidos bajo la influencia de diferentes reglas empíricas, sin embargo en la presente investigación solo nos enfocaremos en mostrar algunas construcciones que cuentan con la divina proporción ya sea a nivel estructural o estético.

2.1.1 Colegio de San Nicolás. Instituto Cardenal López de Mendoza Burgos, España (1538-1967)

El Instituto Cardenal López de Mendoza comenzó a construirse en 1537 y finalizó en 1579, la fundación de este edificio que hoy lleva por nombre Instituto Cardenal López de Mendoza en honor al Obispo-Cardenal D. Iñigo López de Mendoza, quien se preocupó por lo más pobre de la diócesis.

De acuerdo con Constantino de la Fuente (2008), en este Instituto encontramos la proporción divina en la fachada principal (Imagen 2.0), en ella podemos observar que si tomamos como unidad de medida la altura de la parte frontal sin considerar la cubierta, la longitud de la fachada es 2ϕ veces esa unidad, es decir que caben dos rectángulos áureos en ella. Puede observarse en la imagen que cada rectángulo llega con bastante precisión hasta la mitad de la puerta principal.



Imagen 2.0 La proporción áurea en la fachada principal del Colegio de San Nicolás

Fuente: Revista SIGMA 33

Si observamos la parte central de la fachada (imagen 2.1), podemos ver que también está diseñada según la proporción áurea, como lo marca la siguiente imagen, de la misma manera el conjunto formado por la puerta de entrada y los motivos decorativos situados verticalmente en la parte superior (imagen 2.2a) conforman una variedad de rectángulos dorados que, combinados y enlazados unos con otros, intenta comunicarnos la estética divina que lo preside.

En la imagen 2.2b nos damos cuenta que los rectángulos, unos dentro de otros sirven para resaltar el interior y atraer la atención del observador a la parte central que es donde se encuentra la escultura de S. Nicolás de Bari.



Imagen 2.1 La proporción áurea en la parte central de la fachada del Colegio San Nicolás

Fuente: Revista SIGMA 33



Imagen 2.2a Motivos decorativos de la fachada principal

Fuente: Revista SIGMA 33



Imagen 2.2b Escultura de S. Nicolás de Bari en la fachada principal

Fuente: Revista SIGMA 33

En el Interior de este edificio, encontramos el claustro que es cuadrado y está formado por seis columnas que dan lugar a cinco arcos en cada uno de sus lados, en donde podemos identificar rectángulos áureos de diferentes tamaño en sentido horizontal (Imagen 2.3a) y vertical (Imagen 2.3b).



Imagen 2.3a Claustro con rectángulos en sentido horizontal

Fuente: Revista SIGMA 33

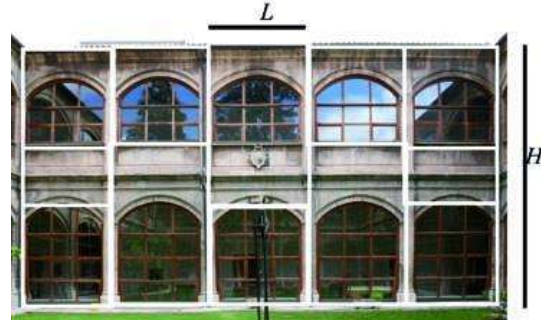


Imagen 2.3b Claustro con rectángulos en sentido vertical

Fuente: Revista SIGMA 33

En el caso de los rectángulos que se forman en sentido vertical, se considera como unidad de medida L , la amplitud del arco, entonces la altura de las dos plantas del claustro, es H , y obtenemos la siguiente igualdad.

$$\frac{H}{L} = \phi^2 \quad \text{Ec. (2.0)}$$

La ecuación anterior nos permite visualizar, en la imagen 2.3b, las siguientes secuencias:

1. Un cuadrado en la parte de arriba y un rectángulo áureo en la parte baja.
2. Un rectángulo divino en la parte alta y un cuadrado en la baja.
3. Dos cuadrados, uno en la parte superior y otro en la inferior, más un rectángulo áureo en medio que los conecta.

Al observar el plano de la planta de este edificio visualizamos dos de los seis rectángulos divinos que podemos imaginar (imagen 2.4).

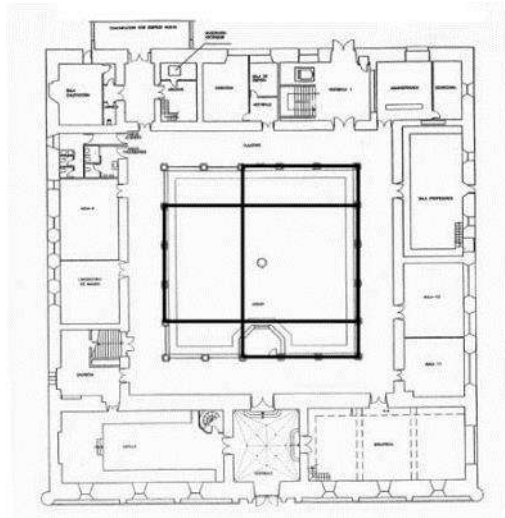


Imagen 2.4 Planta del Instituto
Fuente: Revista SIGMA 33

2.1.2 La sinfonía áurea de la fachada de la Universidad de Salamanca

La impresionante fachada de la Universidad de Salamanca que inicio su construcción en el 1529, es la joya del plateresco en España. La distribución en rectángulos resalta toda la grandeza de las formas áureas. En la imagen 2.5 se muestran algunos rectángulos tanto horizontales como verticales, dicha imagen es una pequeña parte de la verdadera sinfonía de rectángulos divinos que conforman la fachada (1).



Imagen 2.5 Fachada de la Universidad de Salamanca
Fuente: <http://mateturismo.wordpress.com>

2.1.3 Instituto Jorge Manrique de Palencia (España)

Analizando la composición de las fachadas del instituto podemos encontrar relaciones áuricas. Así en la fachada lateral, se puede apreciar el uso del número de oro y su proporción, siempre con una visión del edificio simétrica, en la relación entre la longitud de la fachada y la altura del cuerpo central. La longitud de la fachada hasta el eje de simetría es directamente proporcional a la altura del cuerpo central, edificio, en el mismo eje de simetría (imagen 2.6). Esta relación de proporcionalidad es igual a 1.618, lo cual equivale al número phi (ϕ).



Imagen 2.6 Fachada lateral del Instituto

Fuente: <http://elblogdeliesjorgemanrique.wordpress.com>

El segundo rectángulo áureo que se localiza en la fachada lateral del Instituto es la relación entre la altura del cuerpo central, y la longitud del cuerpo central (imagen 2.7). Si al rectángulo que aparece en la imagen 2.6 le restamos el que se encuentra en la siguiente imagen observaremos que se obtiene un cuadrado formado por la torre de la esquina y el cuerpo central remetido.

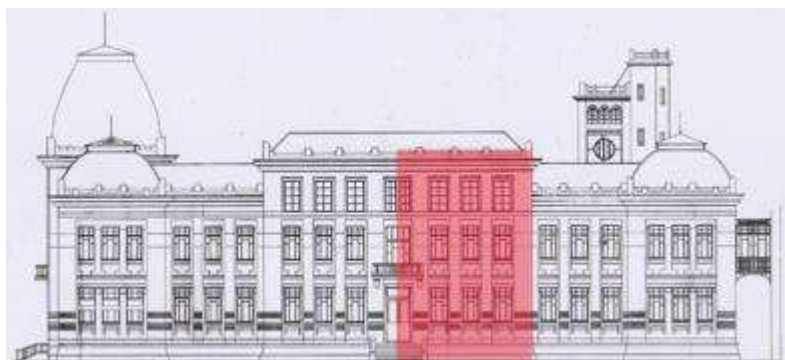


Imagen 2.7 Rectángulo áureo en el cuerpo central del Instituto

Fuente: <http://elblogdeliesjorgemanrique.wordpress.com>

Otro uso de la razón de oro en la composición de la fachada lateral se encuentra en la torre de la esquina, en la relación entre su altura hasta la cornisa y su anchura (Imagen 2.8). Y en el cuerpo remetido volvemos a encontrar la proporción áurea en la relación entre la altura hasta el comienzo de la cornisa de coronación y la anchura del cuerpo (Imagen 2.9).

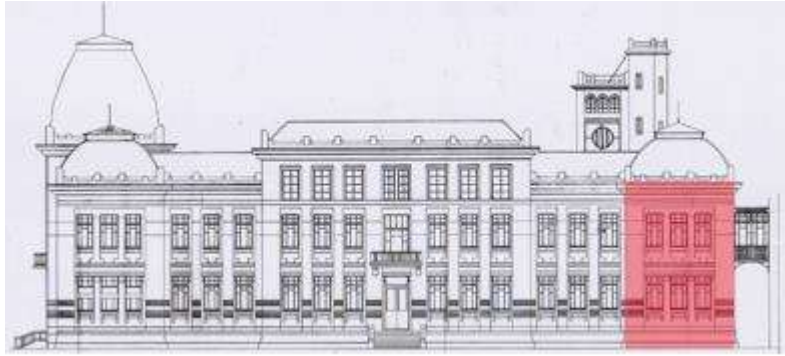


Imagen 2.8. Rectángulo áureo en la torre

Fuente: <http://elblogdeliesjorgemanrique.wordpress.com>

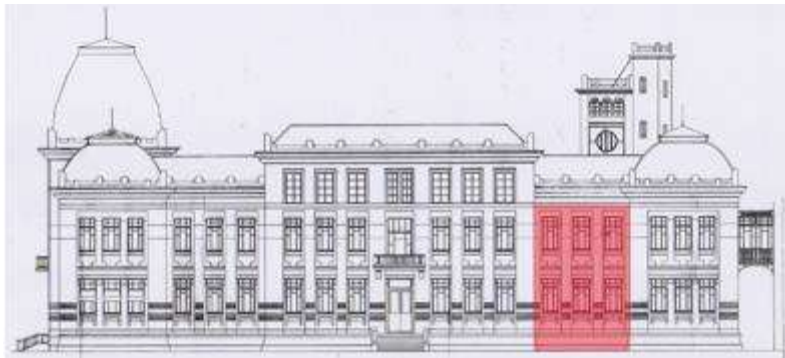


Imagen 2.9. Rectángulo en el cuerpo remetido del Instituto

Fuente: <http://elblogdeliesjorgemanrique.wordpress.com>

En la fachada principal del Instituto al igual que en la fachada lateral encontramos múltiples relaciones proporcionales con el uso del número de oro; al igual que en la fachada lateral, la relación entre la longitud de la fachada hasta el eje de simetría y la altura del edificio, incluida las cúpulas de la torre, forman un rectángulo de oro. Lo mismo ocurre con el resto de los cuerpos compositivos de la fachada pero de una forma diferente a la fachada lateral del edificio.

La fachada principal es más larga que la lateral pero mantiene el mismo ritmo en los huecos de las ventanas, es por esto que se tiene diferencia en el uso de la proporción divina de una fachada con respecto a la otra. La torre de extremo mantiene las mismas dimensiones en ambas fachadas, incluida la cúpula de coronación que forma con la cornisa un rectángulo áureo, el cuerpo remetido de la fachada principal cuenta con cuatro huecos de ventanales, y se forman dos rectángulos con la razón de oro, estos se encuentran delimitados por las dos alturas del edificio en esta fachada. Lo mismo ocurre en el cuerpo central que está formado por tres rectángulos de oro coincidentes con las tres alturas del edificio de esta zona (imagen 2.10).

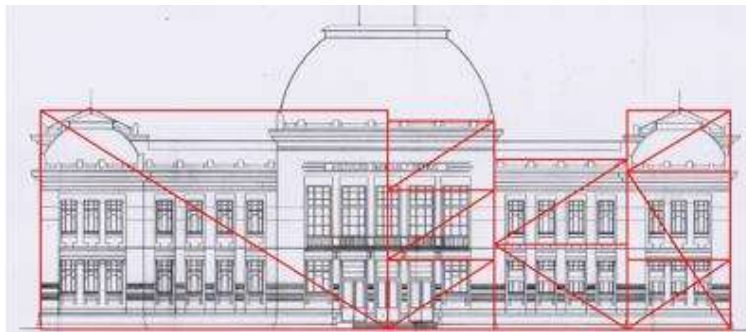


Imagen 2.10. Fachada principal del Instituto

Fuente: <http://elblogdeliesjorgemanrique.wordpress.com>

Los huecos de los ventanales no están exentos del uso la proporción áurea, los huecos se componen como agrupación de rectángulos divinos, siguiendo un orden compositivo paño ornamental-ventanal-paño ornamental. Lo mismo corre con la composición de los propios ventanales que son rectángulos de oro, lo anterior se podrá observar en la imagen siguiente (2).

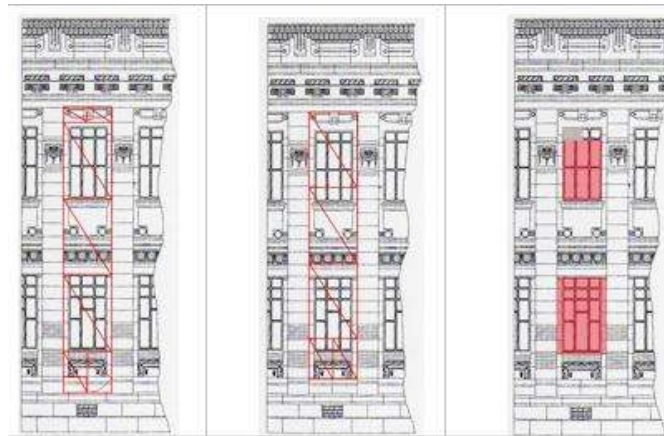


Imagen 2.11. La proporción áurea en los ventanales del Instituto

Fuente: <http://elblogdeliesjorgemanrique.wordpress.com>

2.1.4 Iglesia de Benínar (España)

No se sabe si es por casualidad o se construyó conscientemente así, pero lo cierto es que la iglesia de Benínar tiene la proporción de oro, sinónimo desde la antigüedad de la belleza y del misticismo.

En esta edificación encontramos el número dorado entre la proporción entre la altura de la iglesia incluyendo la cruz del tejado y su anchura, en la imagen 2.12 podemos observar que con más claridad esta razón divina (3).

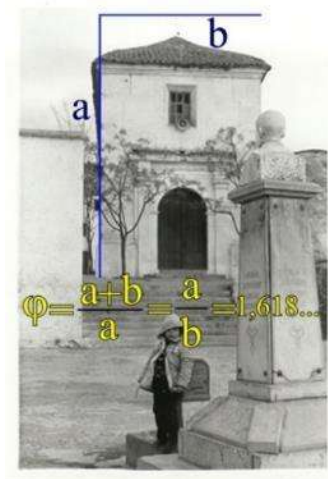


Imagen 2.12 Iglesia de Benínar

Fuente: <http://beninar.blogspot.mx>

2.1.5 Catedral de Notre Dame (París)

Es frecuente que las fachadas de las catedrales góticas se organicen mediante tres cuerpos superpuestos, sobre los cuales se individualizan las dos torres. En la Catedral de Notre Dame en París se utiliza la divina proporción en la relación entre los tres cuerpos mencionados como se observa en la imagen 2.13; entre el primero y el segundo, entre el segundo y el tercero y, en este último, entre la longitud de las finas de columnillas y el resto de su alzado. También aparece en el último tramo de las torres el segmento mayor está contenido en una de las torres y el espacio entre ambas y el menor en la otra (4).

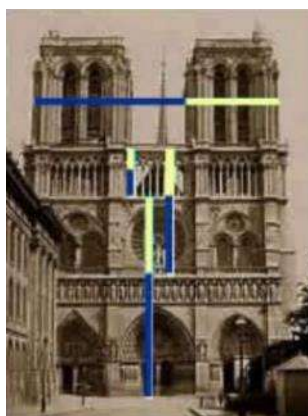


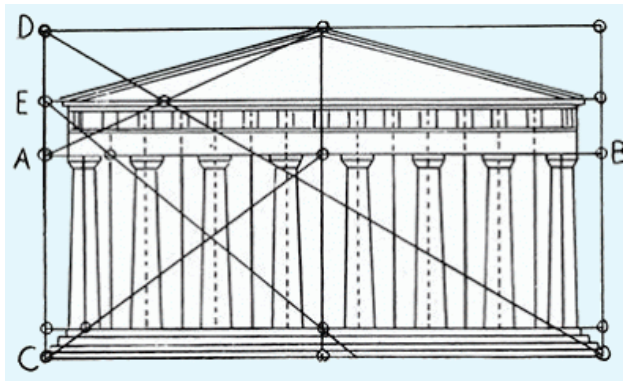
Imagen 2.13 Catedral de Notre Dame

Fuente: <http://www.matesymas.es>

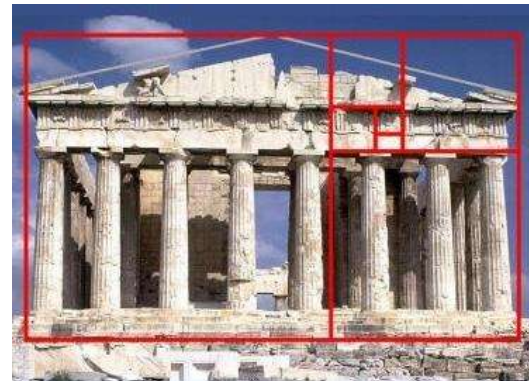
2.1.6 El Partenón (Atenas)

El Partenón en la Acrópolis de Atenas fue diseñado por Iktinos en el siglo V a.C., quien utilizó la proporción áurea a lo largo de su diseño (7). Jay Hambidge de la Universidad de Yale llegó a encuadrar el frontón del Partenón por medio de cuatro diagonales que muestran las principales proporciones verticales y horizontales (5) como lo muestra la imagen 2.14a. El rectángulo que encierra a la fachada del Partenón es descompuesto en seis y cuatro cuadros como podemos ver en la imagen 2.14b.

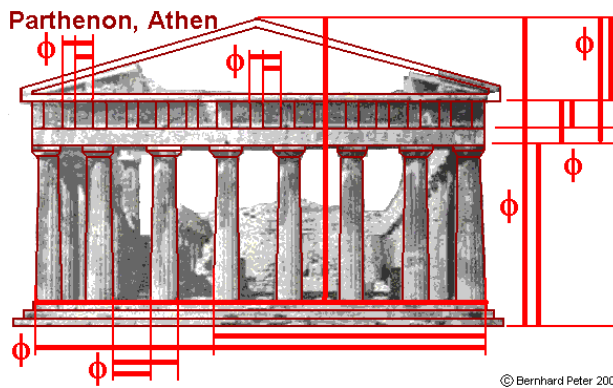
En la imagen 2.14c podemos observar con claridad en donde se aplicó el número dorado en la fachada del templo, por ejemplo. En los dinteles de la estructura, en la relación entre el techo y las columnas (6) y en el ancho de esta misma. En las imágenes posteriores vemos claramente que se forma la espiral dorada y por último tenemos en la imagen 2.15 la planta del Partenón, en donde también podemos ver que contiene la razón divina.



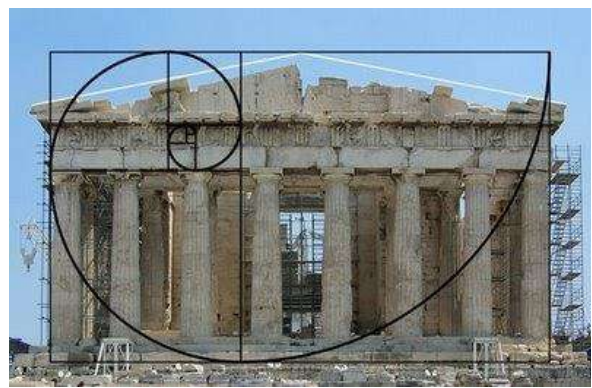
(a)



(b)



(c)



(d)

Imagen 2.14 El Partenón y la proporción áurea

Fuente: <http://arteenelvenancioblanco.blogspot.mx>

<http://bayarrilibros.blogspot.mx/2014/01/las-proporciones-de-la-belleza-la-razon.html>

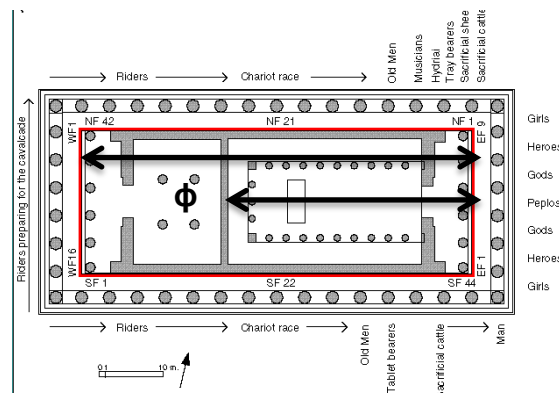


Imagen 2.15. Planta del Partenón

Fuente: <http://bayarrilibros.blogspot.mx/2014/01/las-proporciones-de-la-belleza-la-razon.html>

2.1.7 Arco Bara de Tarragona (Atenas)

La construcción del monumento deriva del testamento del Lucio Licinio Sura y se hizo en el reinado de Augusto, sobre el año 13 a.C., fue erigido para marcar los límites territoriales y terminar con las disputas entre las tribus de los ilergetes y los cosetanos (8).

En la imagen 2.16 observamos que en el Arco de Bara se forman dos rectángulos áureos uno vertical y el otro horizontal, el primero se observa del lado derecho de la imagen y está delimitado por las letras ABCD y el segundo está definido por las letras CDEFG.

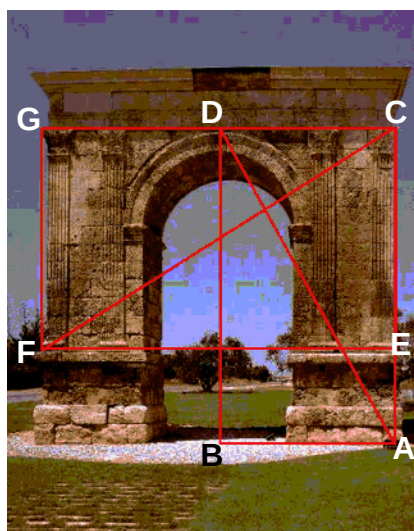


Imagen 2.16. Arco de Bara de Tarragona con la proporción divina

Fuente: http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/belleza/arquitectura.htm

2.1.8 Puerta de Alcalá de Madrid

La Puerta de Alcalá es una de las cinco antiguas puertas reales que daban acceso a la ciudad de Madrid. Se encuentra situada en el centro de la rotonda de la Plaza de la Independencia, diseñada por el urbanista Ángel Fernández de los Ríos en el año 1778 (9).

La proporción divina la encontramos en la Puerta de Alcalá de Madrid, como lo muestra la siguiente Imagen; en esta podemos observar que se generan dos rectángulos de oro uno vertical y uno horizontal, el primero se localiza en la parte central de la estructura donde se encuentra el arco principal y el otro horizontal que se localiza en el extremo izquierdo de la edificación y el ancho del rectángulo está

delimitado por la columna extrema de la estructura hasta la clave del arco central y la altura está definida por la cornisa de la construcción (imagen 2.17).

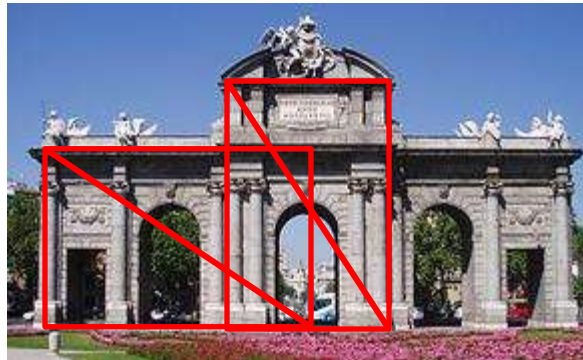


Imagen 2.17. Puerta de Alcalá

Fuente:http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/belleza/earquitectura.htm
http://es.wikipedia.org/wiki/Puerta_de_Alcal%C3%A1

2.1.9 Monasterio de San Lorenzo El Real o El Escorial (Madrid)

El Escorial, fue ideado en la segunda mitad del siglo XVI por el rey Felipe II y su arquitecto Juan Bautista de Toledo. Fue considerado, desde finales del siglo XVI, la Octava maravilla del Mundo, tanto por su tamaño y complejidad funcional como por su enorme valor simbólico (10).

Al observar la fachada oeste de esta edificación vemos que cuenta con la divina proporción, la cual podemos corroborar con los rectángulos que se muestran de color rojo en la imagen 2.18, en dicha imagen encontramos tres rectángulos áureos dos de ellos son horizontales y uno vertical; el primero de ellos se encuentra en la parte superior y está delimitado por las letras a-b-i-j, el segundo en la parte inferior izquierda por las letras c-d-f-h y el rectángulo vertical está ubicado en el centro de la fachada y está formado por a-e-g-j.

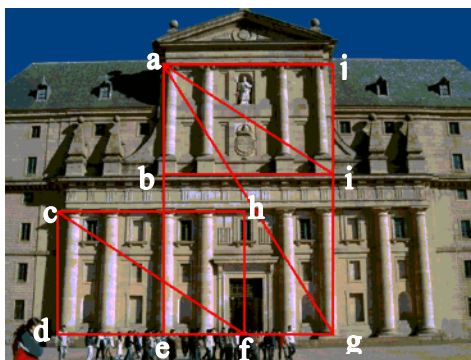


Imagen 2.18. Fachada Oeste. Entrada principal a la basílica

Fuente:http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/belleza/earquitectura.htm

2.1.10 Torre Eiffel

La Torre Eiffel se encuentra ubicada en el extremo del campo de Marte a la orilla del río Sena. Esta construcción es la estructura más alta de la ciudad e inicialmente fue nombrada torre de 300 metros, sin embargo posteriormente fue prolongada con una antena a 325 metros; es una estructura de hierro pudelado diseñada por Maurice Koechlin y Émile Nouguier y construida por el ingeniero francés Gustave Eiffel y sus colaboradores para la Exposición universal de 1889 en París (17).

Al observar las dimensiones verticales de esta construcción podemos encontrar que está construida bajo la influencia de la proporción de oro, lo anterior se puede ver más claramente en la imagen 2.19, dicha imagen muestra la razón áurea respecto a la altura de la construcción con unas líneas gruesas que se encuentran en los costados de la torre.

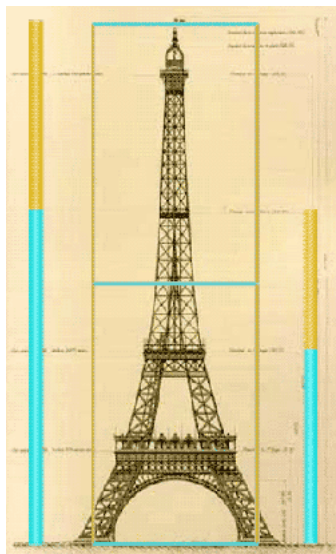


Imagen 2.19 Torre Eiffel

Fuente: http://www.castor.es/phi_arquitectura.html

2.2 Edificios históricos en la ciudad de Morelia

El patrimonio cultural mexicano consta de cerca de ochenta y cinco mil edificios, de los cuales alrededor de seis mil se encuentran en el estado de Michoacán y la Ciudad de Morelia cuenta con aproximadamente mil ciento trece monumentos patrimoniales de tipo civil y religioso contruidos principalmente en los siglos XVI, XVII y XVIII, los cuales se encuentran principalmente en el centro histórico; este gran número de construcciones es un indicador de la enorme riqueza monumental, belleza y unidad arquitectónica que posee la ciudad, gracias a lo cual fue declarado por la UNESCO

Patrimonio Cultural de la Humanidad el 13 de diciembre de 1991. El centro histórico consta de 271 km², en lo que se encuentran 219 manzanas y 15 plazas.

Sin embargo a pesar de esta riqueza monumental que se encuentra en la Ciudad de Morelia, no se tiene ninguna construcción que haya sido construida con la proporción de oro. Solo se sabe que la ubicación de la Catedral de la Transfiguración definió la composición y distribución de espacios del centro urbano, con un sabio y singular uso de proporción divina como podemos observar en la imagen 2.20, que divide en dos plazas desiguales, pero en armonía, el centro de la ciudad; la mayor con portales y la menor con parámetros, pero sin portales es una conjunción y ritmos de grandiosa originalidad.



Imagen 2.20 Catedral de la Transfiguración

Fuente: google earth

CAPÍTULO 3

CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS



CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS

Para el análisis estructural se utilizará el método paso a paso o análisis no lineal temporal, empleando como demanda sísmica once registros, de los cuales diez de ellos son reales y uno artificial; dichos registros fueron escalados a la aceleración máxima del terreno para dos periodos de retorno o recurrencia de 475 y 975 años. El método de análisis que se empleará será el de Elementos Rígidos y se llevara a cabo mediante el programa RIGID v0.4.1 el cual es un programa construido para el análisis dinámico no lineal de estructuras de mampostería (Peña, 2010).

3.1 Demanda sísmica

La aceleración máxima del terreno se obtuvo a partir de un estudio probabilista de peligro sísmico realizado por el Dr. José Manuel Jara Guerrero, el cual arroja un valor máximo probable de aceleración pico de terreno de 1.60 m/s^2 y 1.95 m/s^2 para un periodo de retorno o recurrencia de 475 y 975 años respectivamente. Cabe señalar que si fuera el caso, nunca será correcto utilizar para este tipo de estructuras espectros de diseño que incluyan reducciones por sobrerresistencia, situación común en espectros reglamentarios, por lo que será indispensable en todos los casos emplear espectros transparentes.

Los registros sísmicos se seleccionaron de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes, tomando como criterio una respuesta espectral máxima ligada a las altas frecuencias, ya que para las estructuras históricas de tipo religioso se ha observado que suelen fallar por regiones y no de manera global, por lo que los macroelementos con periodos cortos tienden a sufrir las mayores demandas de energía. En la tabla 1 se muestran las características principales de los sismos considerados. Cabe señalarse que dos de los registros involucrados fueron obtenidos en la ciudad de Morelia, uno en la estación ubicada en suelo firme de Ciudad Universitaria de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, y el otro sobre terreno firme de la Universidad Vasco de Quiroga, zonas con gran similitud con el terreno del centro histórico de la ciudad y a unos cuantos cientos de metros de este último.

Es importante mencionar que para fines prácticos en los análisis, la duración de los registros se redujo considerando únicamente la fase intensa de cada uno de ellos. En la tabla 1, se puede observar que el sismo de Puebla del 15 de junio de 1999 tiene una aceleración máxima del terreno de 1.991 m/s^2 , la cual es superior a la aceleración

probabilista máxima esperada para este tipo de terreno, por lo que se decidió dejar este registro con sus valores de aceleración originales.

Tabla 1. Demanda sísmica considerada

Nombre	Fecha	Dirección	Dt (seg)	PGA (m/s ²)	Magnitud	Estación	Tipo
10D94	10-12-94	N-S	0.005	0.17339	6.3	Chilpancingo	Real
14995	14-09-95	E-O	0.005	0.46609	7.3	Chilpancingo	Real
15796	15-07-96	N-S	0.005	0.21080	6.5	Chilpancingo	Real
21103	21-01-03	N-S	0.005	0.182	7.6	Chilpancingo	Real
25498	25-04-98	N-S	0.005	0.10546	5.2	Gutiérrez	Real
AC020996	02-09-96	N-W	0.01	0.0701	-	Acapulco	Real
AC310393	31-03-93	S-O	0.01	0.046	5.0	Acapulco	Real
CU110197	11-01-97	E-O	0.01	1.186	6.9	Cu UMSNH	Real
PU150699	15-06-99	E-O	0.01	1.991	6.5	Puebla	Real
UV200498	20-04-98	E-O	0.005	0.075	5.9	UVAQ	Real
CATE475	-	-	0.01	1.6	-	-	Artificial

3.2 Método de elementos rígidos

Existen diferentes alternativas de análisis no – lineal para estructuras históricas, una de las más utilizadas en la actualidad es el Método de Elementos Finitos (MEF), el cual es muy efectivo. Sin embargo para el caso de edificios históricos es muy difícil encontrar un software adecuado para el análisis de mampostería antigua, además de que existe una gran complejidad para el modelado tridimensional de estructuras complejas y problemas de convergencia en intervalos no lineales. Por otra parte también se cuenta con la alternativa de análisis límite de bloques rígidos, el cual tiene la ventaja de ser muy sencillo ya que solo involucra la geometría y el peso de la estructura, pero tiene la desventaja de que si se conoce con precisión la posición y orientación de las rótulas que conforman el mecanismo de colapso, solo proporciona el factor cinemático de colapso.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras de mampostería requiere de procedimientos específicos. Y como se menciona, existe la necesidad de usar modelos lo suficientemente simples que permitan realizar análisis dinámicos paramétricos, pero al mismo tiempo deben tener en cuenta del comportamiento de la mampostería sujeta a cargas cíclicas. En particular, primero Casolo (2000, 2004) y

después Casolo y Peña (2004) han desarrollado un método de análisis que toma en cuenta estas características de las estructuras de mampostería, el Método de los Elementos Rígidos (MER). El estudio paramétrico presentado en este trabajo utiliza este método de análisis.

El MER está formulado con la finalidad de emplear un número reducido de elementos, por lo que se puede considerar una aceptable simplificación para el análisis lineal y no lineal de estructuras de mampostería sin refuerzo, al suponer que los elementos tienen una dinámica de cuerpo rígido con dos desplazamientos traslacionales y uno rotacional, y las uniones entre los mismos son modelada por medio de resortes no lineales.

3.2.1 Filosofía

El MER discretiza las estructuras mediante una serie de elementos que pueden ser triangulares, cuadriláteros o de orden mayor, los cuales tienen una cinemática de cuerpos rígidos, con dos desplazamientos lineales y una rotación (Figura 3.0). Tres puntos de conexión (resortes) conectan dos elementos contiguos o los lados restringidos. Estas conexiones son dos puntos axiales, separados una distancia $2b$ para tomar en cuenta un momento flexionante, y un punto de conexión a cortante, colocado a la mitad del lado (Figura 3.1).

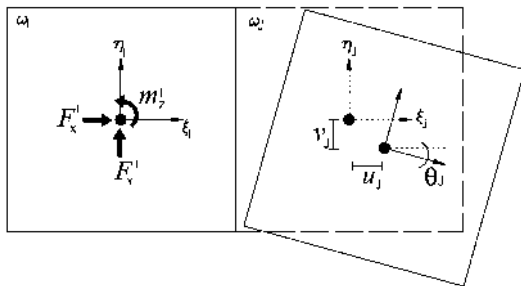


Figura 3.0 Fuerzas y Desplazamientos

Fuente: Fernando Peña y Siro Casolo

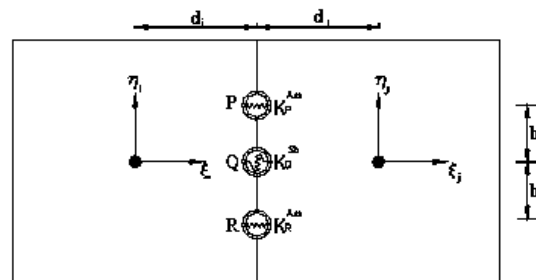


Figura 3.1 Conexión de dos elementos rígidos continuos

Fuente: Fernando Peña y Siro Casolo

La mampostería se considera como un material deformable, pero esta deformación se concentra en los puntos de conexión; mientras que, los elementos no son deformables. Cada uno de los puntos de conexión son cinemáticamente independientes entre ellos, pero se encuentran relacionados por la ley constitutiva del material. En otras palabras, los puntos de conexión representan las características

mecánicas de la mampostería, pero al mismo tiempo, representan la capacidad del modelo para tomar en cuenta la separación y el deslizamiento entre elementos.

El Método de los Elementos Rígidos es considerado como un modelo semicontinuo. En un modelo continuo, existe una compatibilidad de deformaciones entre los elementos que comparten nodos en común; mientras que, en un modelo discontinuo puede existir un movimiento relativo entre dos elementos contiguos. En el MER puede haber un movimiento relativo entre elementos, pero las conectividades iniciales no cambian, existiendo una continuidad relativa entre elementos. De hecho, puede existir superposición, separación o deslizamiento entre elementos, los cuales significan compresión, tensión o cortante. El movimiento de cada uno de los elementos es considerado independiente, ya que las estructuras de mampostería no pueden ser consideradas continuas, porque parte de su deformación se debe al movimiento relativo entre elementos. Sin embargo, las conexiones iniciales no cambian para disminuir el tiempo de cómputo.

3.3 Programa de análisis estructural RIGID V0.4.1

El programa RIGID que lleva a cabo análisis dinámico no-lineal de estructuras de mampostería, el cual se basa en el Método de los Elementos Rígidos, ha sido desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Por otro lado este programa nos permite crear archivos que puedan ser leídos por algún otro software de representación gráfica, con el fin de visualizar los estados de esfuerzos, deformaciones, modos de vibrar y daños dentro del modelo analizado.

En esta herramienta computacional se presentan limitaciones ya que es un programa de análisis bidimensional y su capacidad de análisis está limitada a mil elementos, tres mil nodos, cincuenta lados restringidos, quince materiales, cien mil puntos del acelerograma, que son suficientes para la mayoría de las estructuras de mampostería idealizada mediante macroelementos.

Al crear el archivo de datos para el análisis se tienen que definir los nodos de cada elemento en sentido antihorario y se tiene que definir si se utiliza ley tipo Mohr-Coulomb para el cortante; en caso de utilizarla, se tendrá que definir si existe una degradación de la resistencia cortante por esfuerzos de compresión cercanos a la falla, tal como se indica en la figura 3.2.

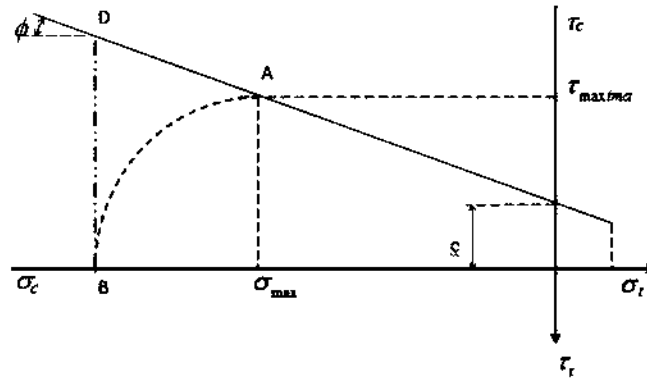


Figura 3.2 Ley Mohr-Coulomb

Fuente: Peña, F. (2010). Programa RIGID v.4.0.1, Manual del usuario, Instituto de Ingeniería, UNAM.

El programa nos permite llevar diversos tipos de análisis estructurales o sísmicos como son, análisis lineales, no lineales estáticos o dinámicos, de los cuales te proporciona la energía disipada de cada elemento en cada incremento de tiempo, así como el cortante basal, desplazamientos y fuerzas en los resortes de interfaces.

3.3.1 Modelo constitutivo

El RIGID V0.4.1 cuenta con tres leyes constitutivas para definir el comportamiento axial de los materiales que son, el trilineal, exponencial y parabólico.

Trilineal: Ley definida por tres segmentos de rectas a compresión según la figura 3.3. Para asignar esta ley, el comportamiento a compresión se debe definir para cada segmento de recta mediante sus pendientes, así como la resistencia de cada uno. Mientras que para el comportamiento a tensión se considera sólo un segmento de recta y su respectiva deformación (Peña, F. 2010).

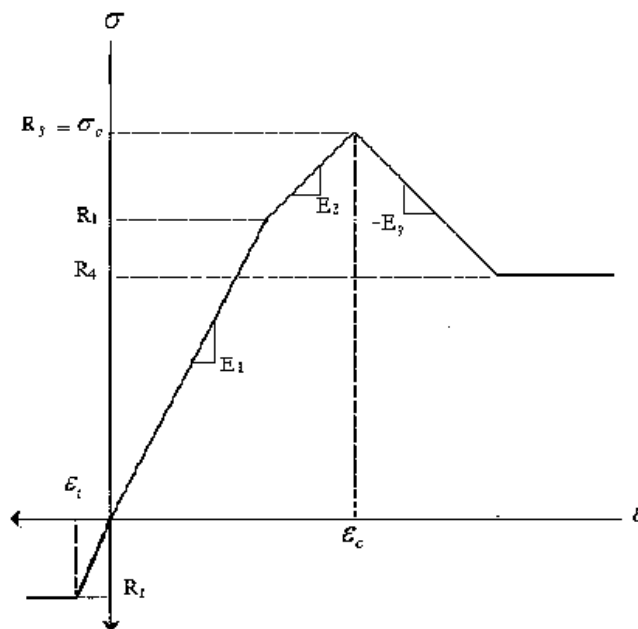


Figura 3.3 Ley Trilineal

Fuente: Peña, F. (2010). Programa RIGID v.4.0.1, Manual del usuario, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Exponencial: el comportamiento a compresión se define mediante una ley exponencial (figura 3.4). Para definir este tipo de ley que representará la curva esfuerzo –deformación, únicamente se necesita la rigidez inicial del material y la resistencia a compresión máxima.

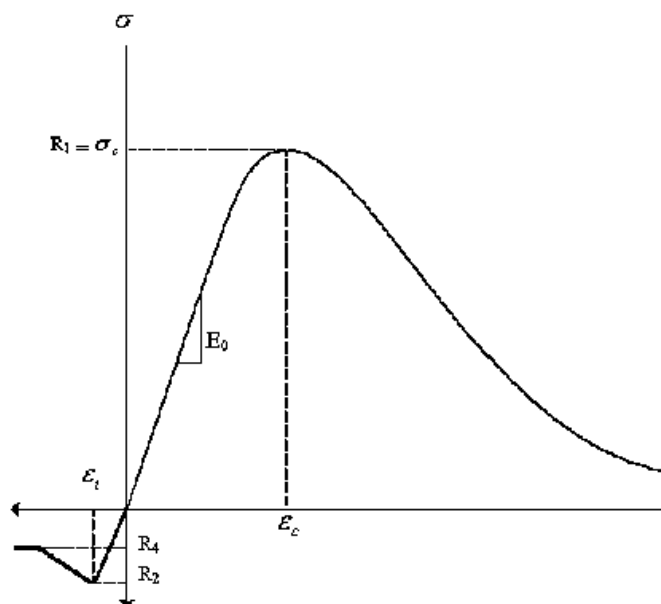


Figura 3.4 Ley Exponencial

Fuente: Peña, F. (2010). Programa RIGID v.4.0.1, Manual del usuario, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Parabólico: el comportamiento a compresión se define mediante la ley parabólica (Figura 3.5). En esta ley, es necesario definir una resistencia a compresión residual (ver ecuación 3.0), después de la cual, el comportamiento es plástico.

$$\sigma = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c^2} (\varepsilon - \varepsilon_c) + \sigma_c \quad \text{Ec. (3.0)}$$

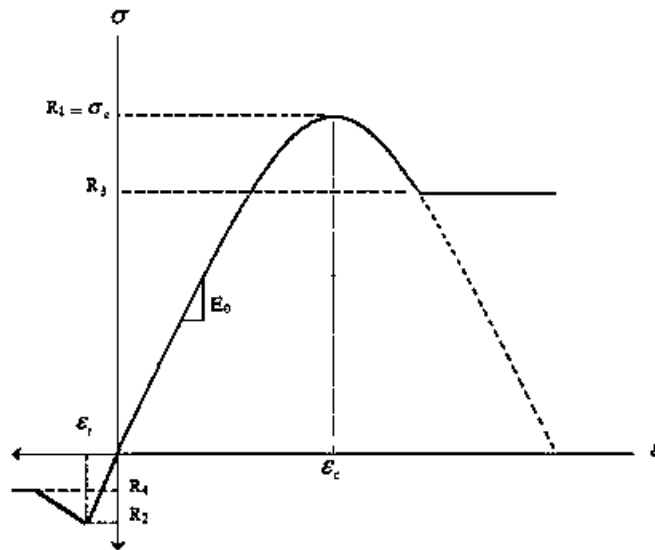


Figura 3.5 Ley Parabólica

Fuente: Peña, F. (2010). Programa RIGID v.4.0.1, Manual del usuario, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Donde:

- E_0 = módulo de elasticidad inicial
- σ = resistencia a compresión
- $\sigma_c=R_1$ = esfuerzo máximo a compresión
- R_2 = resistencia máxima en tensión
- R_3 = resistencia última o residual a compresión
- R_4 = resistencia última o residual a tensión
- ε = deformación unitaria
- ε_c = deformación máxima por compresión
- ε_t = deformación máxima por tensión

De las leyes constitutivas anteriores emplearemos la ley parabólica, por ser la más simple ya que en las restantes tendríamos que manejar mayor cantidad de datos (con los que no se cuenta), lo cual nos hace tener un grado mayor de incertidumbre y por consiguiente menos certeza de los resultados obtenidos puedan reflejar el comportamiento de las estructuras.

3.3.2 Definición de parámetros

Para definir los parámetros que hemos empleado en los modelos estudiados en el presente trabajo de investigación, nos hemos basado en valores promedio obtenidos experimentalmente en territorio europeo, ya que Morelia no cuenta estudios sobre las propiedades mecánicas de sus canteras, sin embargo cabe destacar que este trabajo puede ser el principio para que se realicen este tipo de investigaciones.

Ya que el método de elementos rígidos usa como base una ley constitutiva, y en este caso hemos optado por la ley parabólica, definiremos cada uno de los parámetros a emplear en tabla siguiente:

Tabla 2. Propiedades mecánicas							
Material	R1 (MPa)	R2 (MPa)	R3 (MPa)	R4 (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Módulo de Poisson	Densidad (Kg/m ³)
Cantera de la zona	10.7877	-1.0788	6.9630	-0.3236	1000	0.2	1800
Relleno	4.9035	-0.4904	0.3138	-0.1471	500	0.2	1600

Cabe señalar que contamos con dos tipos de materiales, cantera de la zona y material de relleno; éste último se emplea en las zonas de los riñones con el fin de nivelar parcialmente la superficie de las bóvedas y proporcionar las pendientes necesarias para las caídas del agua.

3.4 Identificación de los edificios en estudio

Un conjunto de trece estructuras patrimonio histórico de la ciudad de Morelia fueron elegidos para formar parte de este conjunto de estudio. Dichas construcciones fueron erigidas entre los siglos XVI y XVIII. Morelia fue nombrada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1991, debido a la enorme cantidad de construcciones coloniales.

A continuación se enlistan los trece edificios por orden cronológico:

Templos de una nave

1. Templo de San Agustín (1550)
2. Templo franciscano de San Buenaventura (1585)
3. Templo del Carmen (1596)

4. Templo de San Francisco Javier (1660)
5. Templo de la Cruz (1680)
6. Templo de San Juan Bautista (1696)
7. Templo de Guadalupe (1708)
8. Templo de las Monjas (1732)
9. Templo de Capuchinas (1734)
10. Templo de la Merced (1736)
11. Templo de Santa Rosa de Lima (1757)
12. Templo de San José (1760)

Templos con tres naves:

13. Iglesia Catedral de la Transfiguración (1660)

En la figura 3.6 se muestra la localización de los templos con respecto a la ciudad de Morelia, mientras que la Figura 3.7 se indica donde se encuentra cada uno de los edificios estudiados con la misma numeración en que se encuentran enlistados anteriormente.



Figura 3.6 Macro localización del centro histórico en la Ciudad de Morelia



Figura 3.7 Ubicación de los templos en estudio, en el centro histórico de Morelia

Se ha definido en cada uno de los templos enlistados para fines de estudio, un macroelemento en el sentido transversal y otro más en la dirección longitudinal, que serán los sometidos a los análisis y comparaciones. (En el Anexo A se incluyen las planimetrías y alimetrías de cada una de las trece edificaciones, denotándose las posición en planta de cada macroelemento considerado, así mismo en el Anexo B se mostrarán fotografías del conjunto de estructuras estudiadas).

3.5 Descripción geométrica de los templos en estudio

Se estudiaron trece estructuras de tipo religioso localizadas en el centro histórico de la Ciudad de Morelia que fueron construidas entre los siglos XVI y XVIII. Estos inmuebles fueron edificados con cantera rosa de la región y las juntas entre sus piezas fueron de mortero cal-arena.

Respecto a sus características geométricas estas construcciones difieren considerablemente en parámetros tales como altura, espesor de bóveda, claro, ancho, espesor de muros, contrafuertes, y que algunas de ellas están formadas por arcadas en su sección transversal ya que están compuestas por capillas o naves laterales, como es el caso del templo de La Cruz y La Catedral de la Transfiguración; un ejemplo claro de esta discrepancia en los parámetros mencionados los encontramos en el templo de San Juan Bautista cuando lo comparamos con la Catedral de la Transfiguración.

Al observar la tabla 5 se aprecian los intervalos tan amplios que puede haber respecto a los parámetros anteriores como por ejemplo que las alturas de los templos van desde los 8m hasta los 18m, que es el caso del templo de San Juan Bautista y el

Franciscano de Buena Ventura respectivamente; ahora bien si tomamos como parámetro de referencia el de claro de las naves y observamos los dos templos anteriores, vemos que el primer templo tiene una luz de 5.70m mientras que el segundo cuenta con una luz de 10.70m aproximadamente; estas medidas nos dejan ver claramente enorme diferencia que podremos encontrar. Sin embargo si nos vamos ahora a comprar el espesor de bóveda de estas mismas edificaciones no encontramos diferencia notable a pesar de la discrepancia entre los parámetros anteriormente comparados.

Existe diversidad de reglas empíricas para proponer espesor de bóveda en este tipo de construcciones como por el ejemplo la propuesta por Martínez de Aranda de acuerdo con Huerta (2004); la cual da el espesor de la bóveda como una fracción del vano o claro, pero esta fracción varía en función de su luz como se muestra en la tabla 3. Así mismo Huerta (2004) menciona que el espesor de la pared del coro se obtiene en como una fracción de la luz: la pared tendrá 1/10 de la luz. Esta medida podrá ser utilizada para dimensionar otros elementos decorativos o estructurales.

Tabla 3. Espesores de arcos según Martínez de Aranda (Huerta, 2004)

Luz (L)	e/L
Arcos de 5 a 10 pies ó 1.52 a 3.05 metros	1/6
Arcos de 10 a 20 pies ó 3.05 a 6.10 metros	1/8
Arcos de 20 a 40 pies ó 6.10 a 12.20 metros	1/10

Al observar la tabla anterior vemos que hay una relación inversamente proporcional ya que al aumentar el claro se va disminuyendo el espesor del arco. Así que esperaríamos que los templos estudiados sigan este parámetro.

Sin embargo al aplicar la regla propuesta por Martínez de Aranda a las edificaciones en estudio podemos ver que en la mayoría de las estructuras caemos con el último caso, donde el espesor tiene que ser 10% de la luz de la nave y los espesores están por debajo de los calculados empleando dicha razón en prácticamente todos los templos con excepción de la Merced puesto que este templo tiene una luz de 6.69 m y su espesor es bóveda es de 0.74 m. El templo de San Juan Bautista es la única estructura en la cual aplica la relación del 1/8, ya que su luz es de 5.70 m y al calcular este espesor observamos que este templo debería tener este parámetro igual 71.25 cm

presentado en realidad 55 cm, esto se puede atribuir a los contrafuertes con los que cuenta, los cuales proporcionan estabilidad. Pero si seguimos la regla general citada en Huerta (2004), que menciona el espesor es el 0.1 del claro de la nave, el templo de San Juan es el único que cumple esta relación.

En las tablas 6 y 7 se muestran las secciones transversales y longitudinales reales modificadas con la proporción divina, y posteriormente se explica cómo es que fueron generadas.

Tabla 4. Características transversales de los templos reales en estudio

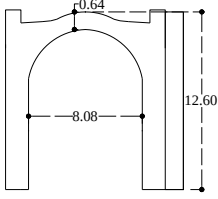
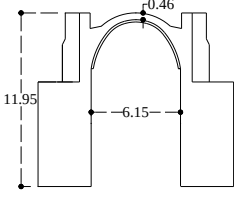
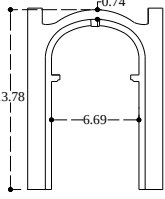
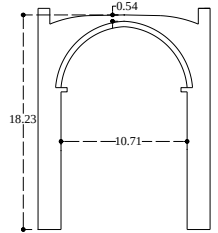
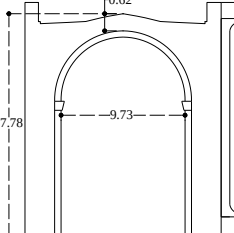
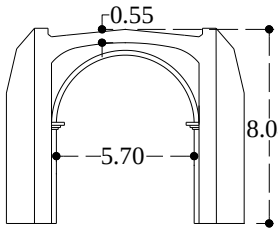
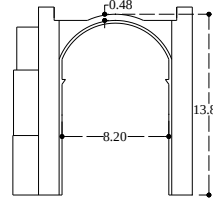
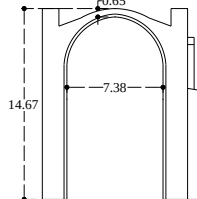
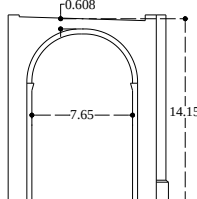
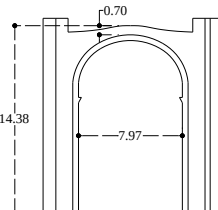
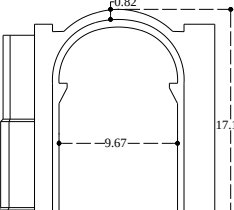
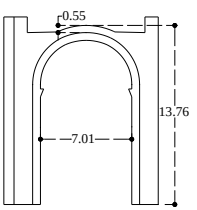
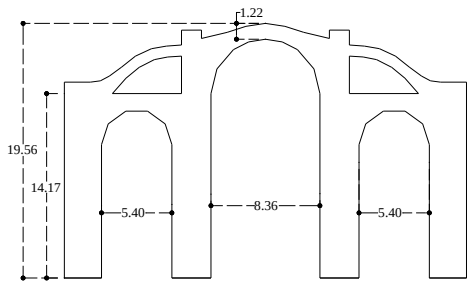
 (a) Templo de Capuchinas (1734)	 (b) Templo de la Cruz (1680)	 (c) Templo de la Merced (1736)
 (d) Templo Franciscano de San Buenaventura (1585)	 (e) Templo de San José (1760)	 (f) Templo de San Juan Bautista (1696)
 (g) Templo de San Francisco Javier (1660)	 (h) Templo del Carmen (1596)	 (i) Templo de las Monjas (1732)
 (j) Templo Santa Rosa de Lima (1757)	 (k) Templo de San Agustín (1550)	 (l) Templo de Guadalupe (1708)
 (m) La Catedral de la Transfiguración (1660)		

Tabla 5. Características longitudinales de los templos reales en estudio

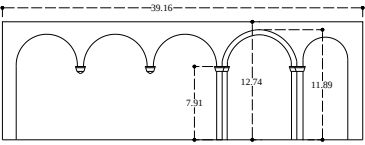
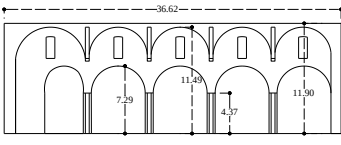
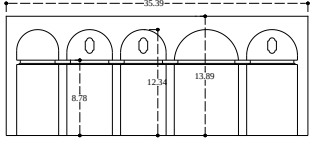
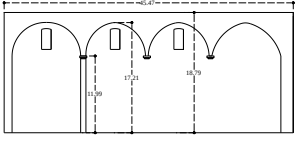
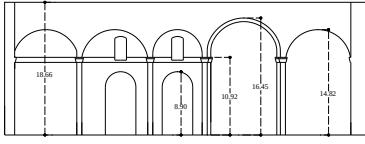
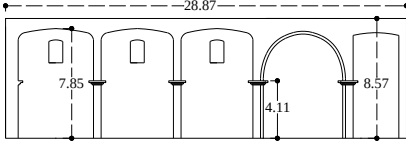
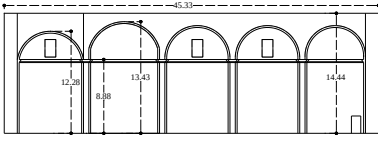
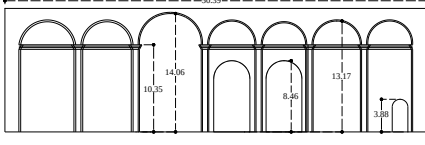
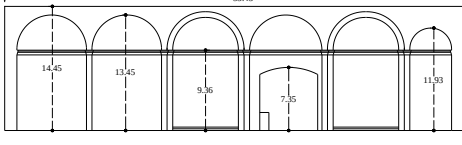
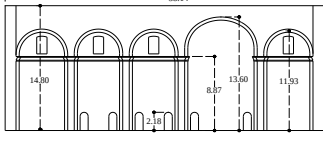
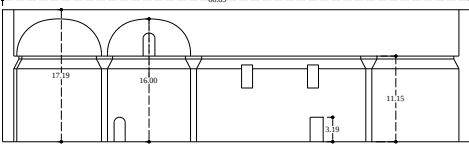
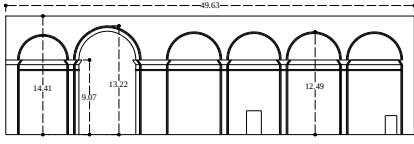
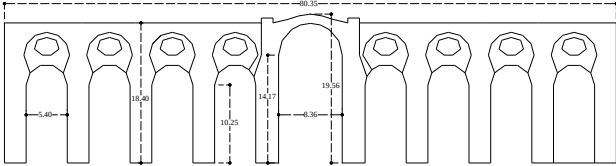
 (a) Templo de Capuchinas (1734)	 (b) Templo de la Cruz (1680)
 (c) Templo de la Merced (1736)	 (d) Templo Franciscano de San Buenaventura (1585)
 (e) Templo de San José (1760)	 (f) Templo de San Juan Bautista (1696)
 (g) Templo de San Francisco Javier (1660)	 (h) Templo del Carmen (1596)
 (i) Templo de las Monjas (1732)	 (j) Templo Santa Rosa de Lima (1757)
 (k) Templo de San Agustín (1550)	 (l) Templo de Guadalupe (1708)
 (m) La Catedral de la Transfiguración (1660)	

Tabla 6. Características de las secciones transversales áureas

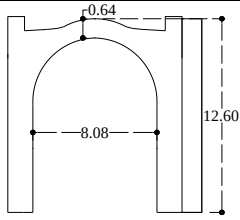
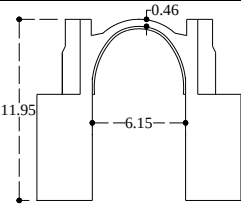
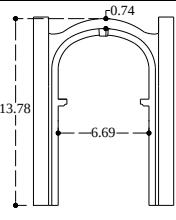
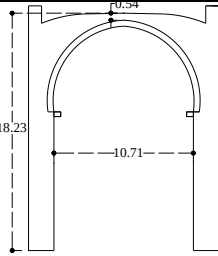
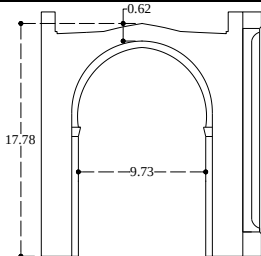
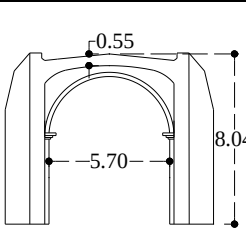
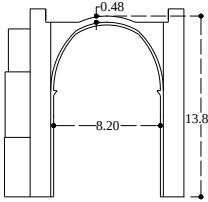
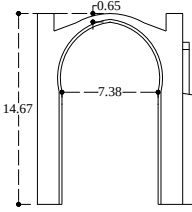
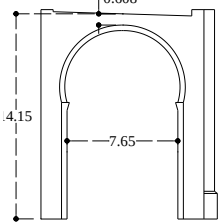
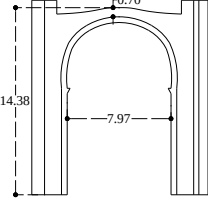
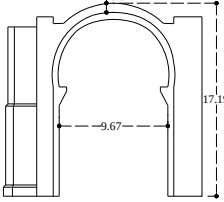
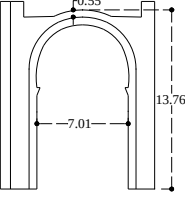
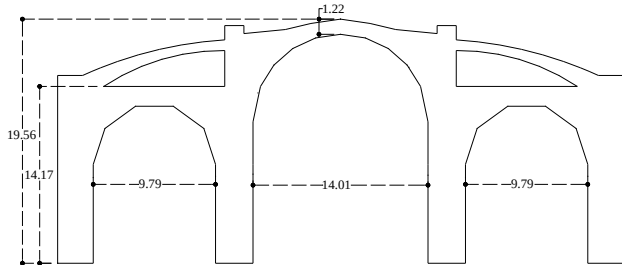
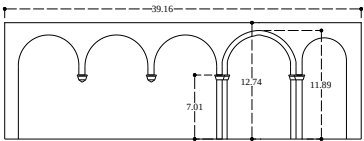
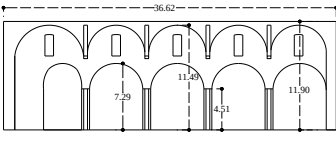
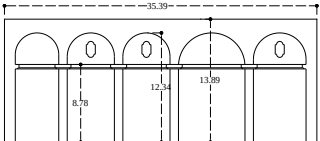
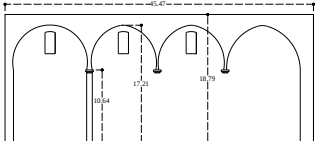
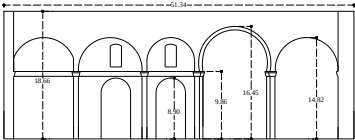
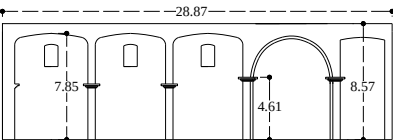
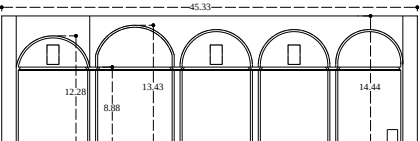
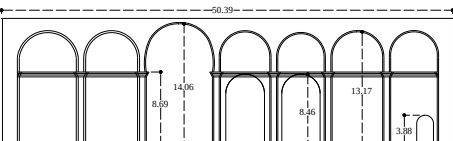
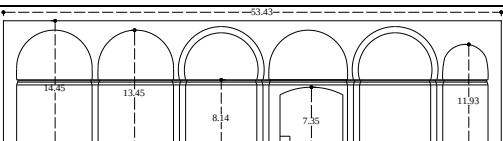
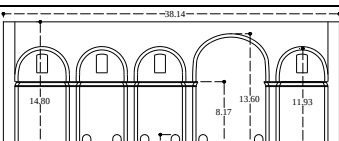
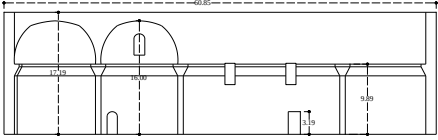
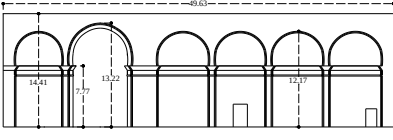
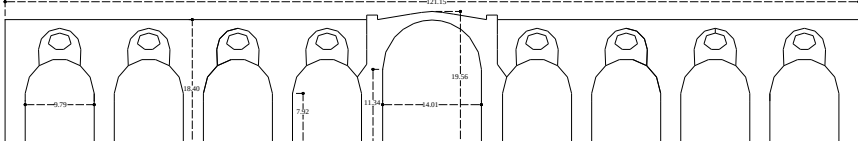
 (a) Templo de Capuchinas (1734)	 (b) Templo de la Cruz (1680)	 (c) Templo de la Merced (1736)
 (d) Templo Franciscano de San Buenaventura (1585)	 (e) Templo de San José (1760)	 (f) Templo de San Juan Bautista (1696)
 (g) Templo de San Francisco Javier (1660)	 (h) Templo del Carmen (1596)	 (i) Templo de las Monjas (1732)
 (j) Templo Santa Rosa de Lima (1757)	 (k) Templo de San Agustín (1550)	 (l) Templo de Guadalupe (1708)
 (m) La Catedral de la Transfiguración (1660)		

Tabla 7. Características de las secciones longitudinales áureas

 (a) Templo de Capuchinas (1734)	 (b) Templo de la Cruz (1680)
 (c) Templo de la Merced (1736)	 (d) Templo Franciscano de San Buenaventura (1585)
 (e) Templo de San José (1760)	 (f) Templo de San Juan Bautista (1696)
 (g) Templo de San Francisco Javier (1660)	 (h) Templo del Carmen (1596)
 (i) Templo de las Monjas (1732)	 (j) Templo Santa Rosa de Lima (1757)
 (k) Templo de San Agustín (1550)	 (l) Templo de Guadalupe (1708)
 (m) La Catedral de la Transfiguración (1660)	

3.6 Generación de macroelementos

Recordemos que los macroelementos nos permiten analizar las partes más vulnerables del templo, las cuales están caracterizadas por la activación de mecanismos de colapso parciales. El comportamiento sísmico global se obtendrá entonces como la suma de la contribución de cada macroelemento presente en la estructura.

Para las geometrías reales y las modificadas con la proporción áurea se ha empleado un modelo bidimensional para el análisis de los macroelementos elegidos, los cuales corresponden a la sección transversal y longitudinal de los trece edificios patrimoniales que fueron descritos anteriormente. Para la definición de los macroelementos se consideraron las zonas más vulnerables de cada caso en estudio, siguiendo el criterio de que los mayores estados de esfuerzos se localizarán donde se tenga la mayor rigidez lateral.

Se observa que la mayoría de las secciones transversales reales (ver tabla 5) están provistas de contrafuertes siendo estas las seleccionadas como macroelementos de trabajo; sin embargo, existen algunas secciones transversales en las que los contrafuertes no se presentan como es el caso de los templos de La Merced, Franciscano de San Buenaventura y la Catedral. La mayor parte de este tipo de edificaciones corresponde a sistemas de tipo conventual donde el claustro se encuentra adosado a los templos, situación que no se consideró en la investigación, pero se propondrá considerarlo en líneas futuras de investigación. A pesar de lo anterior, el modelado bidimensional basado en la definición de los macroelementos ofrece una idea clara del comportamiento general de la estructura.

Para la generación de las secciones con proporción divina se decidió dejar como parámetro fijo la altura puesto que se busca que la masa del edificio sea lo más similar posible a la sección real, por dicha razón solo se modificó la flecha de los arcos y la altura de muros como se muestra en la figura 3.8. Es importante señalar que la Catedral es la única edificación en la que también se modificó la luz de los macroelementos transversales y longitudinales. Recordemos que el número de oro se denota también con la letra φ (phi) y una manera de definirlo es mediante la ecuación 3.0, donde la letra “a” representa la altura al intradós, la letra “b” corresponde a la altura donde se localiza el arranque del arco y la letra “c” la flecha del arco (figura 3.8).

$$\varphi = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = 0.6180339887 \dots \quad \text{Ec. (3.0)}$$

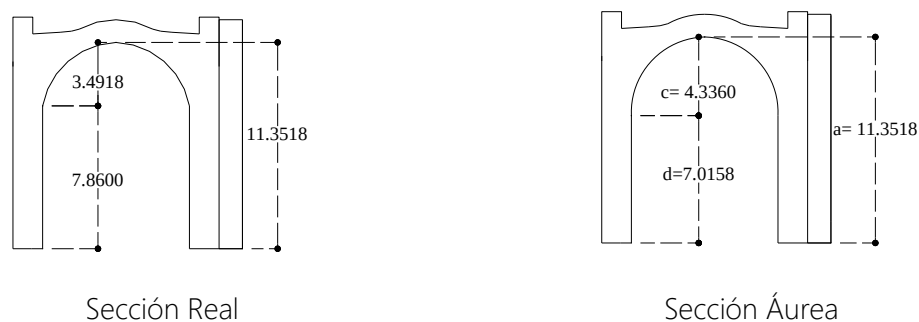


Figura 3.8. Generación de secciones áureas

Es importante mencionar que no se incluyó el efecto de rigidez que proporcionan las bóvedas ni las zonas de coro a los macroelementos, así como que se emplearon acelerogramas contemplando únicamente la componente horizontal de estos, lo anterior debido a que en los registros empleados esta componente es la más intensa puesto que son sismos de epicentro lejano.

3.6 Mallado de los macroelementos

El mallado propuesto para cada uno de los macroelementos se basó en la geometría de cada sección estudiada y buscando que fuera lo más regular posible. Cabe señalar que se buscó que la malla de ambas secciones estudiadas, la real y la modificada, fueran lo más semejante posible esto con la finalidad de asegurarnos que no variaran los resultados por efectos del mallado, para así poder realizar una comparación más objetiva.

En el capítulo siguiente se pondrán observar las mallas con detalle para cada macroelemento en estudio.

3.7 Índices de daño

En las últimas décadas, se ha empezado a incluir la no linealidad de los materiales en el análisis y diseño sísmico, por lo cual, se dispone de información detallada sobre los fenómenos que se producen cuando se sobrepasa el límite elástico de los materiales.

De la evaluación y la interpretación del daño causado por los sismos surgen de la necesidad de cuantificar y explicar los efectos de este fenómeno sobre las diferentes tipos de estructuras existentes.

La evaluación del grado de daño que ha sufrido una estructura permite además definir las necesidades de reparación y/o refuerzo, o simplemente la demolición cuando existen riesgos evidentes a vidas humanas o construcciones cercanas.

Es frecuente encontrar diferentes tipos de representación del daño que dependen tanto del modelo utilizado, como de la clase de estudio que se desea realizar. Uno de los tipos de representación más utilizada son las representaciones mecánicas, que utilizan modelos teóricos que permiten describir el comportamiento del mecanismo estructural a través de, por ejemplo, los “índices de daño”.

Los índices de daño, son un concepto introducido en los últimos años por algunos investigadores. Estos cuantifican la degradación de los elementos estructurales que forman parte de los sistemas resistentes a cargas laterales y verticales. Se fundamentan en la apropiada definición de un modelo de daño representativo de las propiedades de los materiales, la topología estructural y las características de las acciones aplicadas. Los índices de daño se han convertido en una importante herramienta, tanto para la evaluación del daño y toma de decisiones respecto de la reparación, refuerzo o demolición de una estructura; así como en el desarrollo de las nuevas tendencias de diseño por desempeño.

Los índices de daño son funciones adimensionales, que pretenden evaluar el daño estructural y permiten cuantificarlo de forma más objetiva, mediante la ponderación cuantitativa de ciertos parámetros o variables de la respuesta estructural. Estos modelos generalmente se fundamentan en la relación demanda-capacidad de alguna variable estructural específica, la evolución de la degradación de alguna propiedad estructural e incluso, en la definición de parámetros energéticos.

Para modelar la acumulación del daño que ocurre cuando una estructura se ve afectada por una carga reversible, generalmente se utiliza una formulación de degradación cíclica, en la cual el daño se considera como una función de la deformación plástica acumulada o incorporando un término relacionado con la energía histerética disipada durante el sismo.

Es difícil estimar un índice de daño para estructuras de mampostería, ya que se debe primero de escoger el parámetro indicador de daño que tenga mayor influencia en el comportamiento sísmico y este indicador debe ser posible calcularlo.

Uno de los índices de daño propuesto para mampostería es el establecido por Ang y Wen (1987), que basados ensayos de laboratorio observaron que el comportamiento por fallo de la mampostería en la mayoría de los casos frágil, lo que significa que un indicador de daño puede ser la deformación máxima. Sin embargo los ensayos realizados bajo cargas cíclicas encontraron que después de muchos ciclos los muros encontraban su fallo total, es decir que otro indicador de daño puede ser la disipación de energía. Basados en estas observaciones Ang y Wen propusieron el siguiente índice de daño para mampostería:

$$D = \frac{U_m}{U_f} + \frac{\varepsilon}{q_u * U_f} \int dE \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

U_m = desplazamiento máximo

$\int dE$ = energía disipada

U_f = desplazamiento el fallo bajo carga monotónica

q_u = capacidad de carga última

ε =parametro experimental, que toma valores del orden 0.075

Para el calculo del índices de daño se tomo el criterio propuesto por Ang y Wen basando en la disipación de energía puesto que se considera que este indicador puede ser una parametro mas confiable.

CAPÍTULO 4

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL



COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Los macroelementos fueron analizados solamente considerando en un primer análisis únicamente la carga muerta de la estructura y posteriormente se sometieron a acciones sísmicas con periodos de retorno de 475 y 975 años.

4.1 ANÁLISIS POR PESO PROPIO

Recordemos que las cargas muertas son las acciones que son permanentes y que no son debidas al uso de la estructura, en esta categoría entran las cargas correspondientes al peso del material que soporta la estructura tales como: acabados, divisiones, fachadas, techos, etcétera. Dentro de las cargas muertas también se pueden clasificar aquellos equipos permanentes en la estructura, que en el caso de templos estos equipos serían, los relojes y campanas.

En este tipo de estructuras religiosas no se involucran las cargas vivas puesto que es muy poco probable que se lleguen a presentar y en caso de que se presenten estas acciones serían mínimas y no afectarían el comportamiento de la edificación.

4.1.1 Macroelementos transversales

Se comparan tres estados de esfuerzos para cada macroelemento analizado con las secciones con proporciones reales (PR) y las modificadas empleando la proporción divina (PD), dichos esfuerzos obtuvieron del análisis por cargas gravitacionales. En las imágenes posteriores se muestran los estados de esfuerzos principales y cortantes para cada macroelemento. Los esfuerzos principales se denotarán como S1-1 para el esfuerzo principal horizontal, S1-2 esfuerzo cortante, y S2-2 esfuerzo principal vertical o esfuerzo axial. Las unidades en que se mostraran los resultados están en kg/m^2 .

Recordemos que los valores promedios para mampostería sin confinamiento son de 20 kg/cm^2 en compresión y una décima parte de este valor es el correspondiente al esfuerzo por tensión que soporta este material, que es aproximadamente 2 kg/cm^2 .

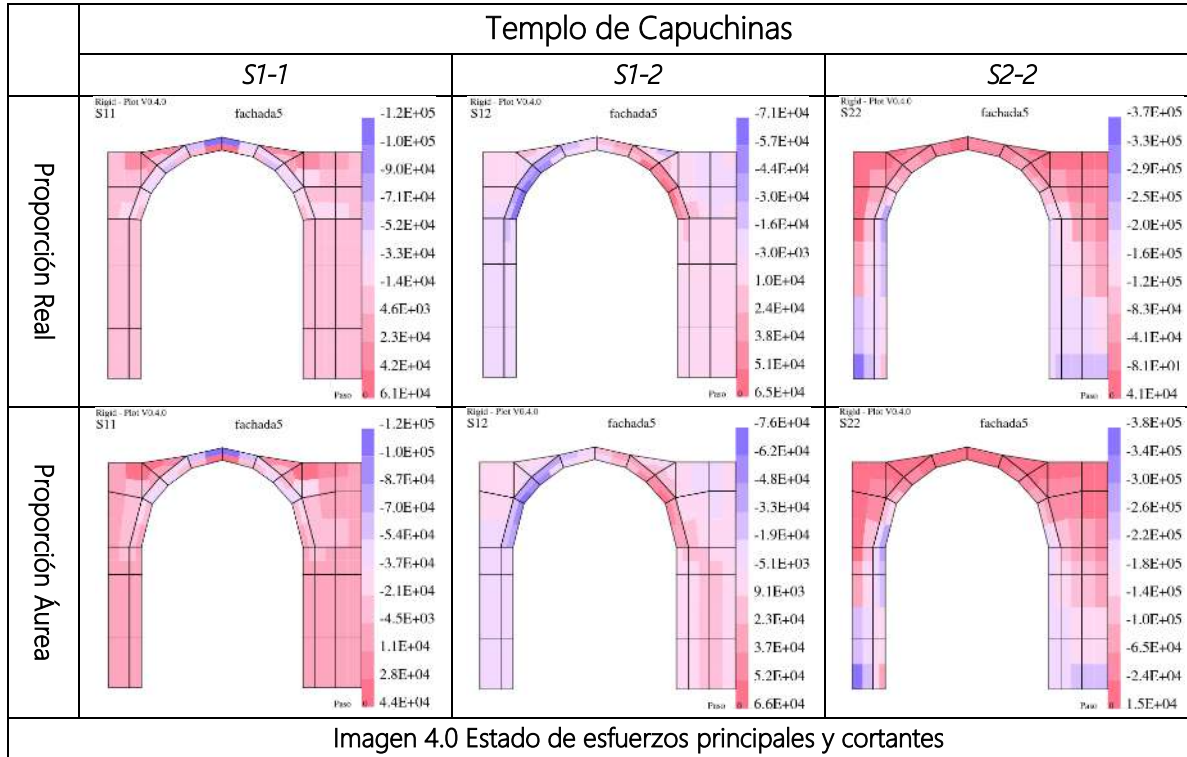


Imagen 4.0 Estado de esfuerzos principales y cortantes

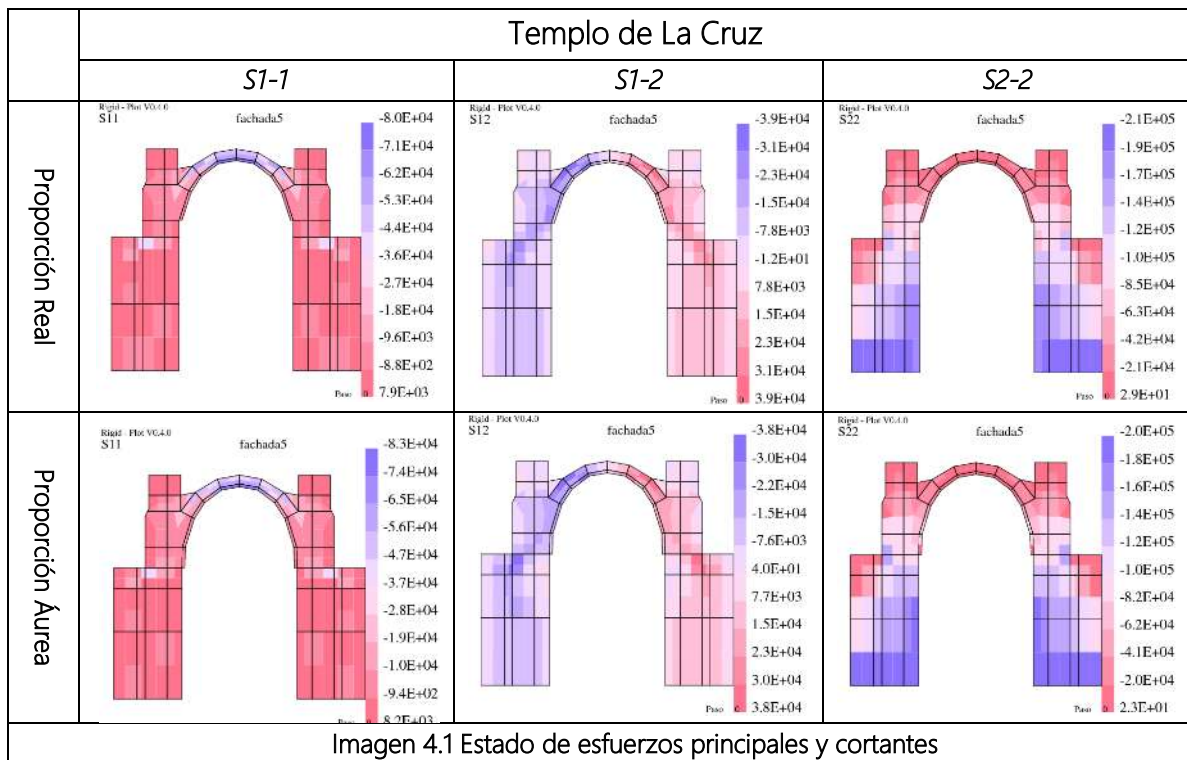
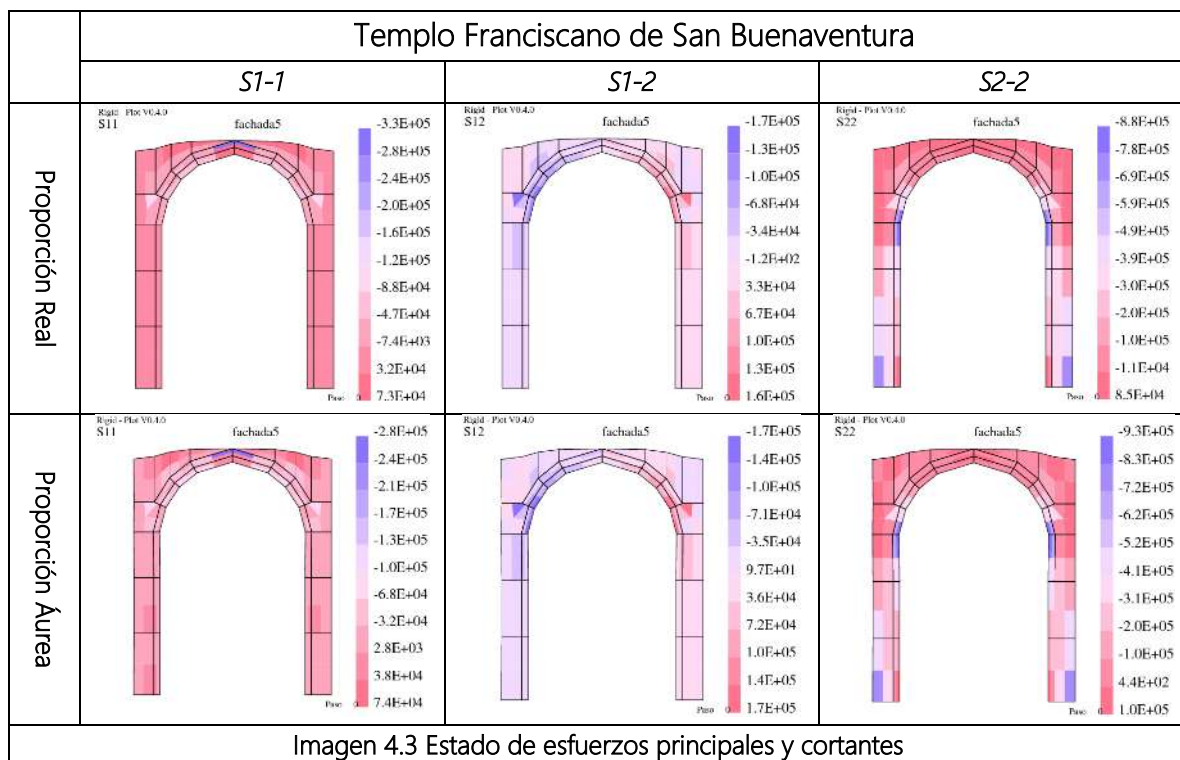
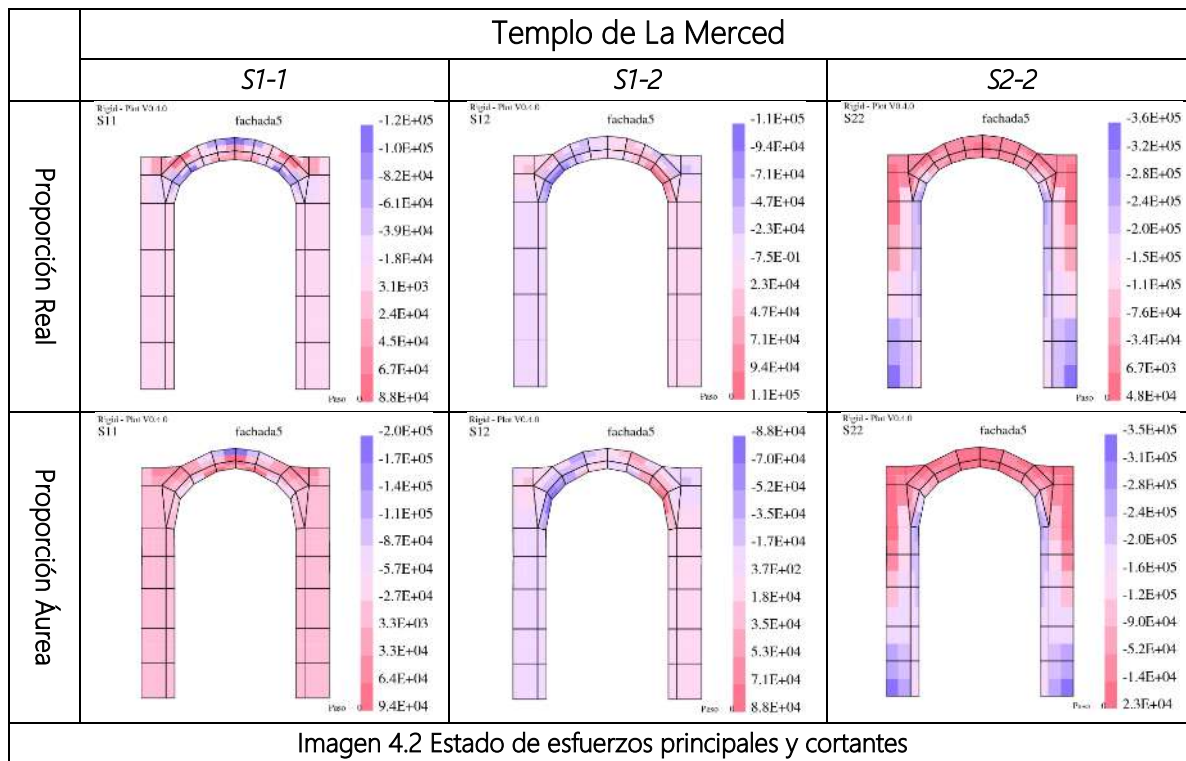
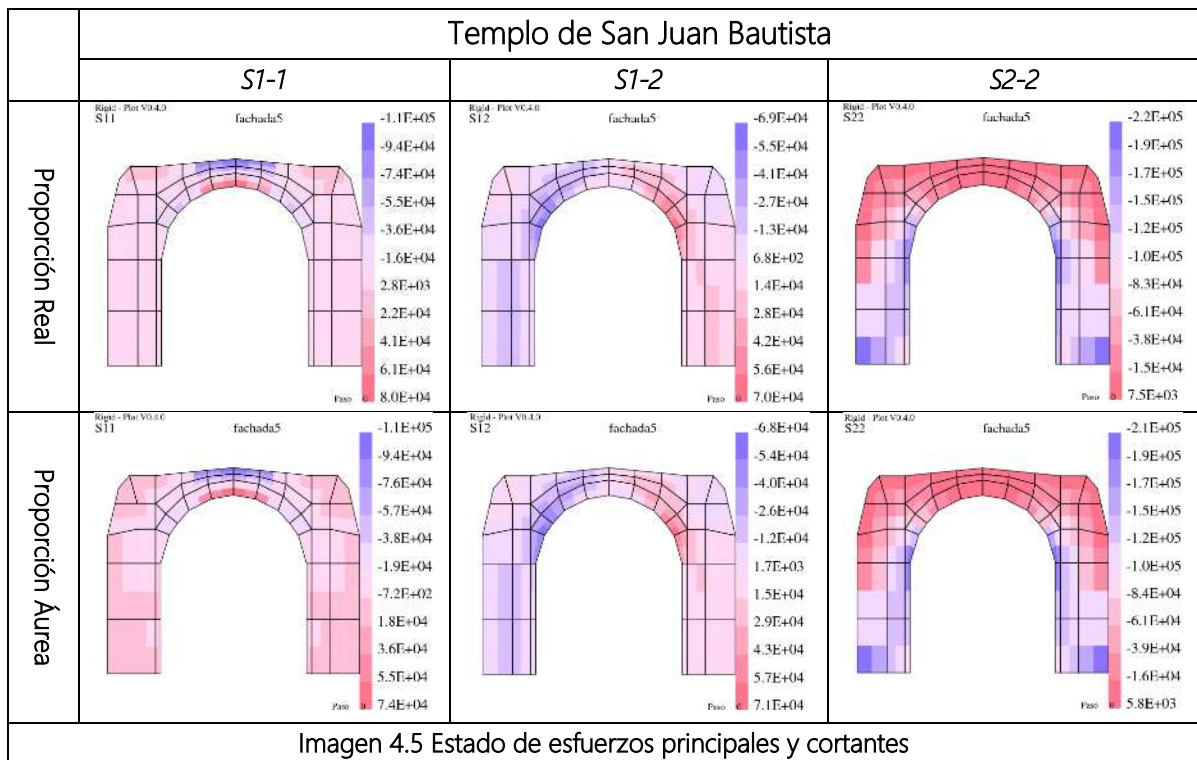
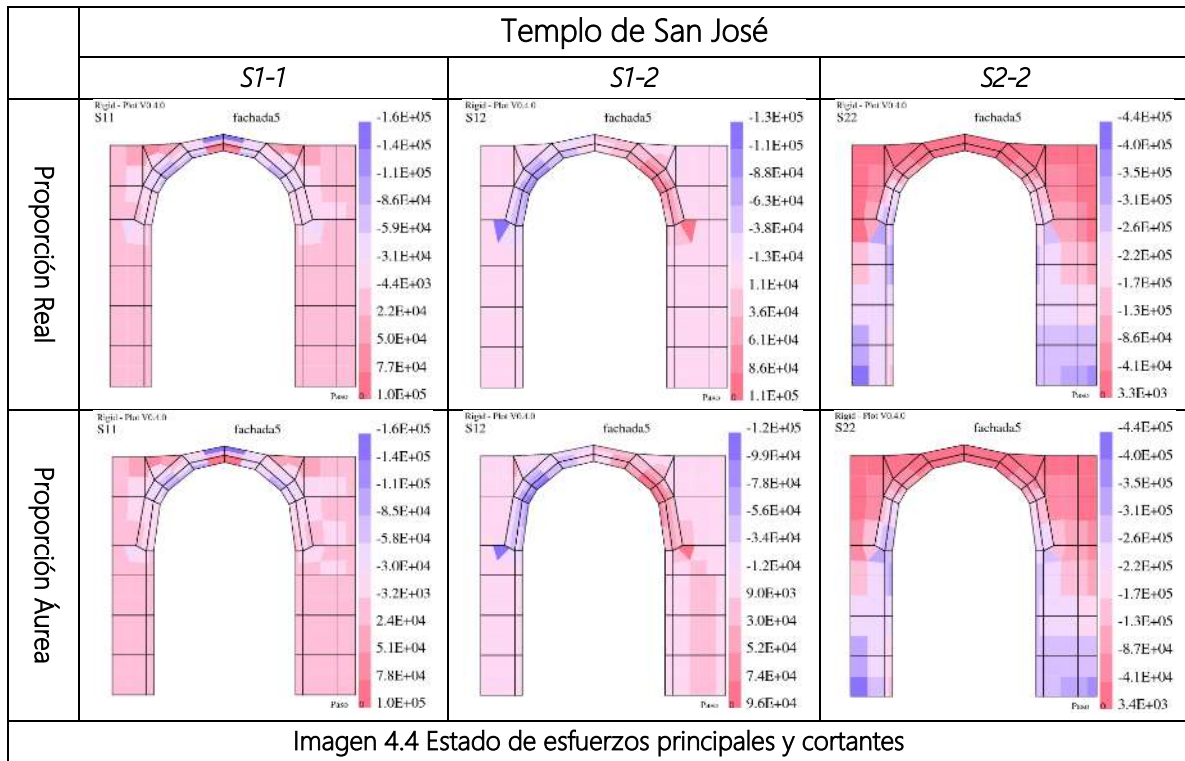
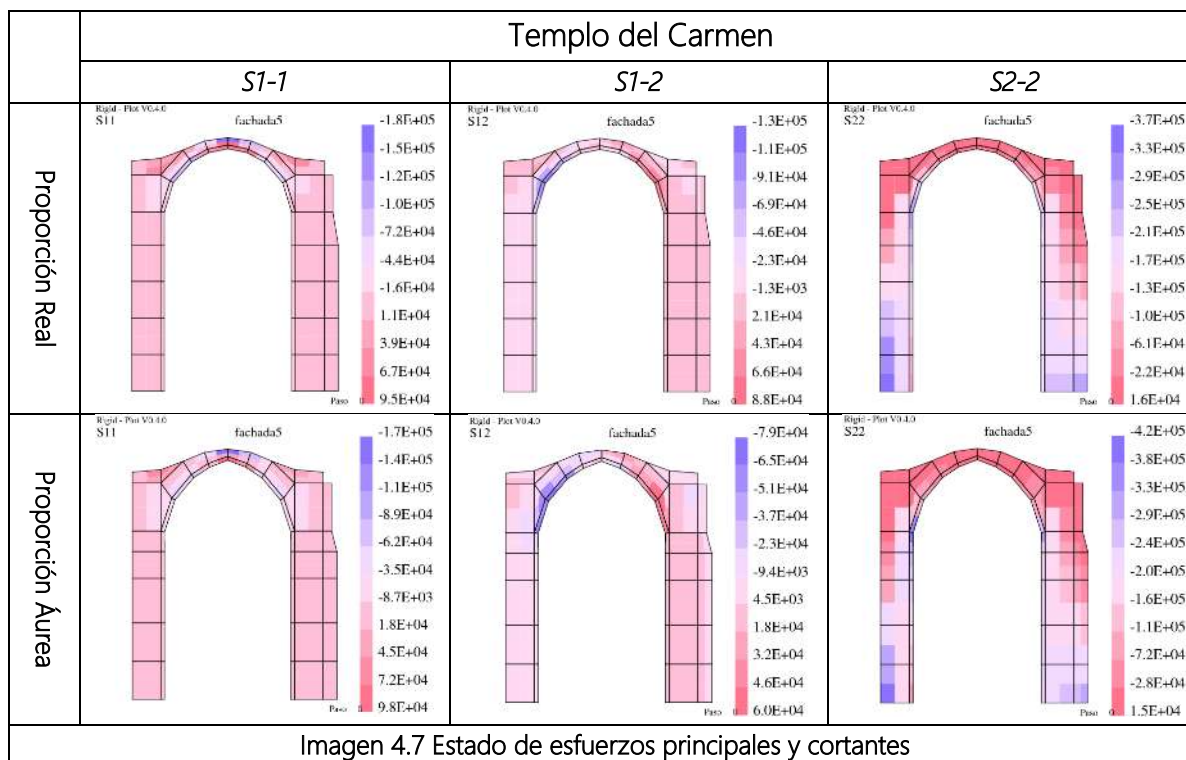
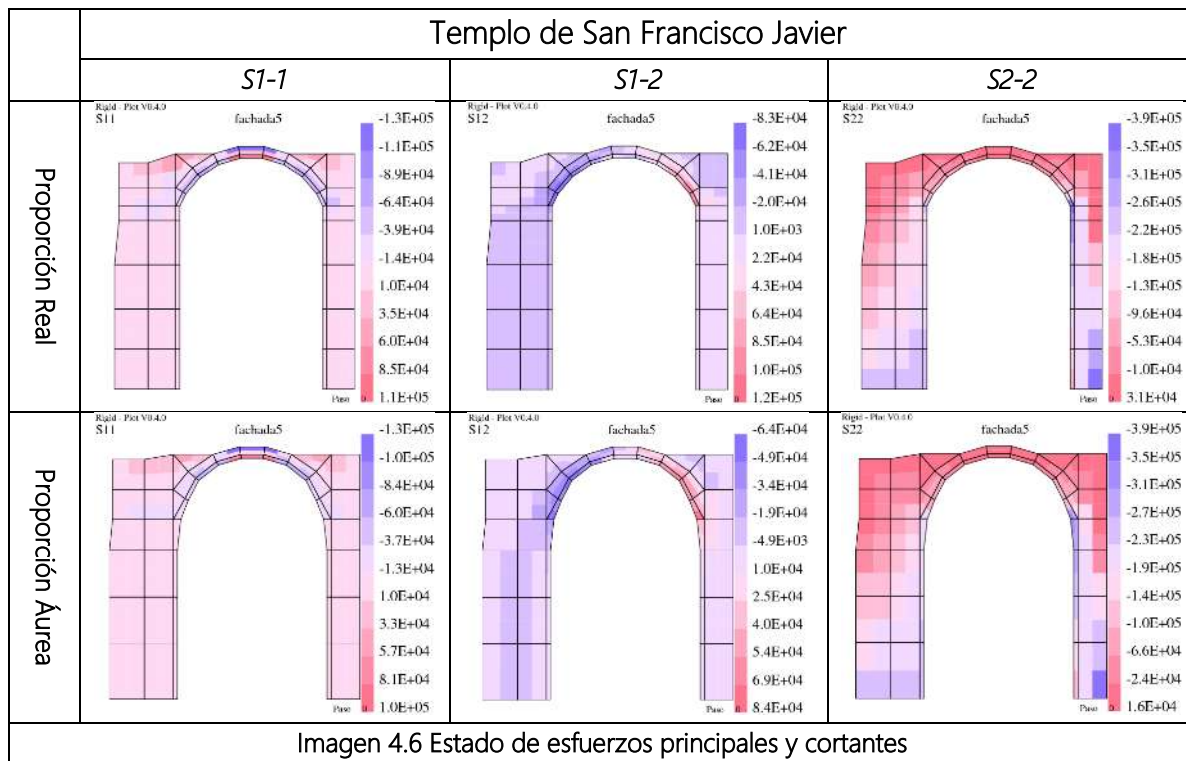
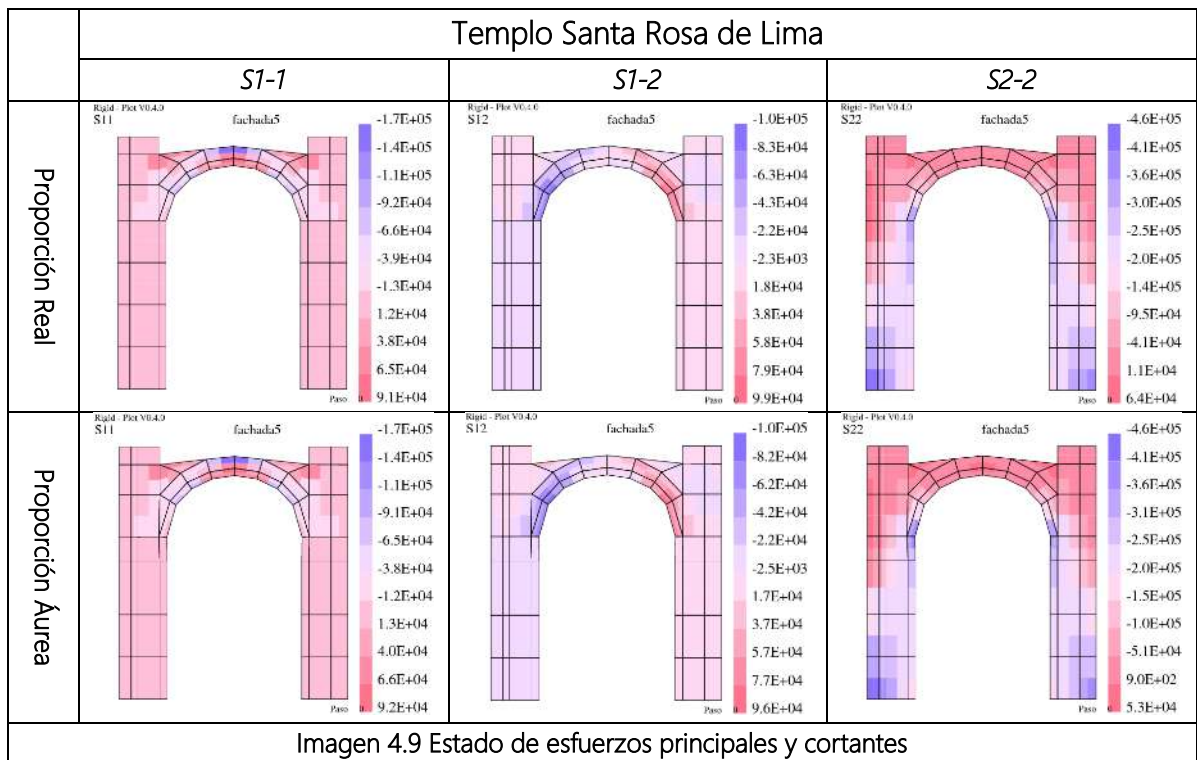
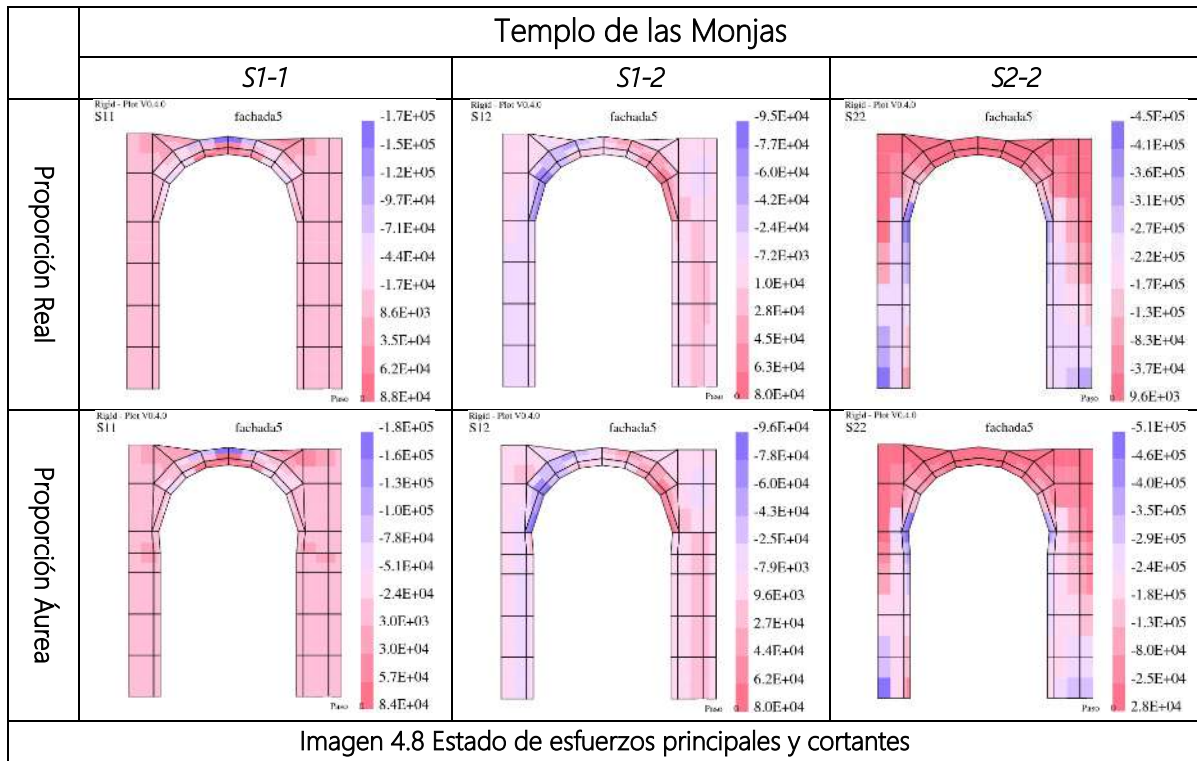


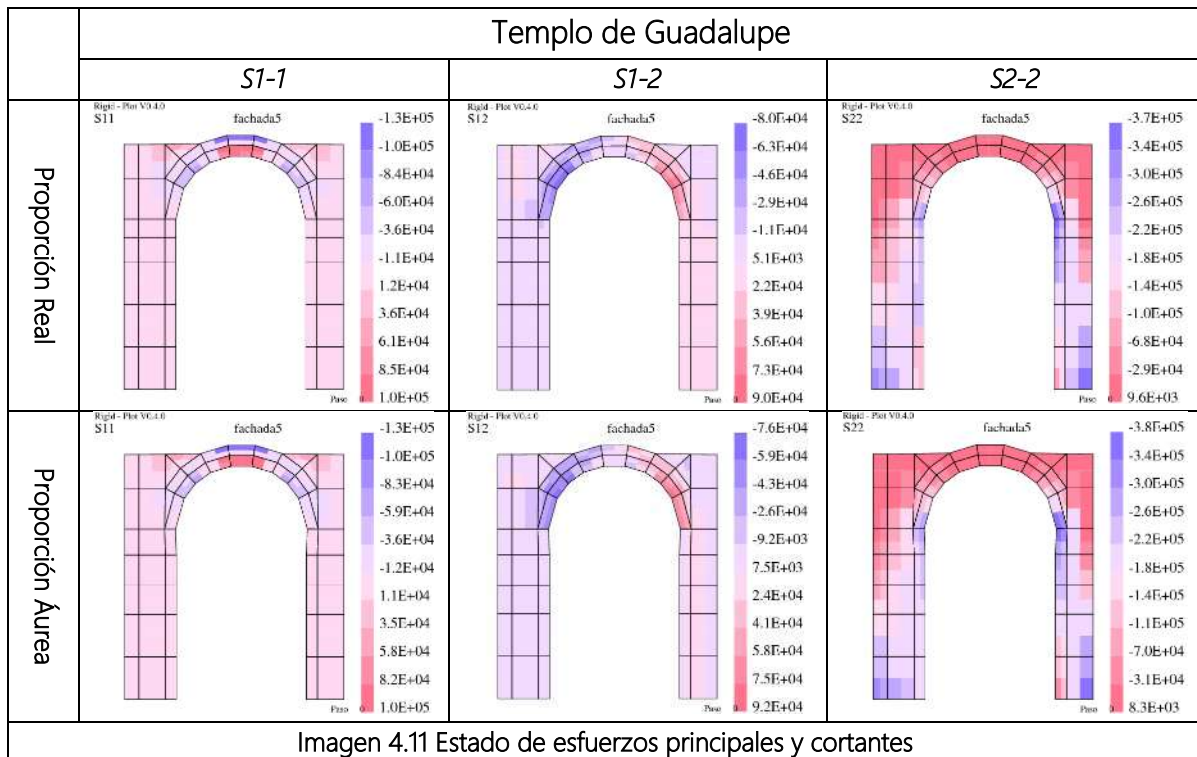
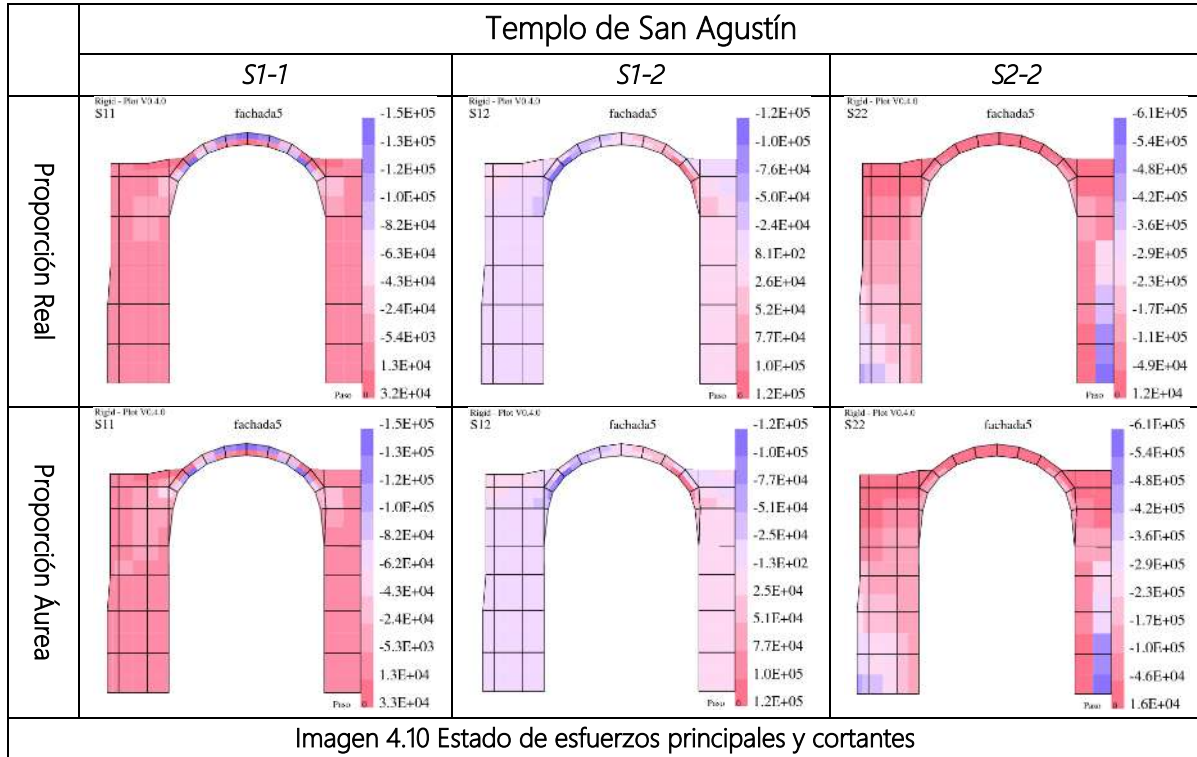
Imagen 4.1 Estado de esfuerzos principales y cortantes

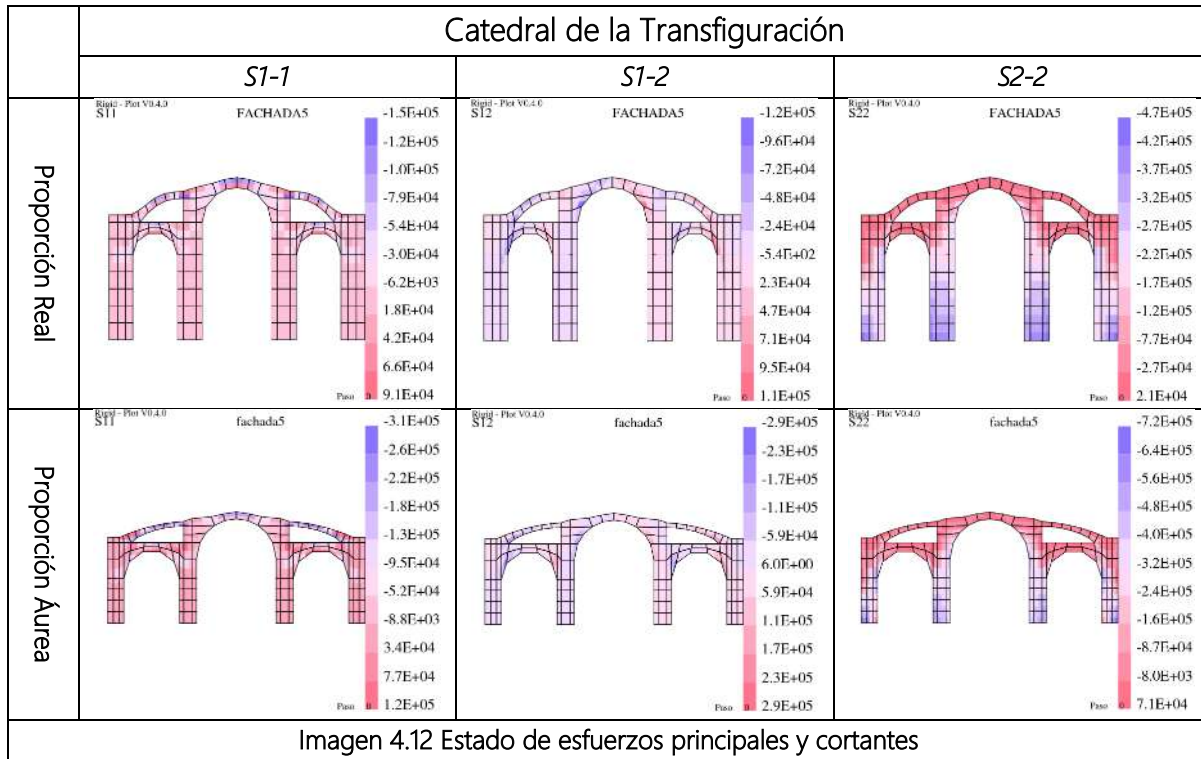












En la mayoría de los casos anteriores podemos ver que los esfuerzos S1-1 se localizan principalmente en el arco, registrándose los esfuerzos máximos de tensión en el intradós y los esfuerzos mayores de compresión en el extradós.

Para el esfuerzo de cortante los mayores esfuerzos se localizan en los arranques del arco, localizándose los esfuerzos de tensión en la parte izquierda y en la derecha los máximos esfuerzos debidos a compresión como se observa en las imágenes 4.0 a la 4.12.

En el esfuerzo debido a carga axial, los esfuerzos superiores de compresión están situados en la parte inferior de los muros y va decreciendo dicho esfuerzo al ir acercándose al arranque del arco donde se convierte en esfuerzo por tensión, el cual llega a su valor máximo en la parte superior del macroelemento, dicho patrón se sigue en la mayoría del conjunto estudiado.

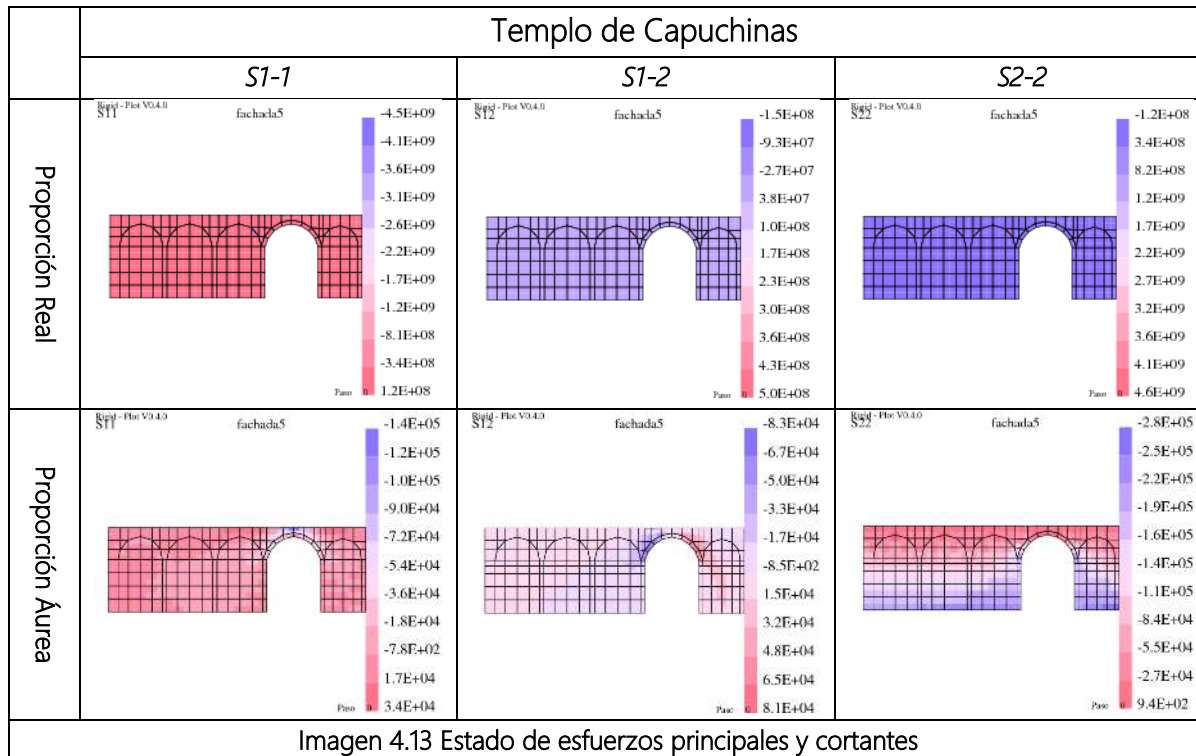
En el caso de Catedral queda claro que la modificación que se hizo siguiendo la proporción áurea no beneficio el comportamiento, ya que vemos que los esfuerzos que se presentan en los macroelementos que cuentan con la proporción de oro son aproximadamente el doble en los tres esfuerzos comparados.

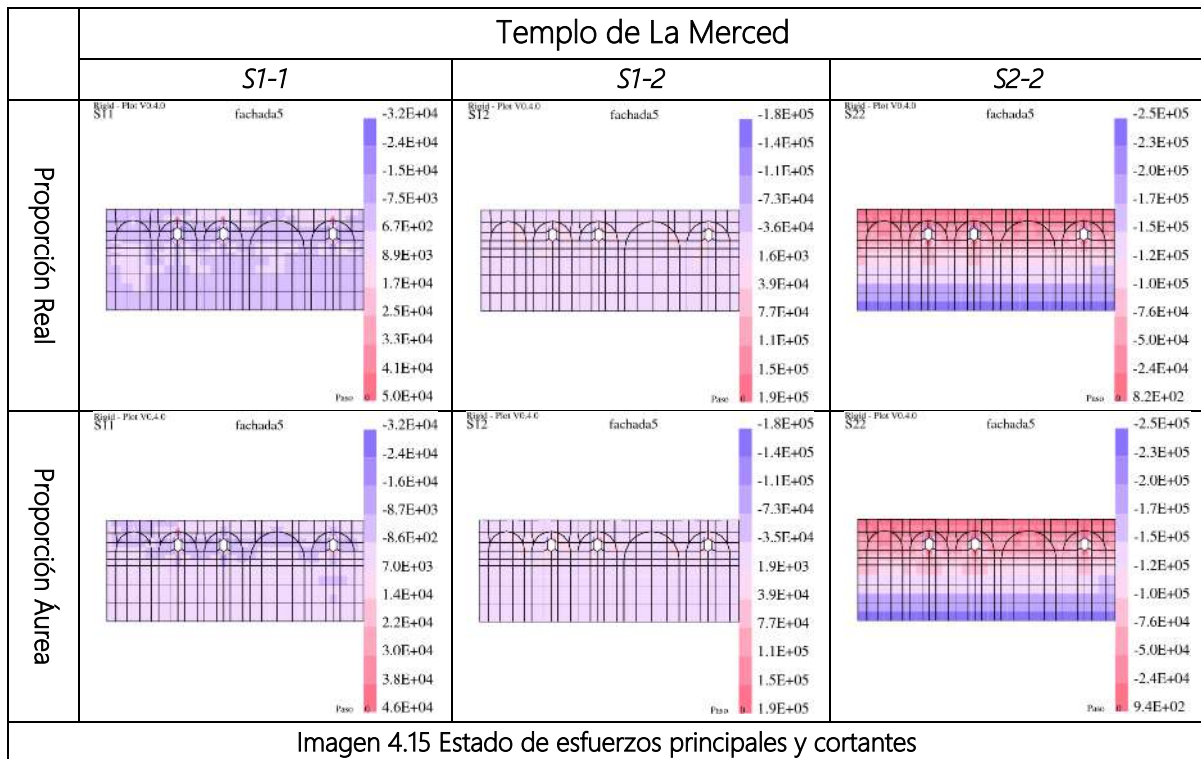
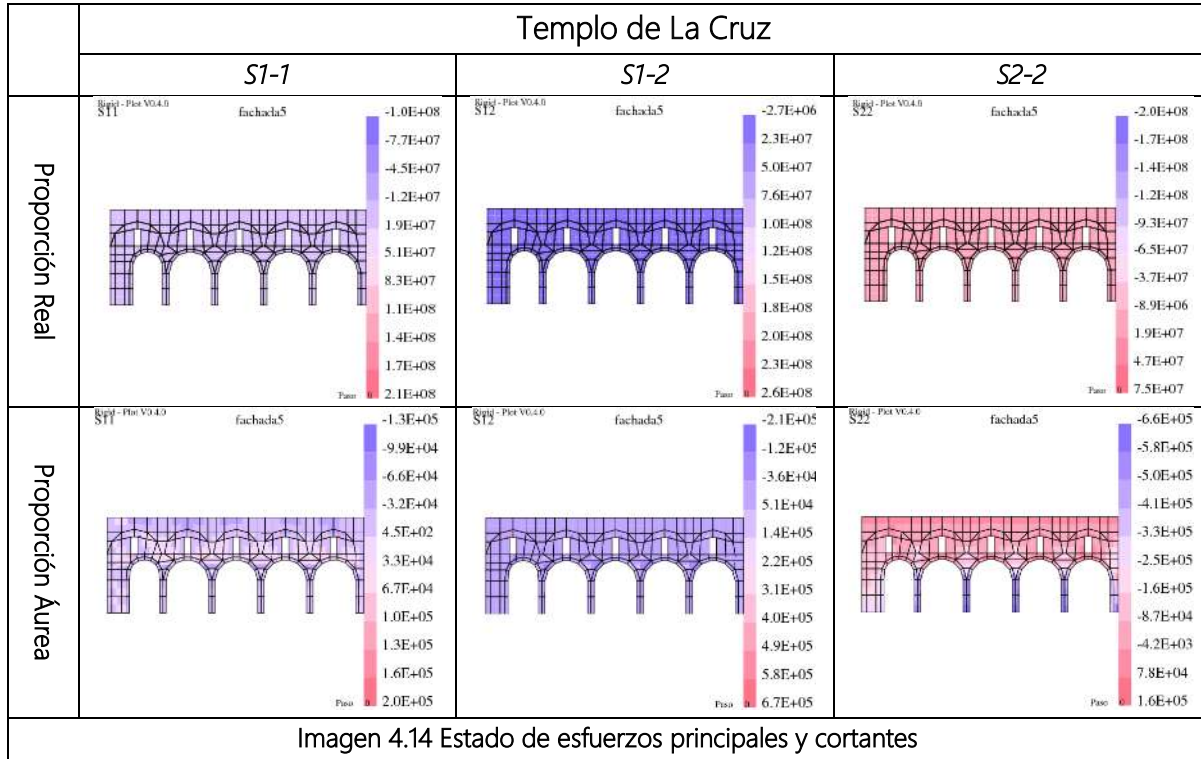
Al observar las figuras anteriores vemos que los trece macroelementos de las secciones transversales tienen un comportamiento similar, por ejemplo en las esfuerzos S1-1 se presentan en el intradós y extradós de la sección; en el esfuerzo cortante los mayores esfuerzos se localizan en los arranques del arco, y en esfuerzo principal horizontal los esfuerzos por compresión más elevados se encuentran en la parte inferior de los muros.

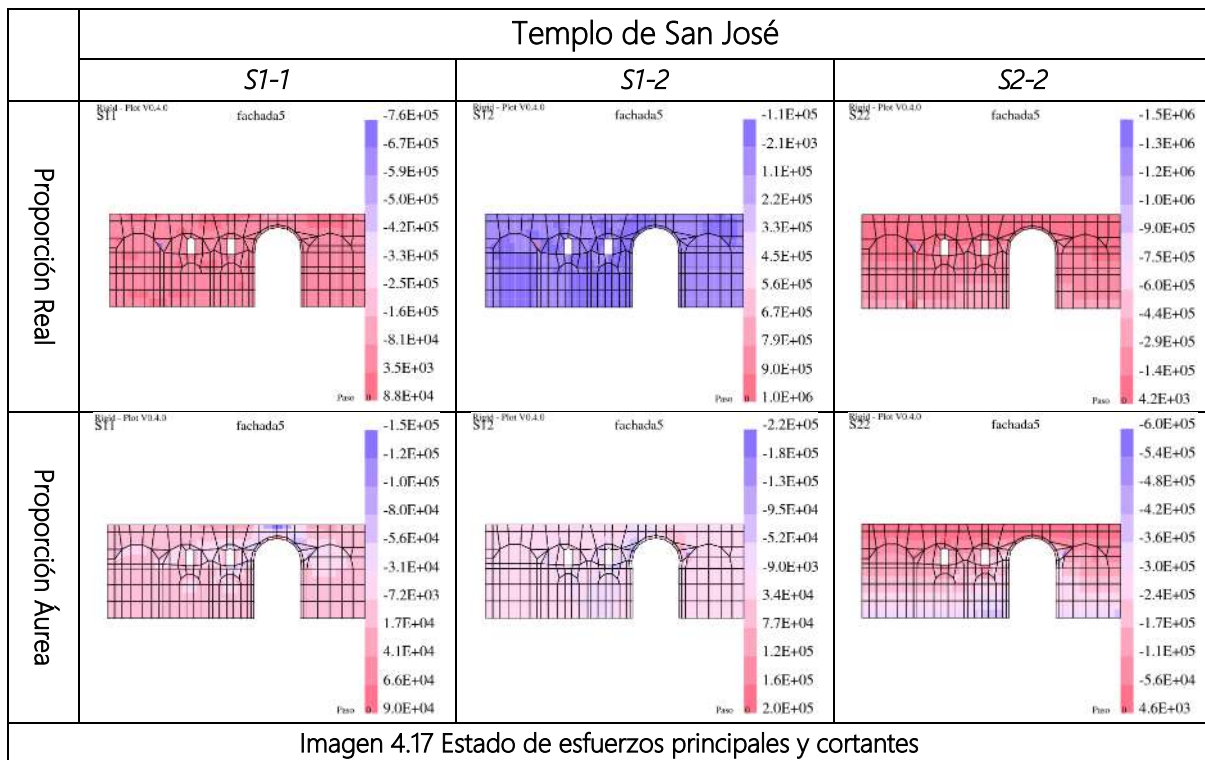
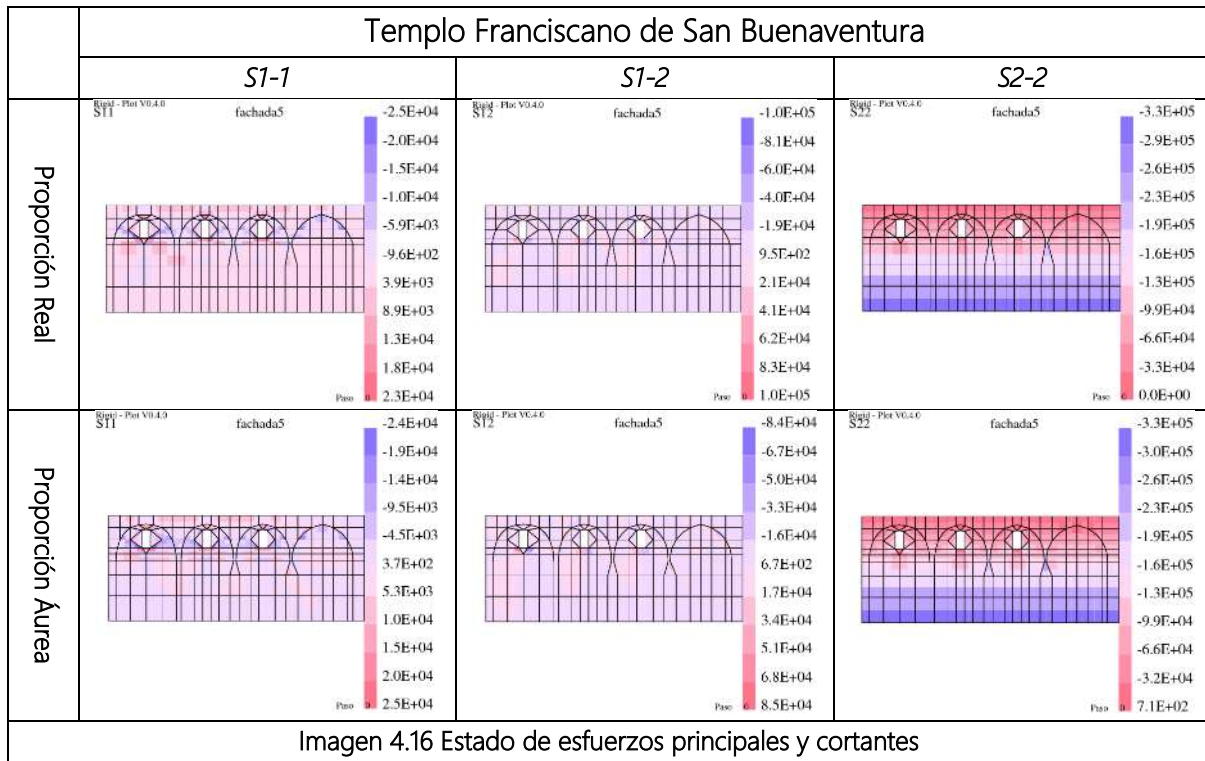
4.1.2 Macroelementos longitudinales

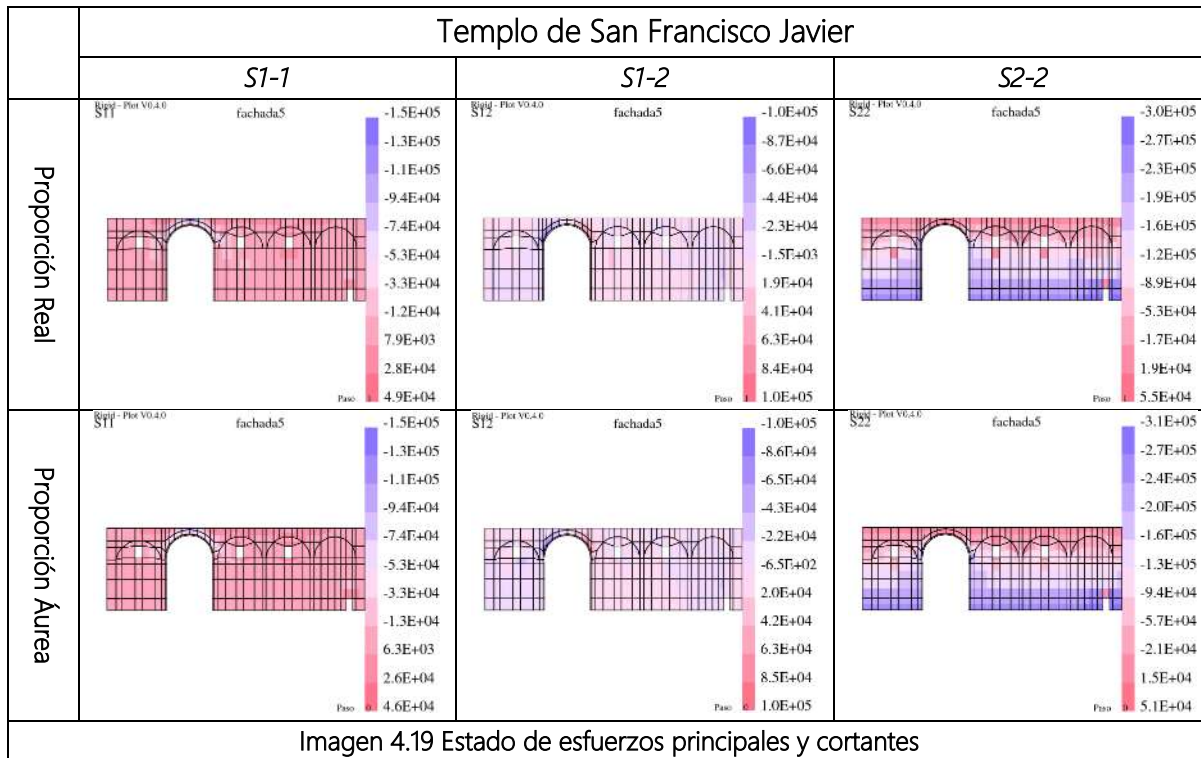
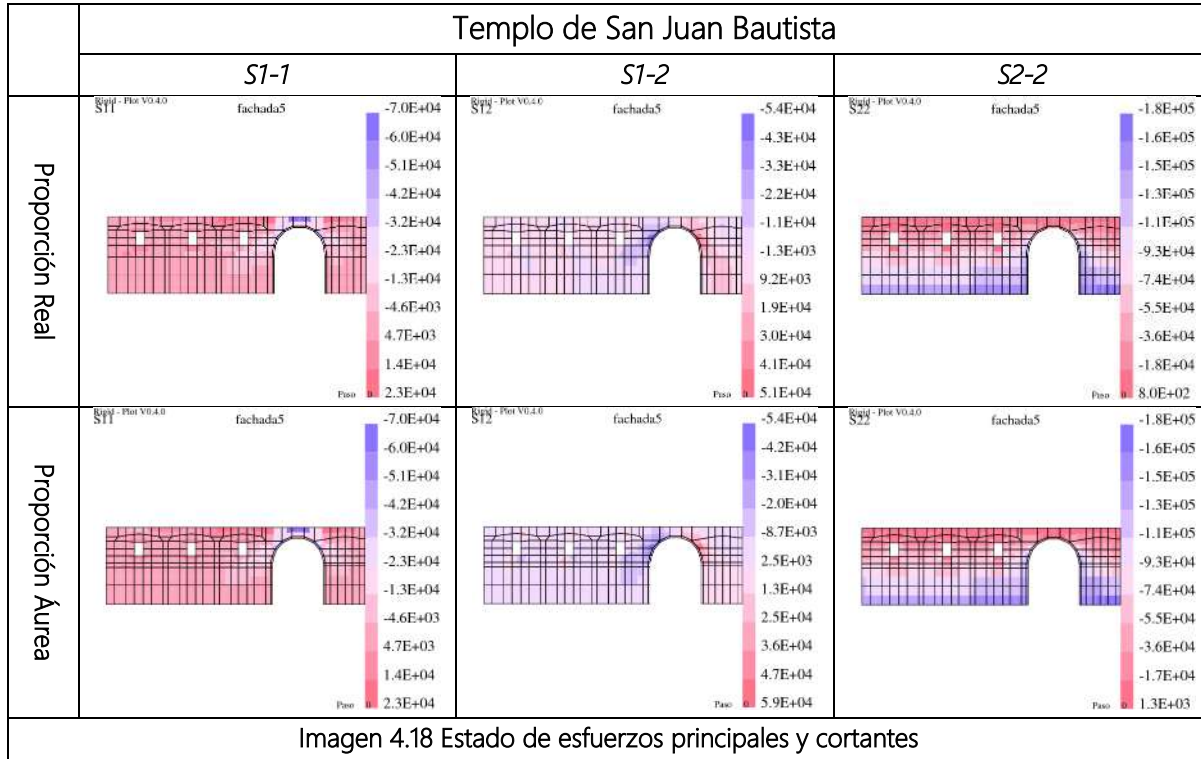
Al igual que en los macroelementos transversales, en las secciones longitudinales se realizará una comparación de los esfuerzos principales y cortantes de los macroelementos reales y los generados conteniendo la razón áurea.

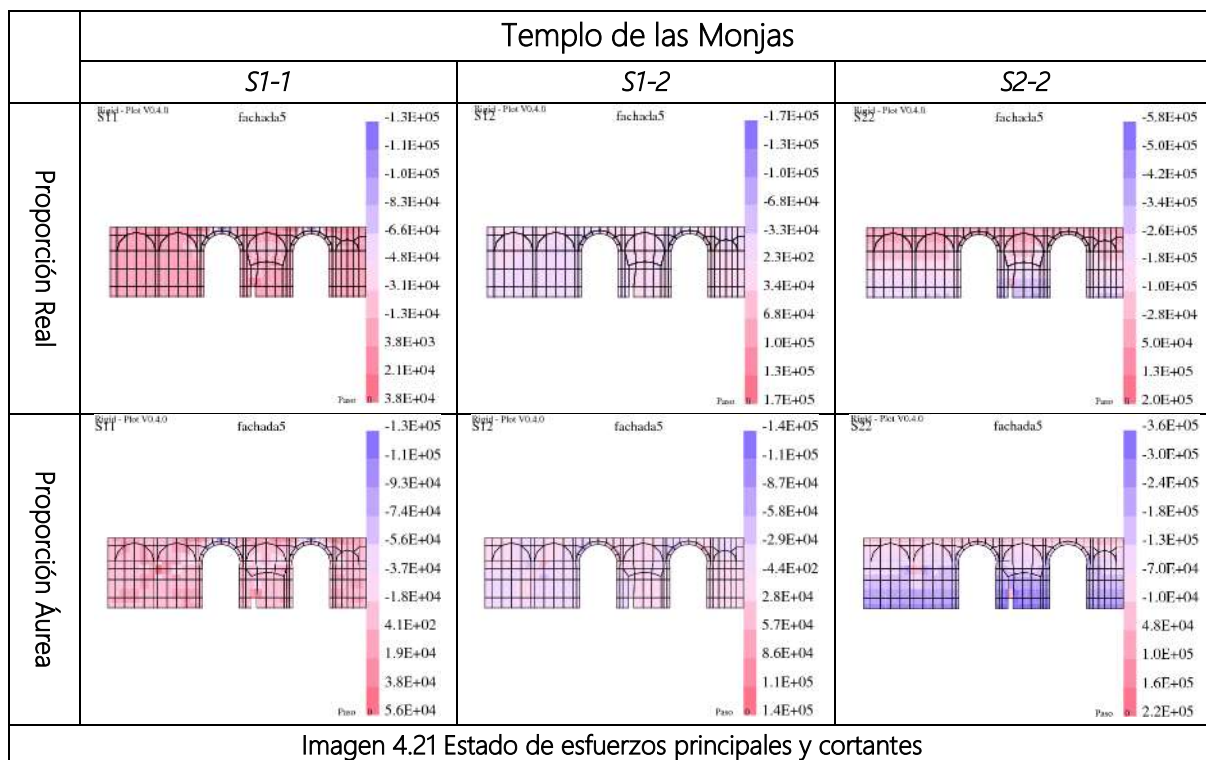
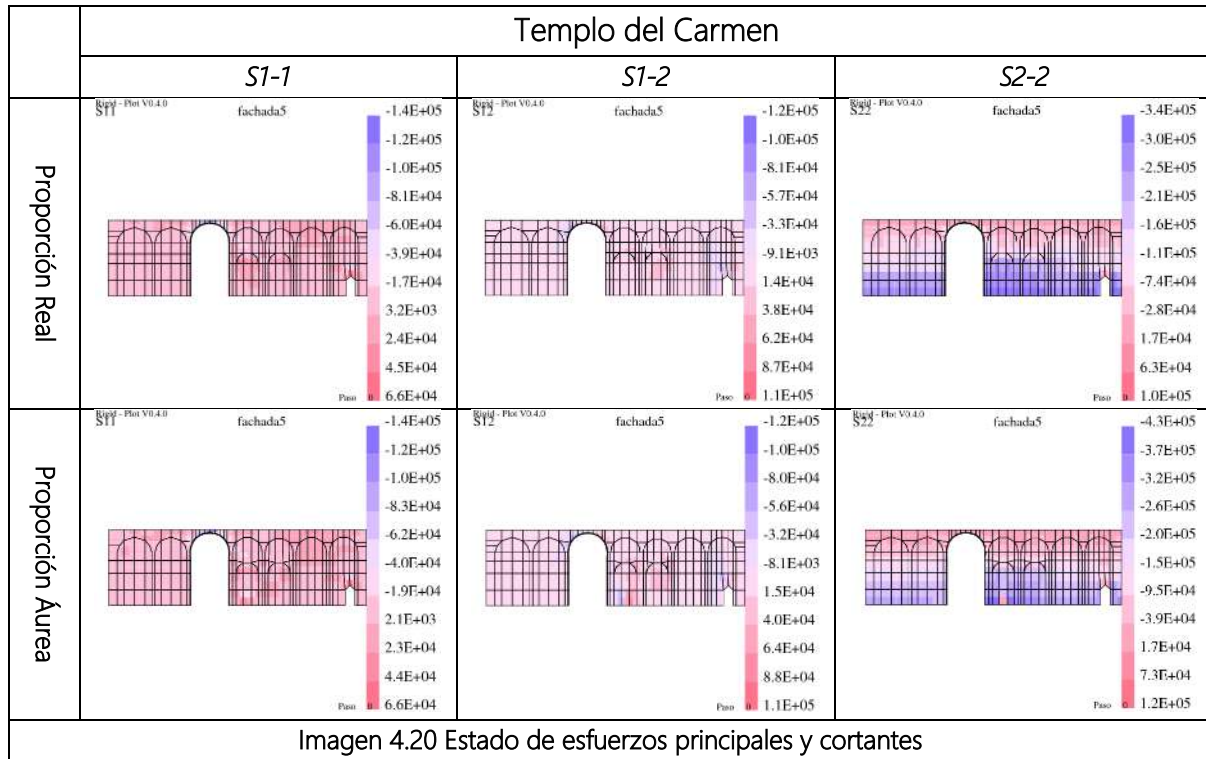
En las imágenes siguientes se mostrarán las trece edificaciones en estudio con sus tres respectivos esfuerzos correspondientes al macroelemento analizado bajo cargas gravitacionales.

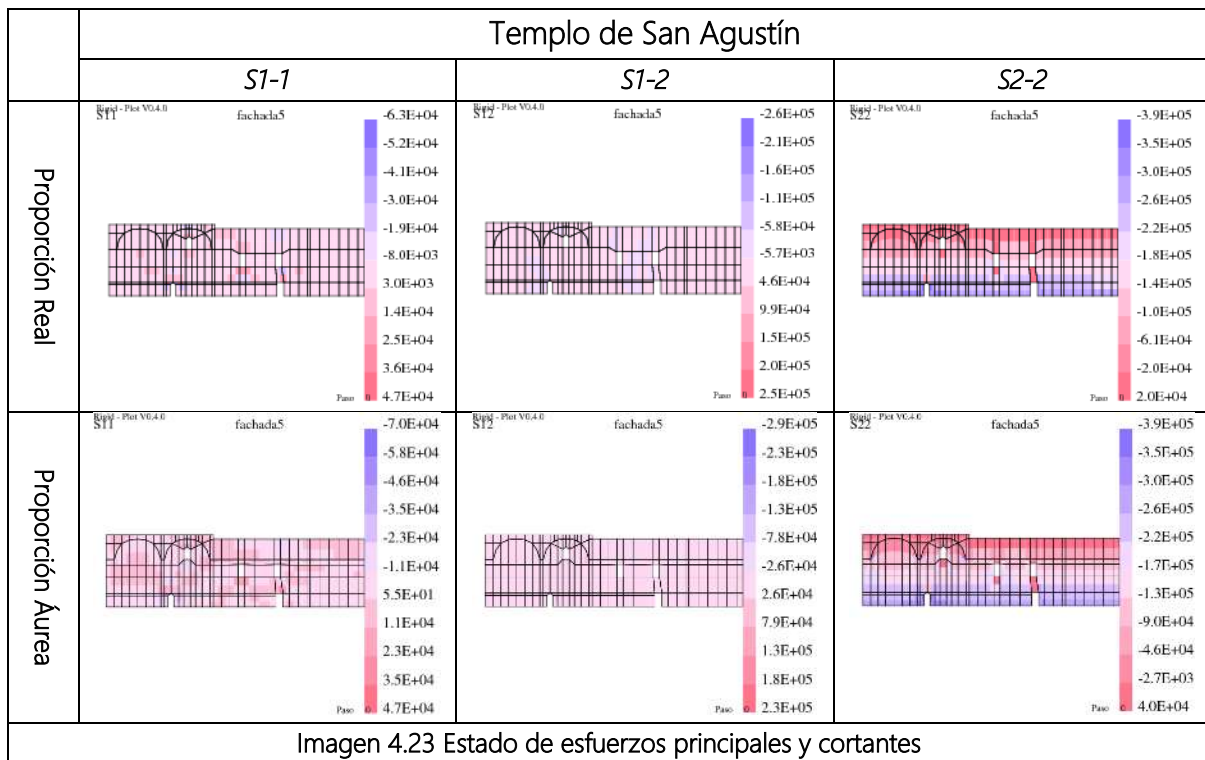
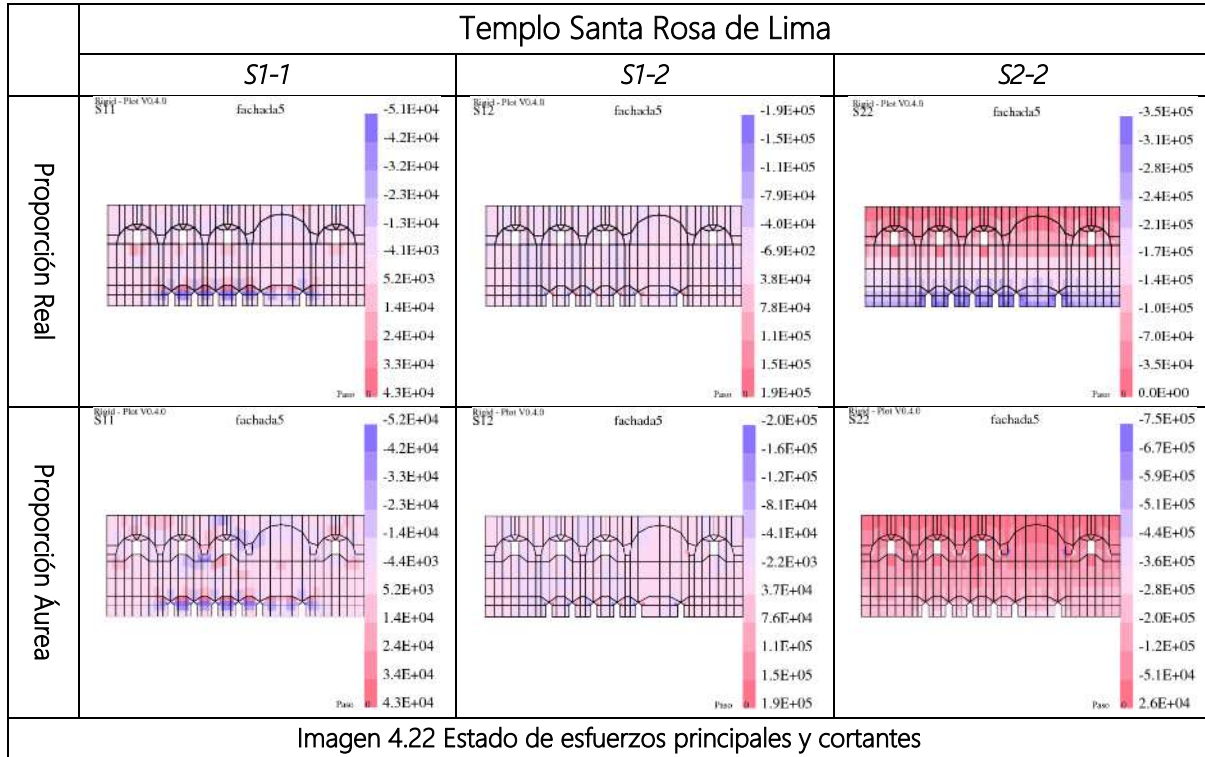


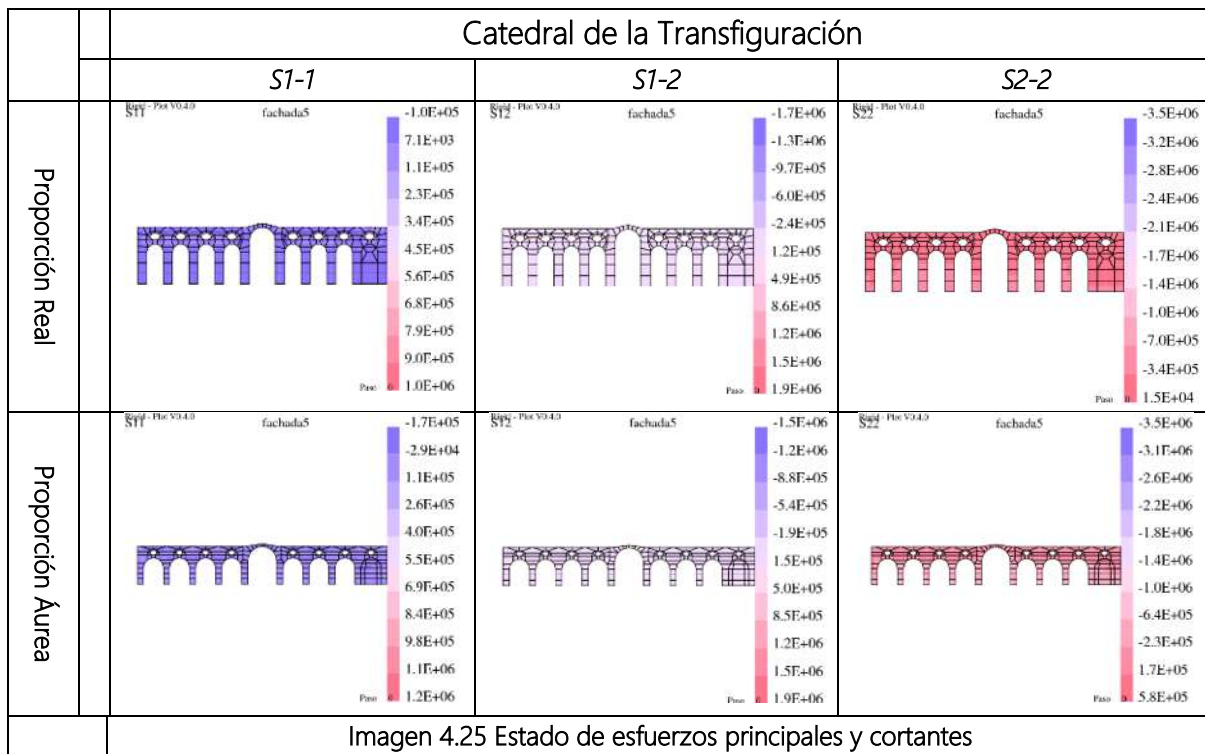
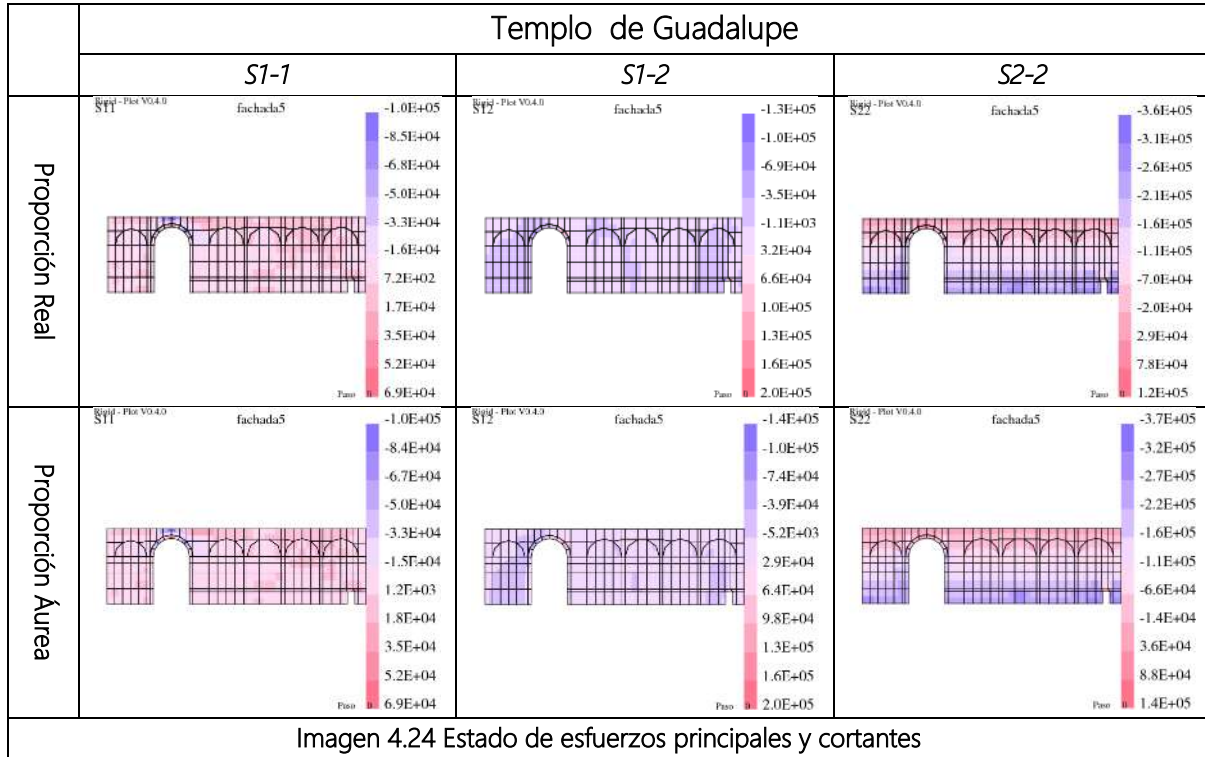












En las imágenes 4.13 a las 4.25 observamos que los esfuerzos son muy parecidos, con excepción del templo de capuchinas (imagen 4.13) y la cruz (imagen 4.14) ya que estos presentan esfuerzos demasiado altos y alejados de la realidad en los macroelementos reales, esto se puede deber a inconsistencias en el programa empleado para el análisis.

En los esfuerzos S2-2 que son los esfuerzos verticales vemos que la mayoría de los macroelementos presentan el máximo esfuerzo de compresión en la parte inferior de este, y dicho esfuerzo se va reduciendo conforme a la altura, hasta que llega a un punto en el cual ya no tenemos esfuerzo de compresión y se transforma en esfuerzo de tensión el cual se va incrementando hasta llegar a la parte superior del macroelemento donde alcanza su valor máximo.

Los macroelementos que cuentan con arcos formeros como es el caso del templo de San Juan Bautista (ver imagen 4.18), podemos ver que en este arco el esfuerzo horizontal que corresponde al S1-1, se ubican en el extradós e intradós los esfuerzos máximos a compresión y a tensión respectivamente. Al observar el esfuerzo S1-2 del templo mencionado vemos que en el arranque del arco formero se registran del lado izquierdo los mayores esfuerzos de compresión y en lado derecho los de tensión.

4.2 ANÁLISIS TEMPORAL NO LINEAL

En la presente investigación como ya se viene mencionando se emplearon once registros sísmicos con dos periodos de retorno cada uno, los cuales se aplicaron a conjunto de macroelementos en estudio y se obtuvieron estados de esfuerzos principales y cortante, así como daños por tensión, modos de vibrar, deformaciones, daño por cortante y compresión (en caso de que se tenga). Sin embargo solo se presentarán los índices de daño, la deformada dinámica y estado de esfuerzos principales y cortantes.

Es importante mencionar que se mostraran resultados de los dos sismos más relevantes para cada templo en estudio.

4.2.1 Periodo de Retorno de 475 años

Al someter los macroelementos a los registros sísmicos, nos dimos cuenta de que varios de ellos presentaban colapso por compresión, por lo que se decidió bajar la

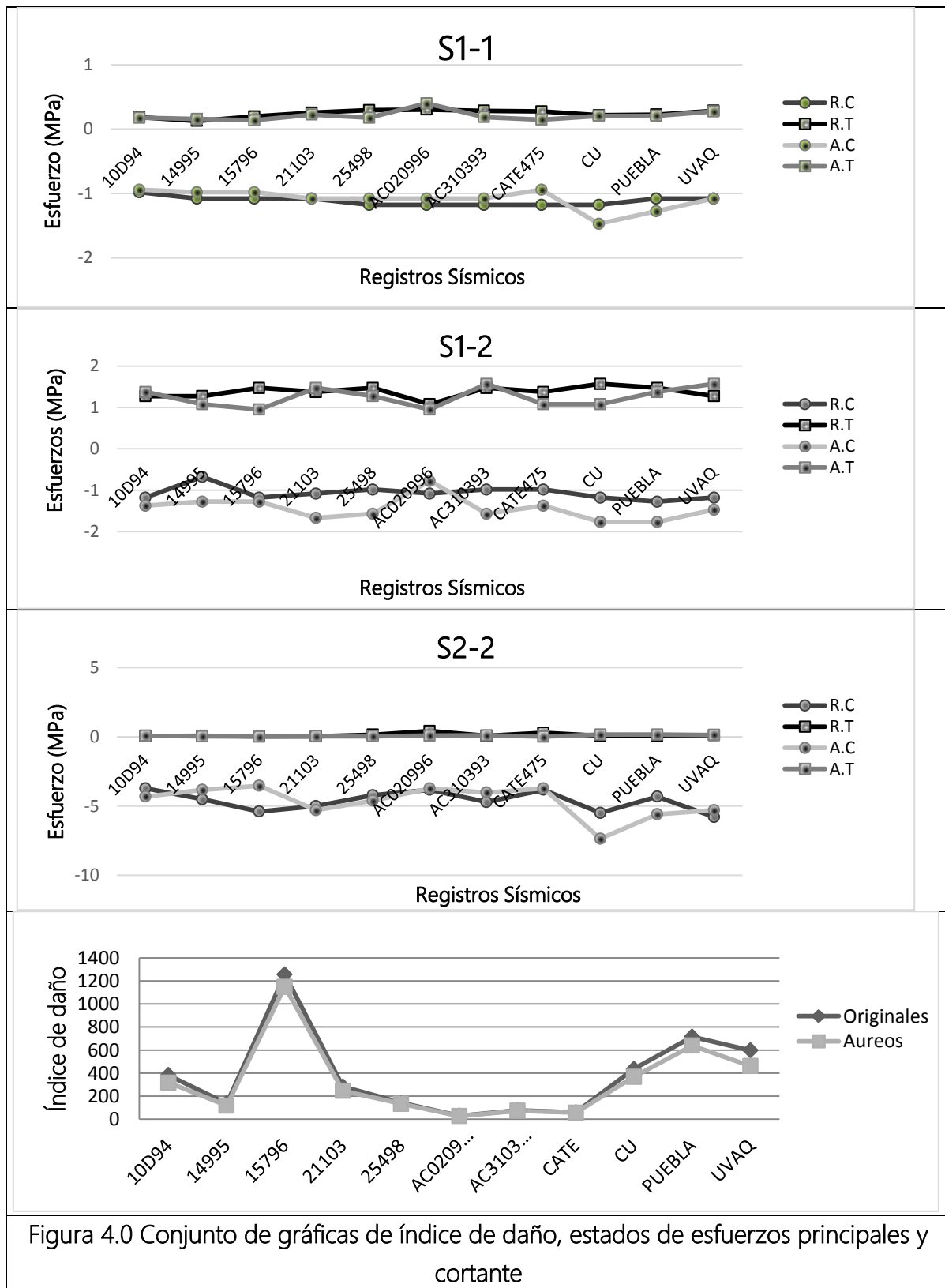
escala del registro sísmico, en otras palabras se disminuyó la aceleración máxima del terreno, esto se hizo tanto para los macroelementos reales como para los áureos, por ejemplo; si tomamos un macroelemento real cualquiera y al someterlo a cierto registro sísmico nos arroja colapso por compresión, entonces tenemos que bajar la escala del sismo hasta que llega un punto en el que corre todo el registro y supongamos que cuando llega a ese punto la aceleración máxima ya se redujo a un 60% de la original, por lo tanto al macroelementos áureo que género en base a la sección real que estamos analizando, le tenemos que disminuir el registro sísmico en la misma cantidad que se hizo con el original para tener punto de comparación en los resultados obtenidos

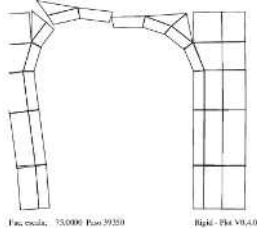
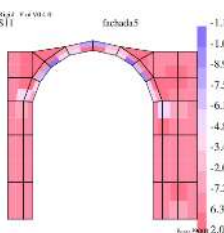
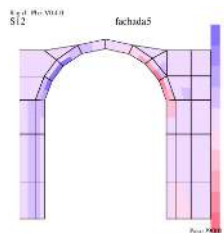
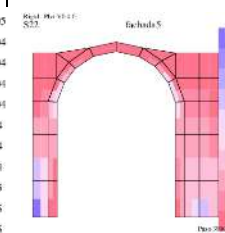
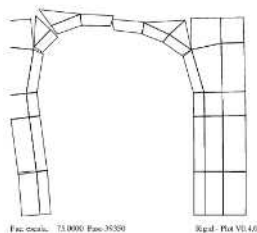
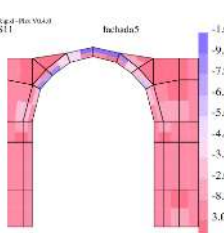
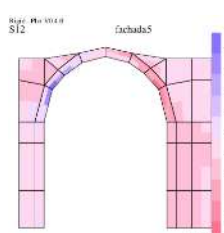
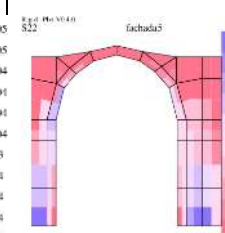
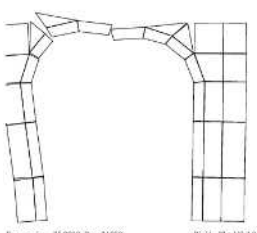
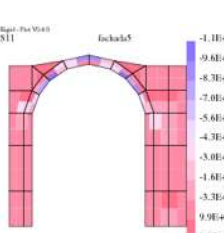
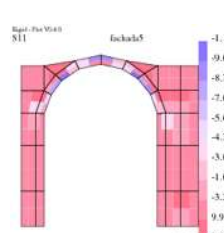
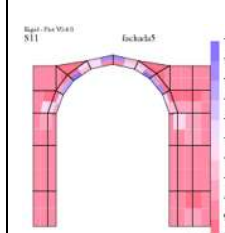
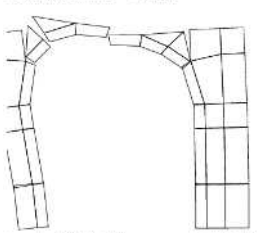
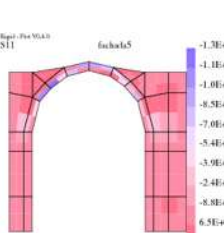
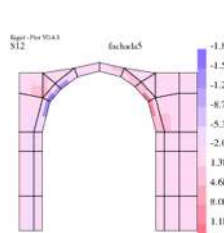
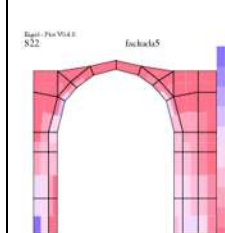
Cabe señalar que a los registros sísmicos con periodo de retorno de 475 años que se les tuvo que disminuir la aceleración máxima del terreno al aplicarlo a un macroelementos para evitar el colapso por compresión de este, ya no serán empleados en el macroelemento con el periodo de retorno de 975 años.

4.2.1.1 Macroelementos Transversales

A continuación se muestra cuatro gráficas que representan los estados de esfuerzos principales, cortantes y el índice de daño contienen la información de los once registros sísmicos aplicados en cada uno de los templos en estudios. En base a la gráfica del el índice de daño se eligieran los dos terremotos, estos serán los que afectaron en mayor medida a las estructuras y se mostrarán los resultados los resultados gráficamente.

I. Templo de Capuchinas



Templo de Capuchinas						
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2	
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Escala: 75.0000 Paso 39200 Rigid-Plat V0.40	 Escala: 75.0000 Paso 2.0E+04	 Escala: 75.0000 Paso 1.5E+05	 Escala: 75.0000 Paso 1.0E+05	
		I.D = 1255.27				
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Escala: 75.0000 Paso 39200 Rigid-Plat V0.40	 Escala: 75.0000 Paso 1.4E+04	 Escala: 75.0000 Paso 9.7E+04	 Escala: 75.0000 Paso 1.0E+05	
		I.D = 1149.28				
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Escala: 75.0000 Paso 21000 Rigid-Plat V0.40	 Escala: 75.0000 Paso 2.3E+04	 Escala: 75.0000 Paso 2.3E+04	 Escala: 75.0000 Paso 2.3E+04	
		I.D = 715.61				
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Escala: 75.0000 Paso 21000 Rigid-Plat V0.40	 Escala: 75.0000 Paso 2.1E+04	 Escala: 75.0000 Paso 1.4E+05	 Escala: 75.0000 Paso 1.6E+04	
		I.D = 639.04				
Imagen 4.26 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes						

II. Templo de la Cruz

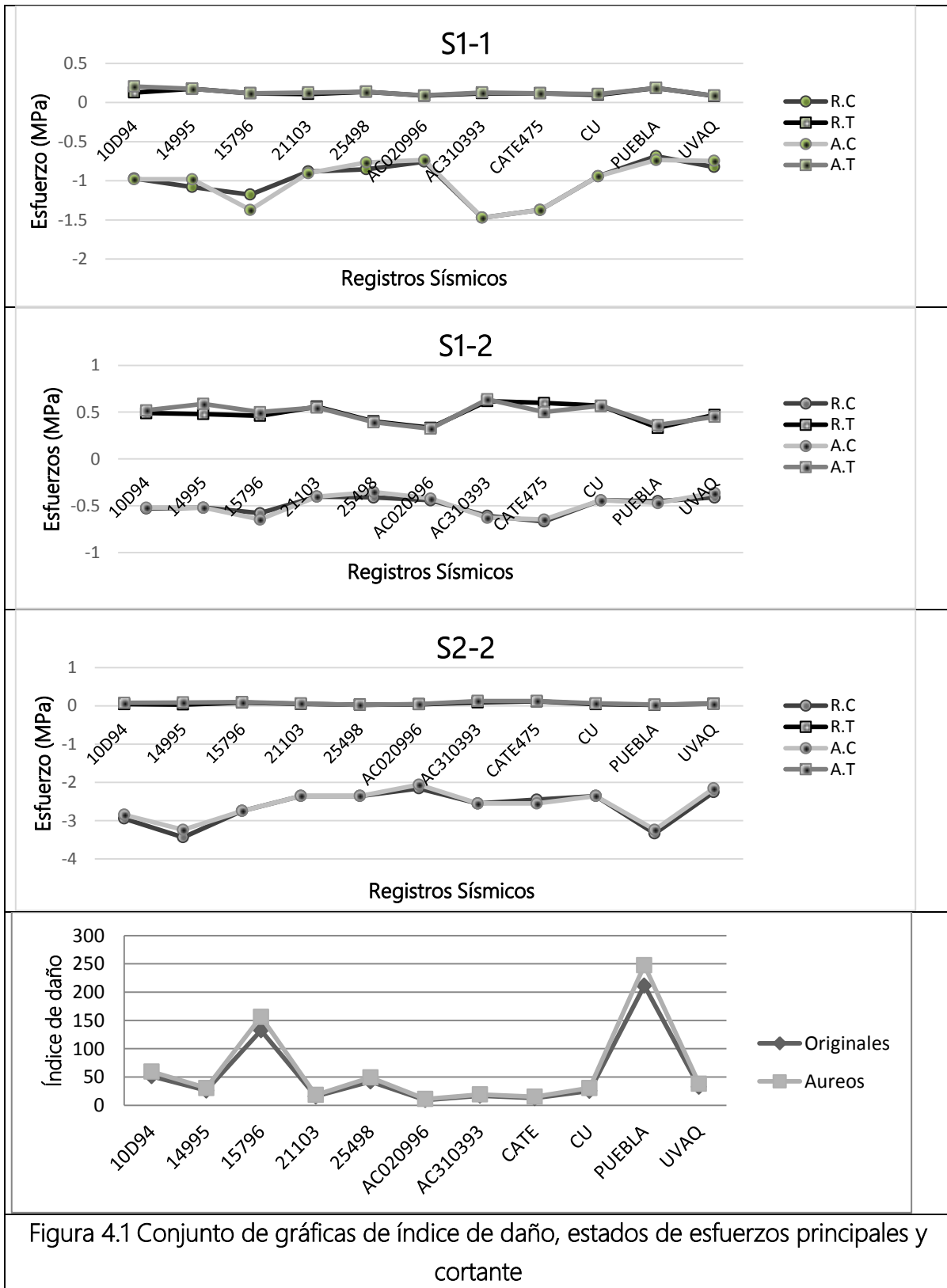
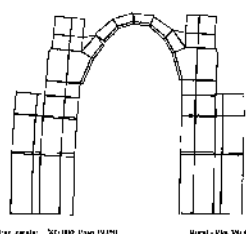
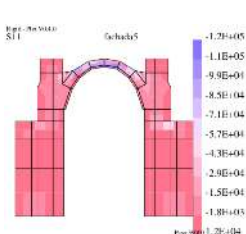
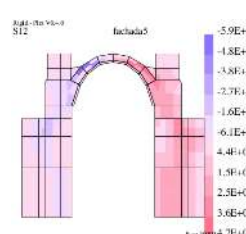
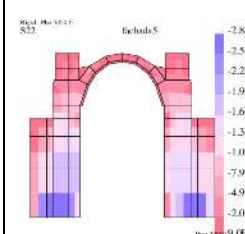
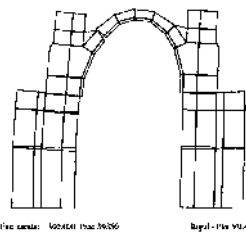
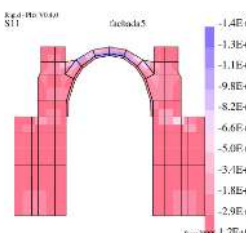
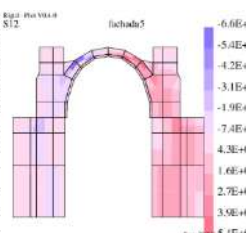
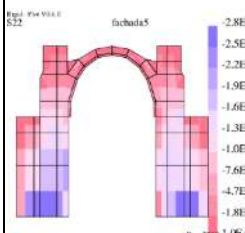
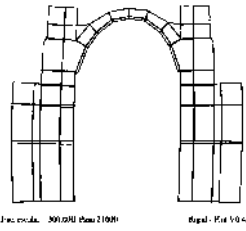
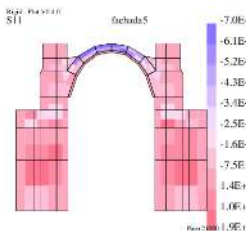
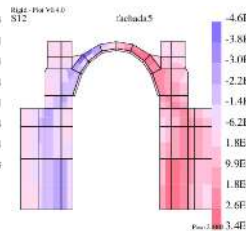
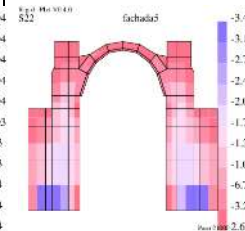
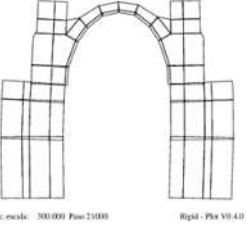
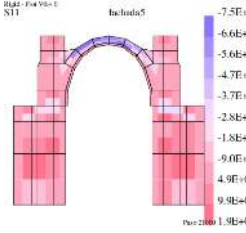
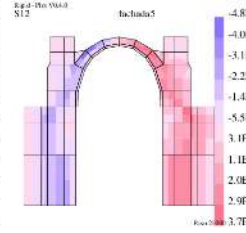
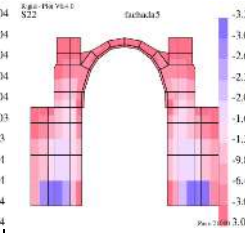


Figura 4.1 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

Templo de la Cruz					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 132.45	Deformada Dinámica fachada5 	Deformada Dinámica fachada5 	Deformada Dinámica fachada5 
	Proporción Área	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 156.31	Deformada Dinámica fachada5 	Deformada Dinámica fachada5 	Deformada Dinámica fachada5 
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 211.39	Deformada Dinámica fachada5 	Deformada Dinámica fachada5 	Deformada Dinámica fachada5 
	Proporción Área	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 247.55	Deformada Dinámica fachada5 	Deformada Dinámica fachada5 	Deformada Dinámica fachada5 
Imagen 4.27 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

III. Templo de la Merced

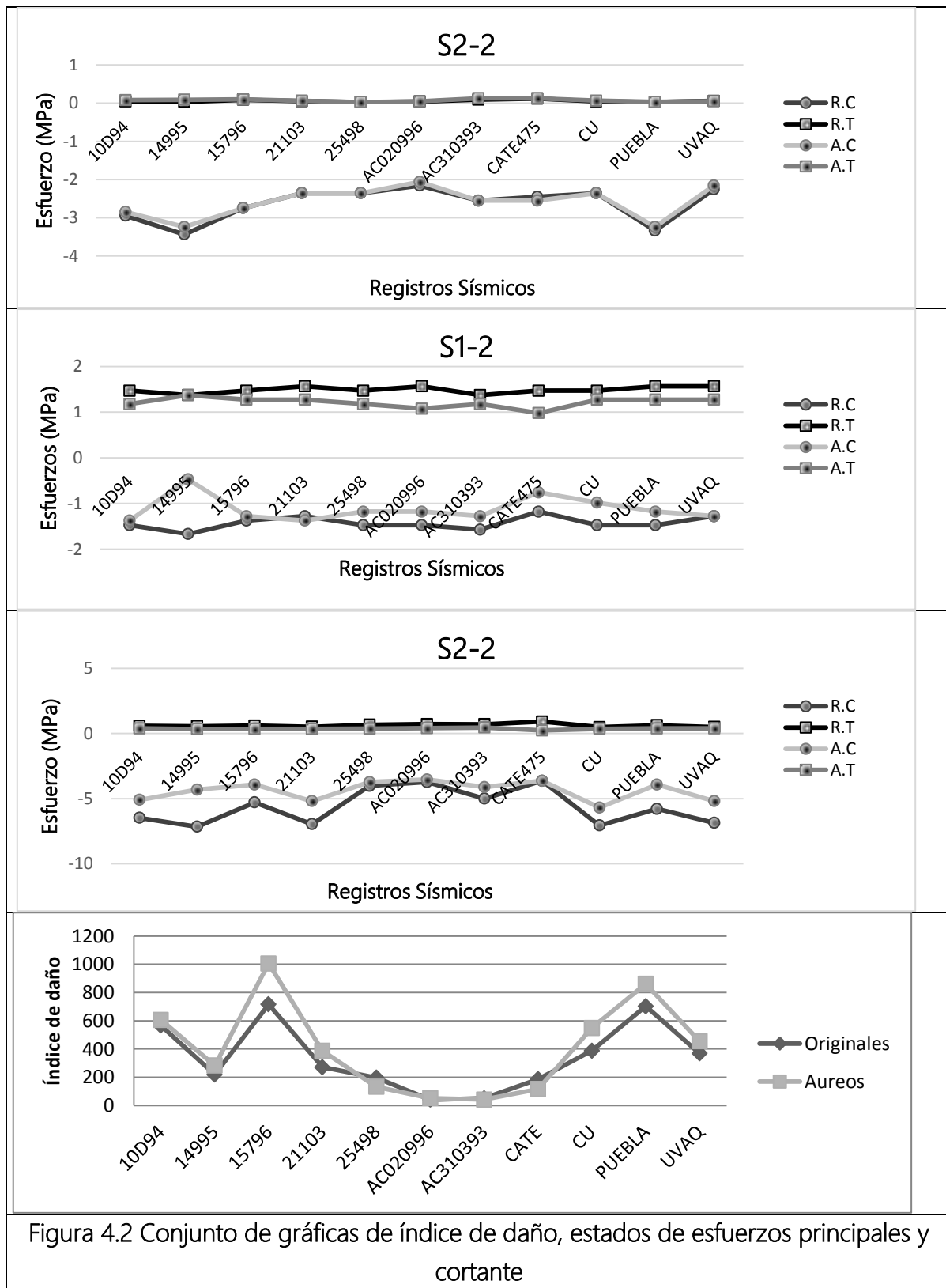
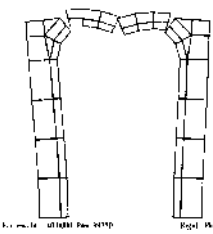
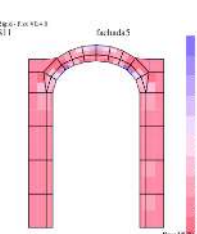
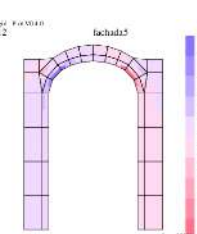
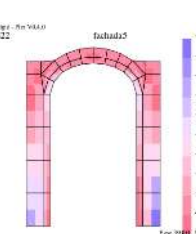
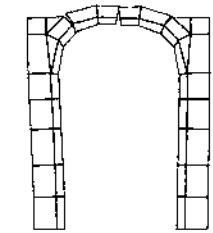
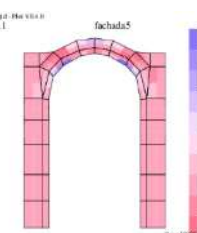
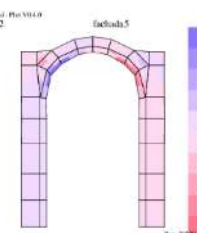
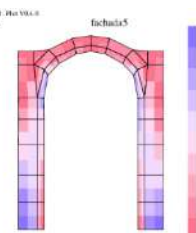
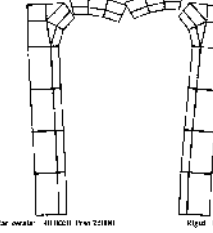
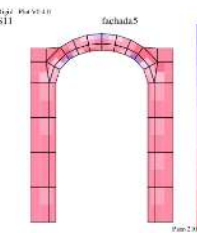
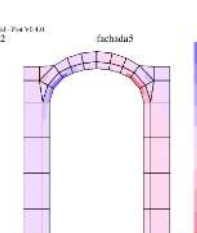
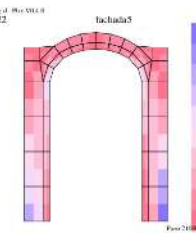
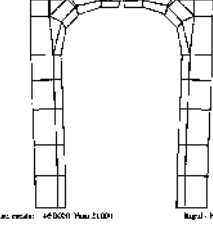
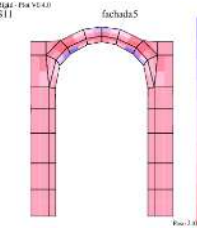
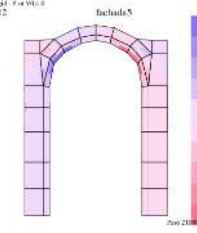
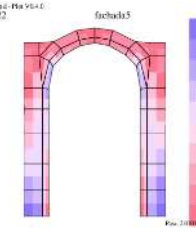
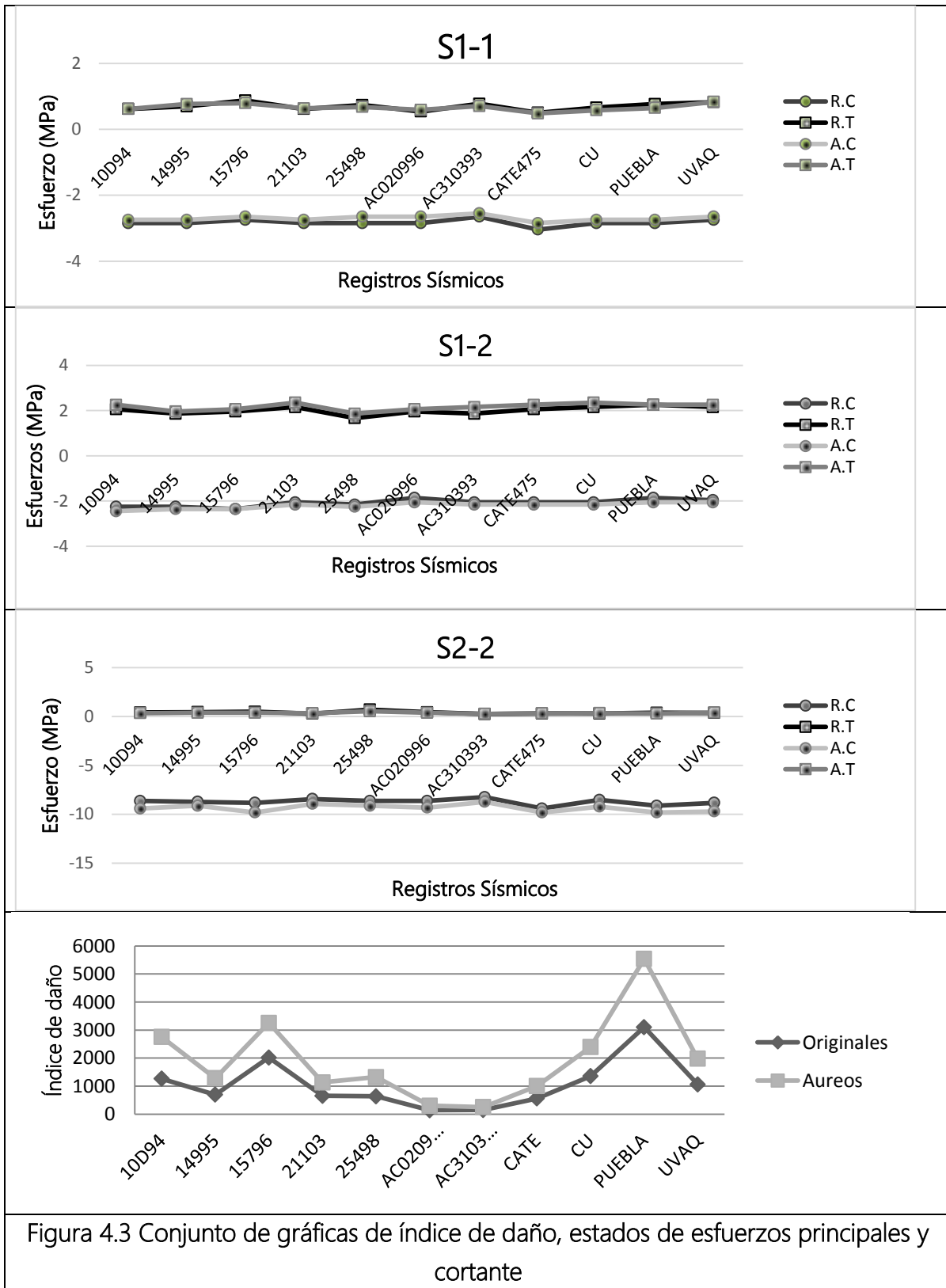


Figura 4.2 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

Templo de la Merced					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 716.18	Rigid. Fac VELA S11 fachada5 	Rigid. Fac VELA S12 fachada5 	Rigid. Fac VELA S22 fachada5 
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 1005.11	Rigid. Fac VELA S11 fachada5 	Rigid. Fac VELA S12 fachada5 	Rigid. Fac VELA S22 fachada5 
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 702.38	Rigid. Fac VELA S11 fachada5 	Rigid. Fac VELA S12 fachada5 	Rigid. Fac VELA S22 fachada5 
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 861.53	Rigid. Fac VELA S11 fachada5 	Rigid. Fac VELA S12 fachada5 	Rigid. Fac VELA S22 fachada5 
Imagen 4.28 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

IV. Templo de Franciscano de Buenaventura



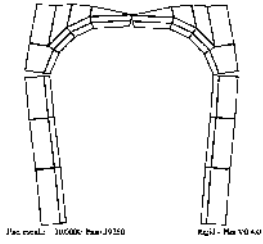
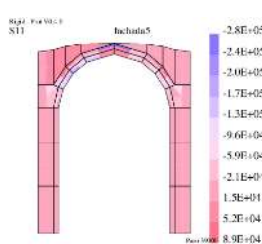
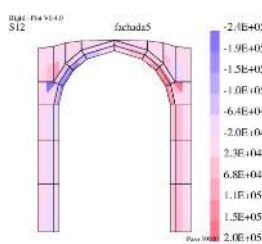
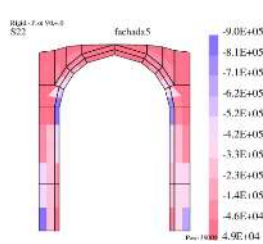
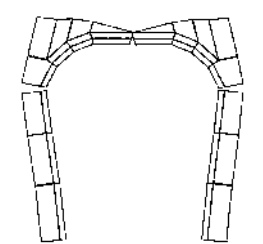
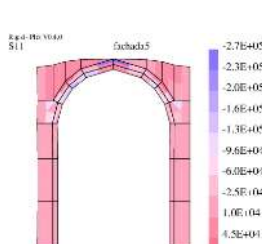
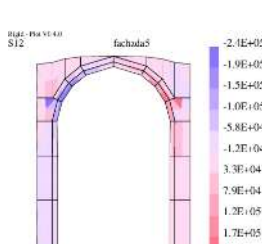
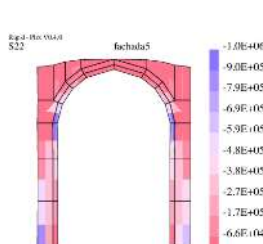
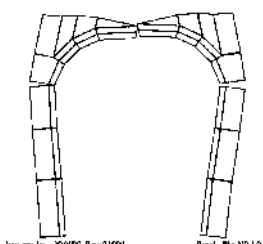
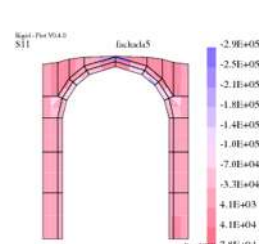
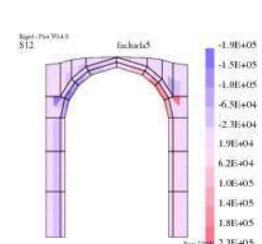
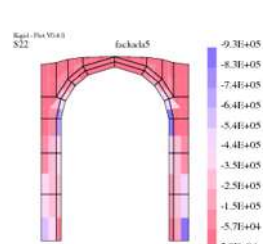
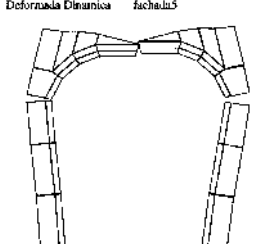
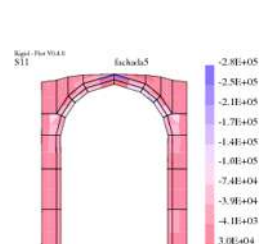
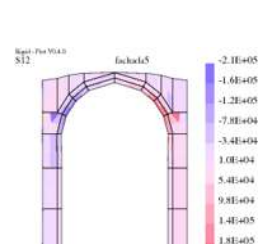
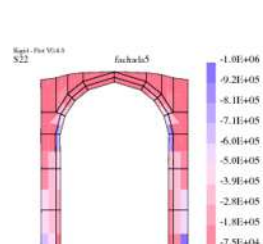
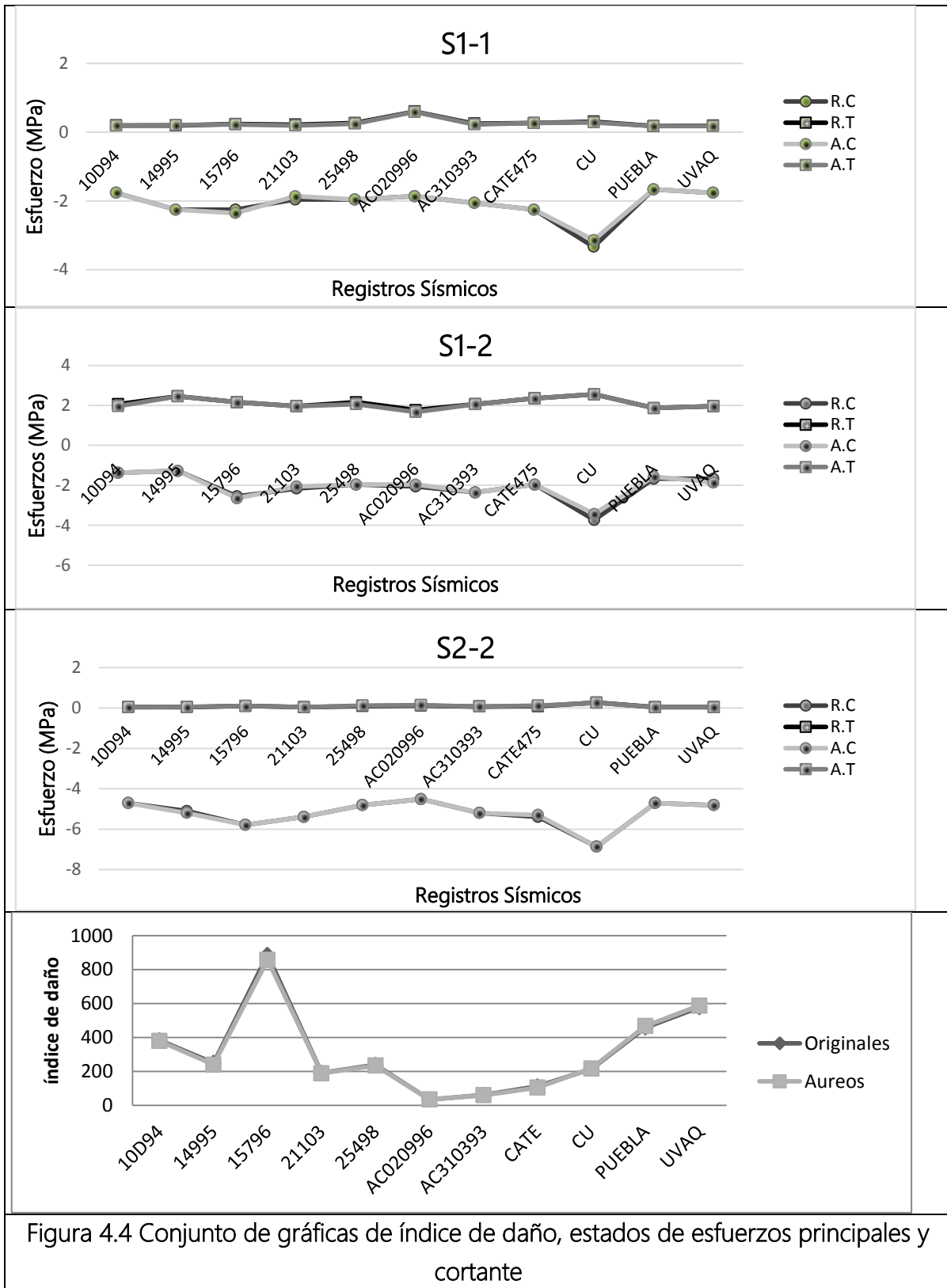
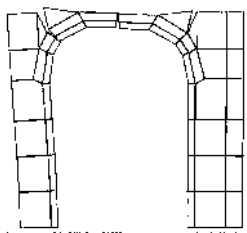
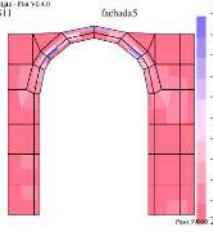
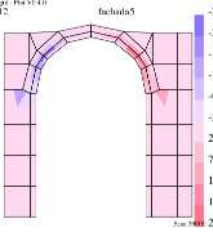
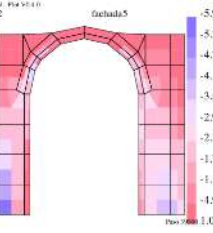
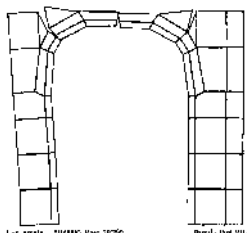
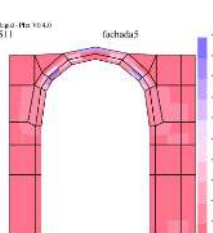
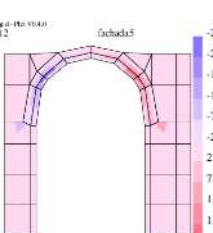
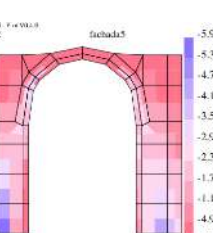
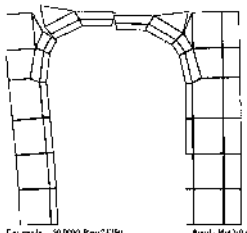
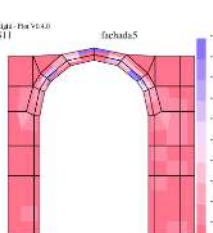
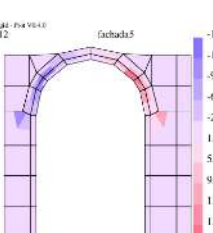
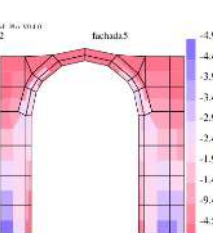
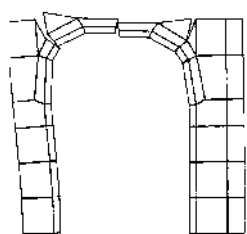
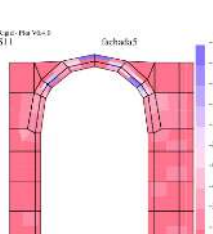
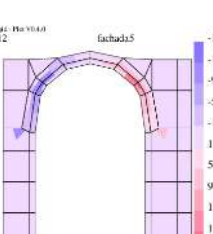
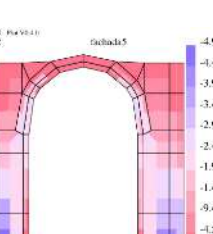
Templo de San Buenaventura					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 2020.04	Rigid - Pos V0.40 S11 fachada5 	Rigid - Pos V0.40 S12 fachada5 	Rigid - Pos V0.40 S22 fachada5 
		Deformada Dinámica fachada5  I.D = 3257.25	Rigid - Pos V0.40 S11 fachada5 	Rigid - Pos V0.40 S12 fachada5 	Rigid - Pos V0.40 S22 fachada5 
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 3103.20	Rigid - Pos V0.40 S11 fachada5 	Rigid - Pos V0.40 S12 fachada5 	Rigid - Pos V0.40 S22 fachada5 
		Deformada Dinámica fachada5  I.D = 5539.27	Rigid - Pos V0.40 S11 fachada5 	Rigid - Pos V0.40 S12 fachada5 	Rigid - Pos V0.40 S22 fachada5 
Imagen 4.29 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

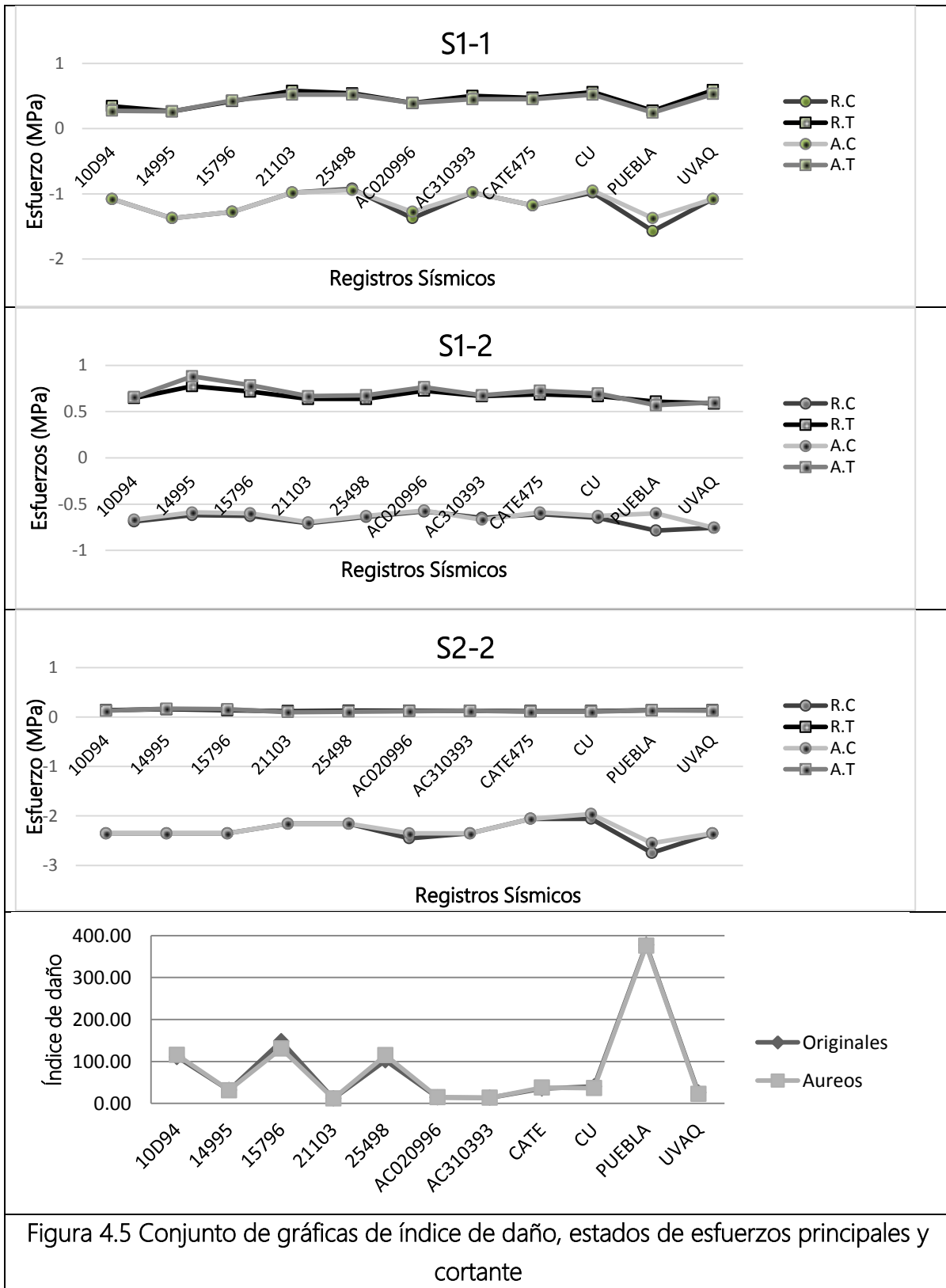
Imagen 4.29 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

V. Templo de San José



Templo de San José						
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2	
Registro sísmico 15796	Proportión Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 885.45				
	Proportión Áurea	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 857.37				
Registro sísmico UVAQ	Proportión Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 577.46				
	Proportión Áurea	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 587.28				
Imagen 4.30 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes						

VI. Templo de San Juan Bautista



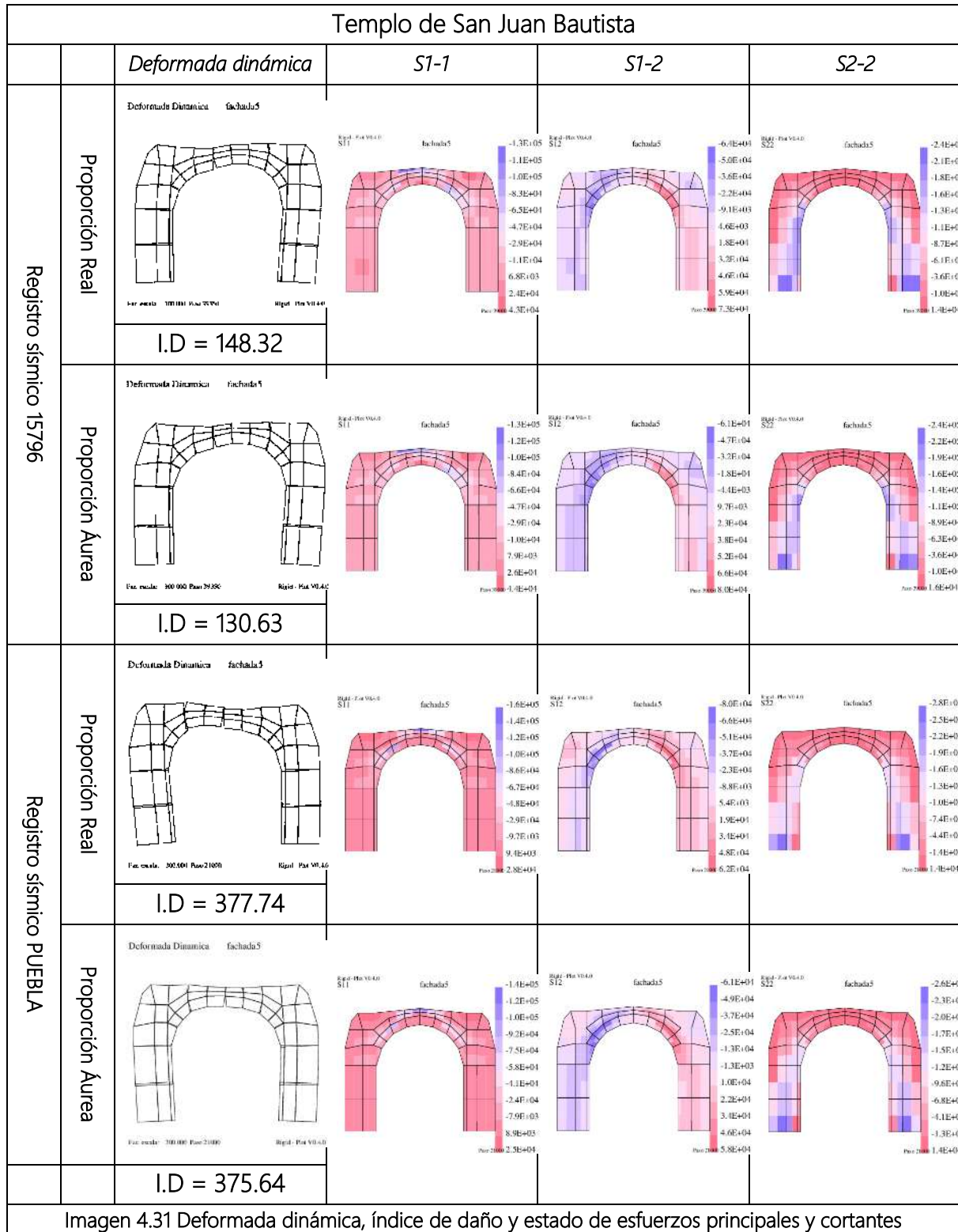


Imagen 4.31 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

VII. Templo de San Francisco Javier

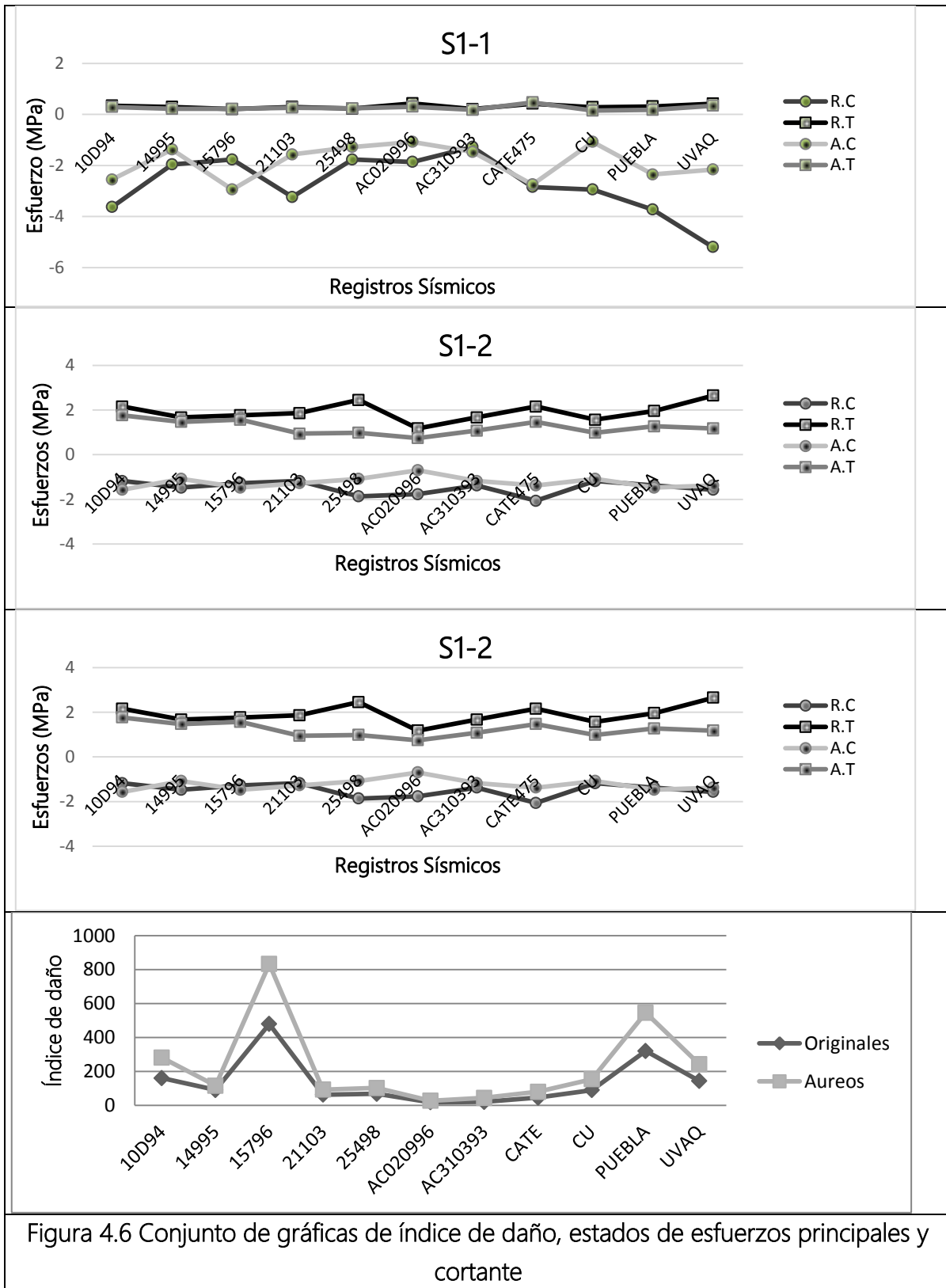
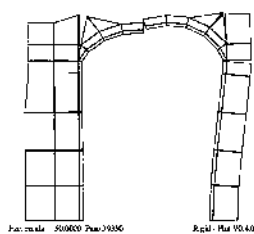
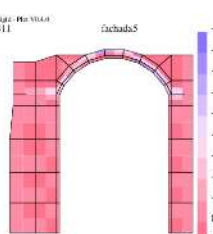
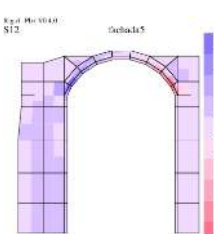
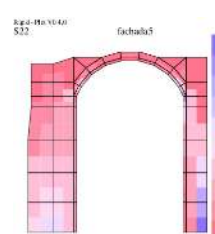
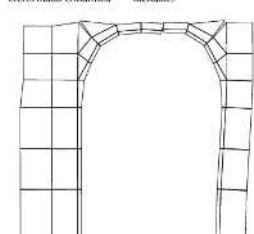
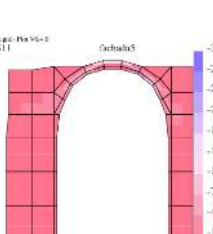
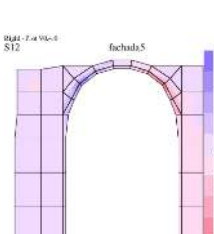
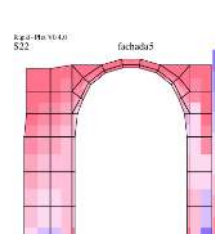
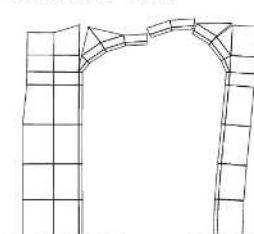
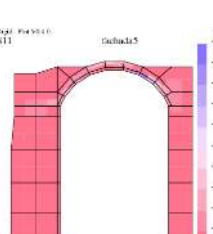
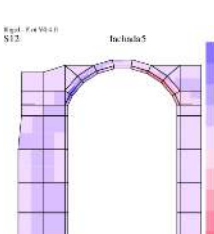
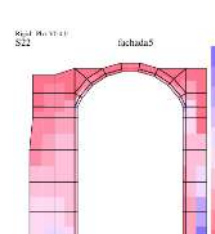
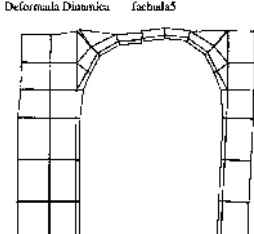
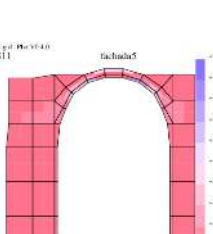
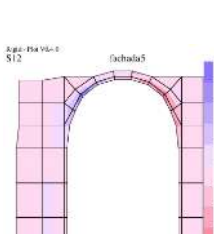
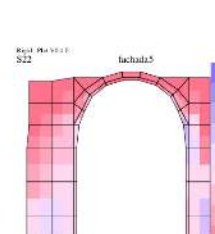
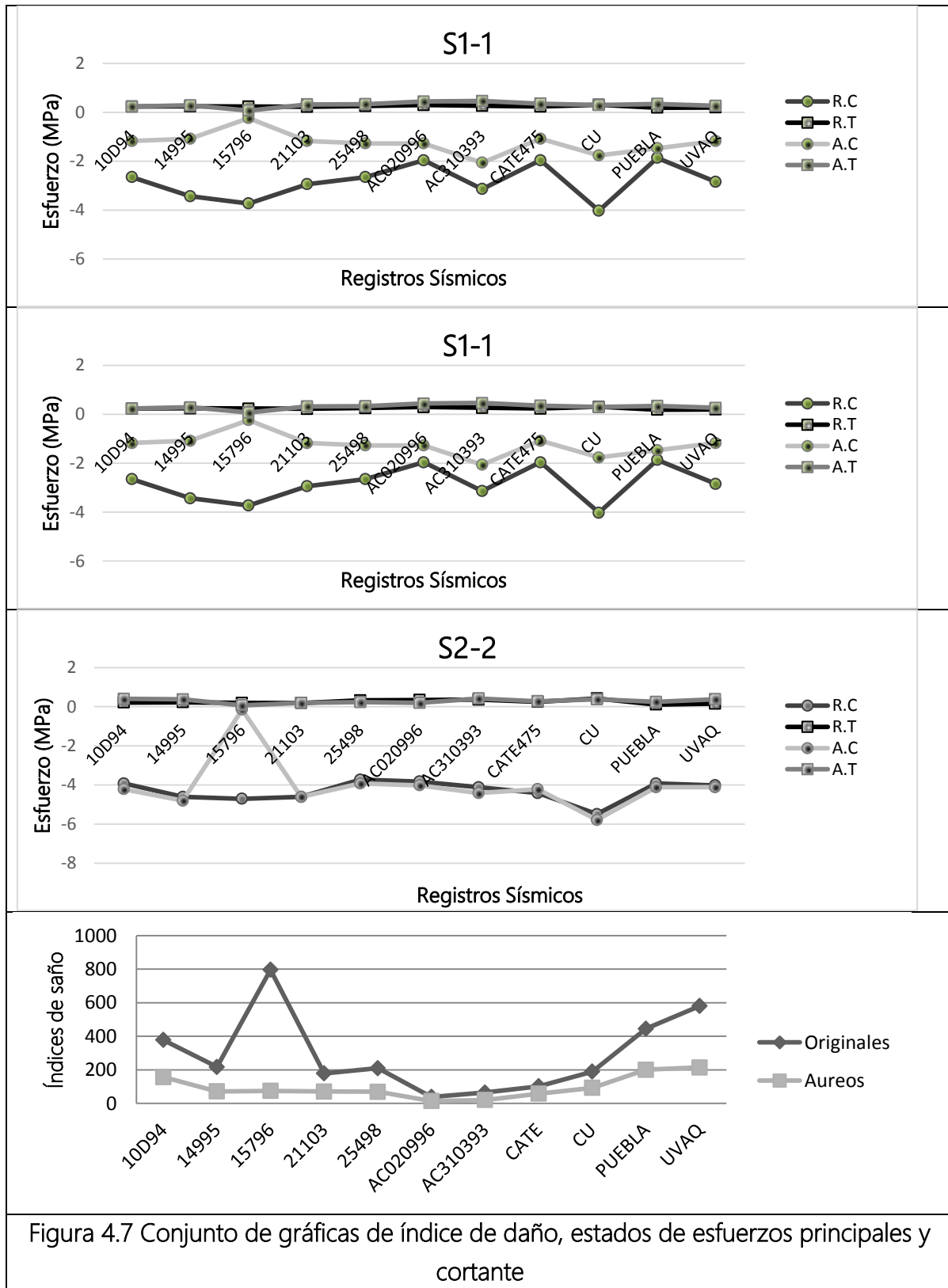


Figura 4.6 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

Templo de San Francisco Javier					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Esc. escala: 500000 Pico 36360 Rigidez: 104.40	Rigidez: 104.40 S11 fachada5  Pico 2.0E+04	Rigidez: 104.40 S12 fachada5  Pico 1.8E+05	Rigidez: 104.40 S22 fachada5  Pico 2.6E+04
		I.D = 478.91			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Esc. escala: 500000 Pico 36700 Rigidez: 104.40	Rigidez: 104.40 S11 fachada5  Pico 2.2E+01	Rigidez: 104.40 S12 fachada5  Pico 1.6E+05	Rigidez: 104.40 S22 fachada5  Pico 1.5E+05
		I.D = 832.14			
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Esc. escala: 500000 Pico 21000 Rigidez: 104.40	Rigidez: 104.40 S11 fachada5  Pico 3.2E+01	Rigidez: 104.40 S12 fachada5  Pico 2.0E+05	Rigidez: 104.40 S22 fachada5  Pico 2.7E+04
		I.D = 319.45			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Esc. escala: 500000 Pico 21000 Rigidez: 104.40	Rigidez: 104.40 S11 fachada5  Pico 1.3E+01	Rigidez: 104.40 S12 fachada5  Pico 1.3E+05	Rigidez: 104.40 S22 fachada5  Pico 3.0E+03
		I.D = 545.06			
Imagen 4.32 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

VIII. Templo del Carmen



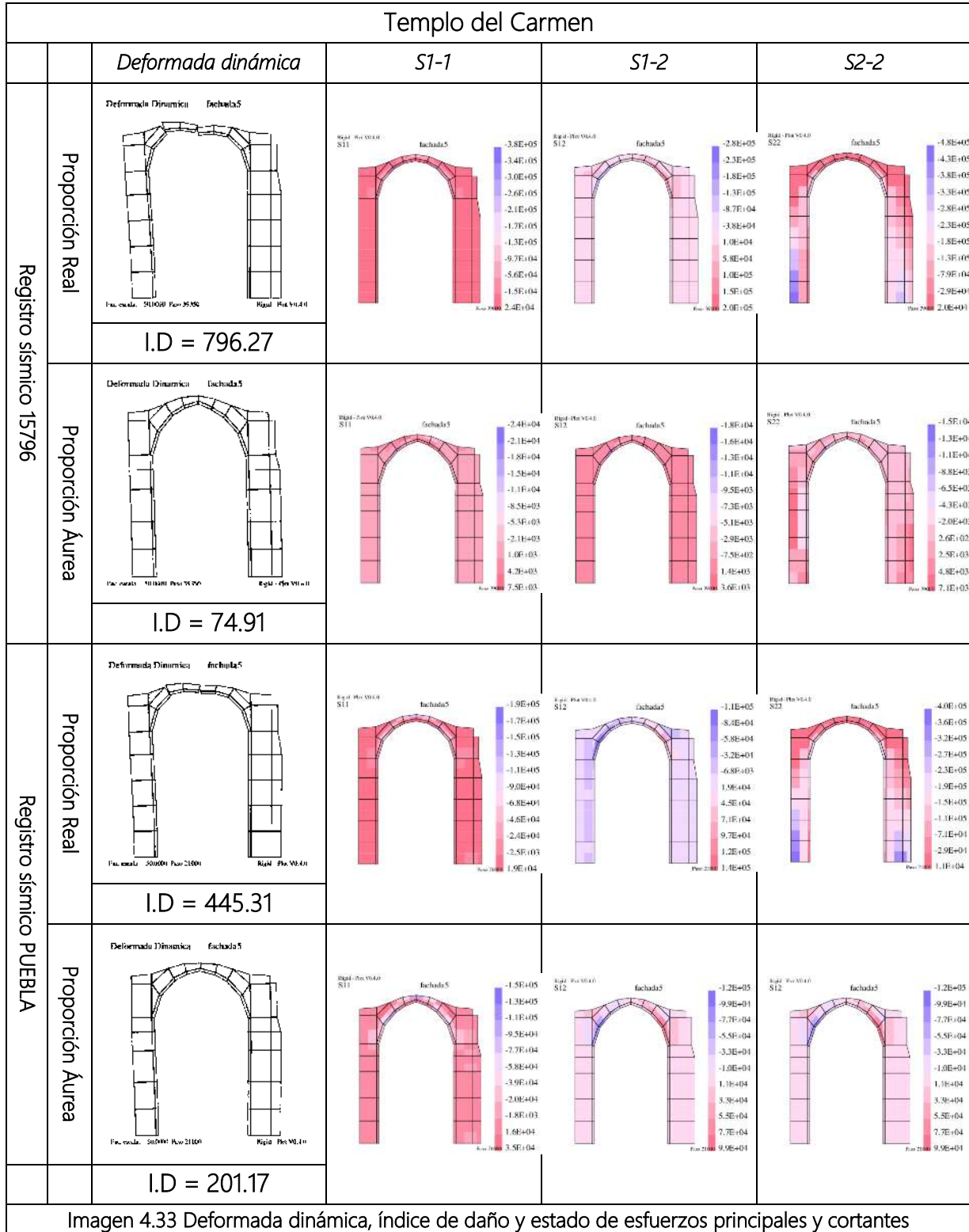


Imagen 4.33 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

IX. Templo de las Monjas

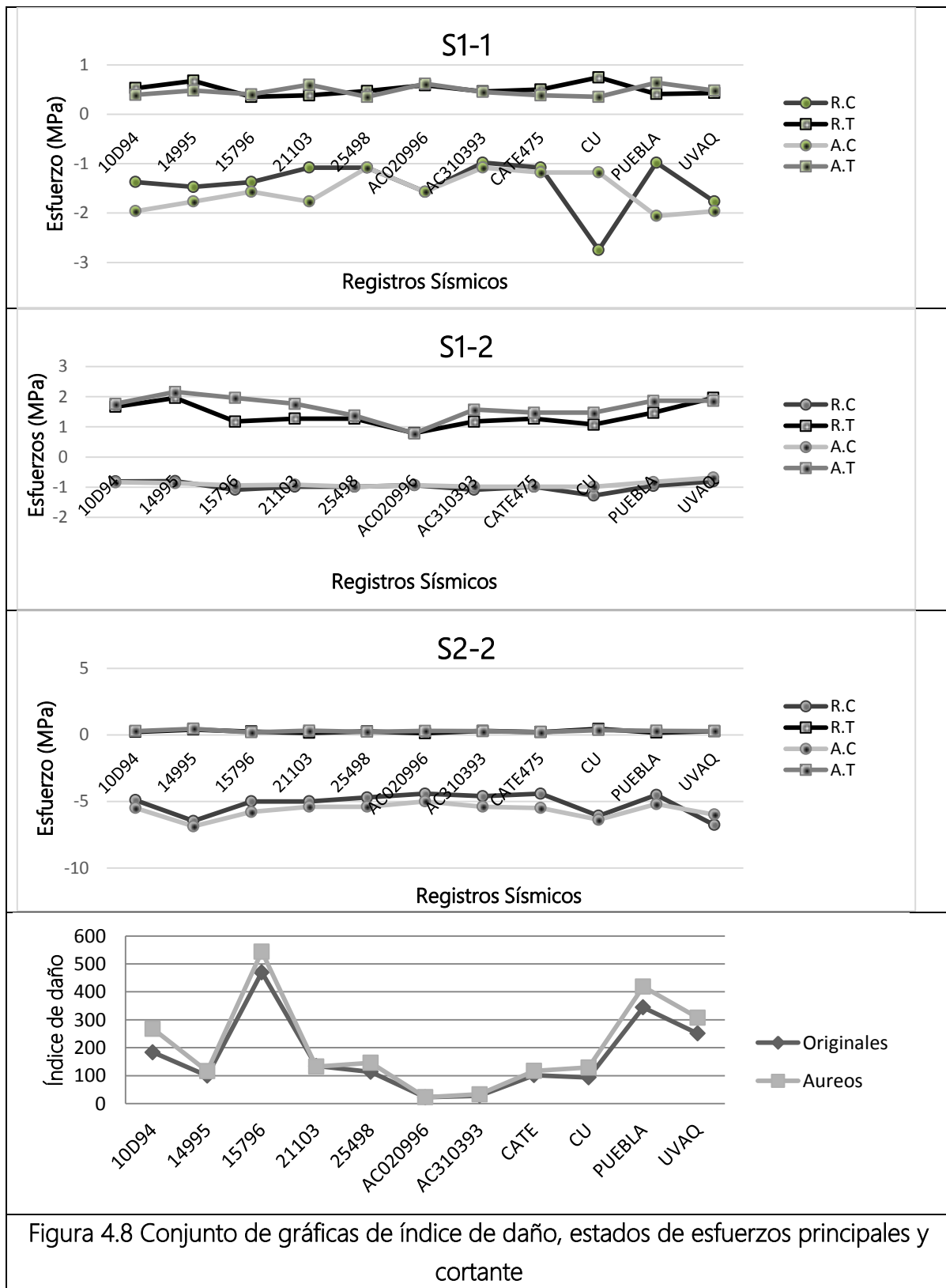
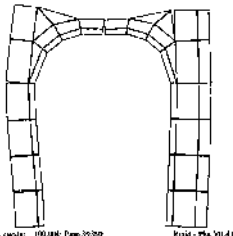
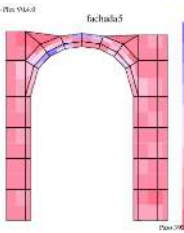
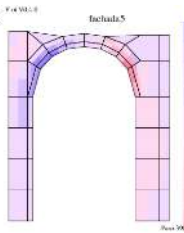
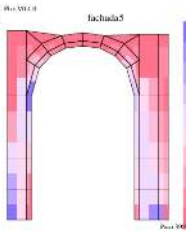
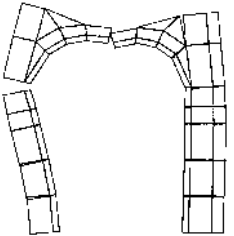
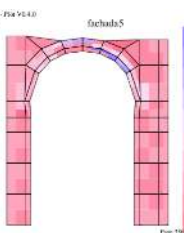
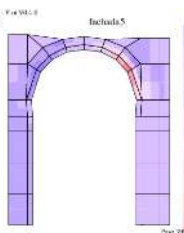
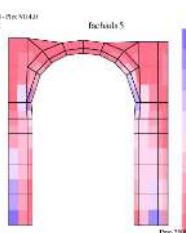
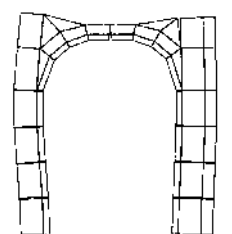
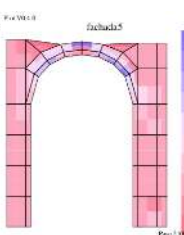
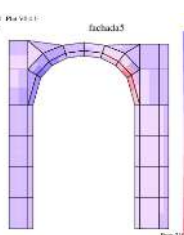
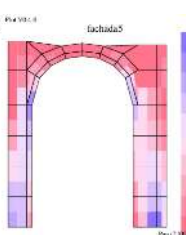
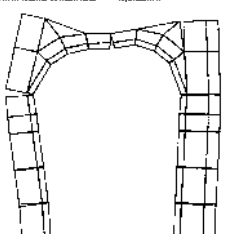
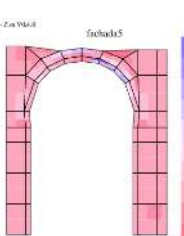
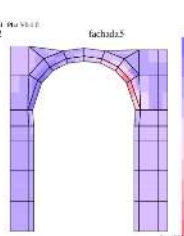
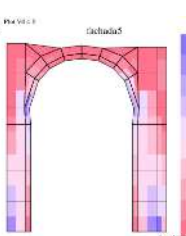
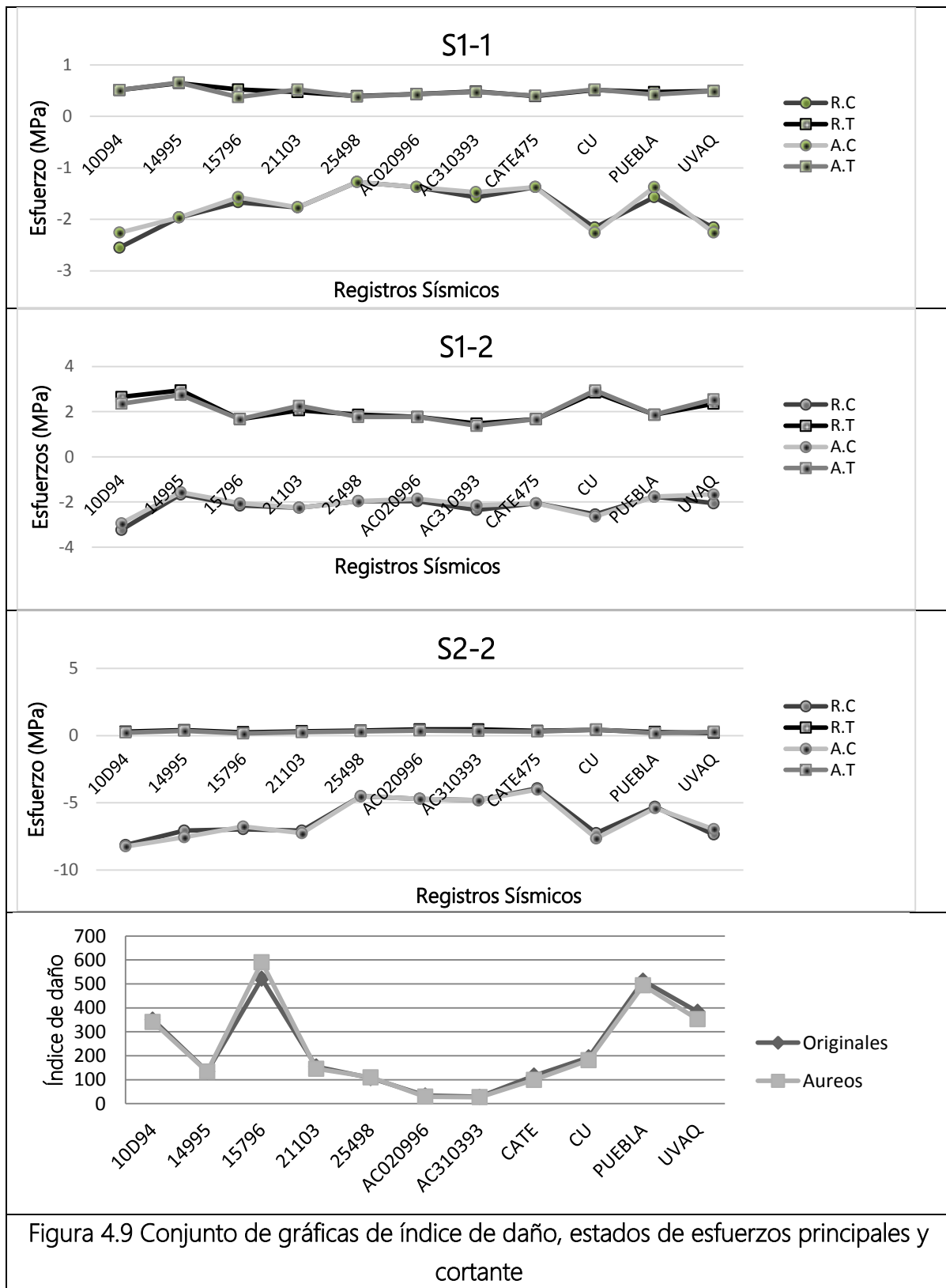
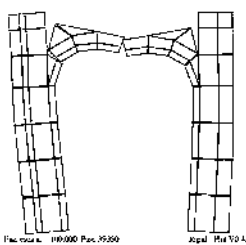
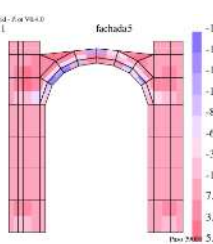
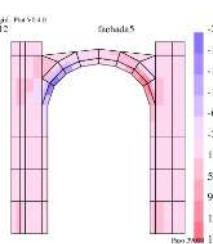
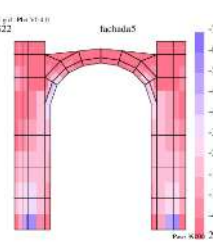
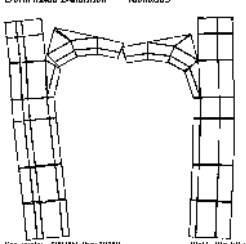
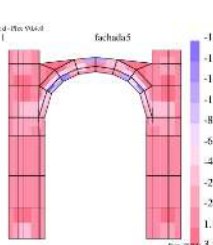
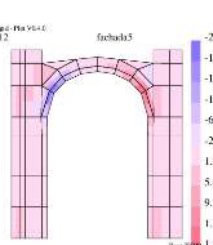
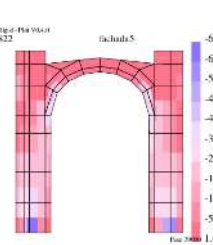
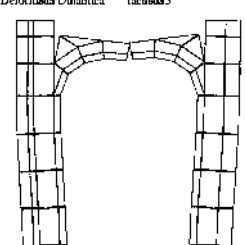
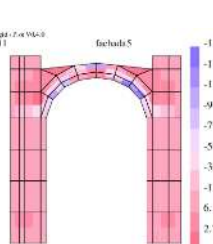
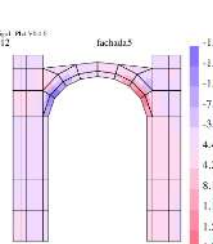
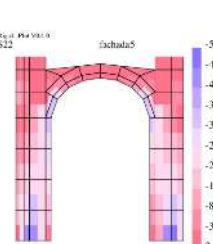
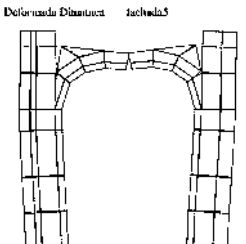
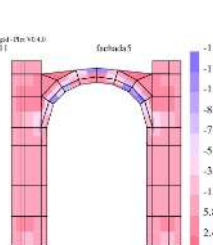
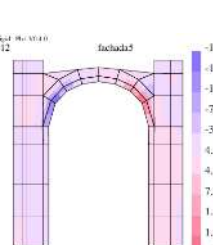
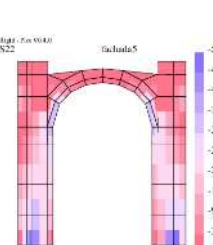


Figura 4.8 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

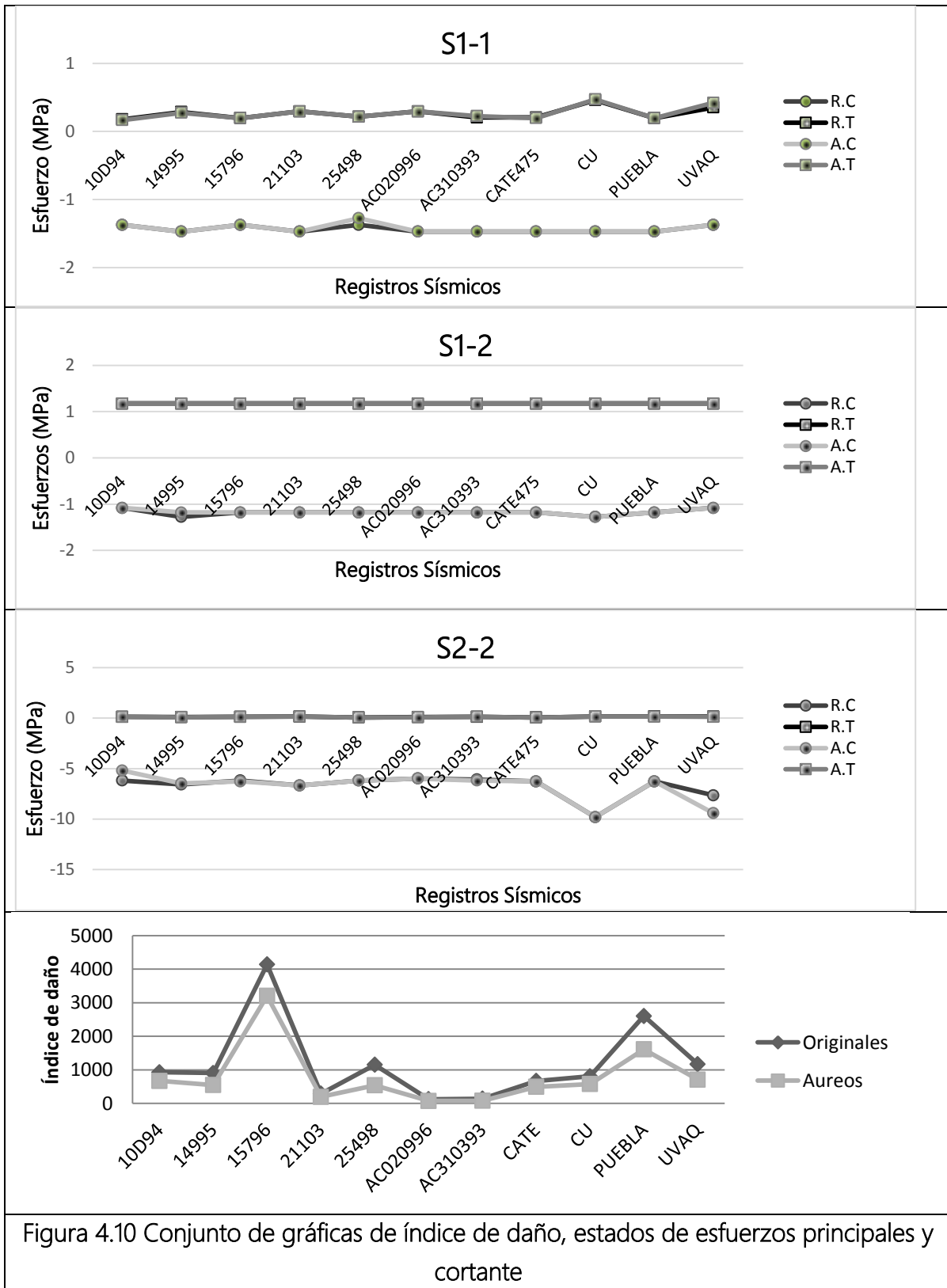
Templo de las Monjas					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proportión Real	Deformada Dinámica fachada5  Ptas. cumbre: 170.000 Ptas. 30/300 Regal: Ptas 50.411	Regal: Ptas 50.411 S11 fachada5  Ptas 30000	Regal: Ptas 50.411 S12 fachada5  Ptas 30000	Regal: Ptas 50.411 S22 fachada5  Ptas 30000
		I.D = 469.85			
Proportión Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Ptas. cumbre: 170.000 Ptas. 30/300 Regal: Ptas 50.411	Regal: Ptas 50.411 S11 fachada5  Ptas 30000	Regal: Ptas 50.411 S12 fachada5  Ptas 30000	Regal: Ptas 50.411 S22 fachada5  Ptas 30000	
		I.D = 544.18			
Registro sísmico PUEBLA	Proportión Real	Deformada Dinámica fachada5  Ptas. cumbre: 170.000 Ptas. 30/300 Regal: Ptas 50.411	Regal: Ptas 50.411 S11 fachada5  Ptas 30000	Regal: Ptas 50.411 S12 fachada5  Ptas 30000	Regal: Ptas 50.411 S22 fachada5  Ptas 30000
		I.D = 344.72			
Proportión Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Ptas. cumbre: 170.000 Ptas. 30/300 Regal: Ptas 50.411	Regal: Ptas 50.411 S11 fachada5  Ptas 30000	Regal: Ptas 50.411 S12 fachada5  Ptas 30000	Regal: Ptas 50.411 S22 fachada5  Ptas 30000	
		I.D = 418.69			
Imagen 4.34 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

X. Templo de Santa Rosa de Lima



Templo de Santa Rosa de Lima					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. real: 100.000 Pico 95.960 Rigid. Pico Y0.40	Rigid. Pico Y0.40 S11 fachada5  Pico 5.3E+01	Rigid. Pico Y0.40 S12 fachada5  Pico 1.7E+05	Rigid. Pico Y0.40 S22 fachada5  Pico 2.5E+04
		I.D = 521.84			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. real: 100.000 Pico 95.960 Rigid. Pico Y0.40	Rigid. Pico Y0.40 S11 fachada5  Pico 3.8E+01	Rigid. Pico Y0.40 S12 fachada5  Pico 1.7E+05	Rigid. Pico Y0.40 S22 fachada5  Pico 1.6E+04
		I.D = 590.69			
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. real: 100.000 Pico 210.66 Rigid. Pico Y0.40	Rigid. Pico Y0.40 S11 fachada5  Pico 4.8E+04	Rigid. Pico Y0.40 S12 fachada5  Pico 1.9E+05	Rigid. Pico Y0.40 S22 fachada5  Pico 2.7E+04
		I.D = 512.71			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. real: 100.000 Pico 210.66 Rigid. Pico Y0.40	Rigid. Pico Y0.40 S11 fachada5  Pico 4.3E+01	Rigid. Pico Y0.40 S12 fachada5  Pico 1.9E+05	Rigid. Pico Y0.40 S22 fachada5  Pico 1.9E+04
		I.D = 493.94			
Imagen 4.35 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

XI. Templo de San Agustín



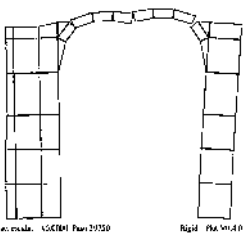
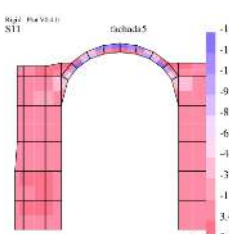
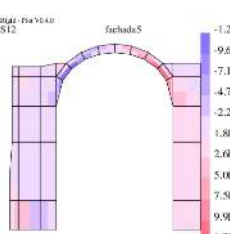
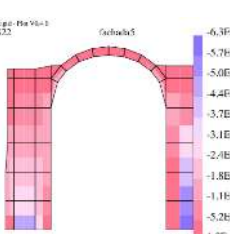
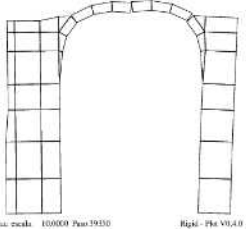
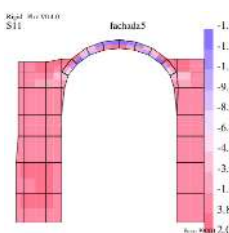
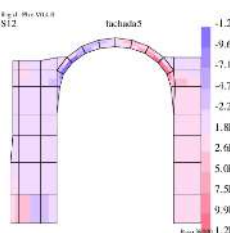
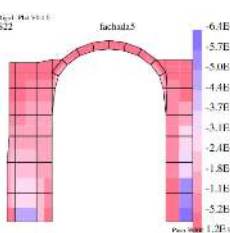
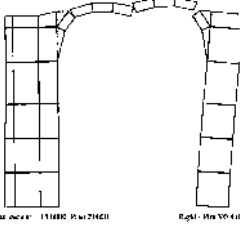
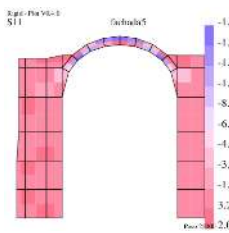
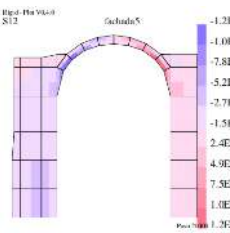
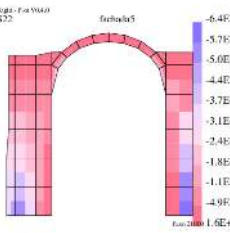
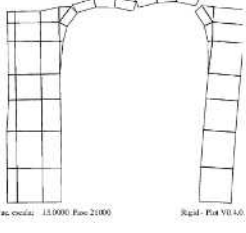
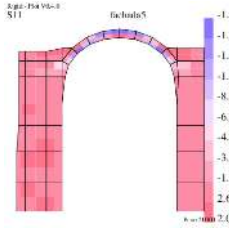
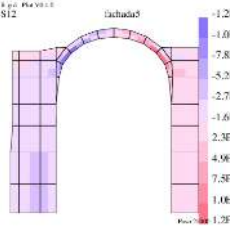
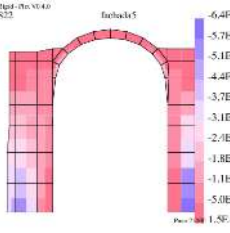
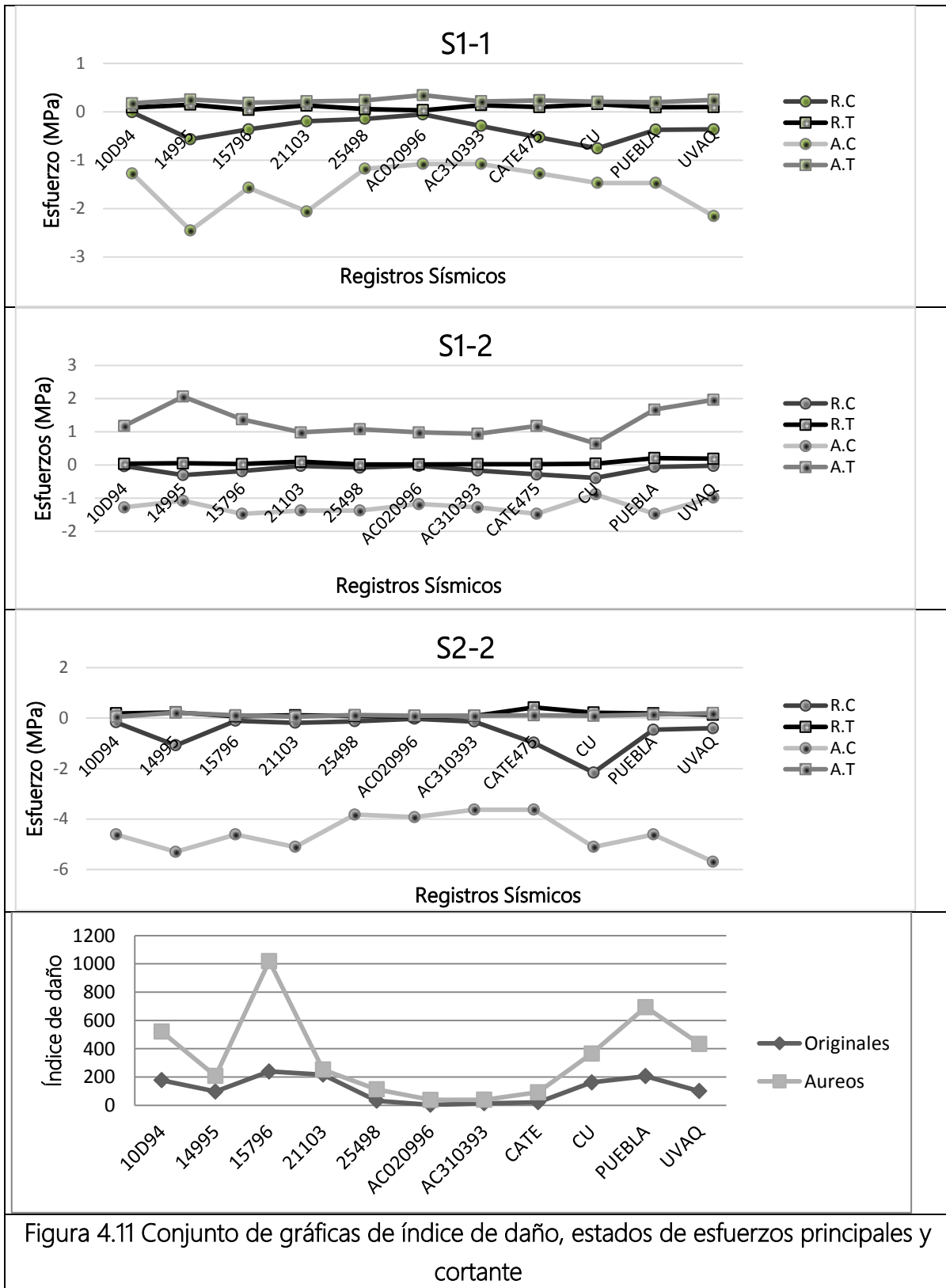
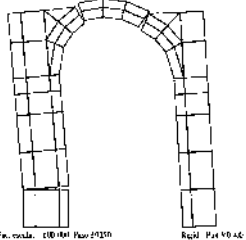
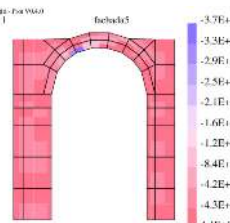
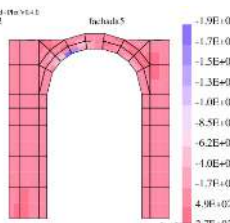
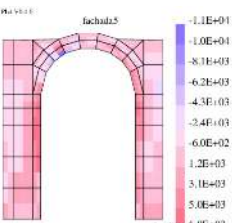
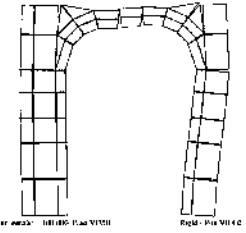
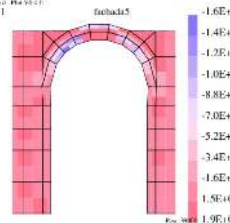
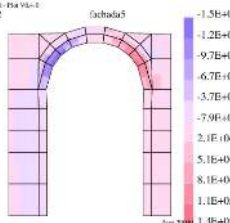
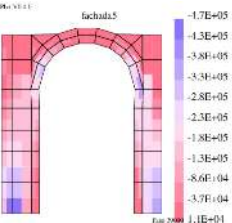
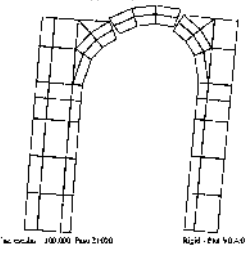
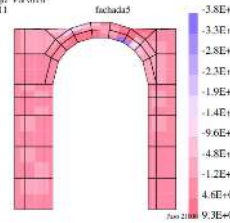
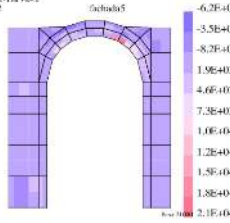
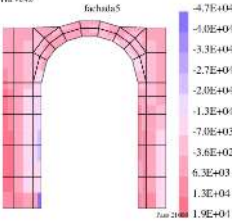
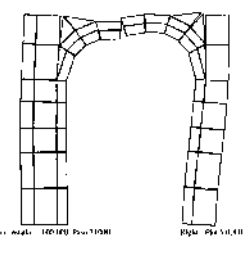
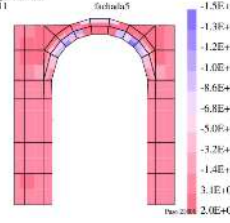
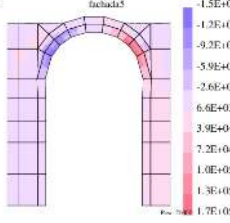
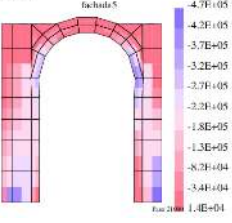
Templo de San Agustín					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. estado: 455000 Paso 29750 Rigid: Pta V0.0	 Rigid: Pta V0.0 S11 -1.4E+05 -1.3E+05 -1.1E+05 -9.8E+04 -8.1E+04 -6.4E+04 -4.7E+04 -3.0E+04 -1.3E+04 3.6E+03 Paso 29750 2.0E+04	 Rigid: Pta V0.0 S12 -1.2E+05 -9.6E+04 -7.1E+04 -4.7E+04 -2.2E+04 1.8E+03 2.6E+04 5.0E+04 7.5E+04 9.9E+04 Paso 29750 1.2E+05	 Rigid: Pta V0.0 S22 -6.3E+05 -5.7E+05 -5.0E+05 -4.4E+05 -3.7E+05 -3.1E+05 -2.4E+05 -1.8E+05 -1.1E+05 -5.2E+04 Paso 29750 1.2E+04
		I.D = 4137.35			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. estado: 107000 Paso 29750 Rigid: Pta V0.0	 Rigid: Pta V0.0 S11 -1.1E+05 -1.3E+05 -1.1E+05 -9.7E+04 -8.0E+04 -6.4E+04 -4.7E+04 -3.0E+04 -1.3E+04 3.8E+03 Paso 29750 2.0E+04	 Rigid: Pta V0.0 S12 -1.2E+05 -9.6E+04 -7.1E+04 -4.7E+04 -2.2E+04 1.8E+03 2.6E+04 5.0E+04 7.5E+04 9.9E+04 Paso 29750 1.2E+05	 Rigid: Pta V0.0 S22 -6.1E+05 -5.7E+05 -5.0E+05 -4.4E+05 -3.7E+05 -3.1E+05 -2.4E+05 -1.8E+05 -1.1E+05 -5.2E+04 Paso 29750 1.2E+04
		I.D = 3204.52			
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. estado: 111000 Paso 29750 Rigid: Pta V0.0	 Rigid: Pta V0.0 S11 -1.5E+05 -1.3E+05 -1.2E+05 -1.0E+05 -8.4E+04 -6.7E+04 -4.9E+04 -3.2E+04 -1.4E+04 3.2E+03 Paso 29750 2.0E+04	 Rigid: Pta V0.0 S12 -1.2E+05 -1.0E+05 -7.8E+04 -5.2E+04 -2.7E+04 -1.5E+03 2.4E+04 4.9E+04 7.5E+04 1.0E+05 Paso 29750 1.2E+05	 Rigid: Pta V0.0 S22 -6.4E+05 -5.7E+05 -5.0E+05 -4.4E+05 -3.7E+05 -3.1E+05 -2.4E+05 -1.8E+05 -1.1E+05 -4.9E+04 Paso 29750 1.0E+04
		I.D = 2603.90			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. estado: 131000 Paso 29750 Rigid: Pta V0.0	 Rigid: Pta V0.0 S11 -1.5E+05 -1.3E+05 -1.1E+05 -1.0E+05 -8.4E+04 -6.7E+04 -4.9E+04 -3.2E+04 -1.4E+04 2.6E+03 Paso 29750 2.0E+04	 Rigid: Pta V0.0 S12 -1.2E+05 -1.0E+05 -7.8E+04 -5.2E+04 -2.7E+04 -1.6E+03 2.3E+04 4.9E+04 7.5E+04 1.0E+05 Paso 29750 1.2E+05	 Rigid: Pta V0.0 S22 -6.4E+05 -5.7E+05 -5.1E+05 -4.4E+05 -3.7E+05 -3.1E+05 -2.4E+05 -1.8E+05 -1.1E+05 -5.0E+04 Paso 29750 1.5E+04
		I.D = 1611.13			

Imagen 4.36 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

Imagen 4.36 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

XII. Templo de Guadalupe



Templo de Guadalupe					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 1/10.000 Pos: 1/1000 Right: Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S11 fachada5  Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S12 fachada5  Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S22 fachada5  Pos: 1/0.40
		I.D = 238.59			
Registro sísmico 15796	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 1/10.000 Pos: 1/1000 Right: Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S11 fachada5  Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S12 fachada5  Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S22 fachada5  Pos: 1/0.40
		I.D = 1019.78			
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 1/10.000 Pos: 1/1000 Right: Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S11 fachada5  Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S12 fachada5  Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S22 fachada5  Pos: 1/0.40
		I.D = 205.27			
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 1/10.000 Pos: 1/1000 Right: Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S11 fachada5  Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S12 fachada5  Pos: 1/0.40	Right: Pos: 1/0.40 S22 fachada5  Pos: 1/0.40
		I.D = 693.41			
Imagen 4.37 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

XIII. La Catedral de la Transfiguración

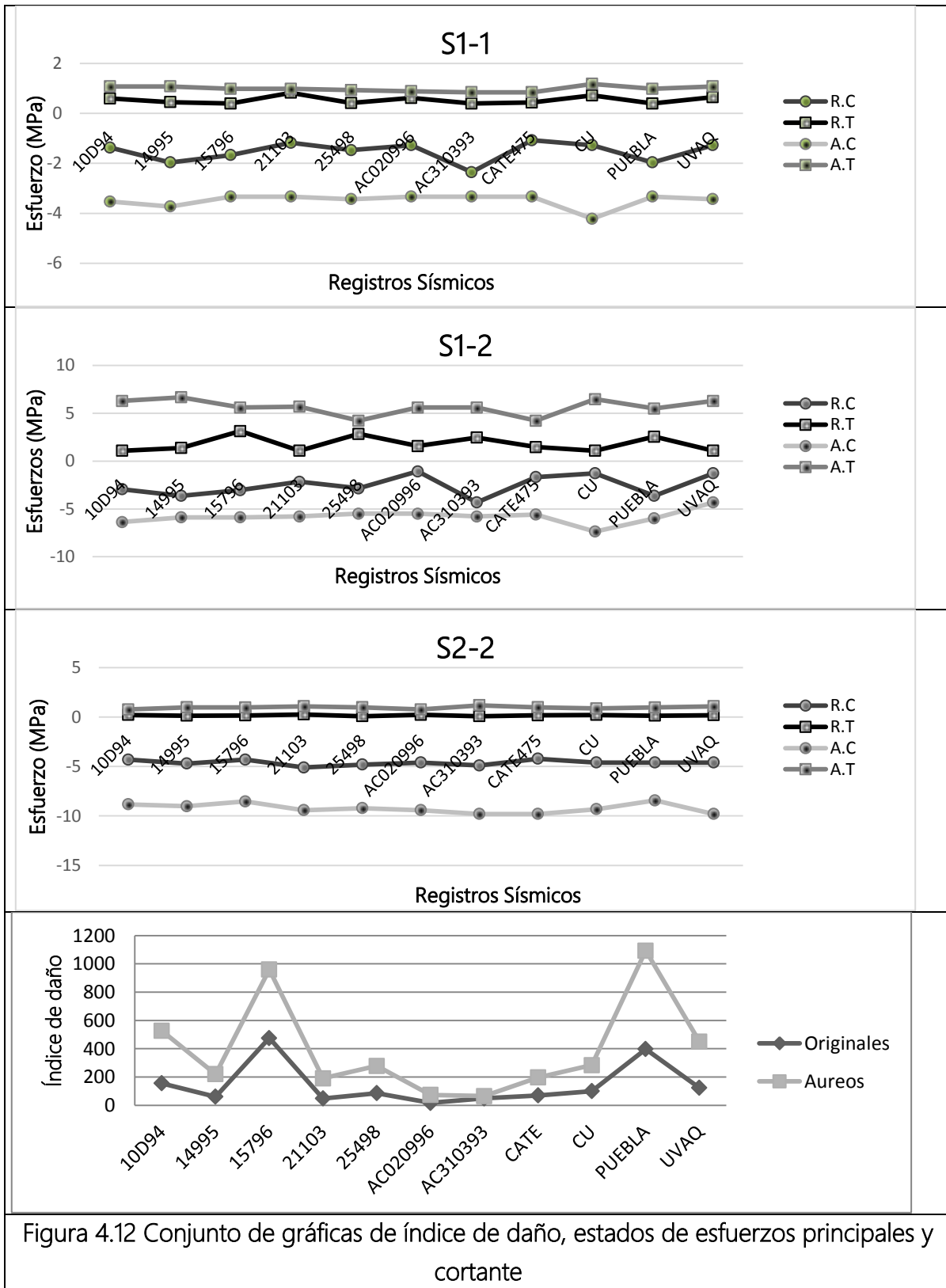


Figura 4.12 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

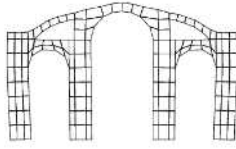
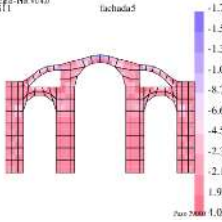
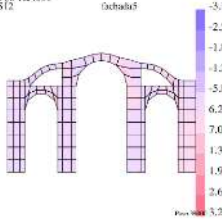
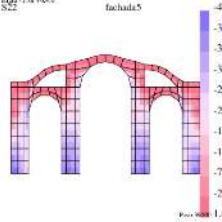
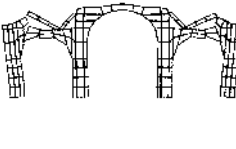
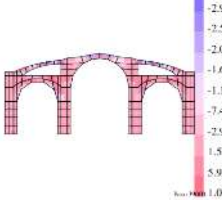
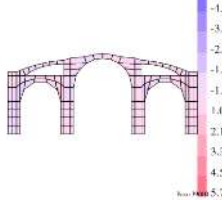
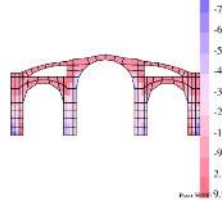
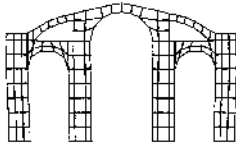
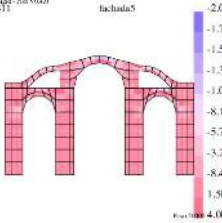
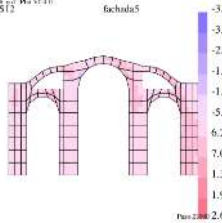
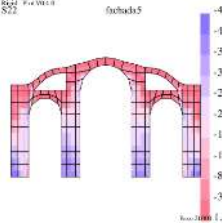
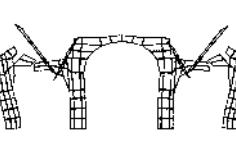
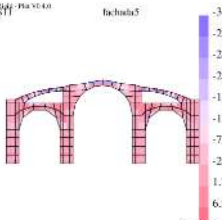
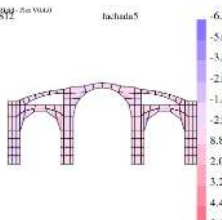
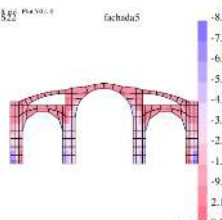
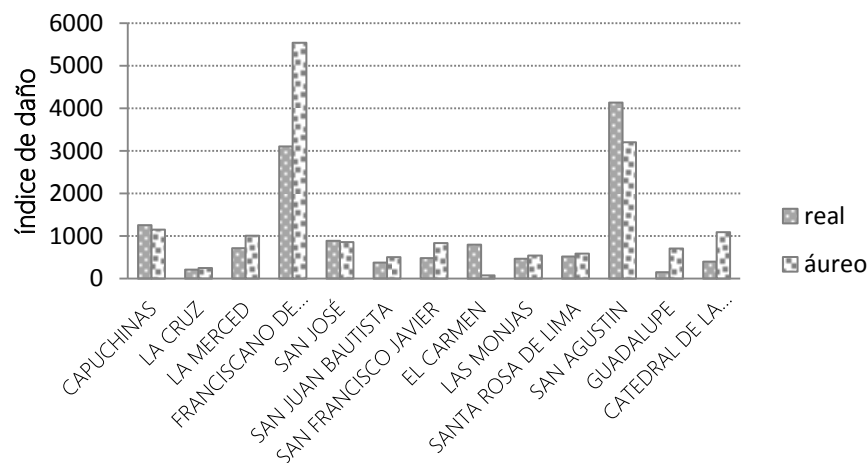
Catedral de la Transfiguración					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 100.000 Puro 70350 Bqpl - Pta V0.4.0	S11 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 1.0E+01	S12 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 3.7E+05	S22 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 1.6E+04
		I.D = 475.47			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 50.000 Puro 70356 Bqpl - Pta V0.4.0	S11 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 1.0E+05	S12 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 5.7E+05	S22 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 9.9E+04
		I.D = 959.77			
Registro sísmico PUEBLA	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 100.000 Puro 25070 Bqpl - Pta V0.4.0	S11 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 4.0E+04	S12 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 2.6E+05	S22 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 1.4E+04
		I.D = 393.79			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 100.000 Puro 20800 Bqpl - Pta V0.4.0	S11 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 1.0E+05	S12 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 5.6E+05	S22 - Pta V0.4.0 fachada5  Puro 7000 9.8E+01
		I.D = 1093.05			

Imagen 4.38 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

Imagen 4.38 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

En base a los índices de daño podemos observar que los macroelementos más dañados son el templo Franciscano de Buenaventura y el de San Agustín, lo cual podemos corroborar en la gráfica 1, la cual muestra los templos en estudio en el eje de las abscisas y en el eje de “Y” los índices de daño. Es importante mencionar que en la siguiente tabla solo se graficó el índice de daño mayor de los once registros a los que se sometió cada edificación.

Secciones Transversales



Gráfica 1. Índices de daño de los macroelementos transversales

De acuerdo a la gráfica 1 podemos concluir que al menos en las secciones transversales sometidas a registros con periodo de retorno de 475 años, la proporción áurea perjudica el comportamiento de la estructura o macroelemento analizado puesto que solo en cuatro edificios en estudio el índice de daño de la sección divina es menor comparado con el de la proporción real.

4.2.1.2 Macroelementos Longitudinales

En las figuras de la 4.13 a las 4.25 se mostrarán un conjunto de cuatro gráficas; las tres primeras correspondientes a los esfuerzos principales y cortante, y la última donde se presentarán los índices de daños que se obtienen del análisis del macroelemento sometido a once registros, esta última gráfica será la que nos indique cuales son los registros que afectan más a la estructura y del que se presentarán los resultados gráficamente.

I. Templo de Capuchinas

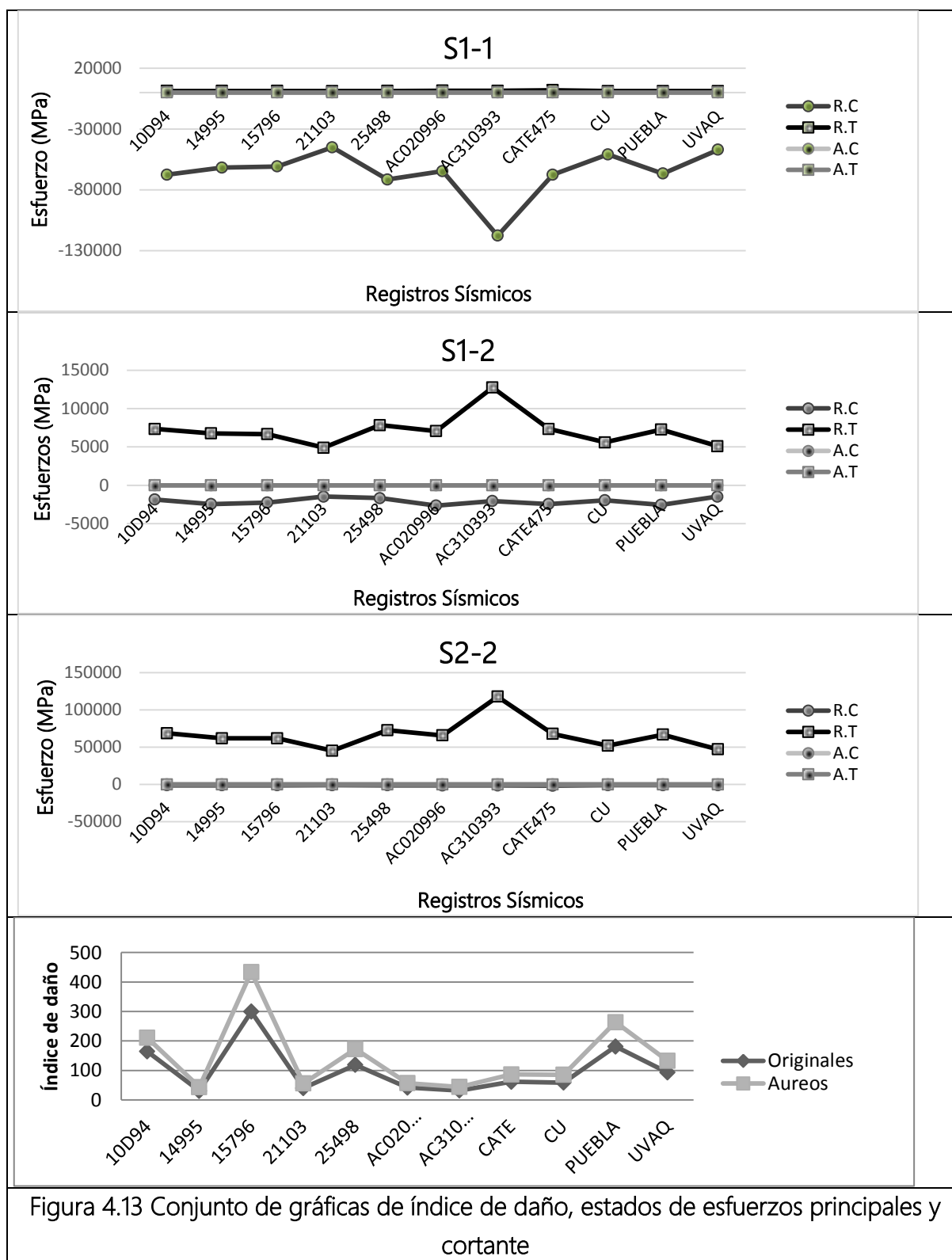
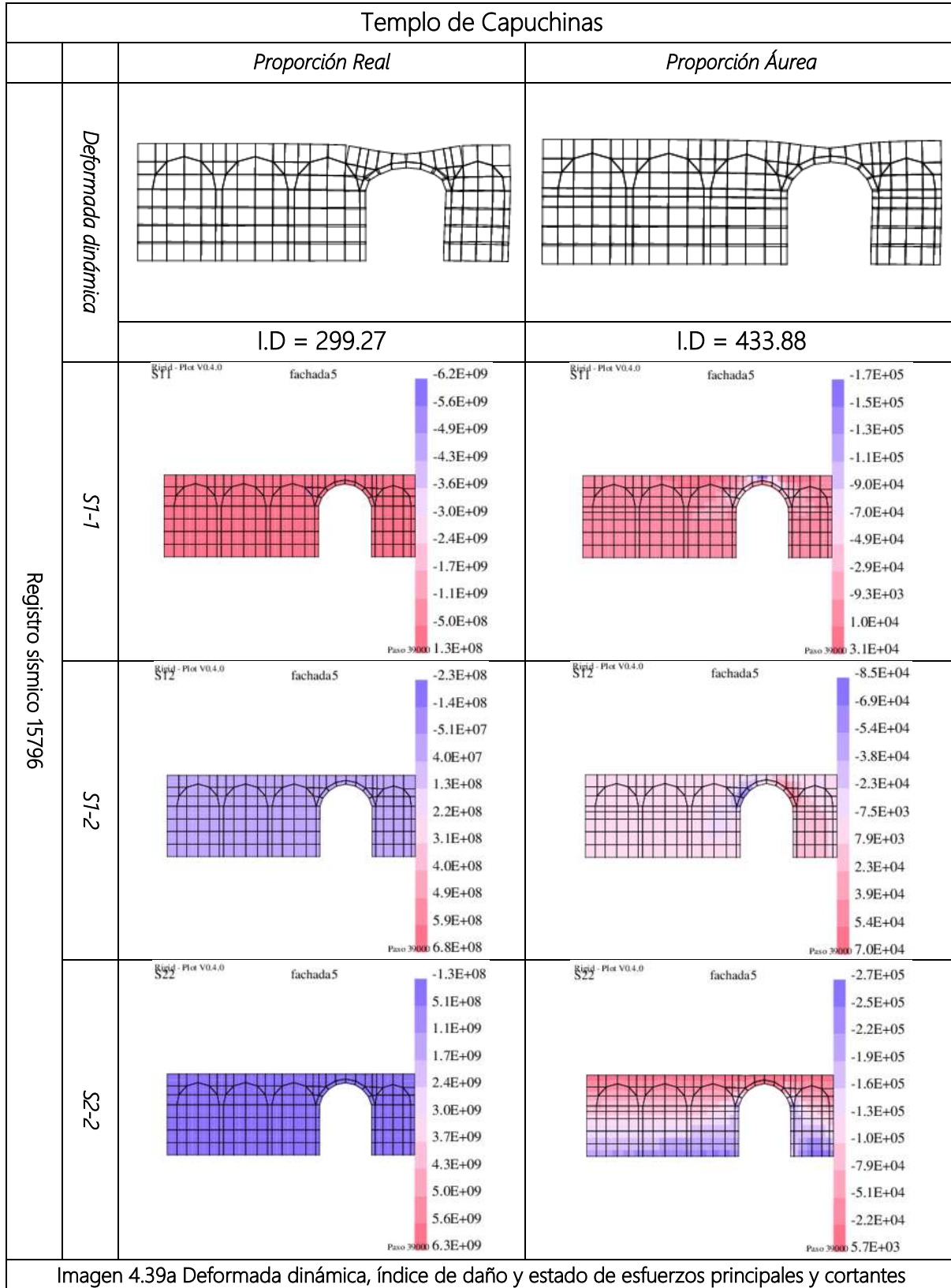
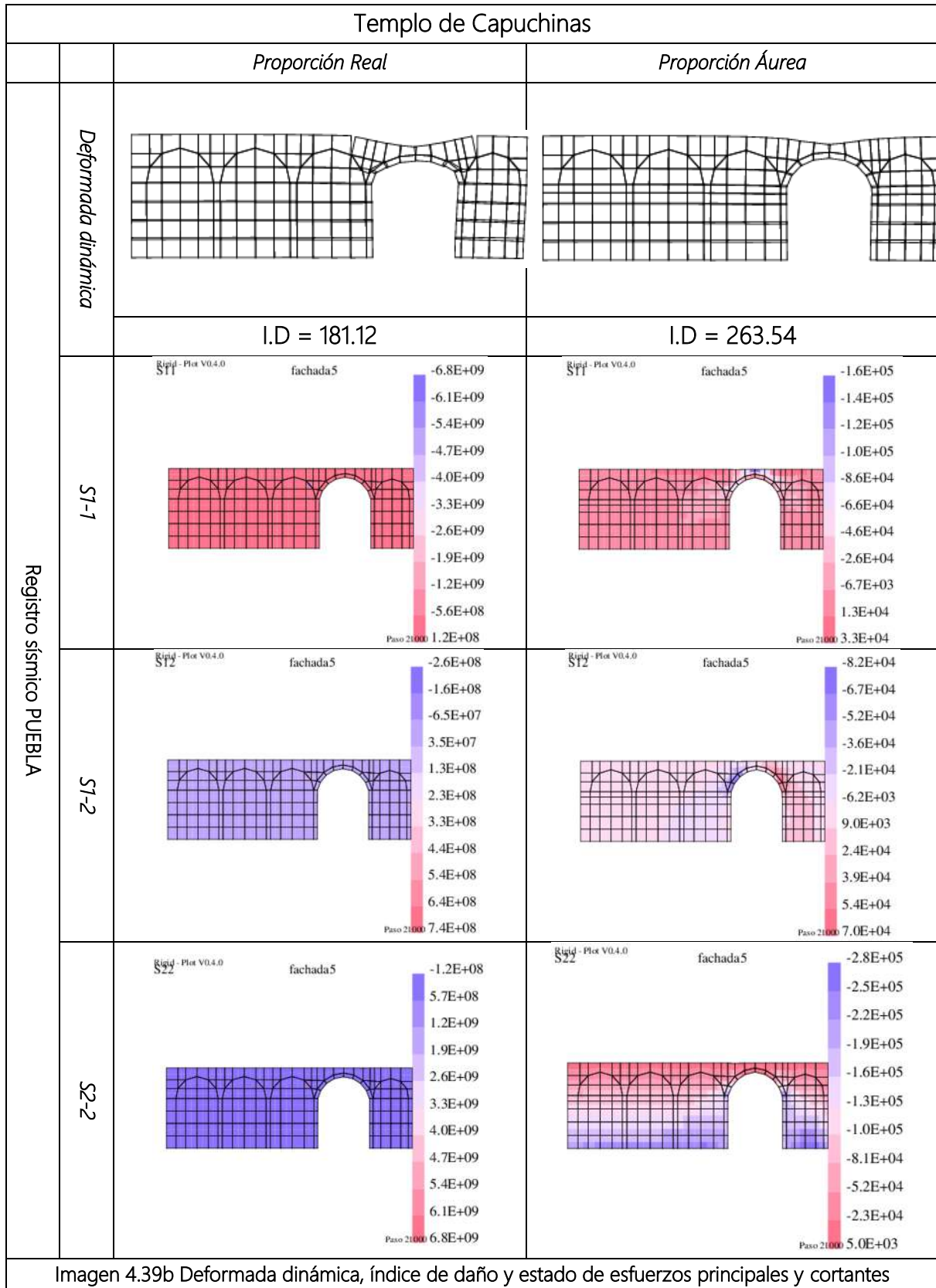


Figura 4.13 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante





II. Templo de la Cruz

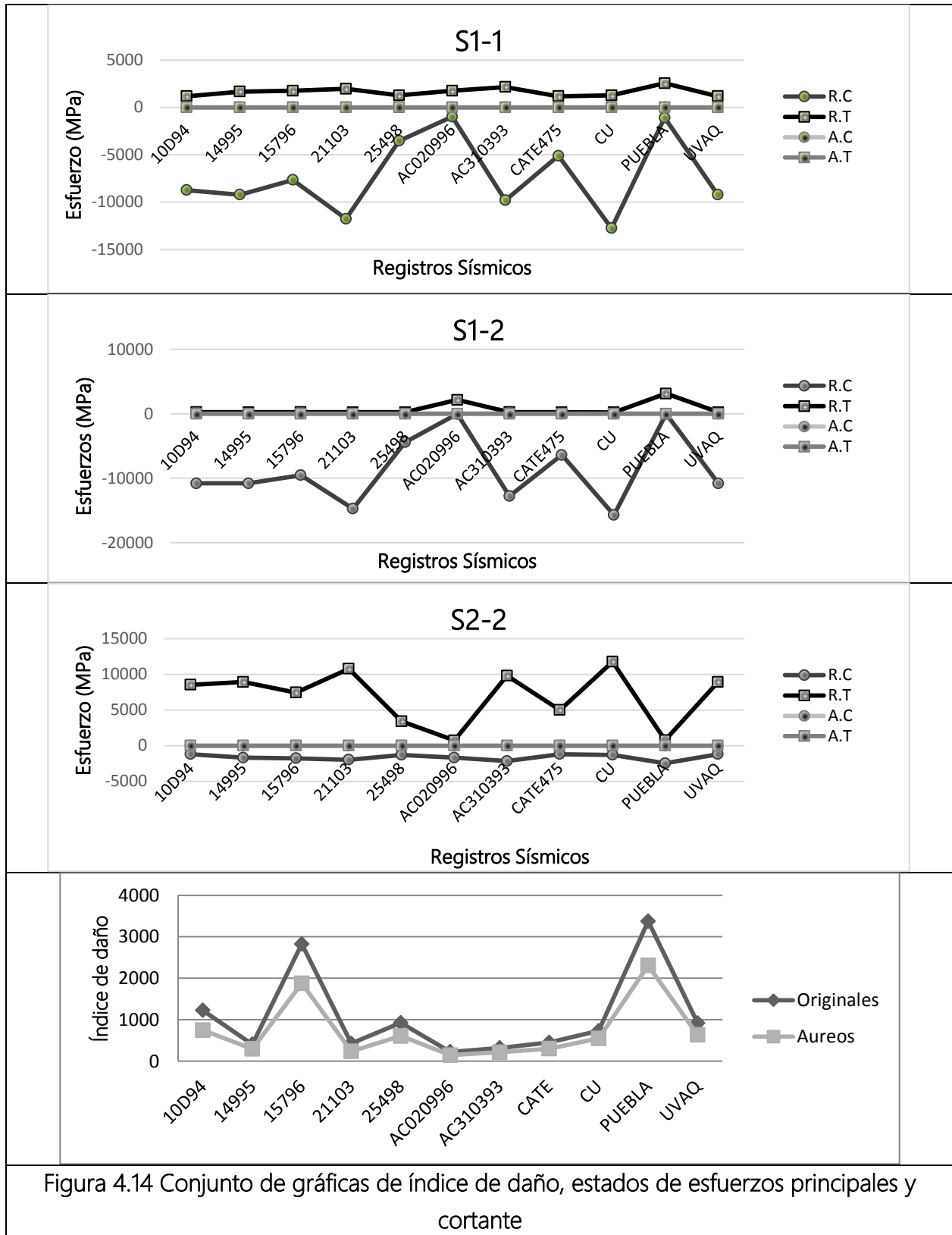
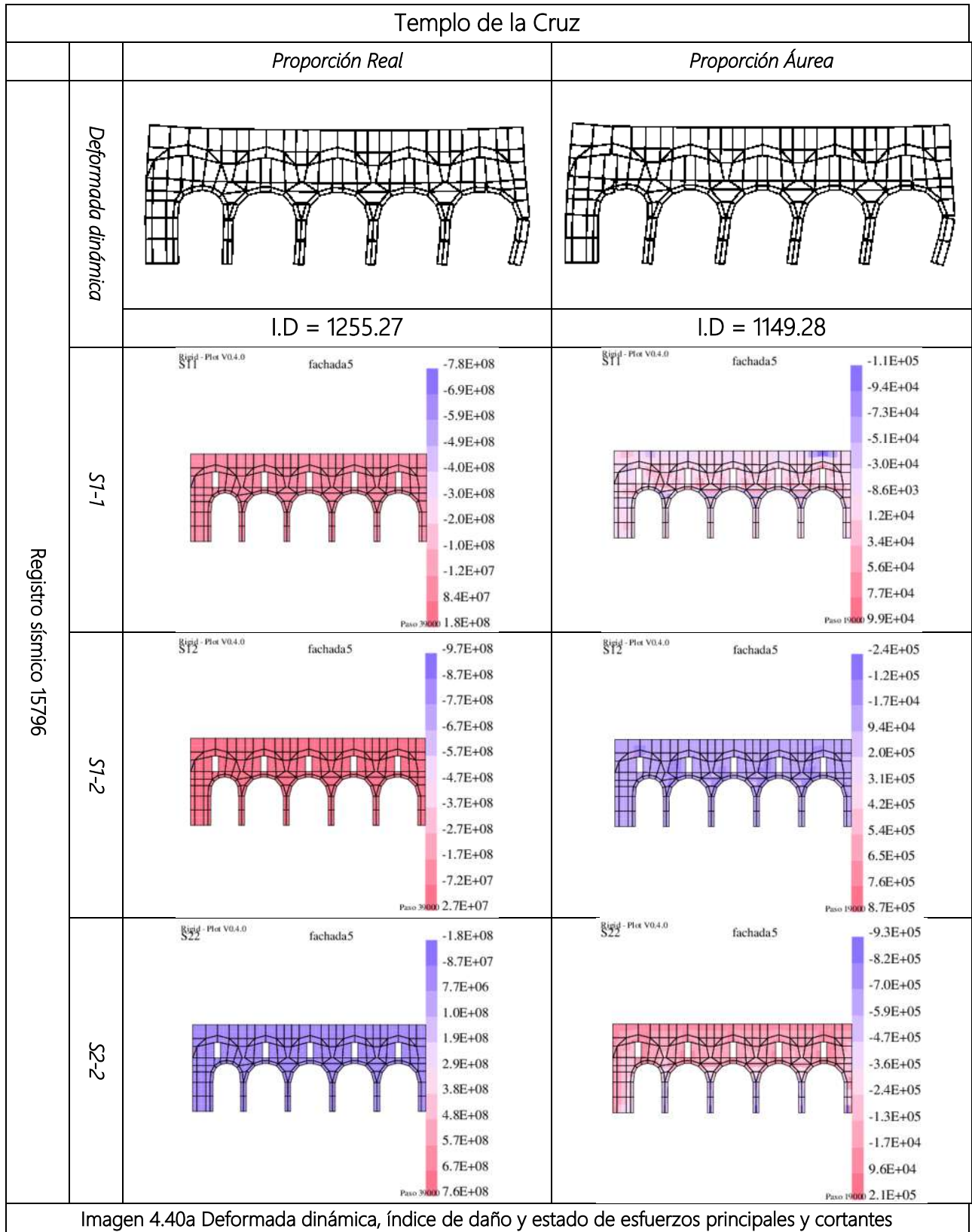
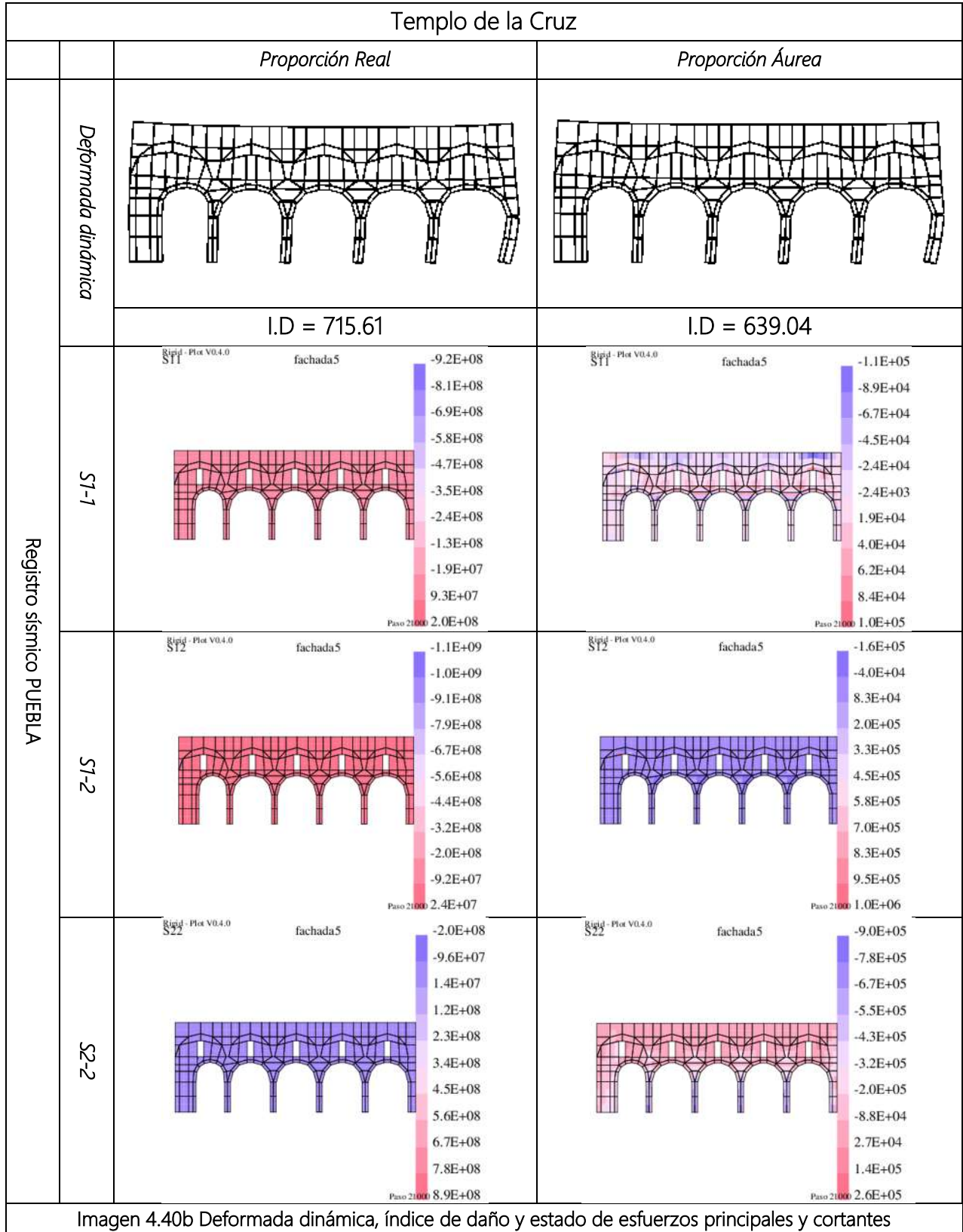
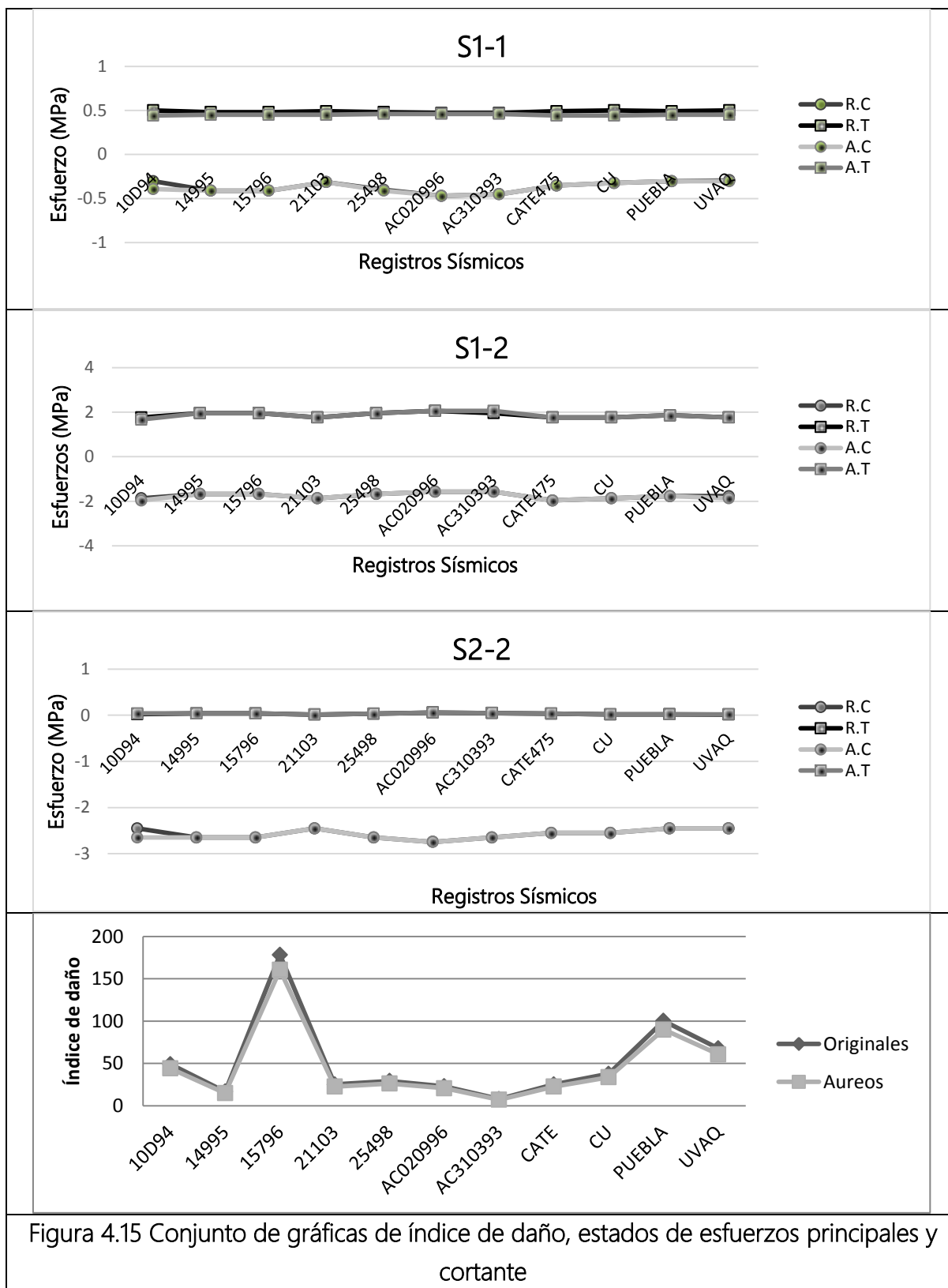


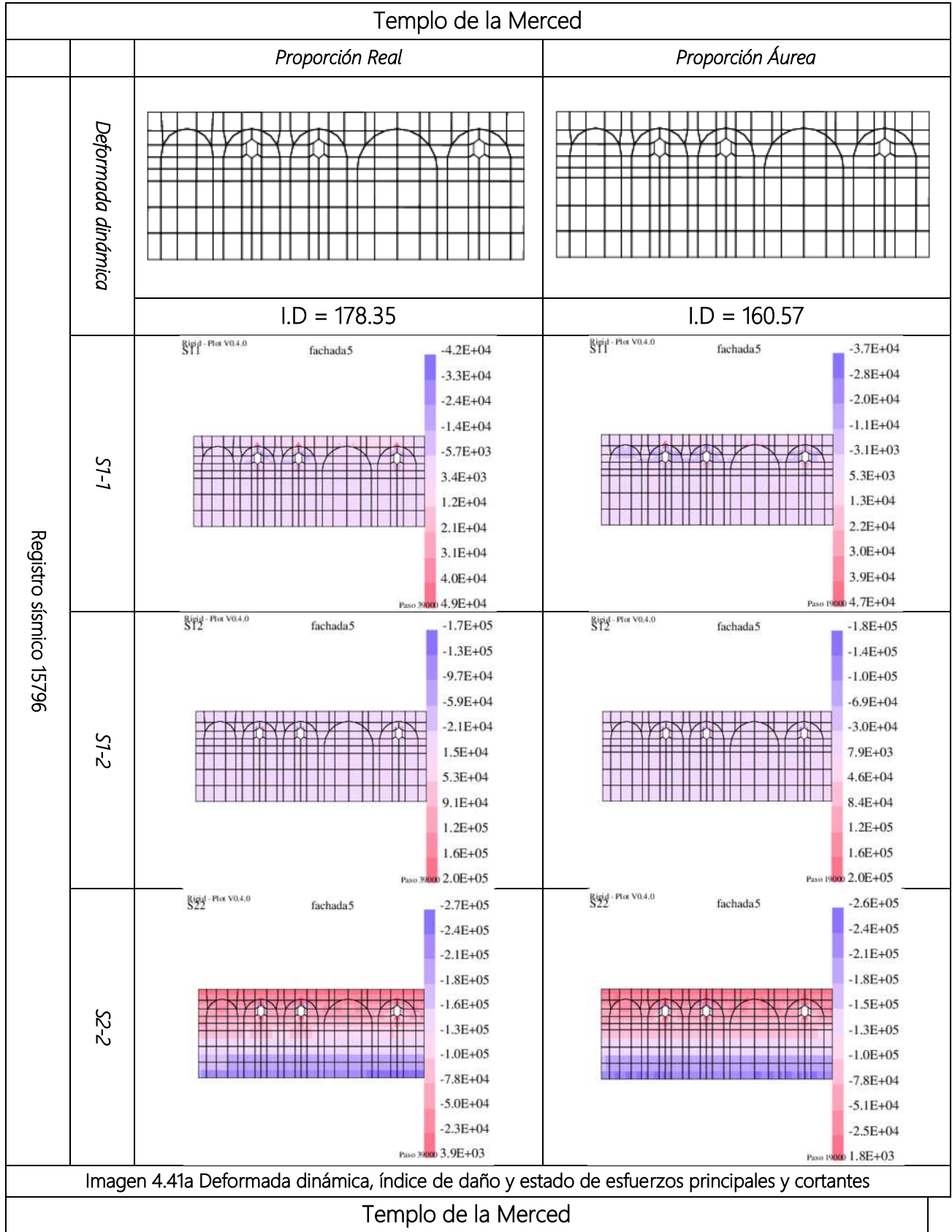
Figura 4.14 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

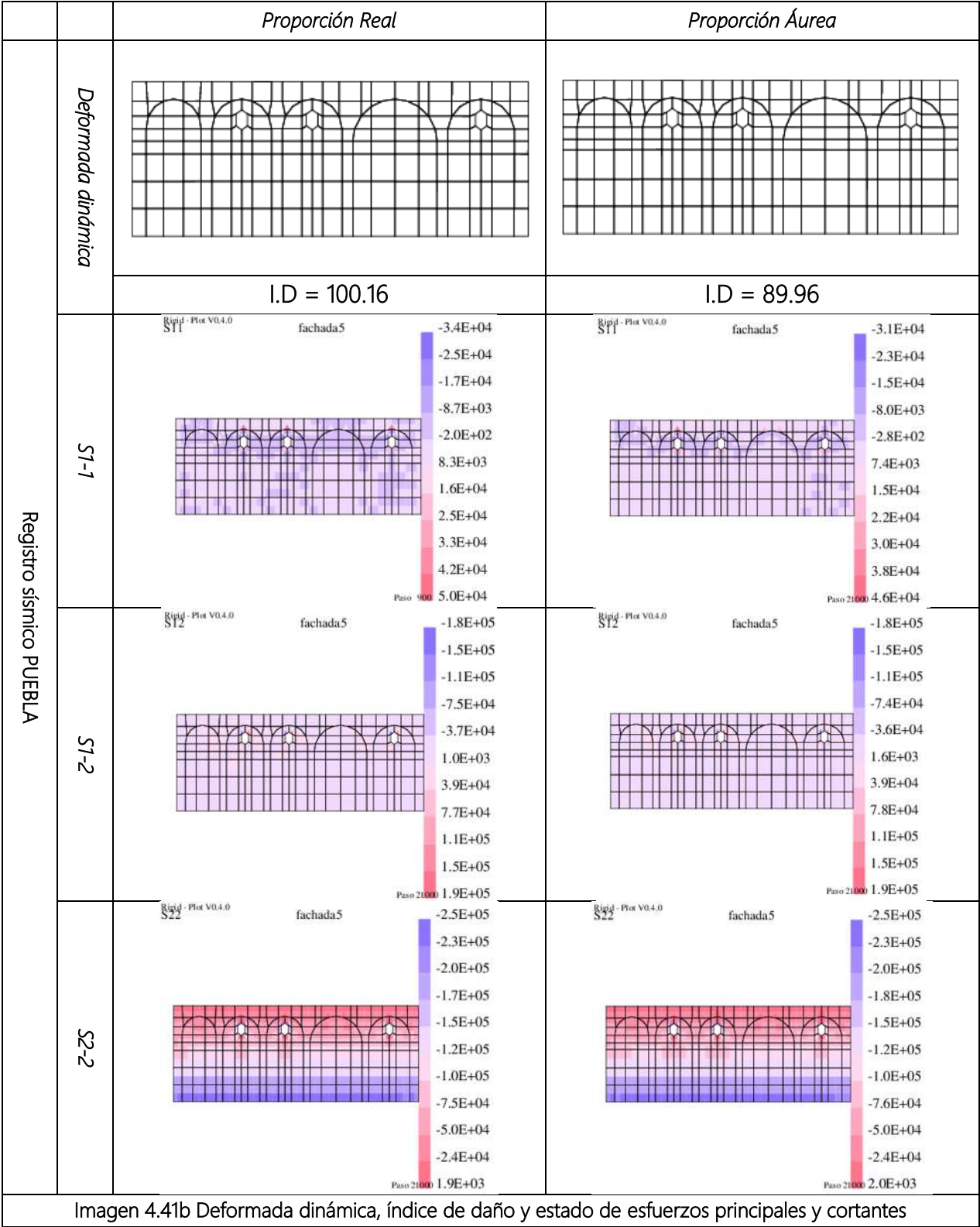




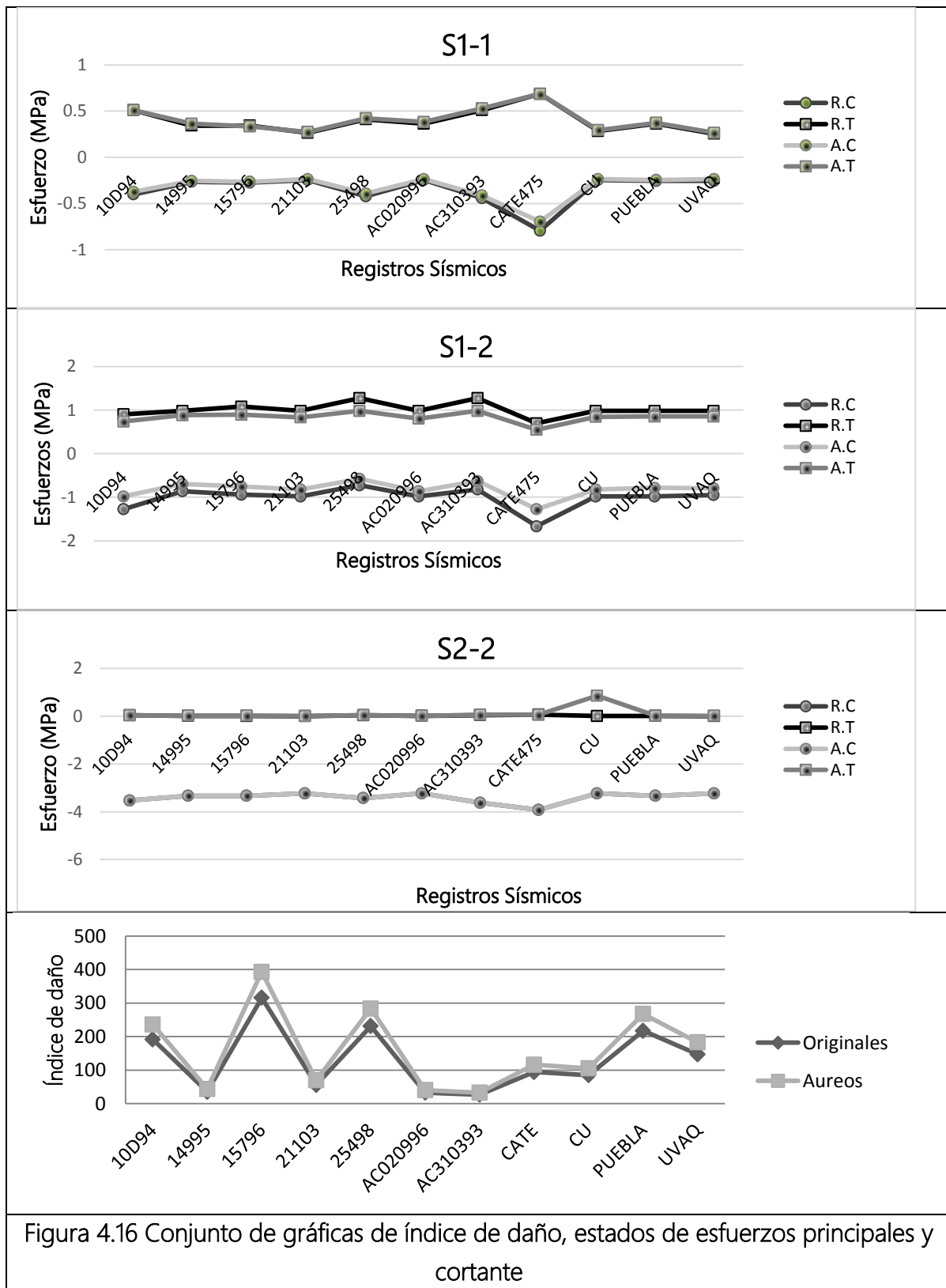
III. Templo de la Merced

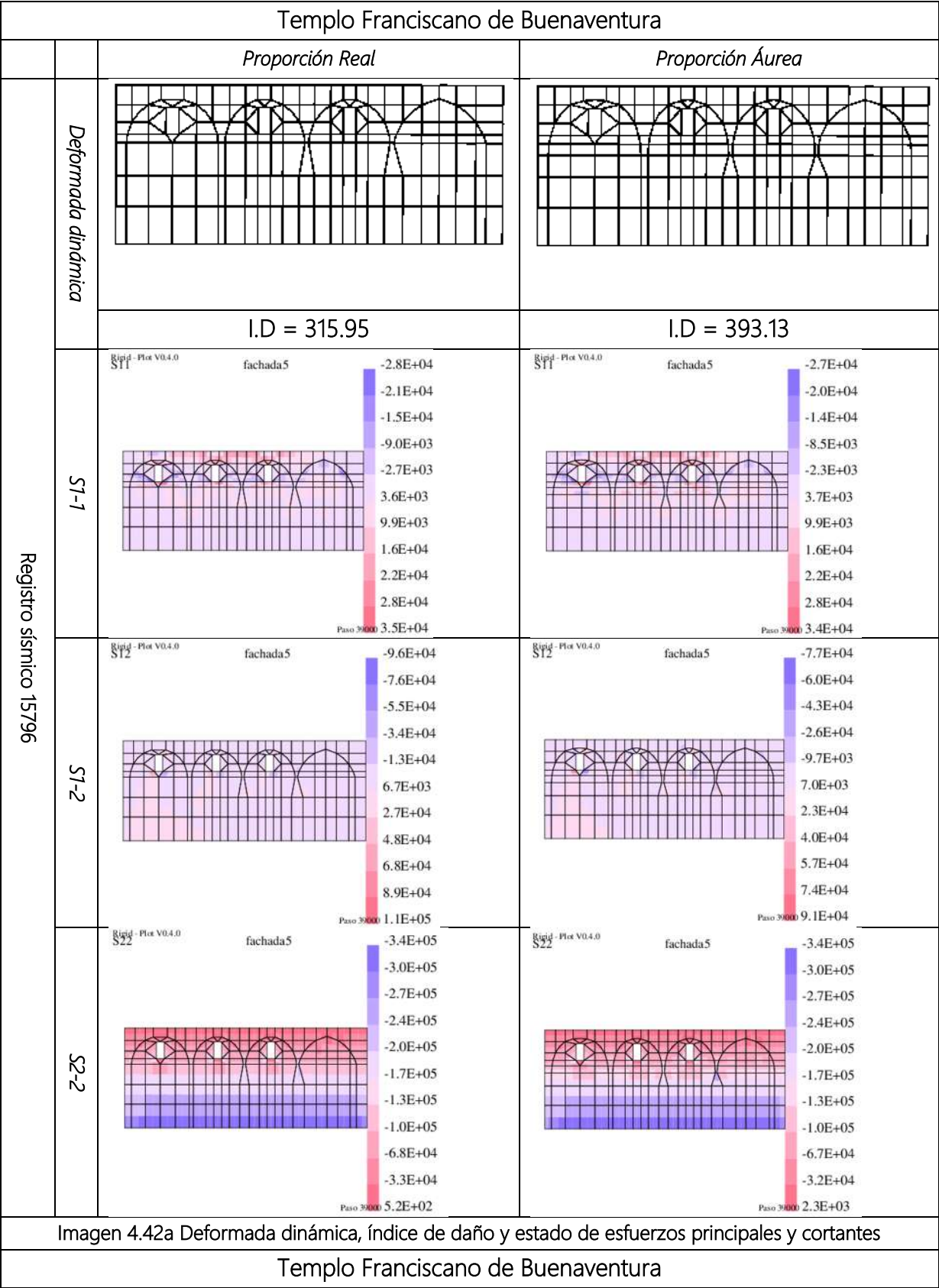


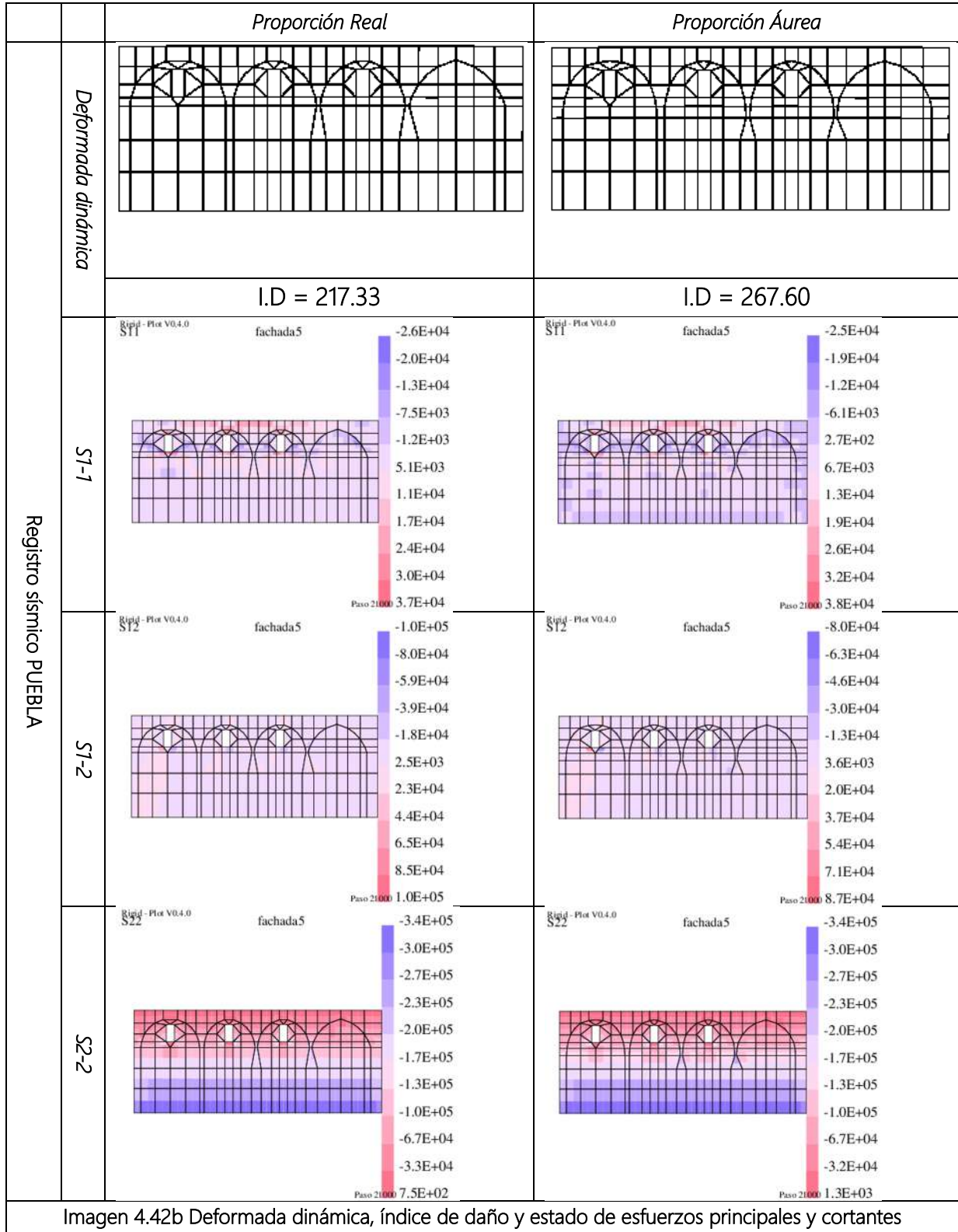




IV. Templo Franciscano de Buenaventura







V. Templo de San José

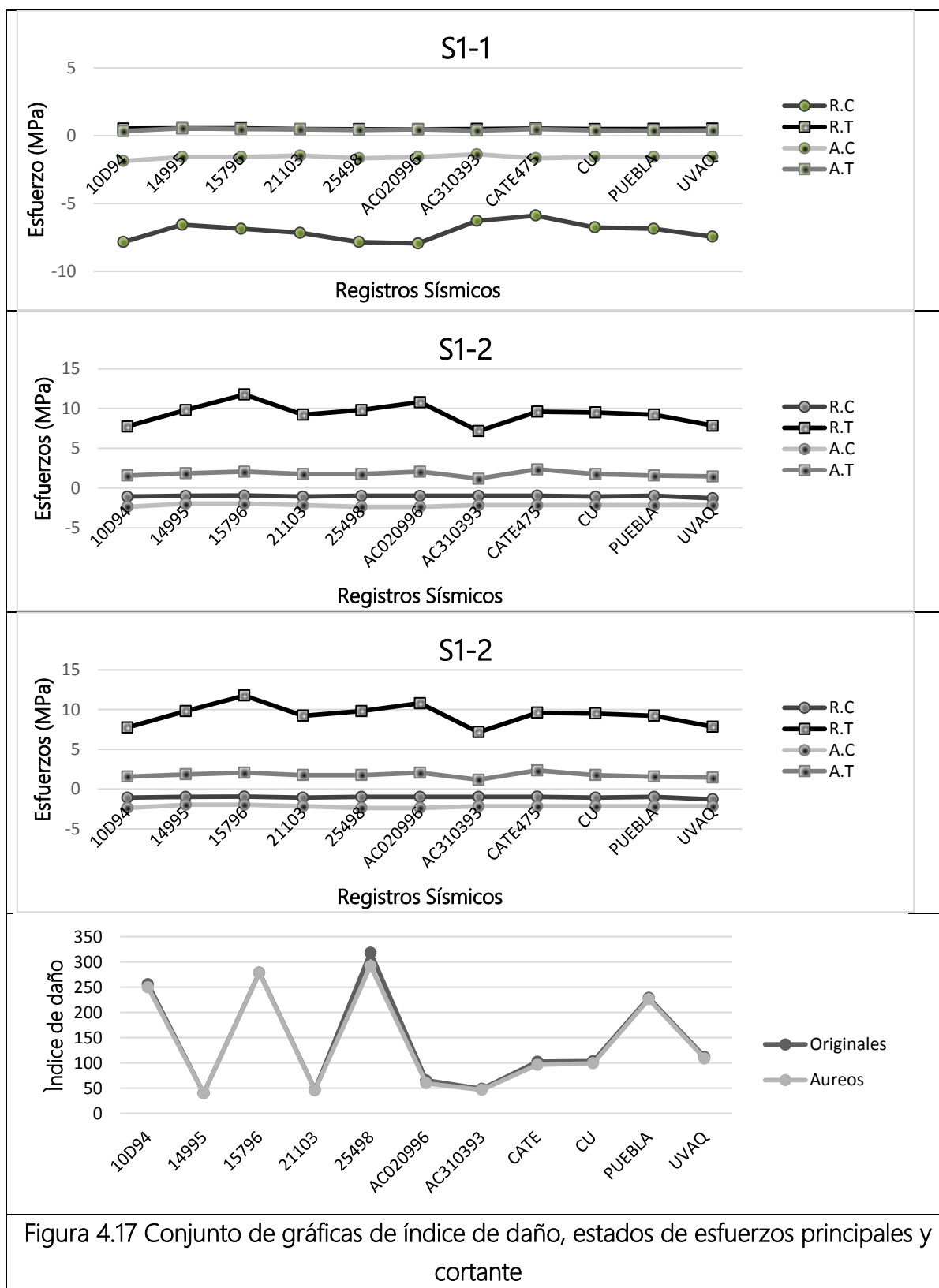
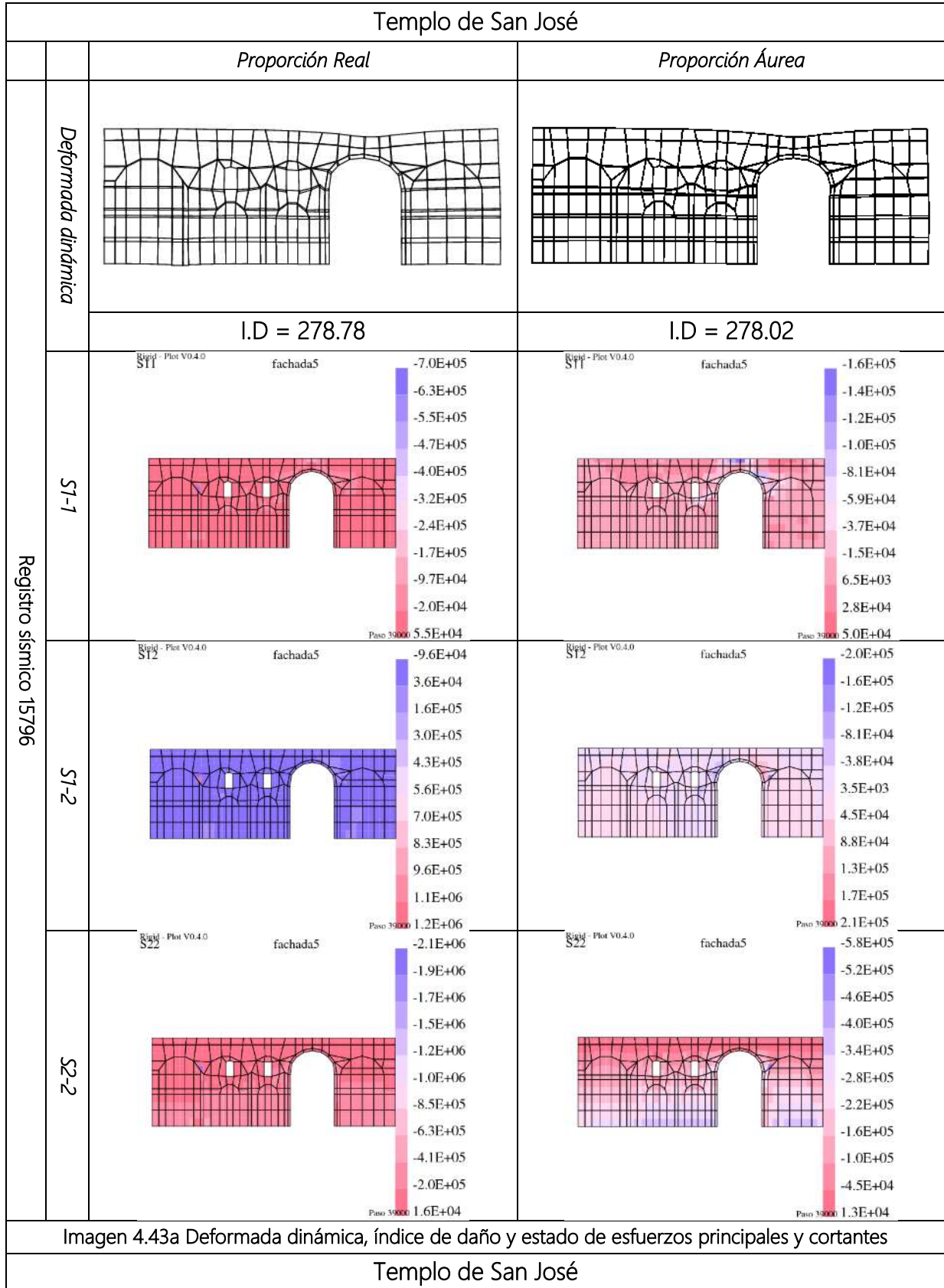
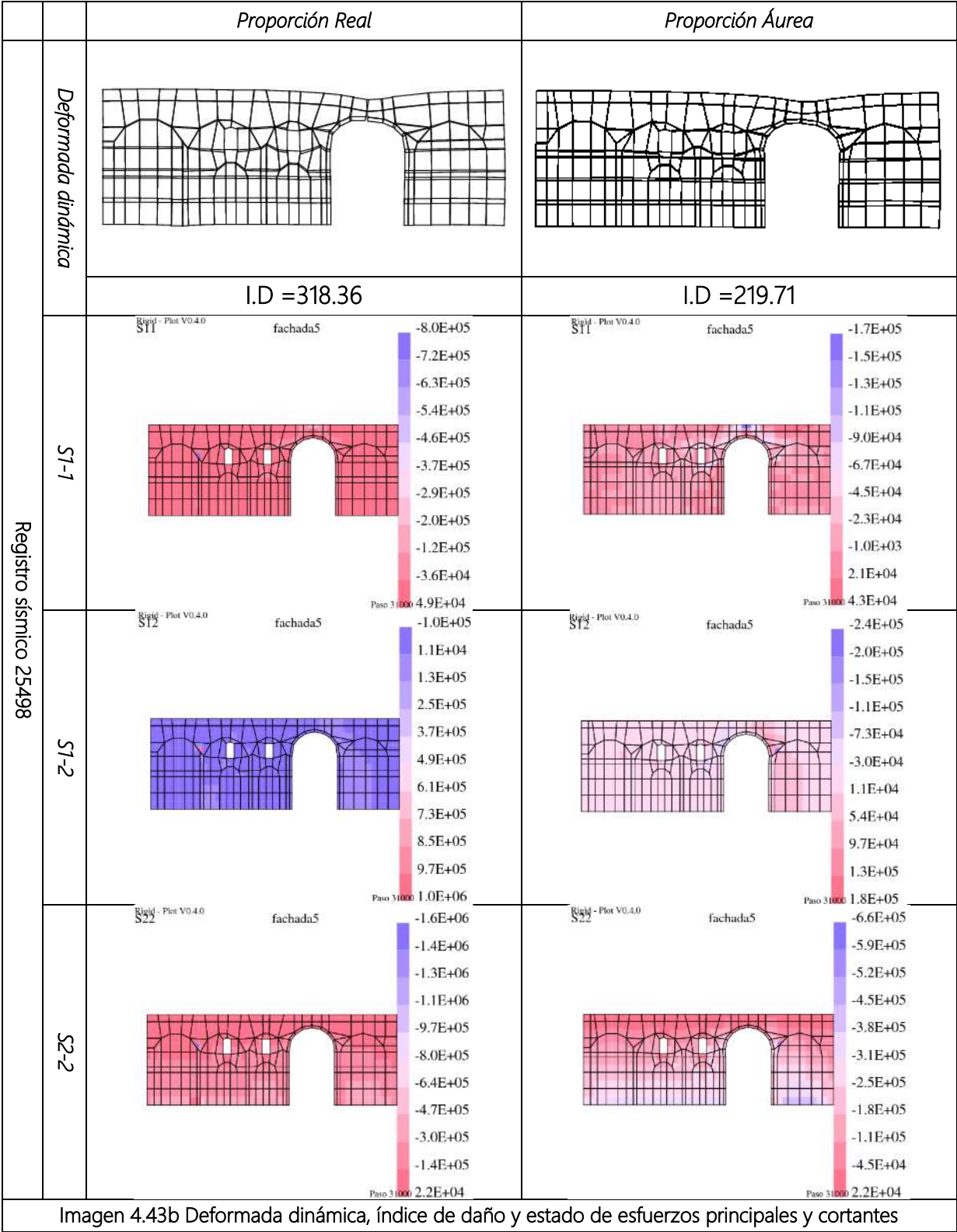
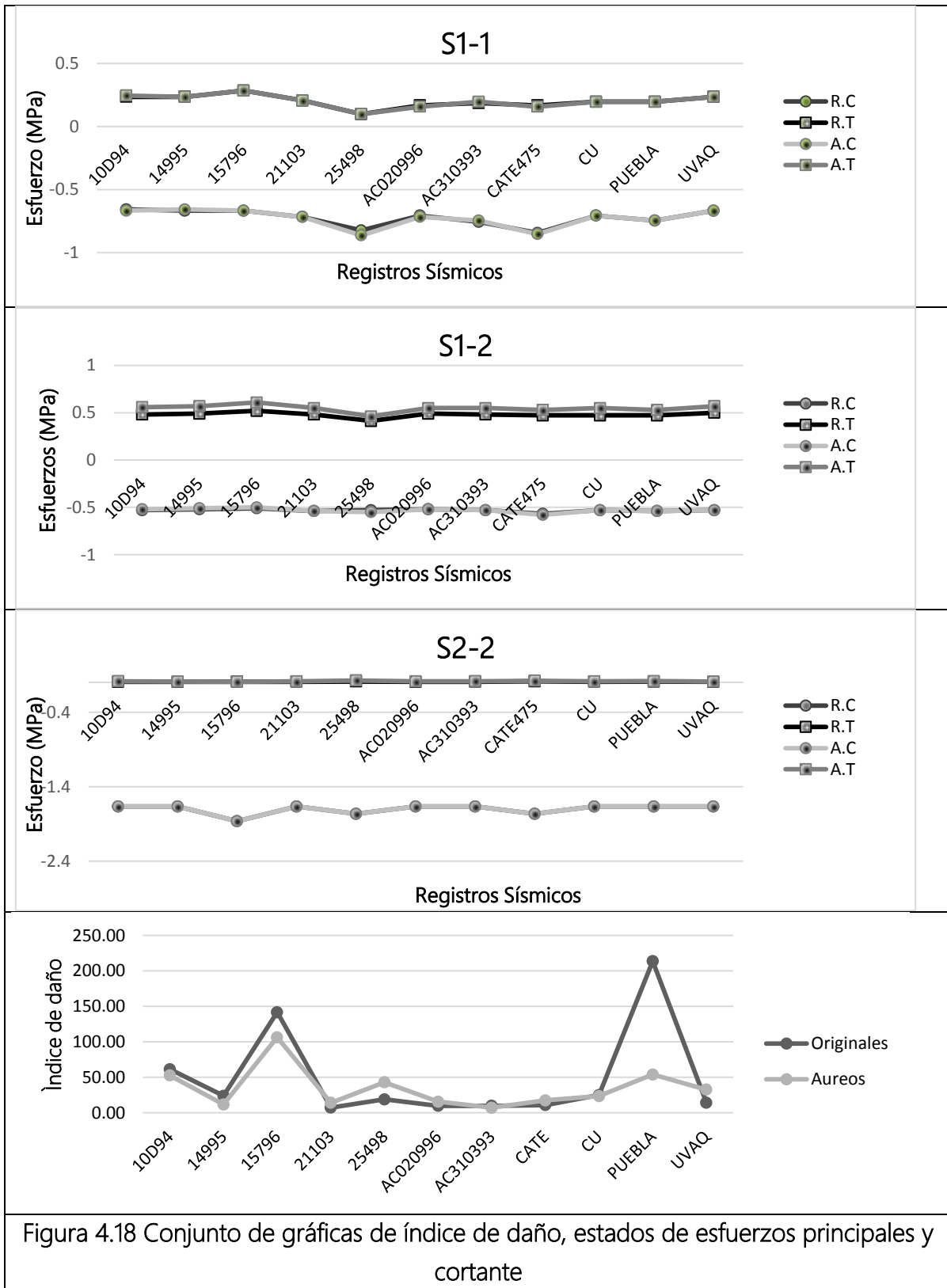


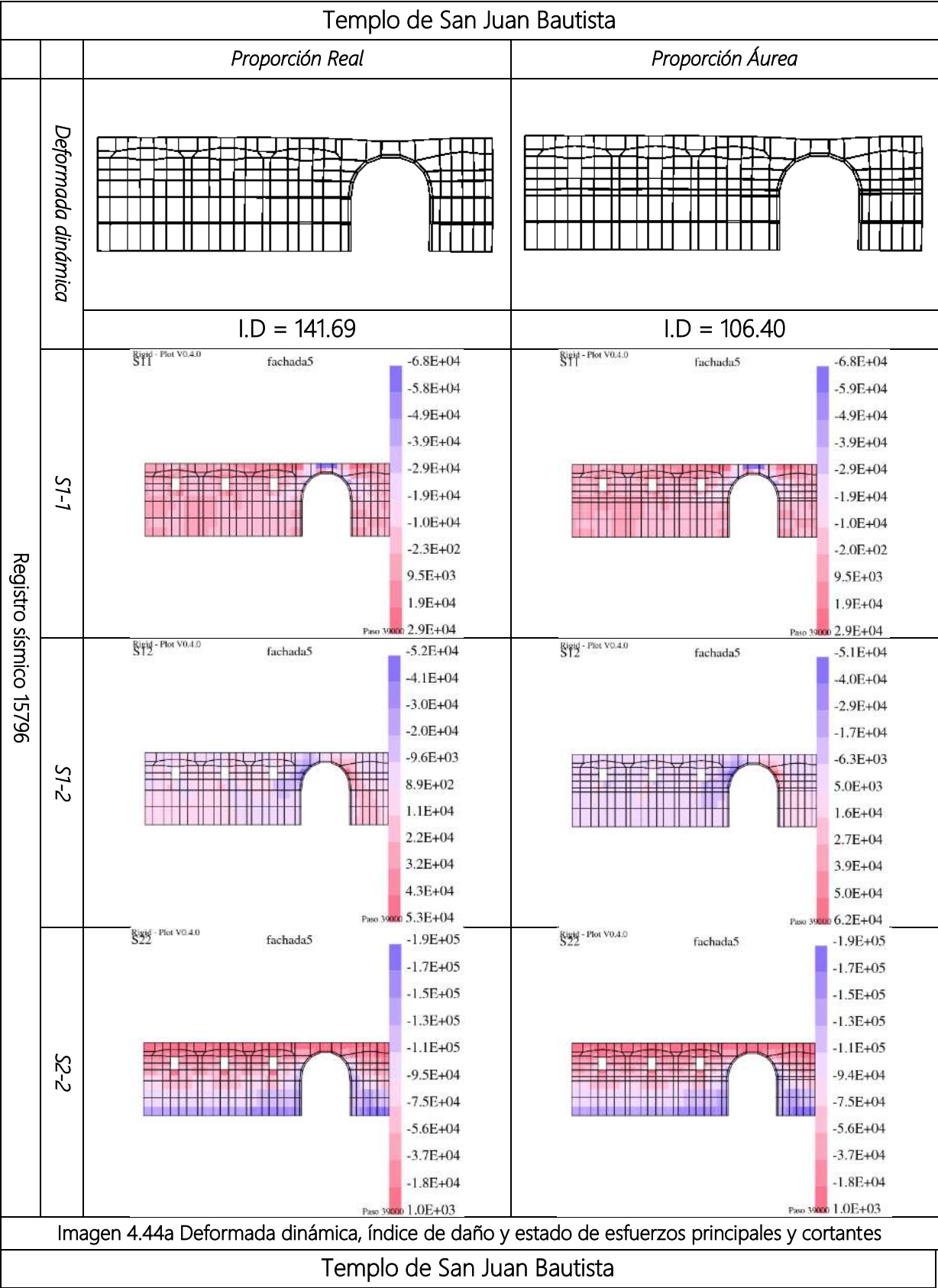
Figura 4.17 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

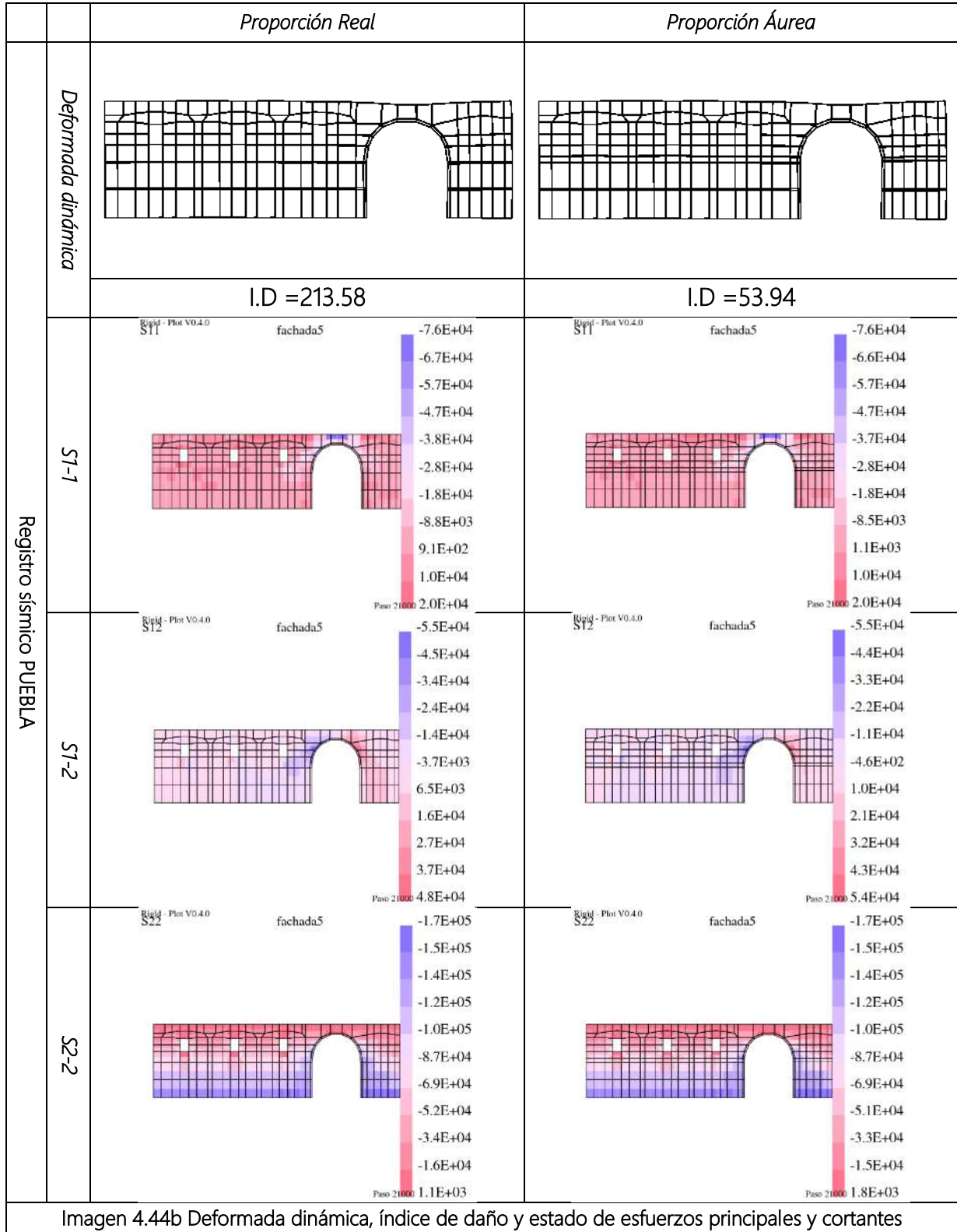




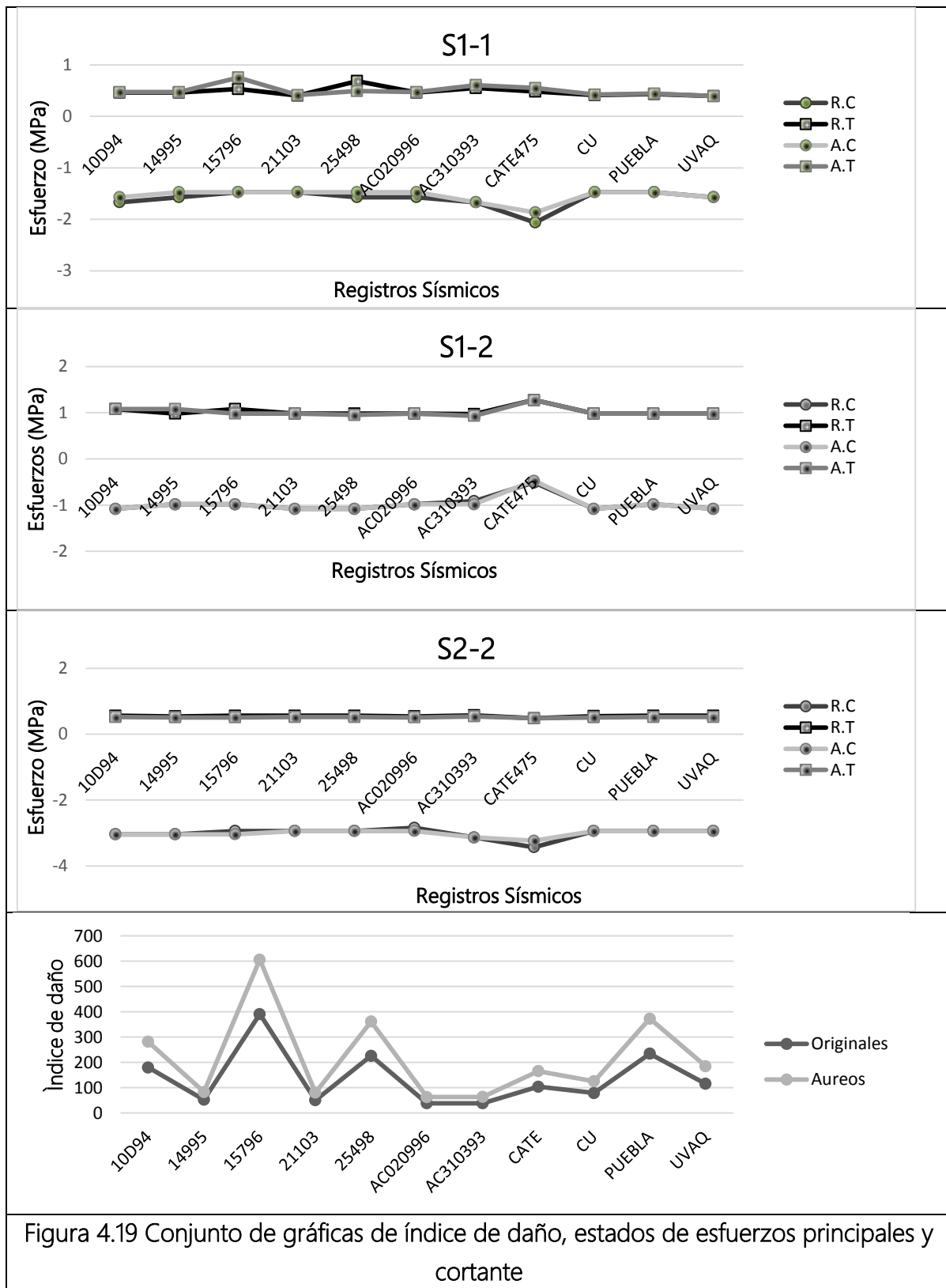
VI. Templo de San Juan Bautista

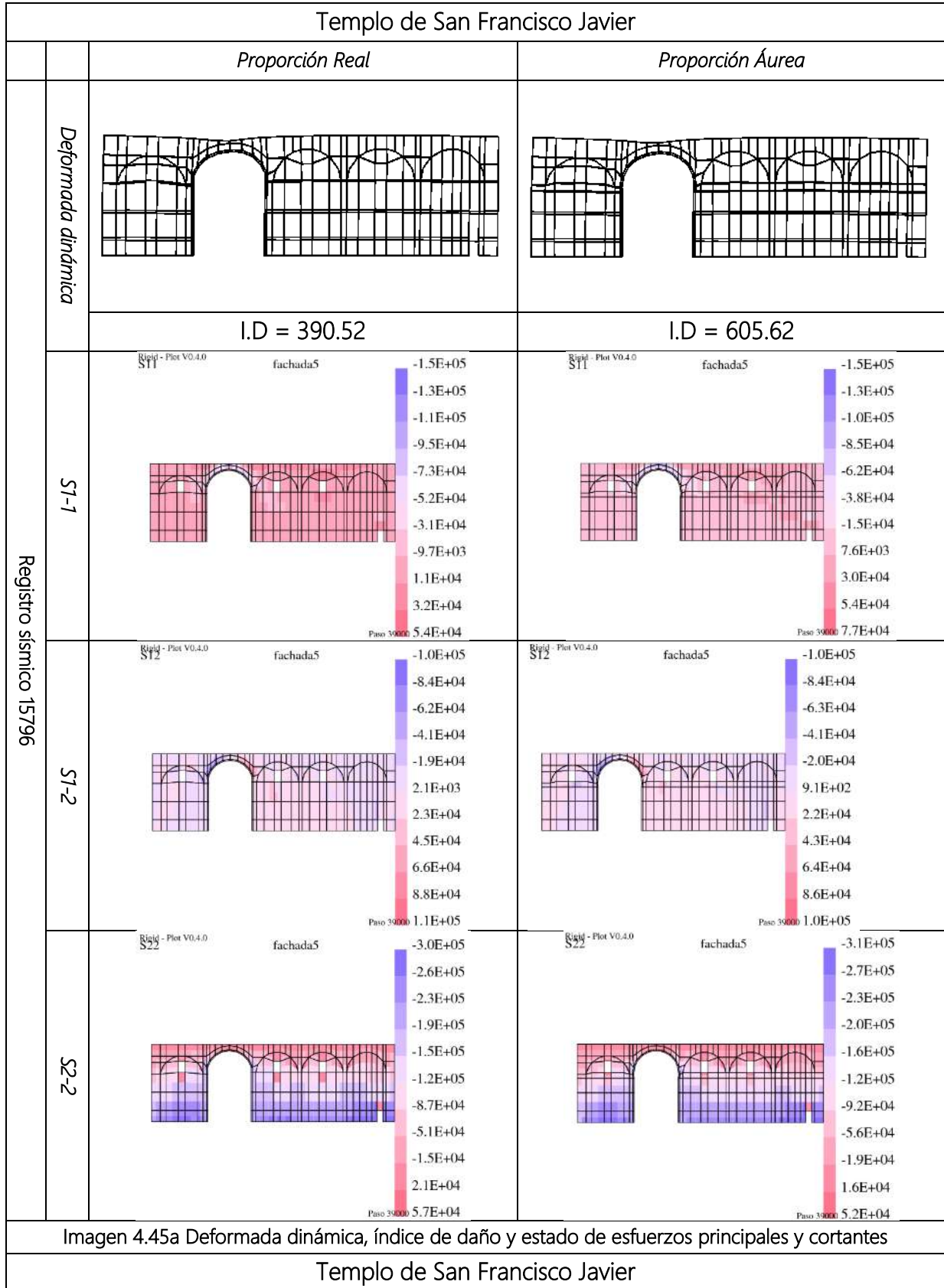


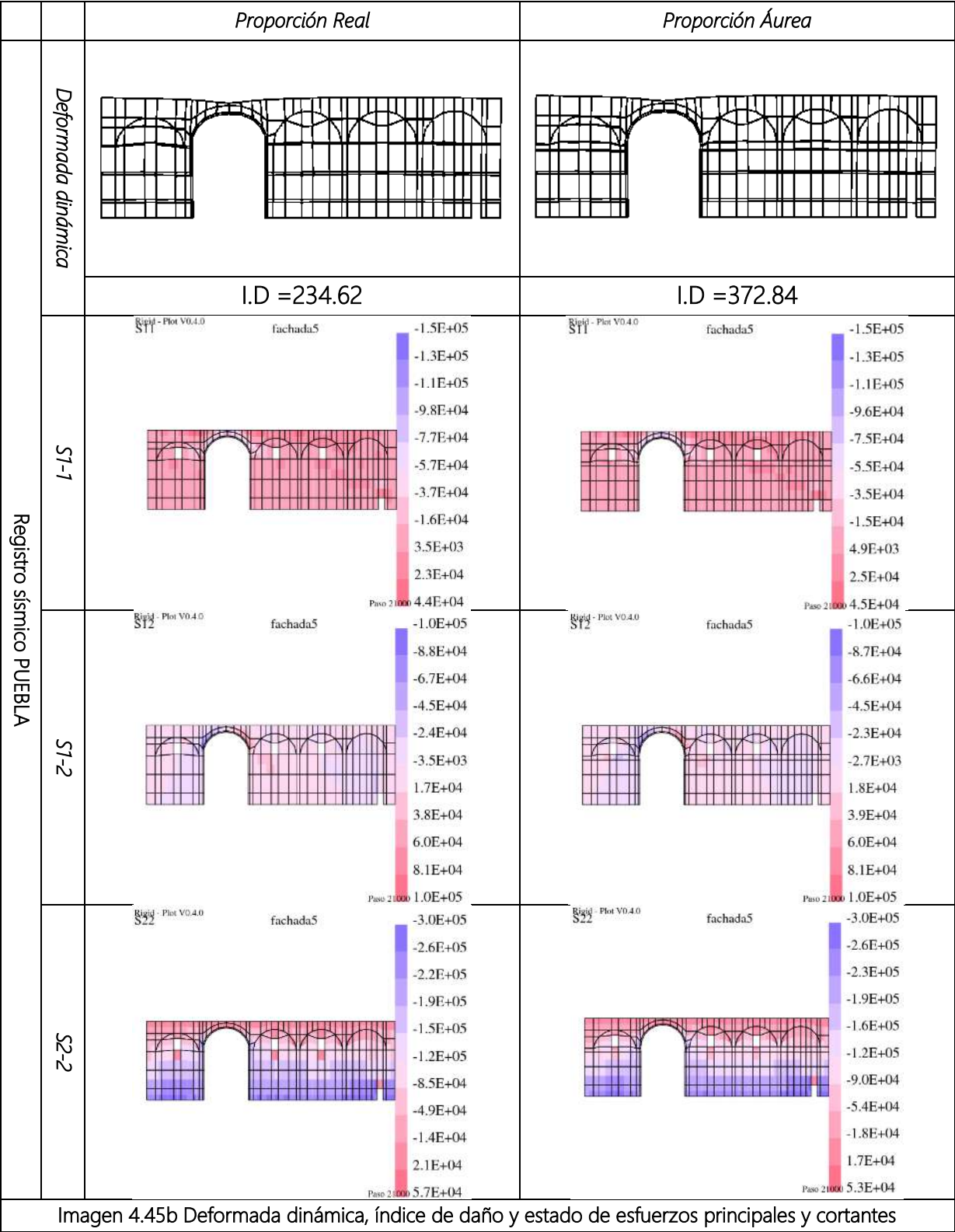




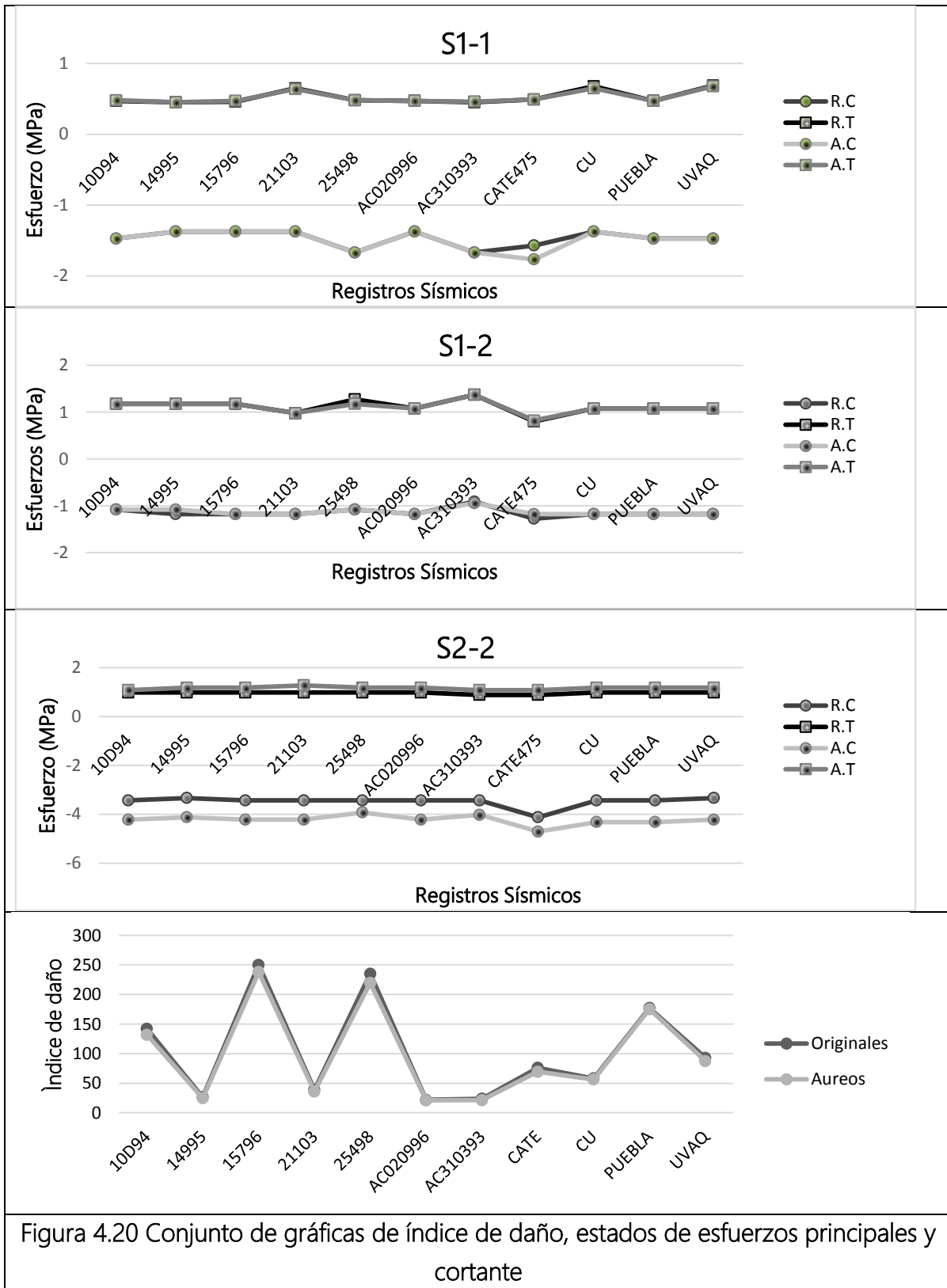
VII. Templo de San Francisco Javier

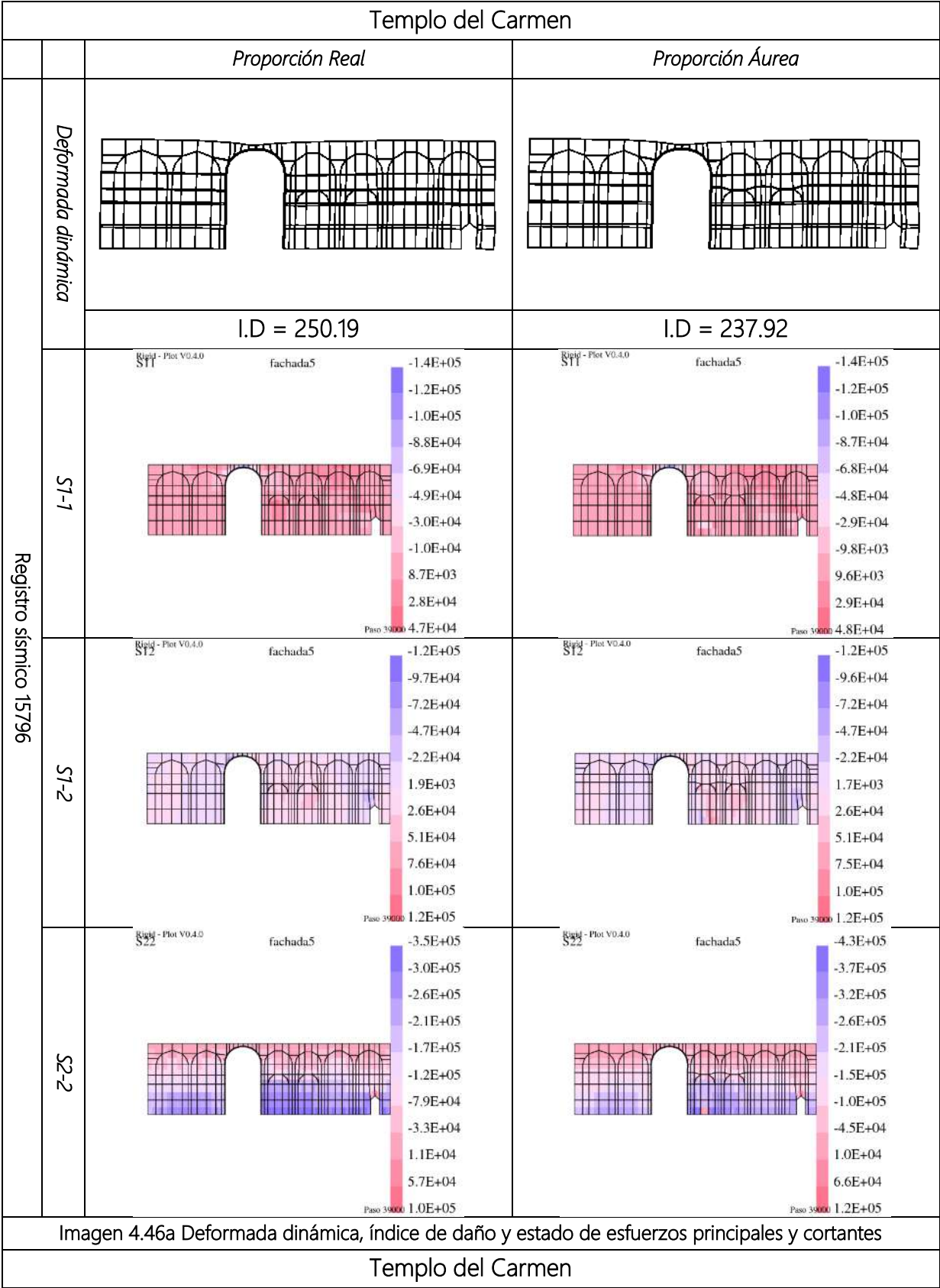


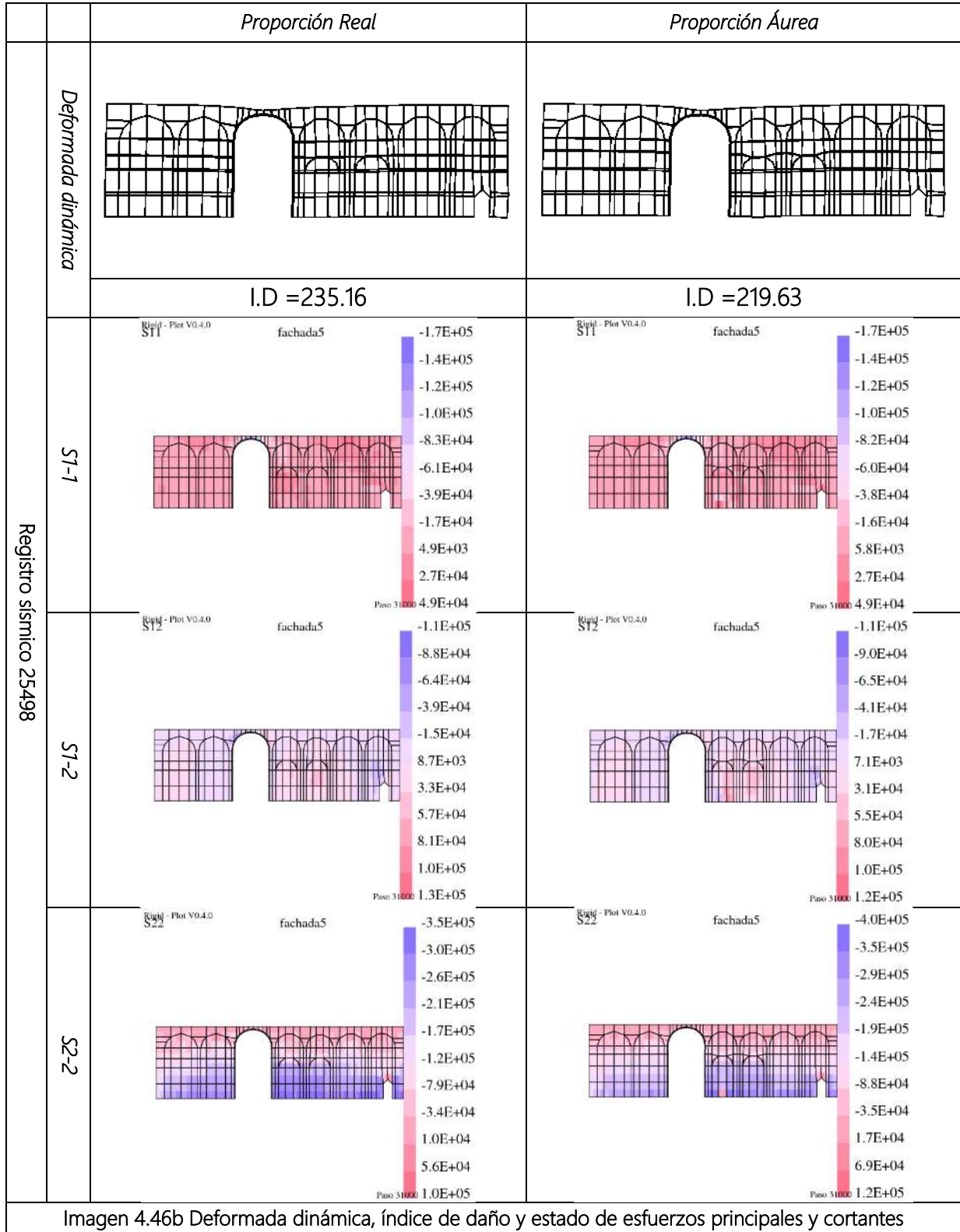




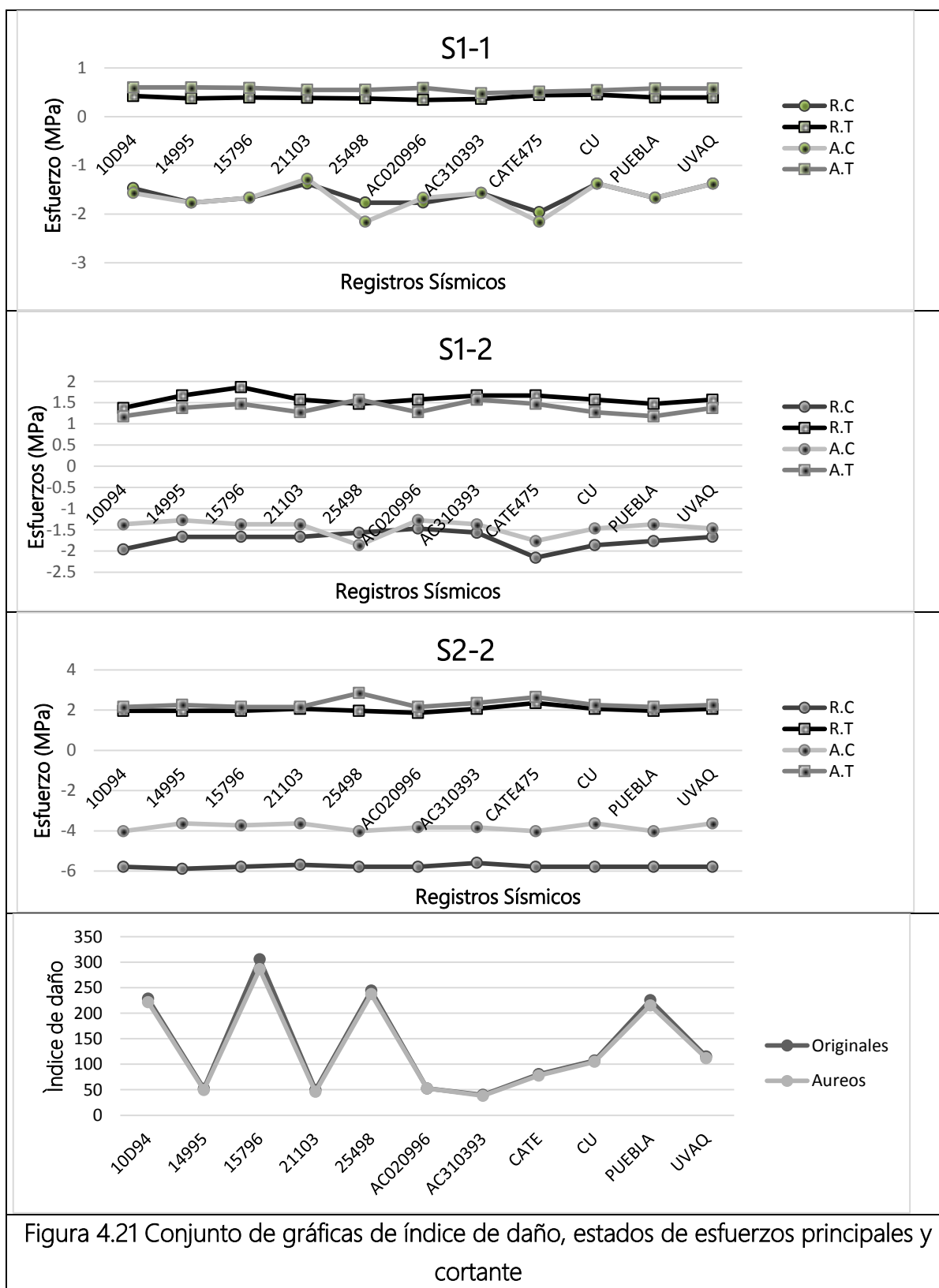
VIII. Templo del Carmen

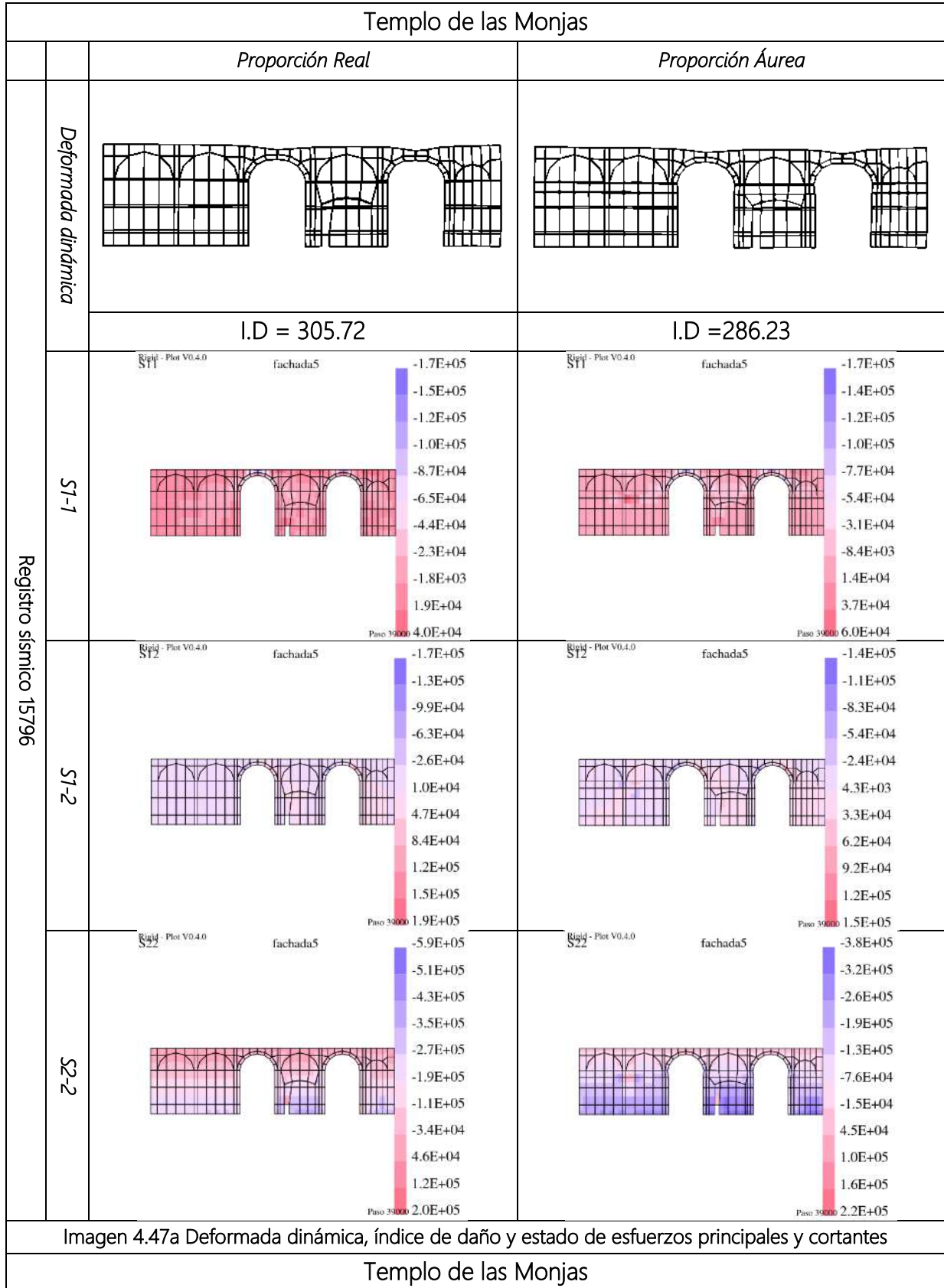






IX. Templo de las Monjas





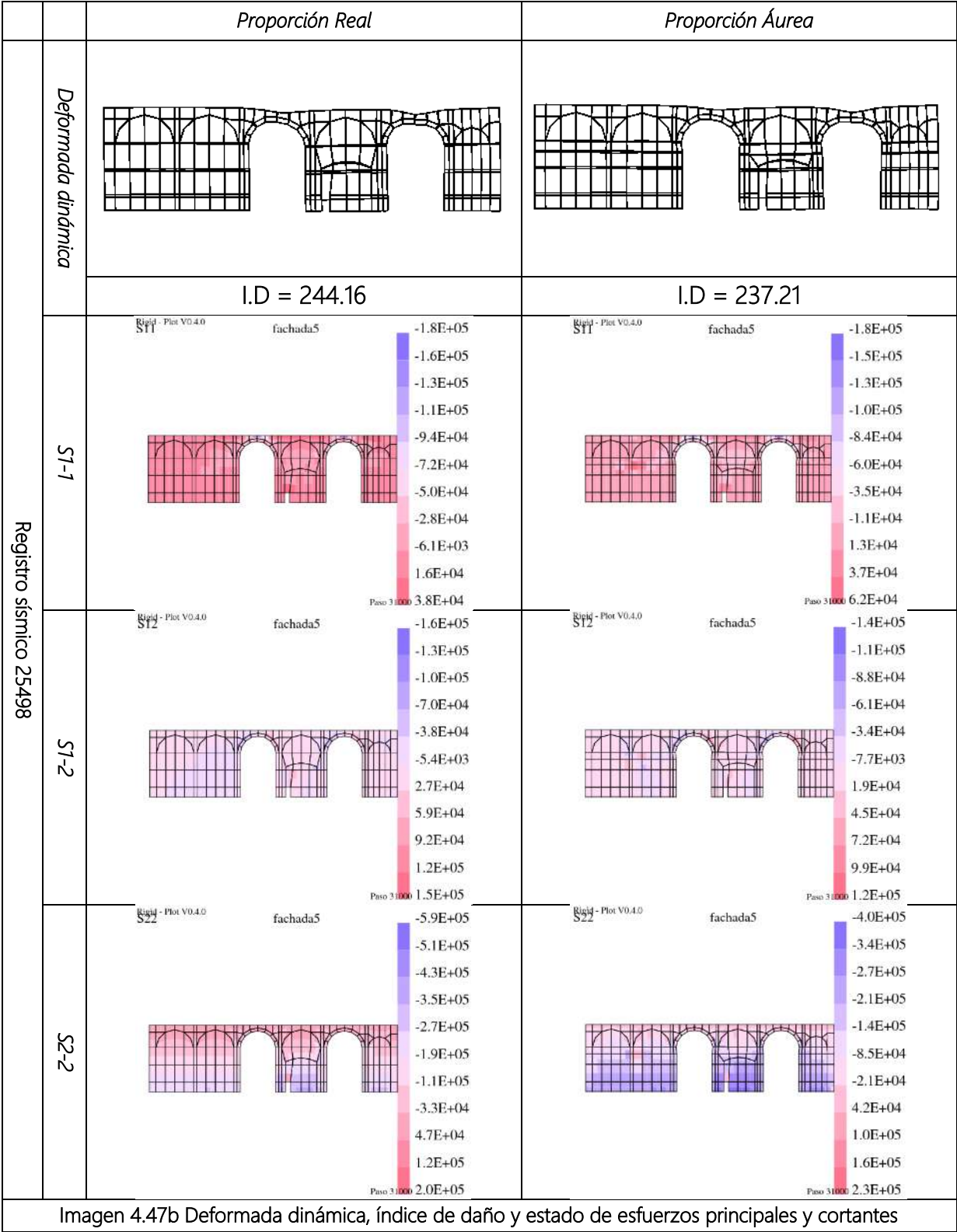
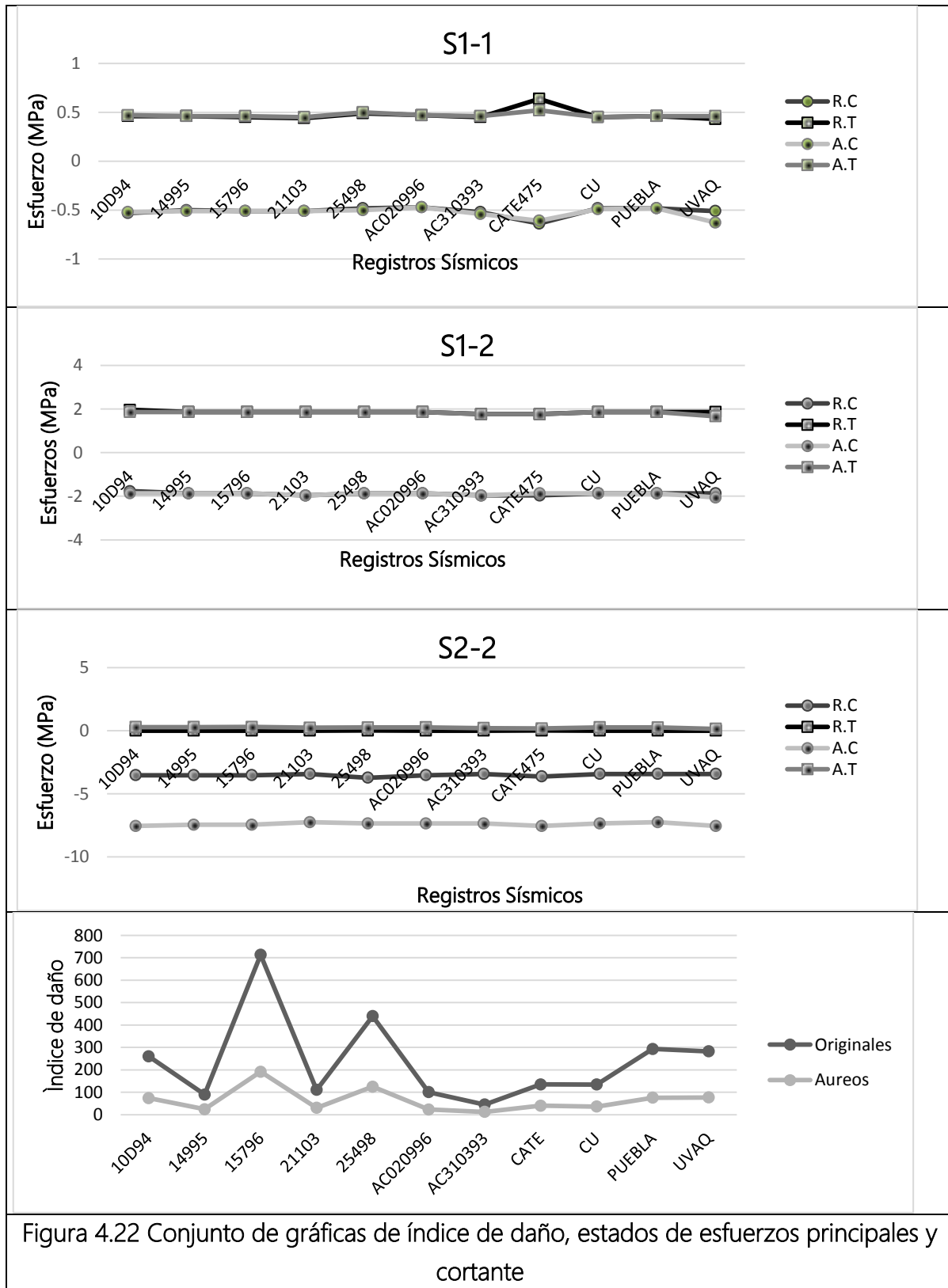
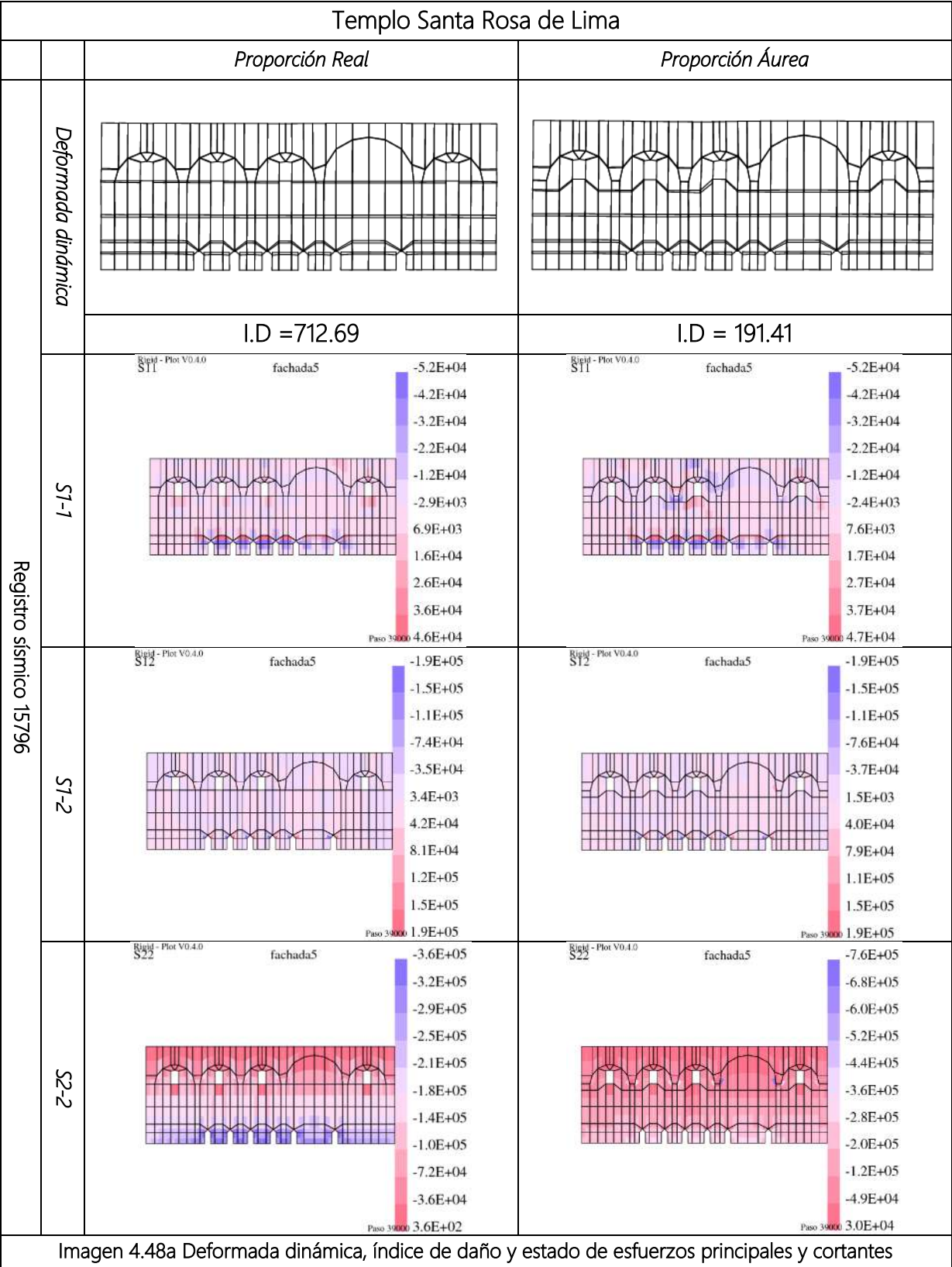
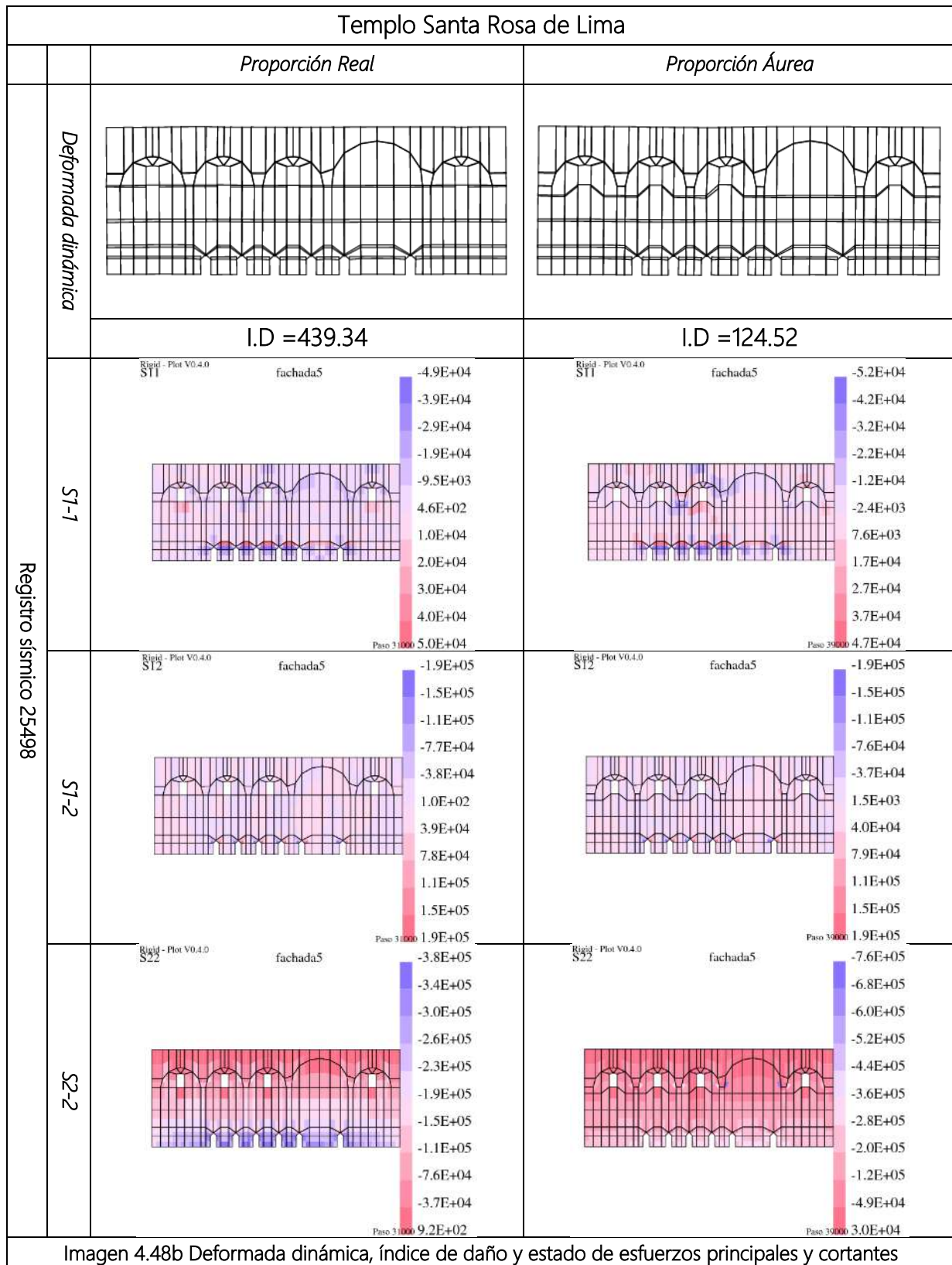


Imagen 4.47b Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

X. Templo Santa Rosa de Lima







XI. Templo de San Agustín

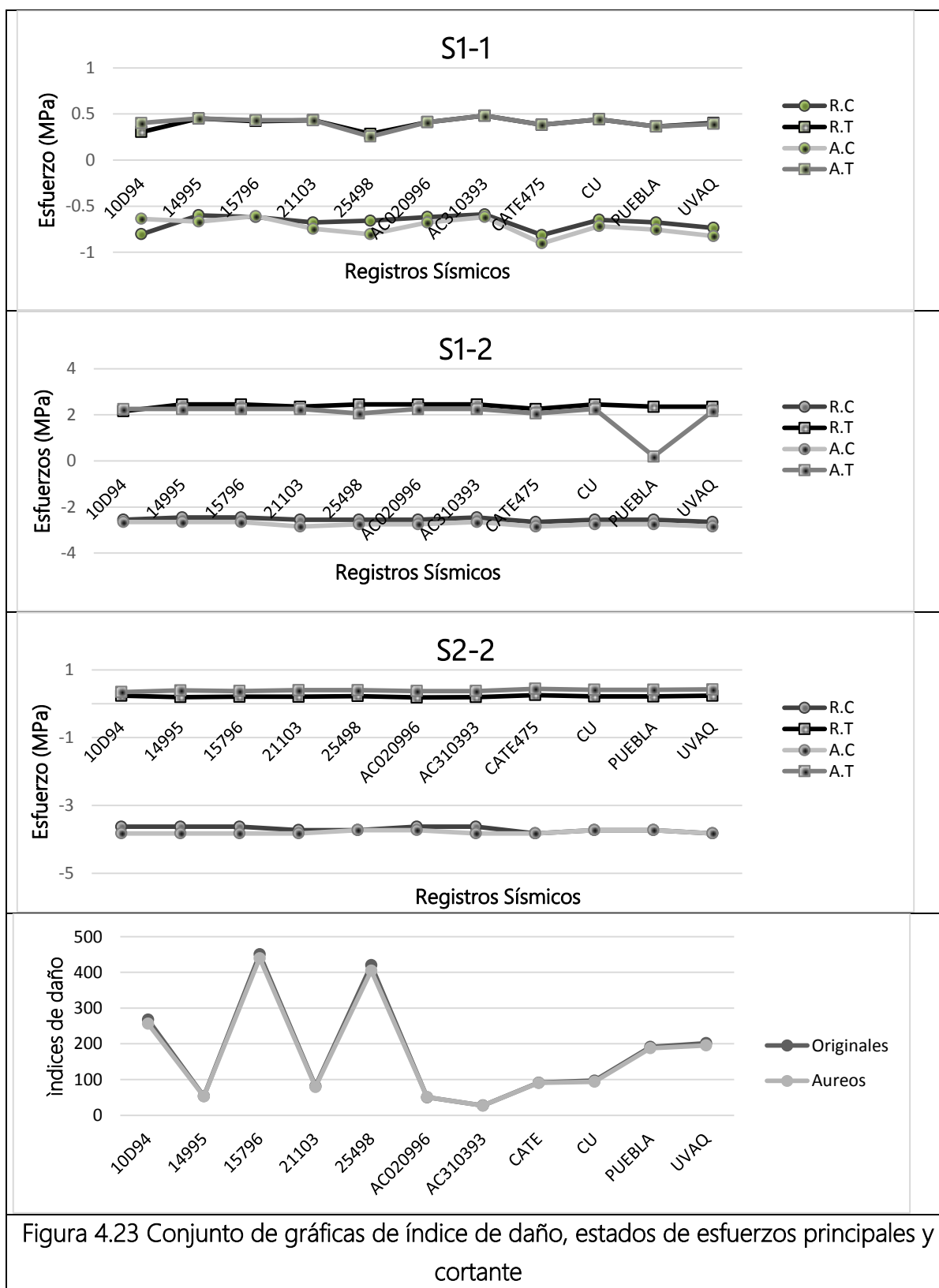
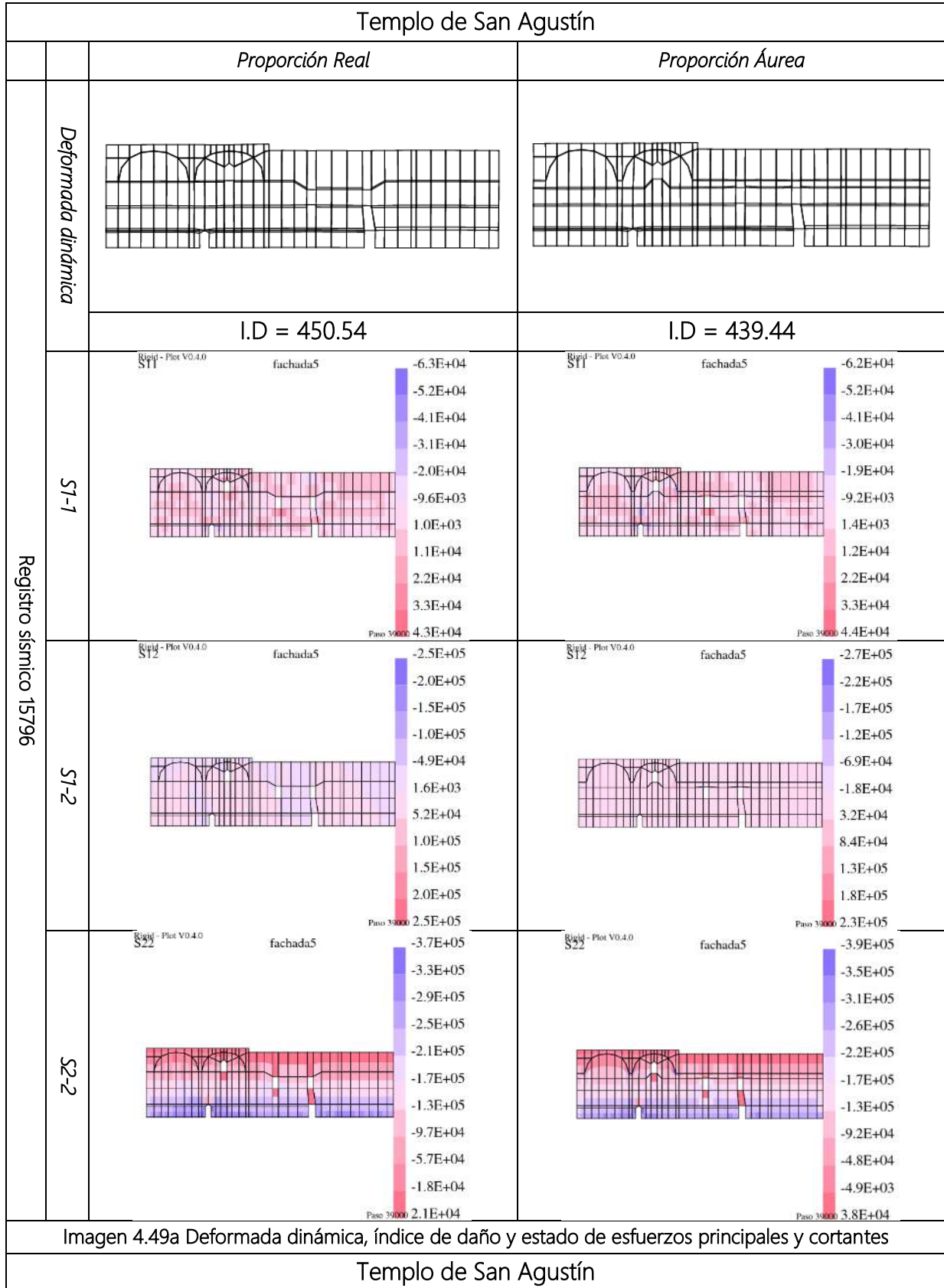


Figura 4.23 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante



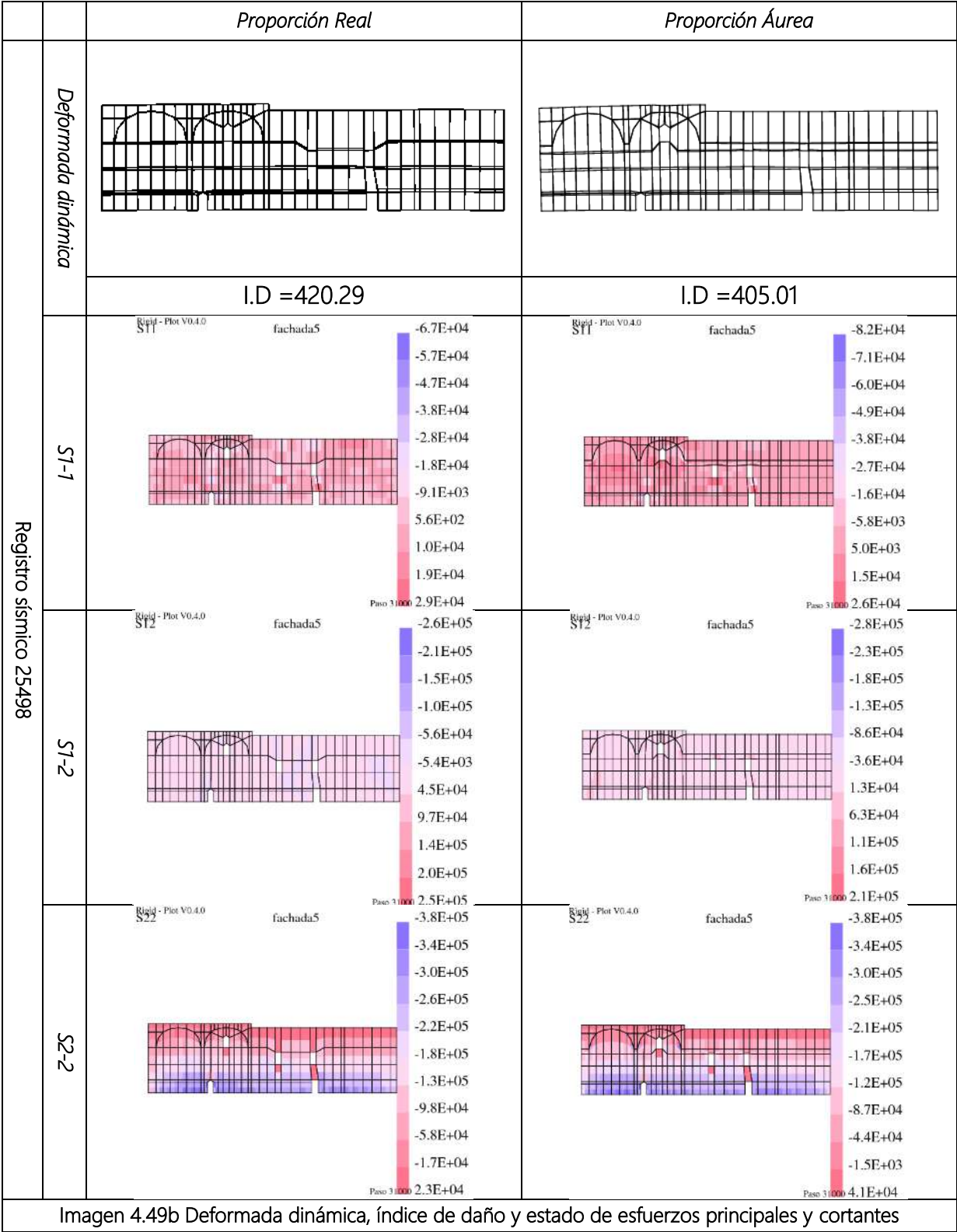
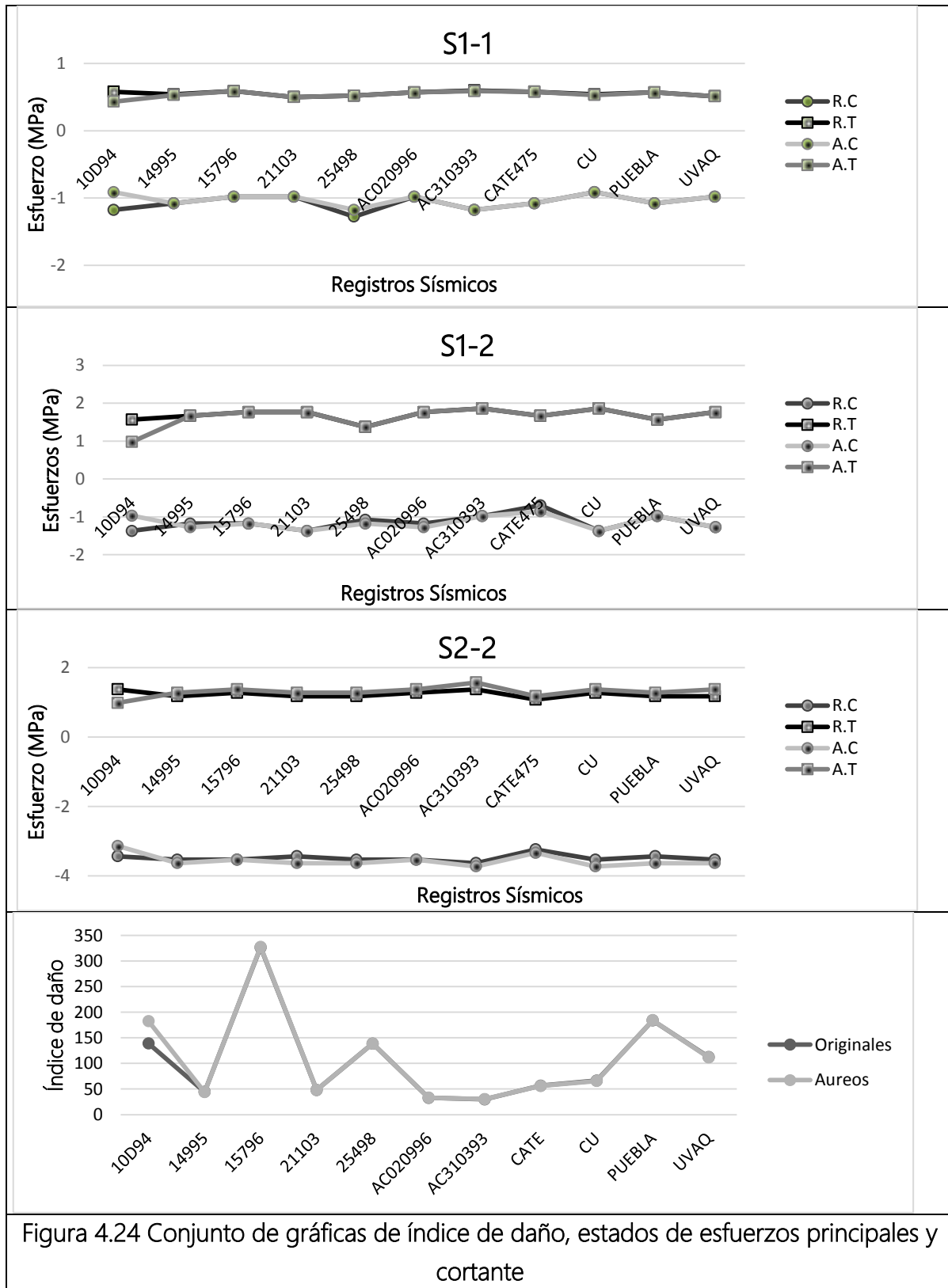
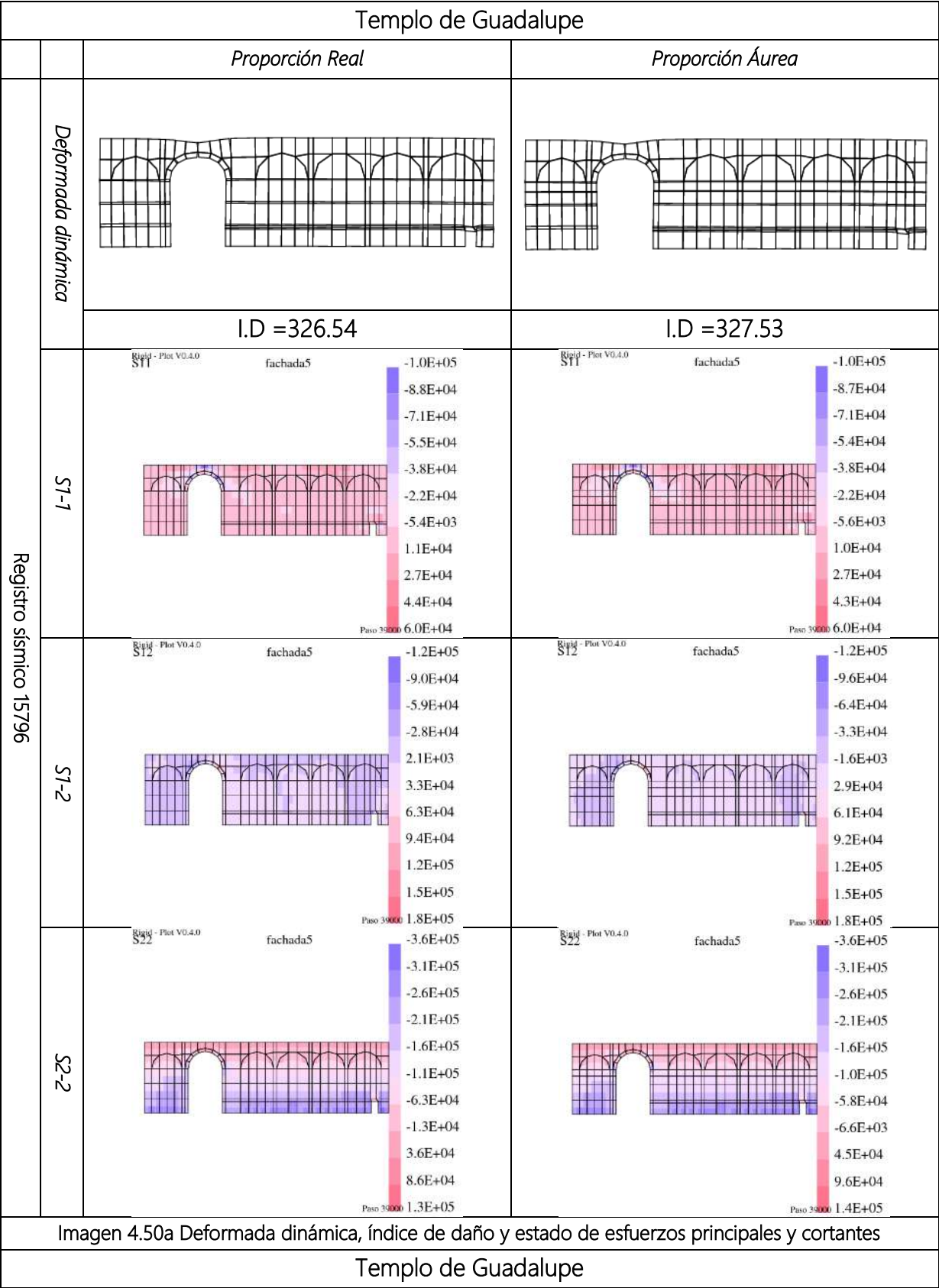
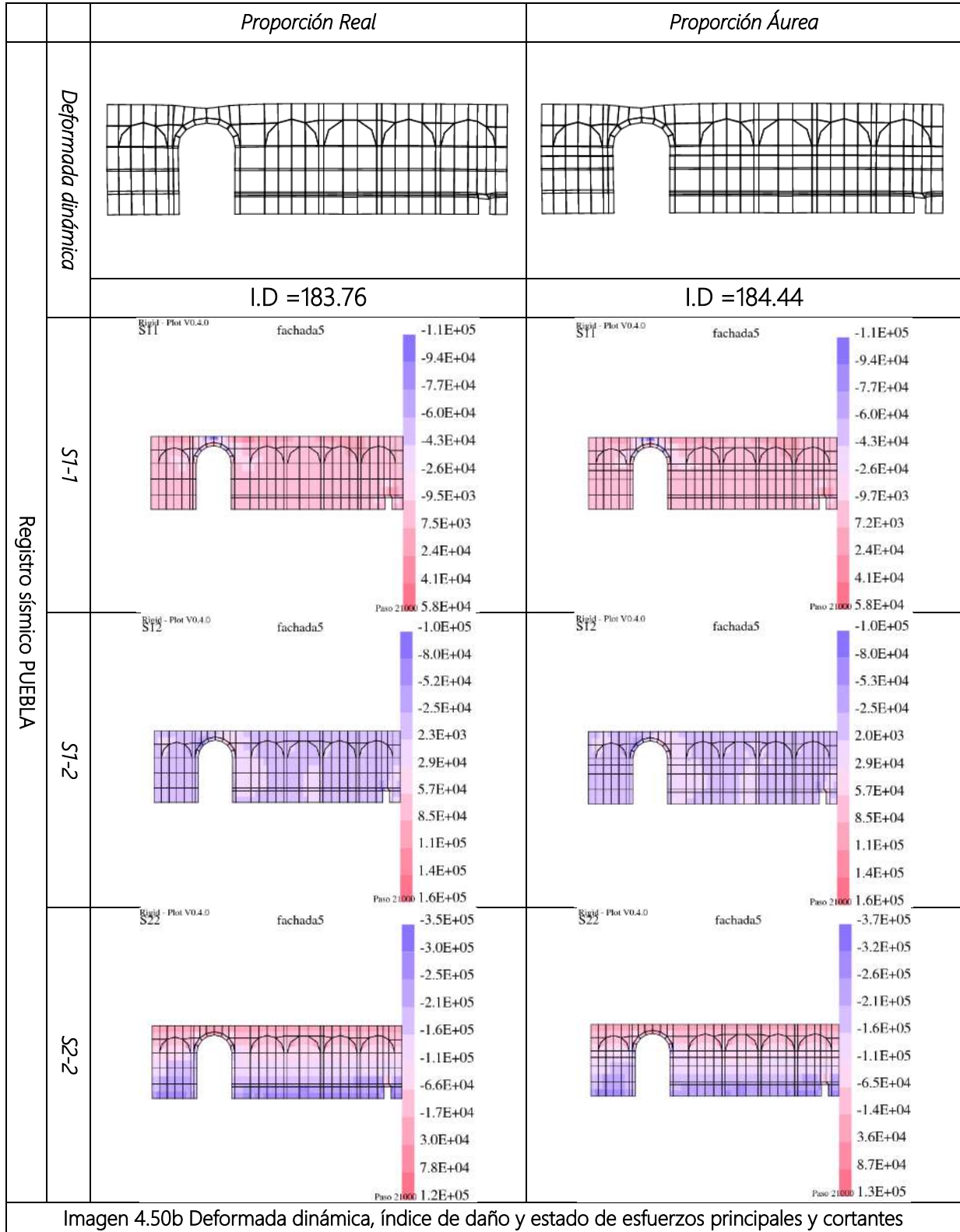


Imagen 4.49b Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

XII. Templo de Guadalupe







XIII. Catedral de la Transfiguración

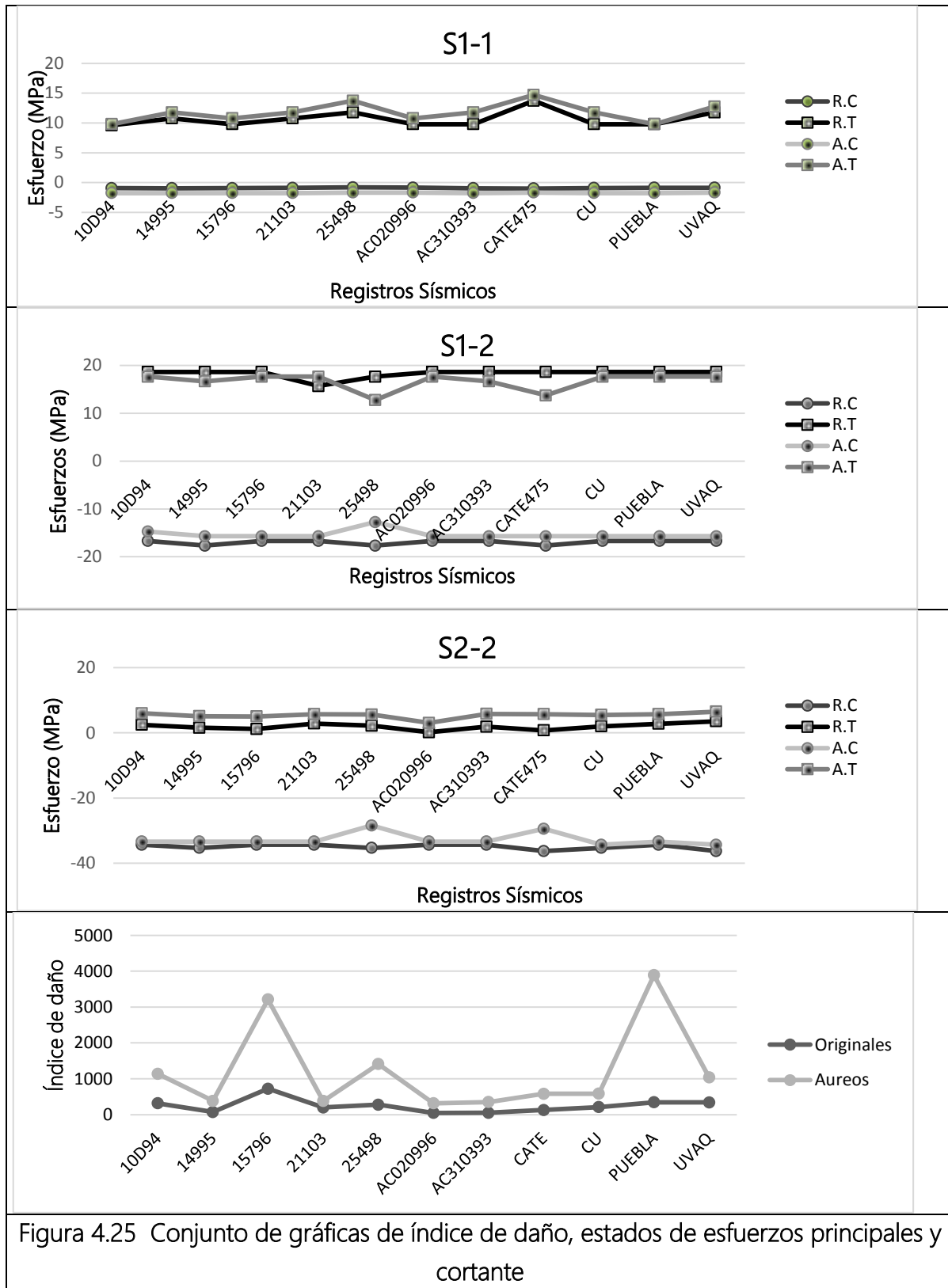
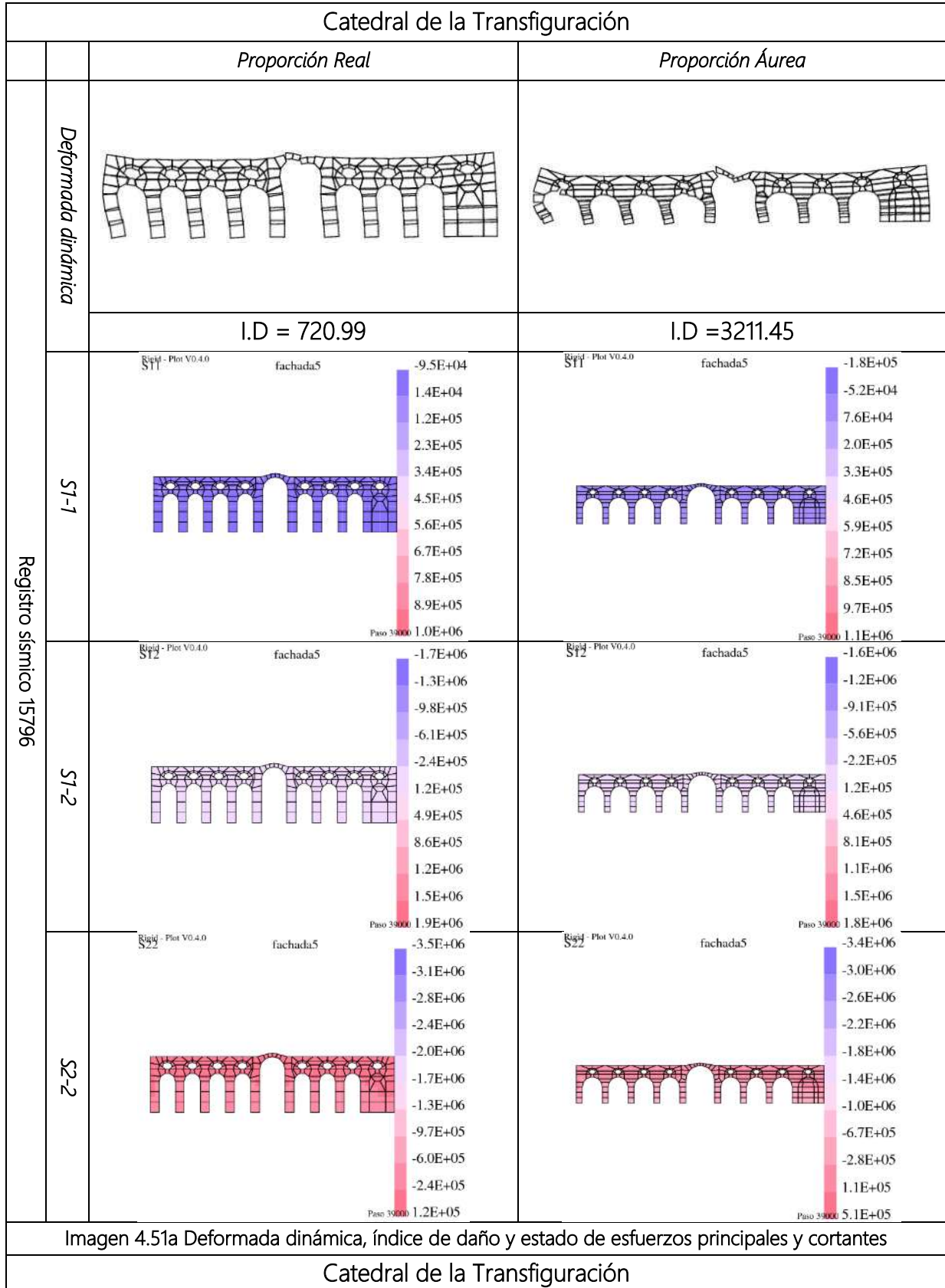
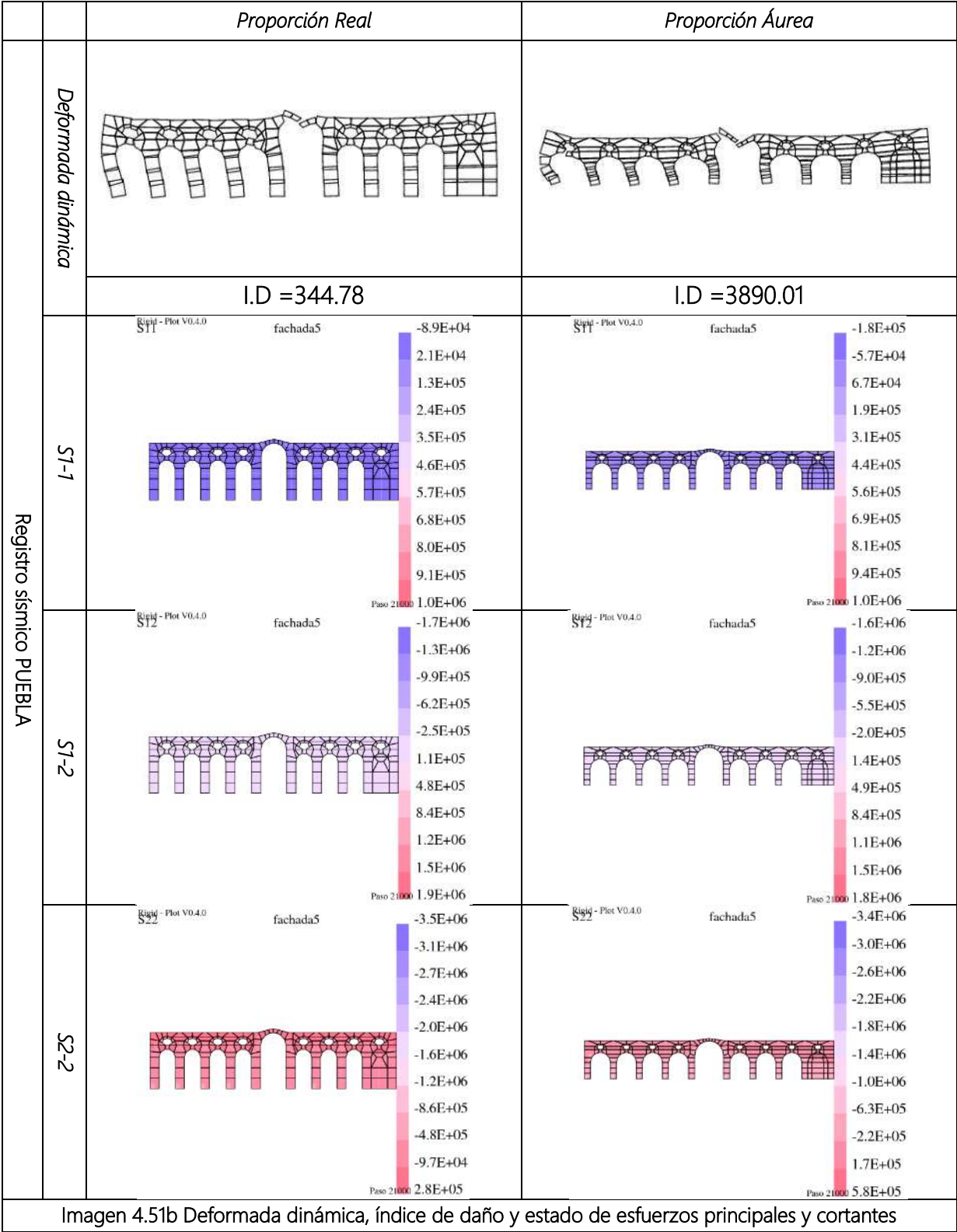
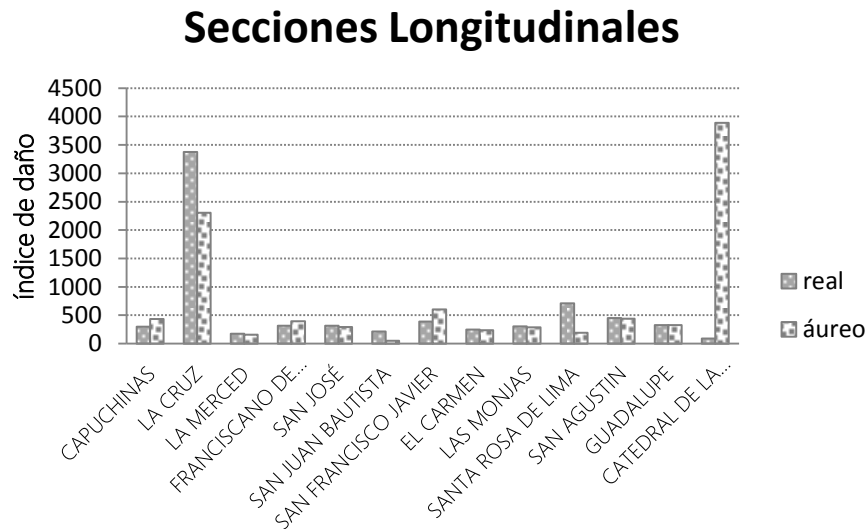


Figura 4.25 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante





De acuerdo a los índices de daño de los macroelementos longitudinales vemos que en la Catedral la proporción dorada perjudica enormemente el comportamiento de la sección. Así mismo en la gráfica 2 podemos darnos cuenta de que el templo más vulnerable del conjunto estudiado es el de la Cruz, puesto que en él se registra el índice de daño mayor.



Gráfica 2. Índices de daño de los macroelementos longitudinales

De la gráfica anterior podemos deducir que la proporción divina beneficia el comportamiento de las secciones longitudinales puesto que solo a cuatro de las trece estructuras en estudio no se vieron beneficiadas con la aplicación de la razón áurea.

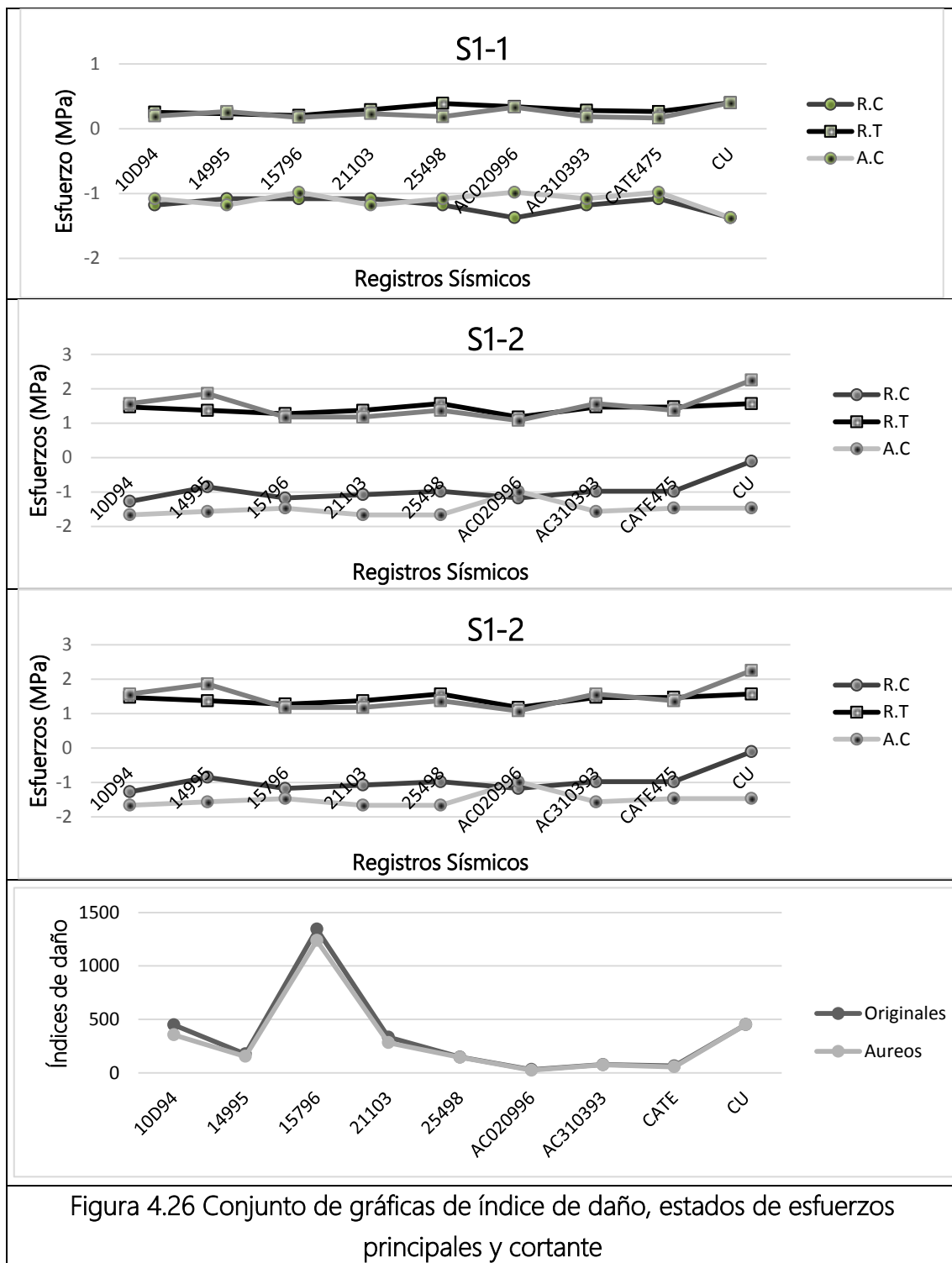
4.2.2 Periodo de Retorno de 975 años

Para el análisis con periodo de retorno de 975 años recordemos que la aceleración máxima del terreno es de 1.95 m/s^2 , y que solo se mostrarán los registros sísmicos a los que no hubo la necesidad de disminuir su aceleración máxima para evitar fallas por compresión en la estructura. Los resultados se mostrarán de la misma forma como se hicieron los análisis con periodo de retorno de 475 años.

4.2.2.1 Macroelementos Transversales

Posteriormente se muestran los resultados de los análisis con los registros sísmicos con empleando periodo de retorno de 975 años.

I. Templo de Capuchinas



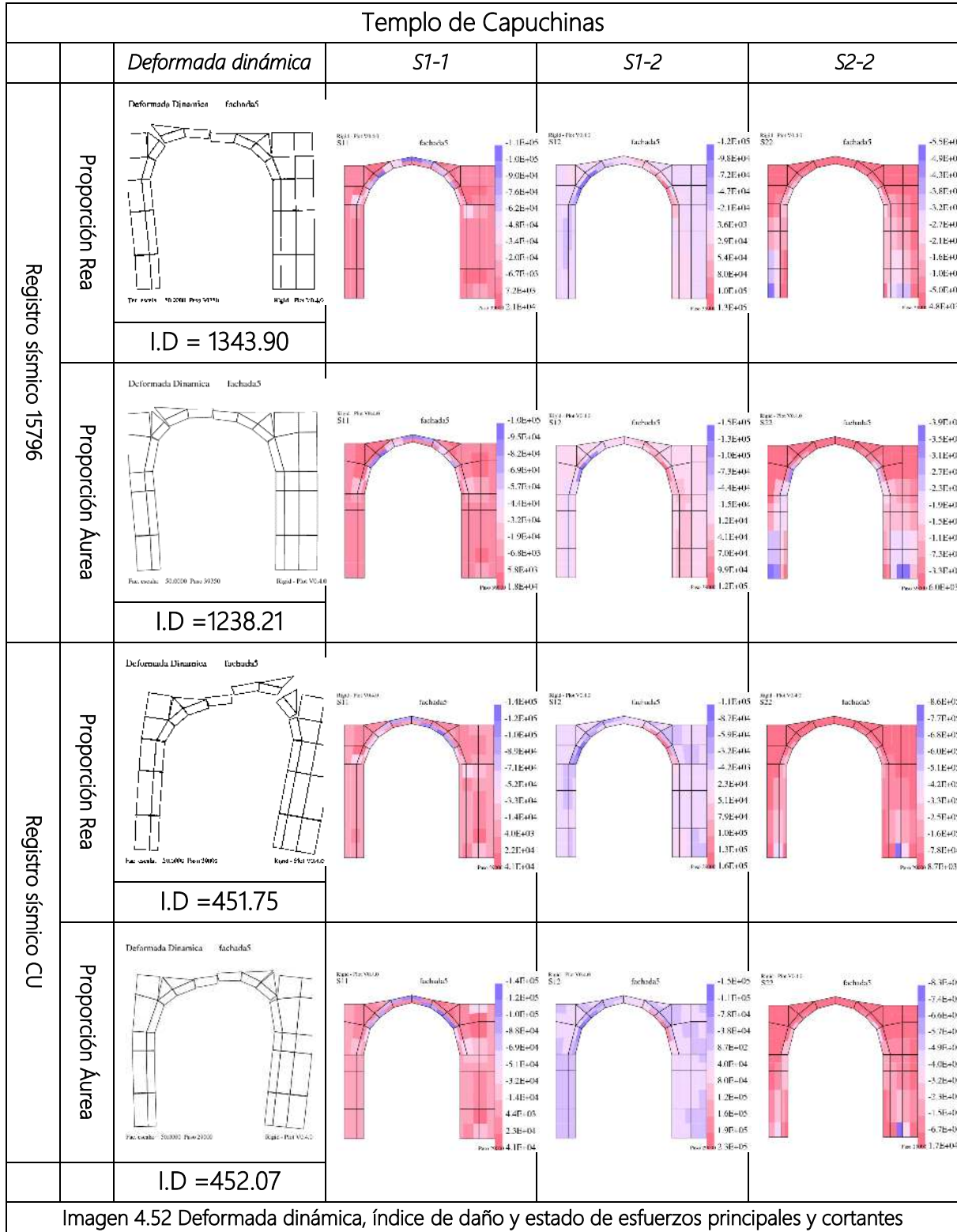


Imagen 4.52 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

II. Templo de la Cruz

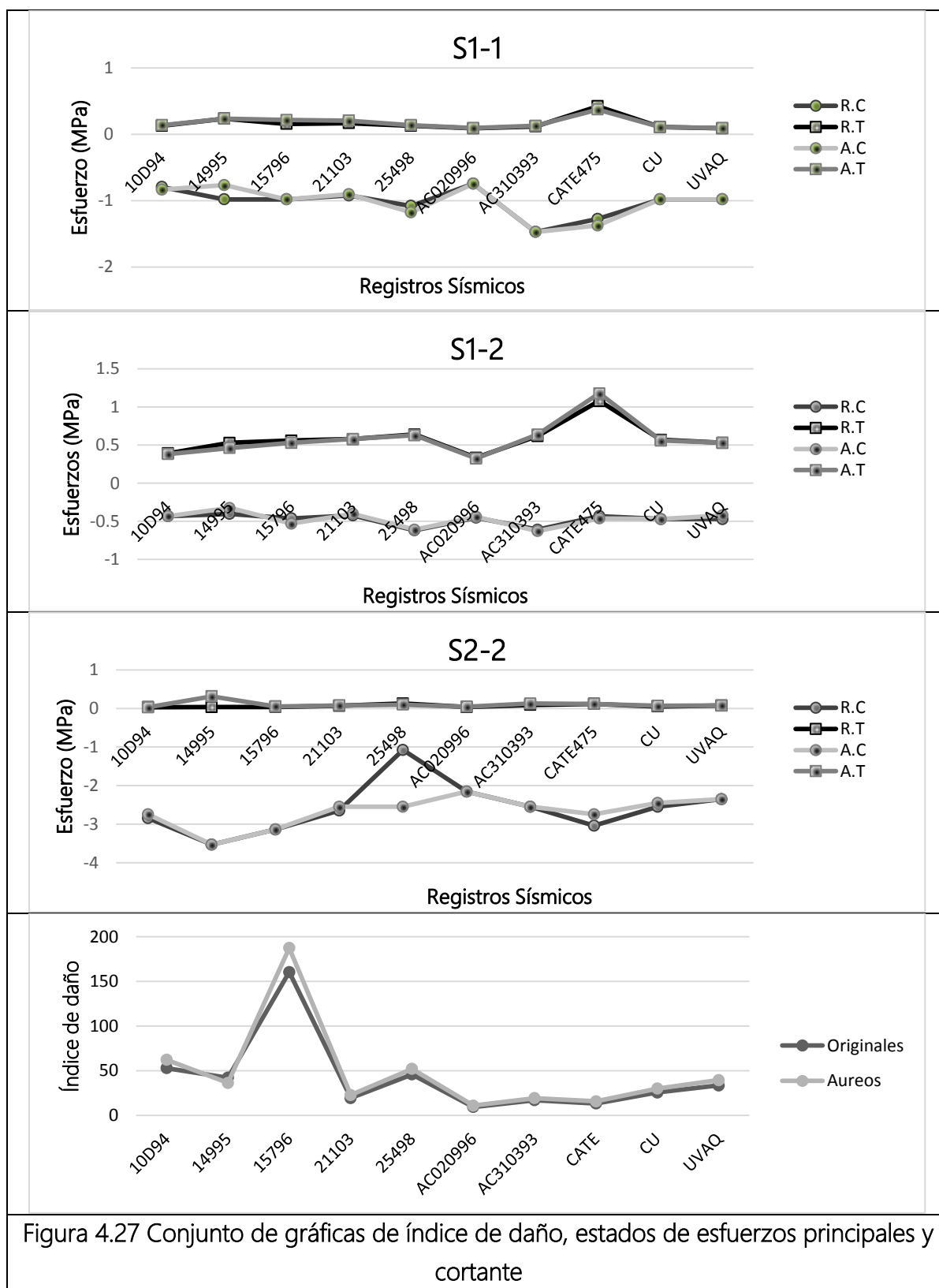
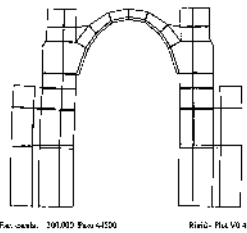
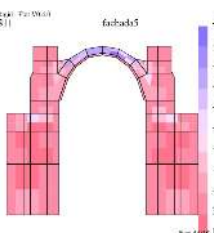
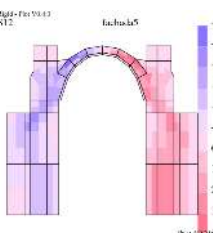
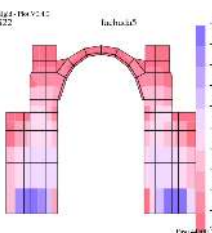
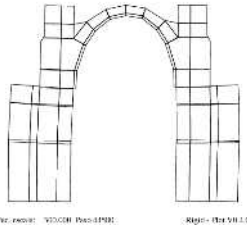
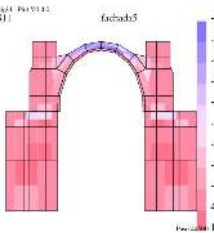
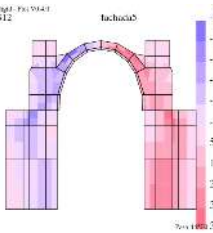
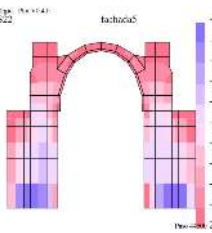
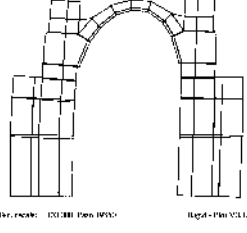
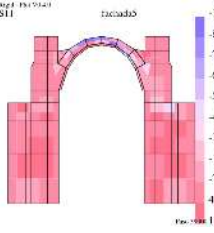
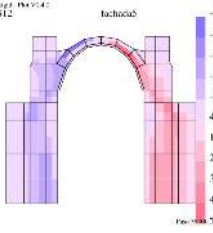
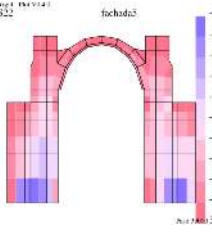
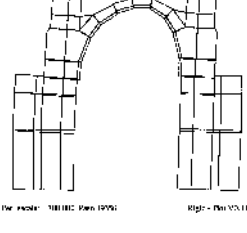
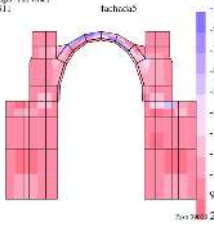
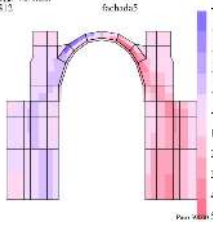
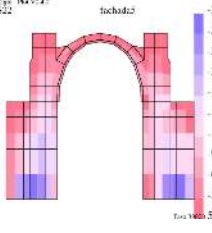


Figura 4.27 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

Templo de la Cruz					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 10D94	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. estado: 101.005 Paso 4250 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S11 fachada5  Fac. estado: 101.005 Paso 4250 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S12 fachada5  Fac. estado: 101.005 Paso 4250 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S22 fachada5  Fac. estado: 101.005 Paso 4250 Ruido: Pta V0.40
		I.D = 52.71			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S11 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S12 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S22 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40
		I.D =62.08			
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S11 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S12 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S22 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40
		I.D =160.25			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S11 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S12 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40	Ruido: Pta V0.40 S22 fachada5  Fac. estado: 103.000 Paso 4500 Ruido: Pta V0.40
		I.D =187.33			
Imagen 4.53 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

III. Templo de la Merced

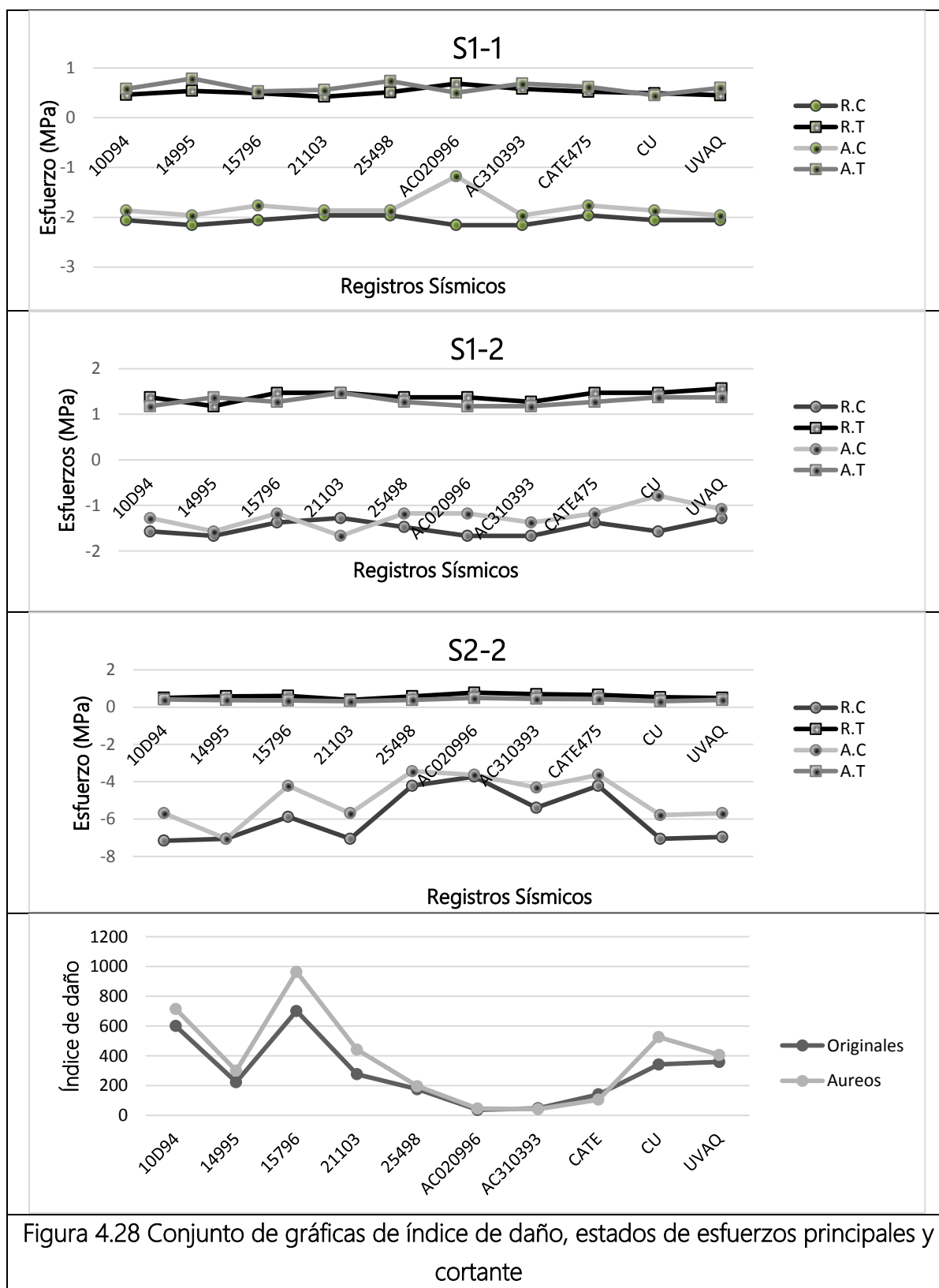
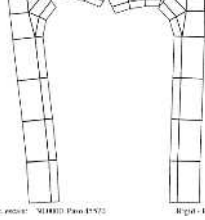
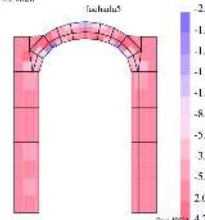
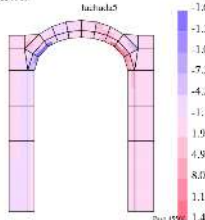
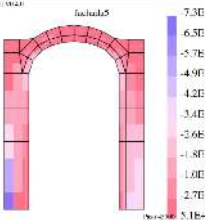
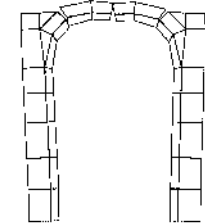
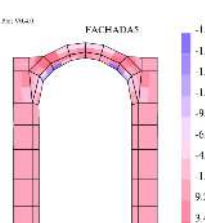
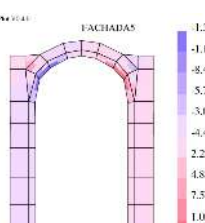
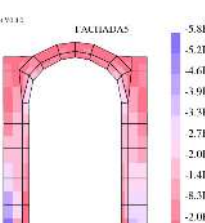
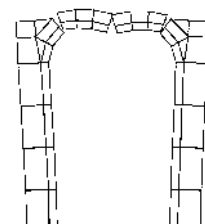
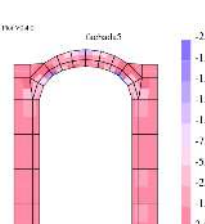
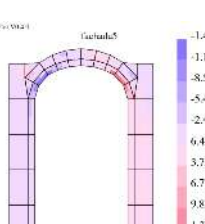
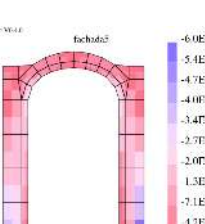
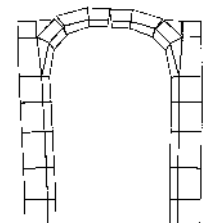
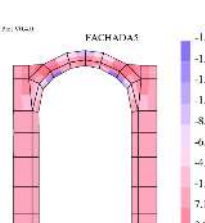
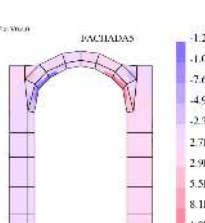
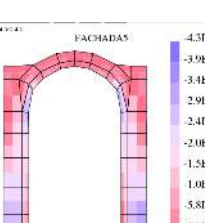
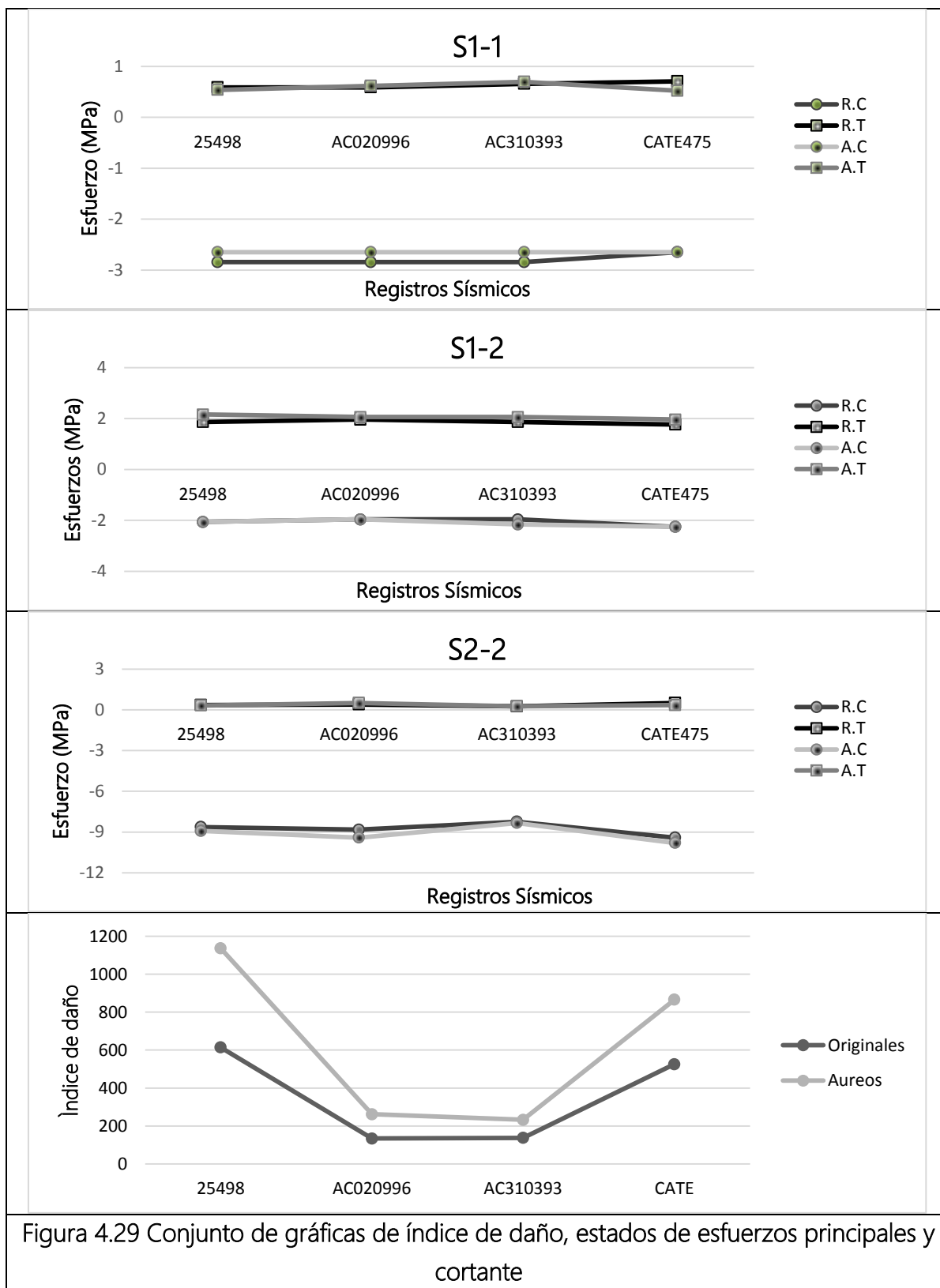
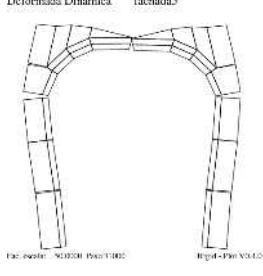
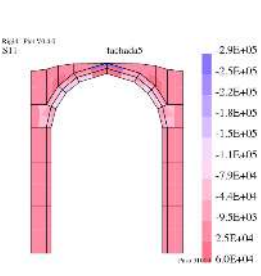
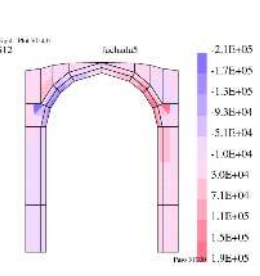
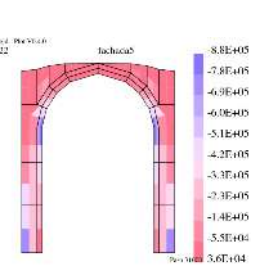
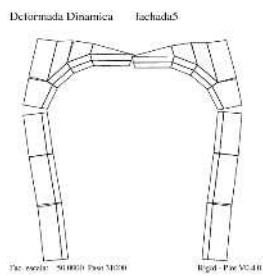
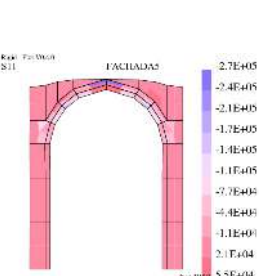
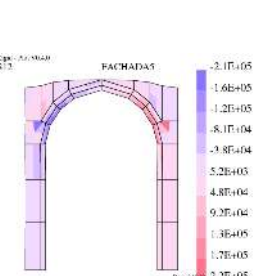
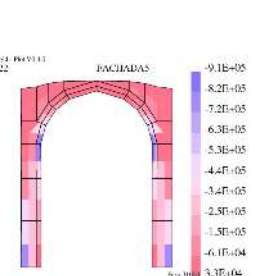
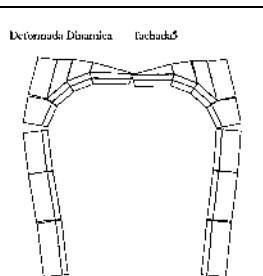
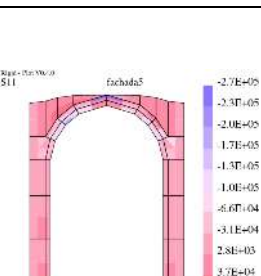
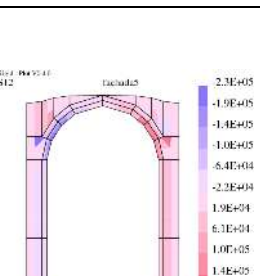
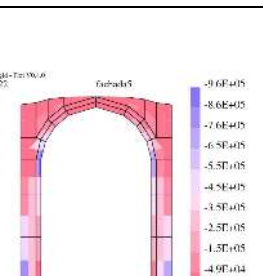
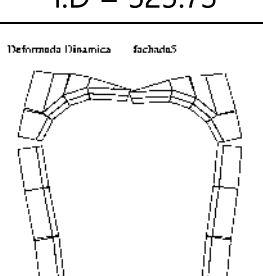
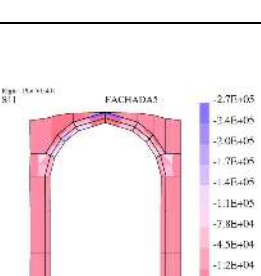
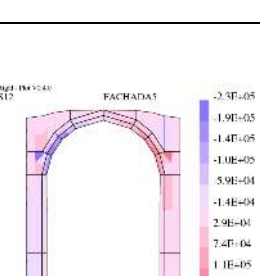
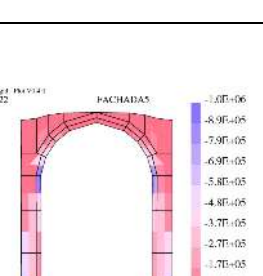


Figura 4.28 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante

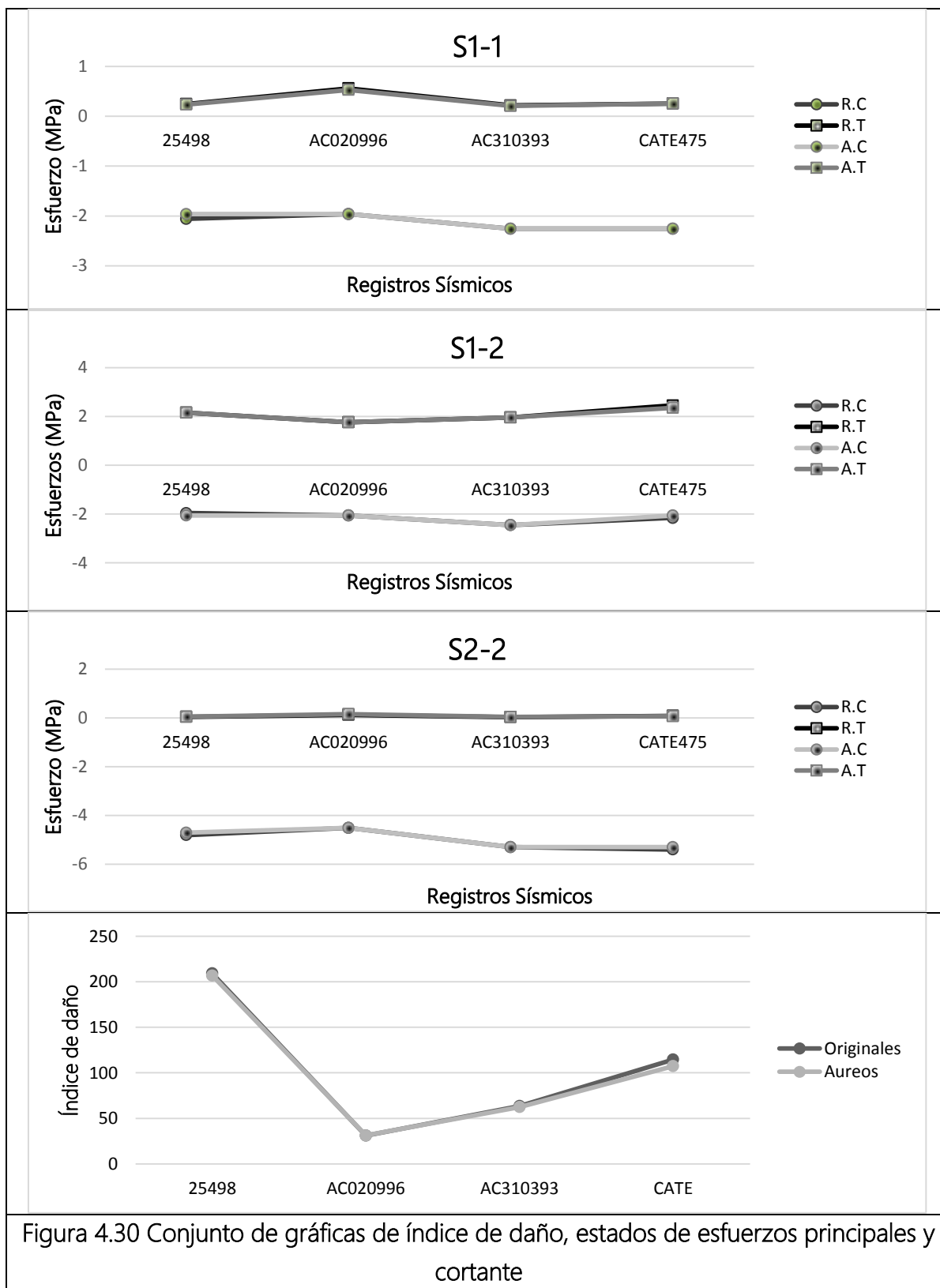
Templo de la Merced					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 10D94	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S1-1  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S1-2  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S2-2  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000
		I.D = 599.74			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S1-1  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S1-2  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S2-2  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000
		I.D = 714.57			
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S1-1  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S1-2  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S2-2  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000
		I.D = 700.41			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S1-1  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S1-2  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000	For: Paso: 0.0025 S2-2  For: modo1 = 10.0003 Paso: 0.0025 Rigid: -Rig: 50.000
		I.D = 963			
Imagen 4.54 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

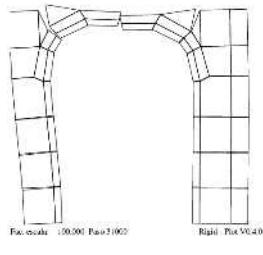
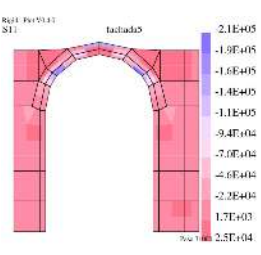
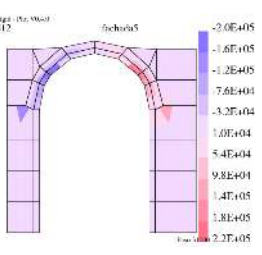
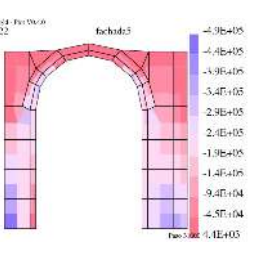
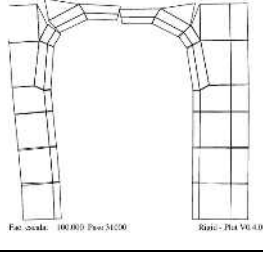
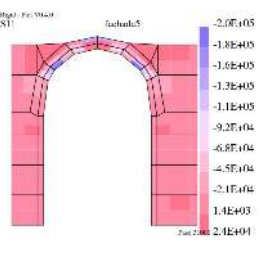
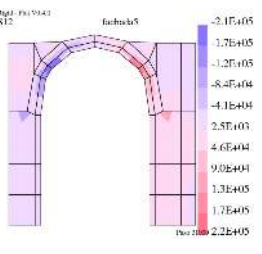
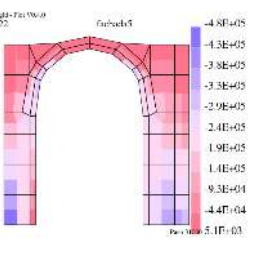
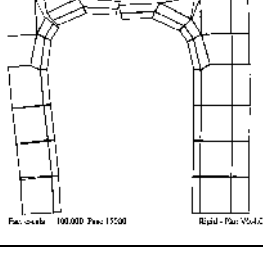
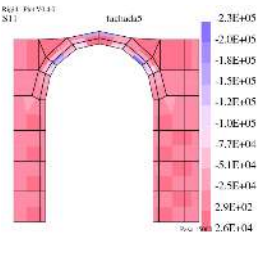
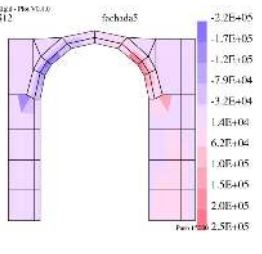
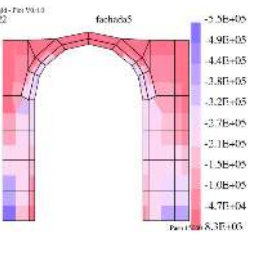
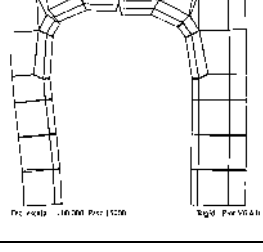
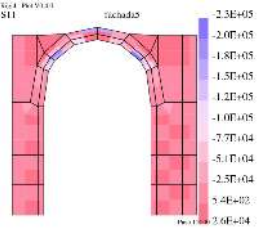
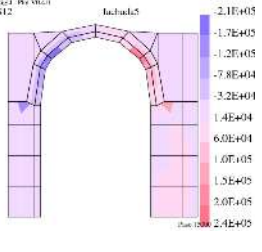
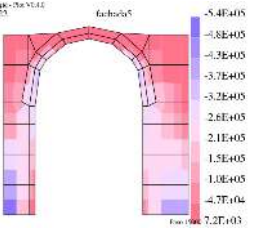
IV. Templo de San Buenaventura



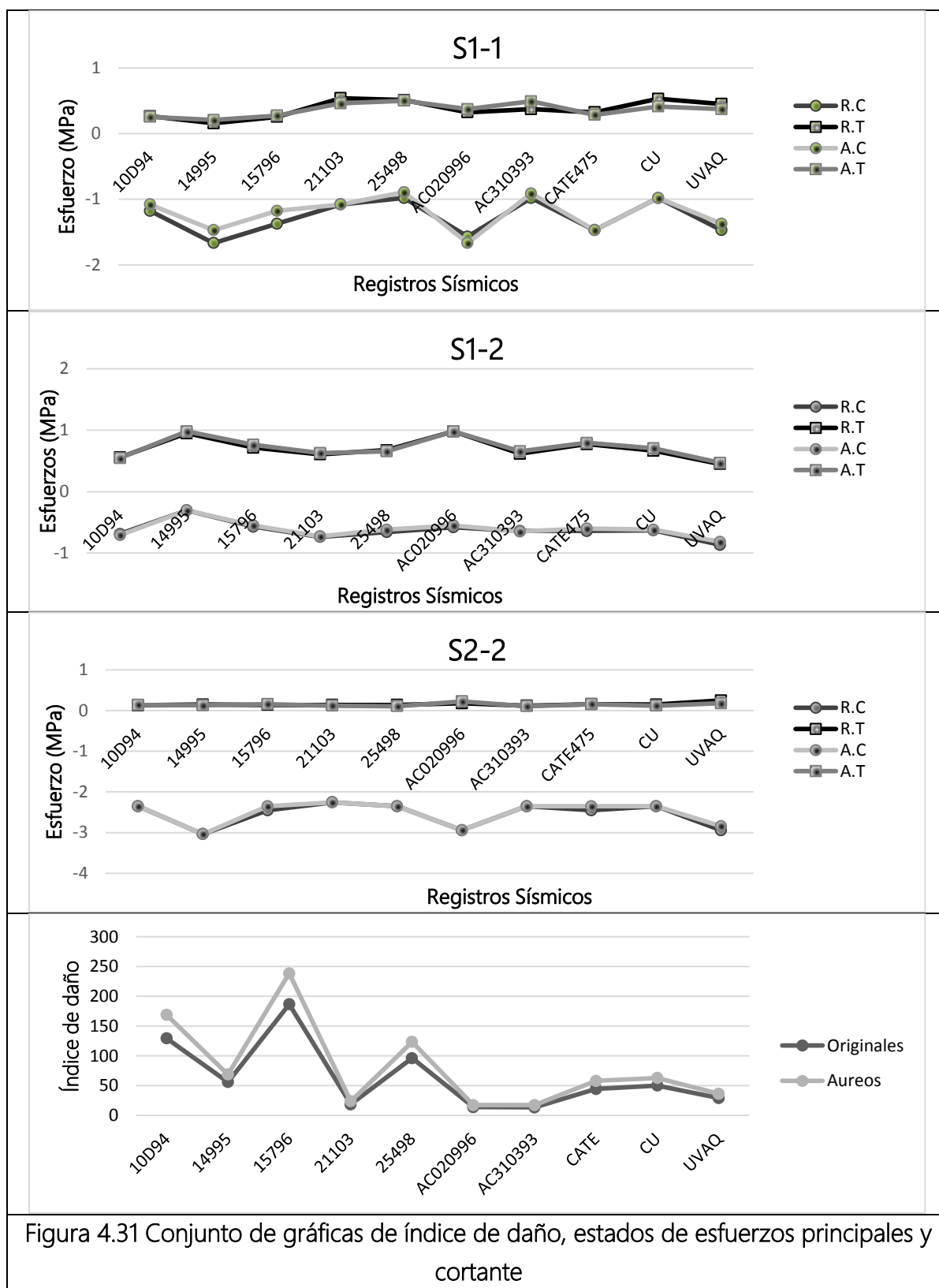
Templo de San Buenaventura					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 25498	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 613.97	Real: Fac V0.0.0 S11 fachada5 	Real: Fac V0.0.0 S12 fachada5 	Real: Fac V0.0.0 S22 fachada5 
		Deformada Dinámica fachada5  I.D = 1135.87	Real: Fac V0.0.0 S11 FACHADAS 	Real: Fac V0.0.0 S12 FACHADAS 	Real: Fac V0.0.0 S22 FACHADAS 
	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 525.73	Real: Fac V0.0.0 S11 fachada5 	Real: Fac V0.0.0 S12 fachada5 	Real: Fac V0.0.0 S22 fachada5 
		Deformada Dinámica fachada5  I.D = 865.53	Real: Fac V0.0.0 S11 FACHADAS 	Real: Fac V0.0.0 S12 FACHADAS 	Real: Fac V0.0.0 S22 FACHADAS 
Imagen 4.55 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

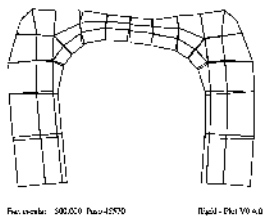
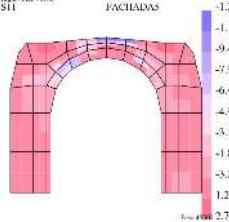
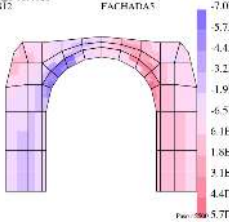
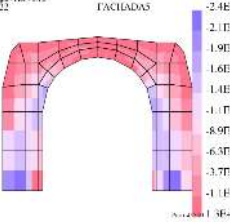
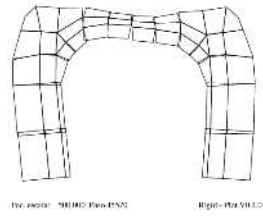
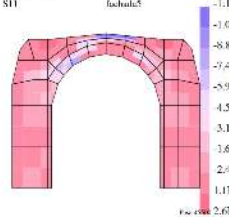
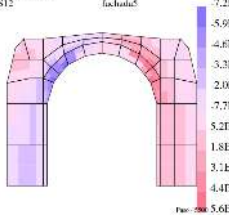
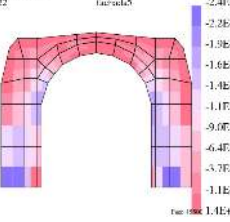
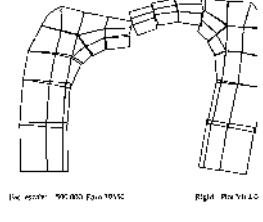
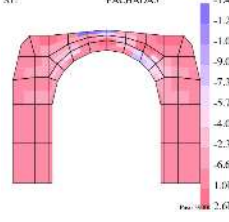
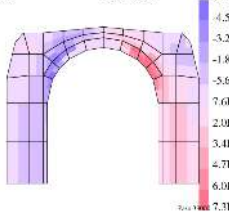
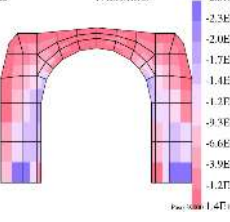
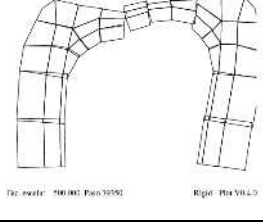
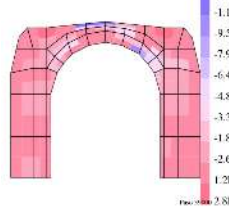
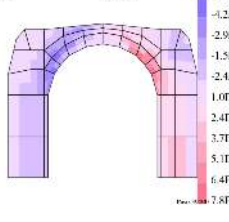
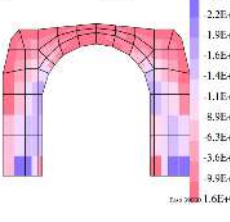
V. Templo de San José



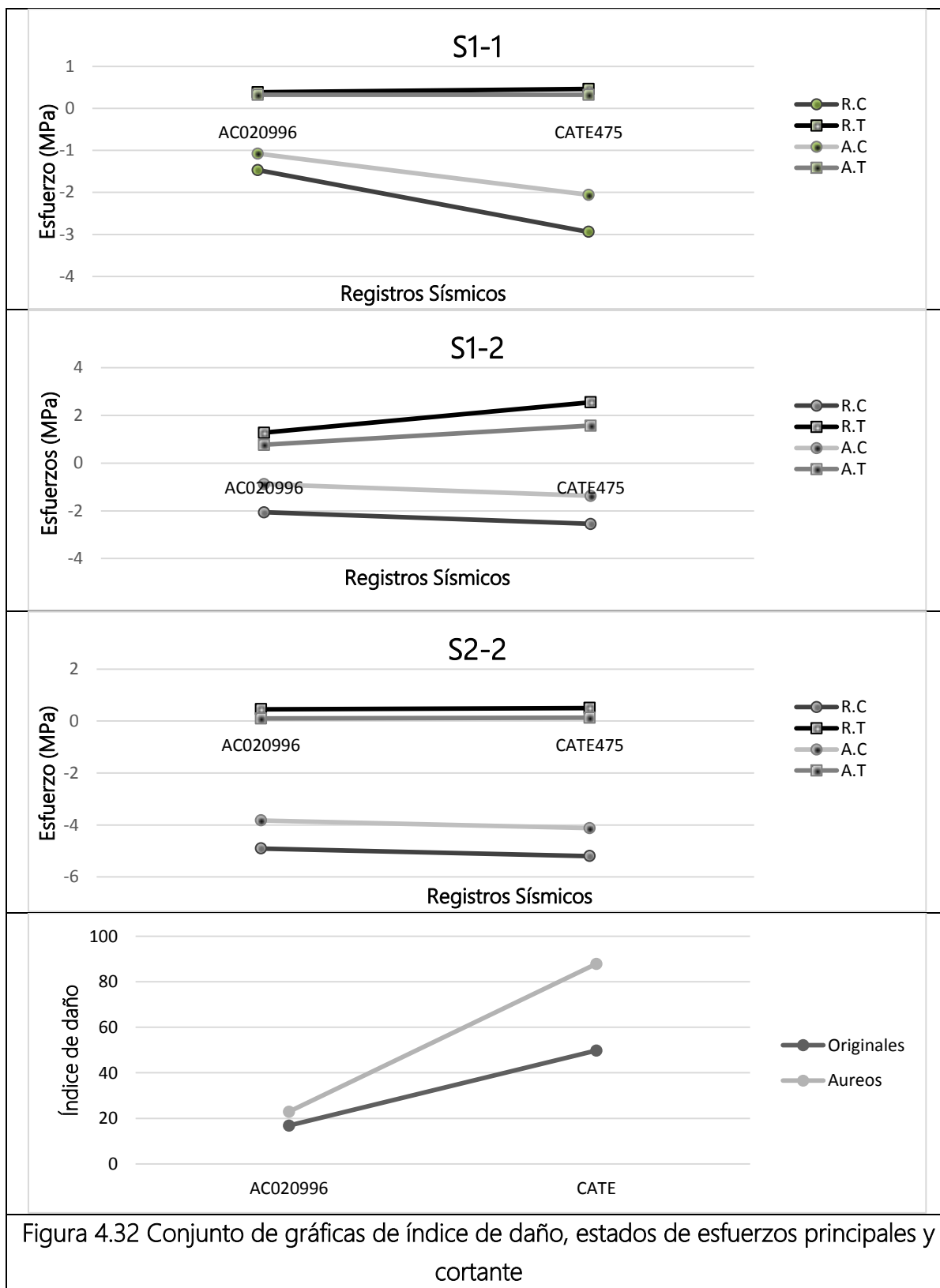
Templo de San José					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 25498	Proportión Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 209.22	Right: Para 50.00 S11 Deformada Dinámica fachada5 	Right: Para 50.00 S12 Deformada Dinámica fachada5 	Right: Para 50.00 S22 Deformada Dinámica fachada5 
	Proportión Áurea	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 206.91	Right: Para 50.00 S11 Deformada Dinámica fachada5 	Right: Para 50.00 S12 Deformada Dinámica fachada5 	Right: Para 50.00 S22 Deformada Dinámica fachada5 
Registro sísmico CATE475	Proportión Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 114.57	Right: Para 50.00 S11 Deformada Dinámica fachada5 	Right: Para 50.00 S12 Deformada Dinámica fachada5 	Right: Para 50.00 S22 Deformada Dinámica fachada5 
	Proportión Áurea	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 107.38	Right: Para 50.00 S11 Deformada Dinámica fachada5 	Right: Para 50.00 S12 Deformada Dinámica fachada5 	Right: Para 50.00 S22 Deformada Dinámica fachada5 
Imagen 4.56 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

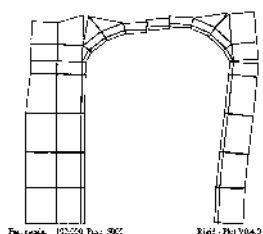
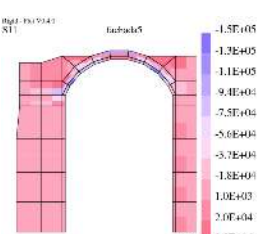
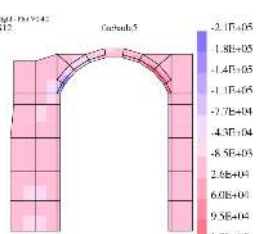
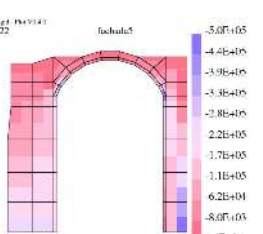
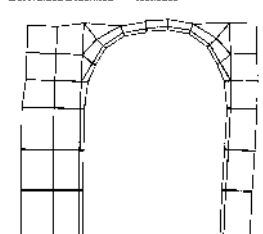
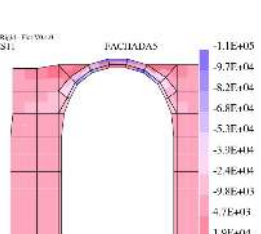
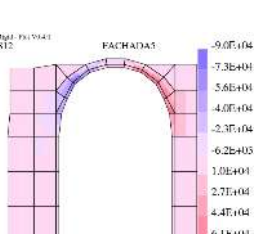
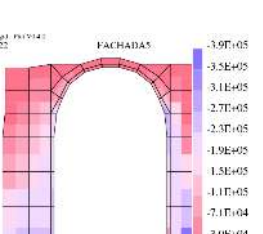
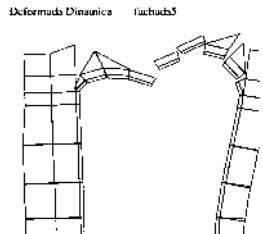
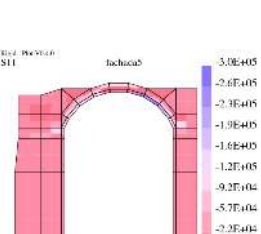
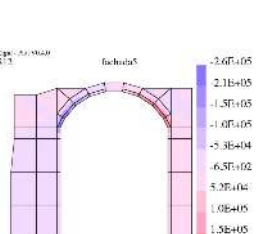
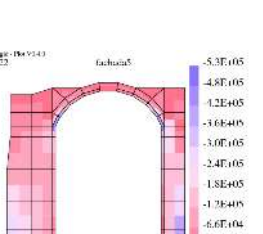
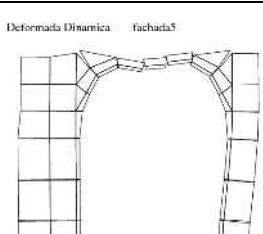
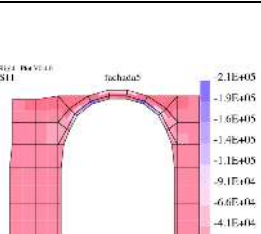
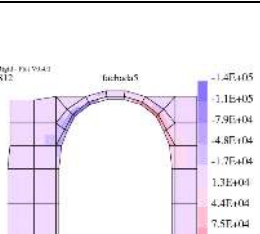
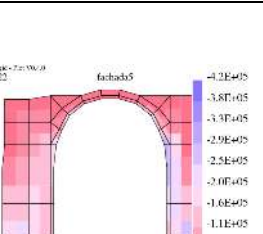
VI. Templo de San Juan Bautista



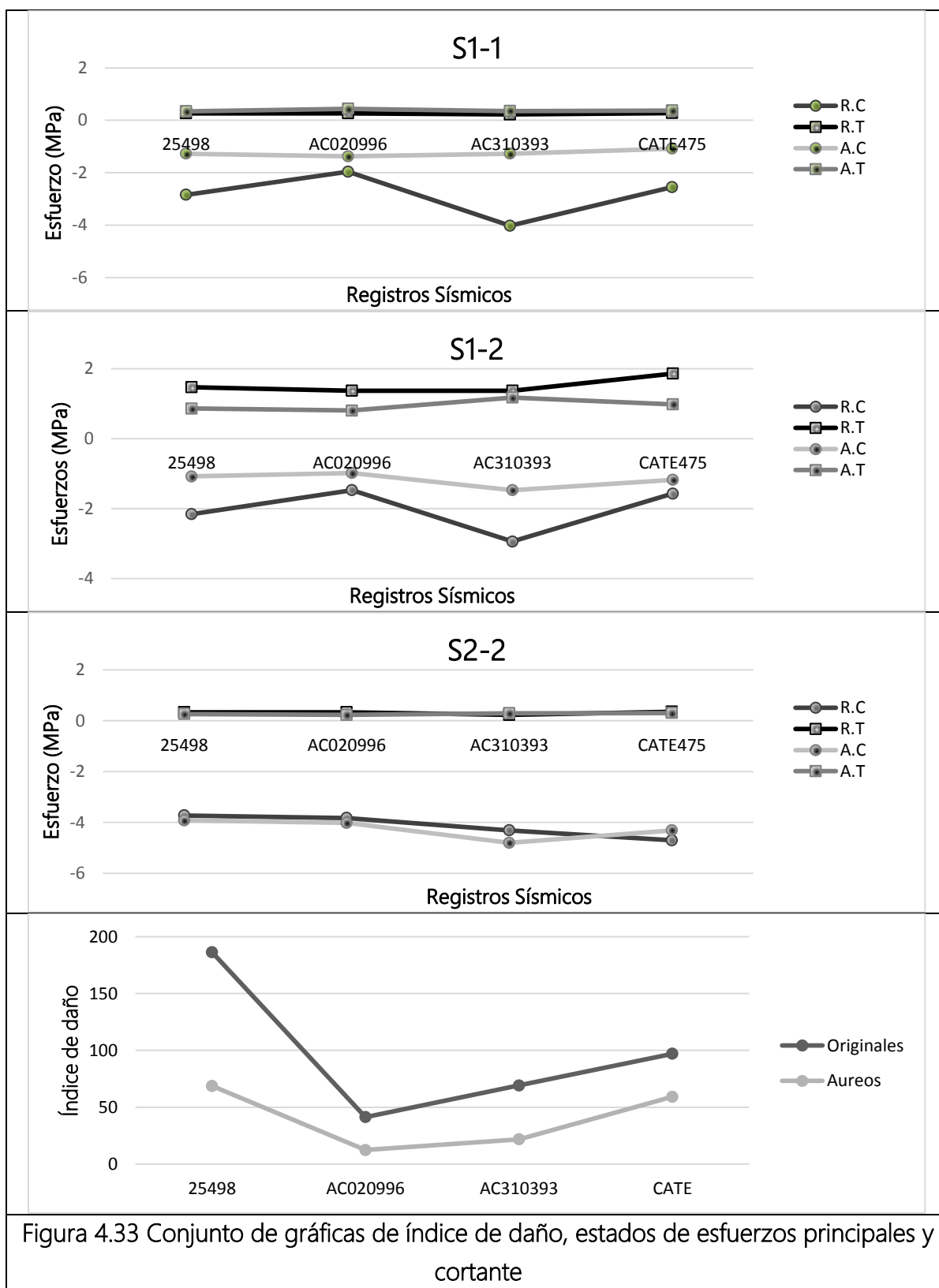
Templo de San Juan Bautista					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 10D94	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D =129.24	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 
		Deformada Dinámica fachada5  I.D =168.63	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  I.D =186.40	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 
		Deformada Dinámica fachada5  I.D =238.25	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 	Desplazamiento: 500.000 Paso: 42570 Rigido: Pila V0 a 0 
Imagen 4.57 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

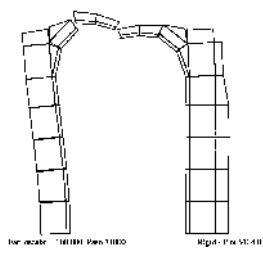
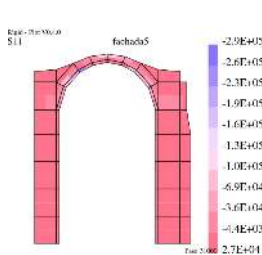
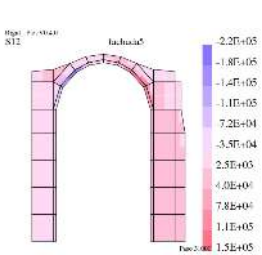
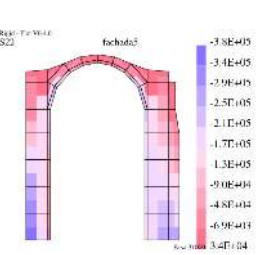
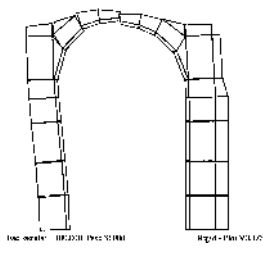
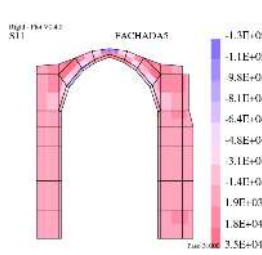
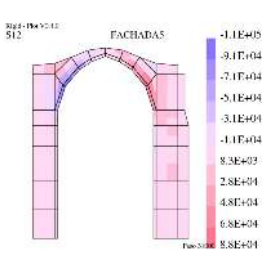
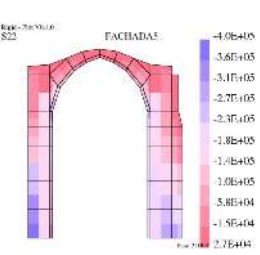
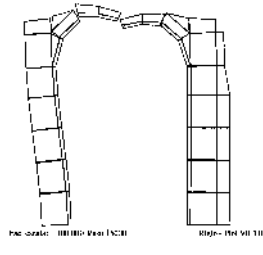
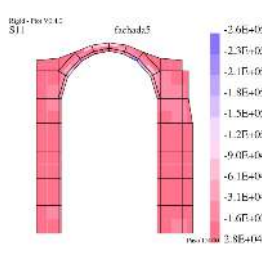
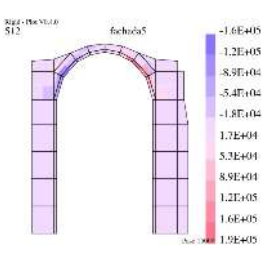
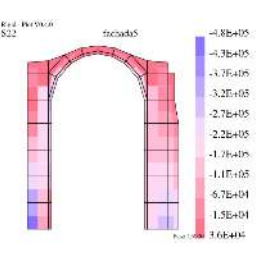
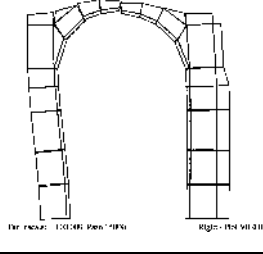
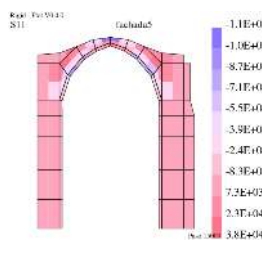
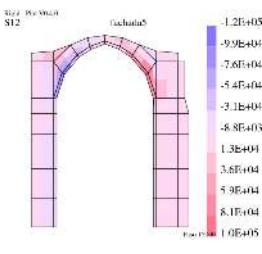
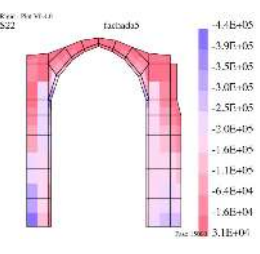
VII. Templo de San Francisco Javier



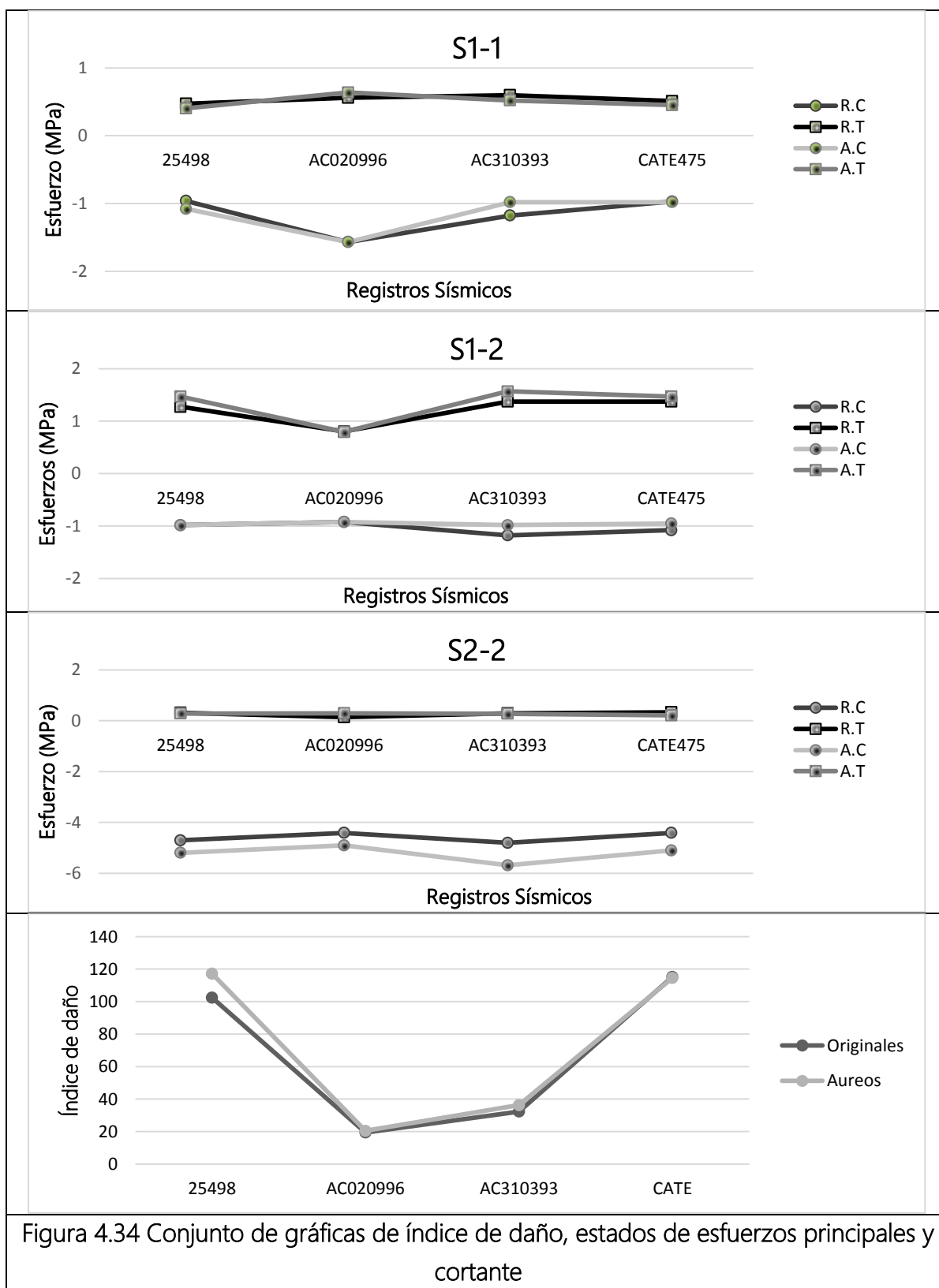
Templo de San Francisco Javier					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico AC020996	Proporción Real	Deformada Dinámica Fachada5  I.D = 16.84	Facada5 	Facada5 	Facada5 
		Deformada Dinámica Fachada5  I.D = 22.94	FACHADAS 	FACHADAS 	FACHADAS 
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica Fachada5  I.D = 49.81	Facada5 	Facada5 	Facada5 
		Deformada Dinámica Fachada5  I.D = 87.83	Facada5 	Facada5 	Facada5 
Imagen 4.58 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

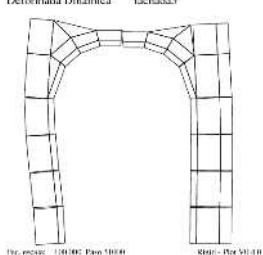
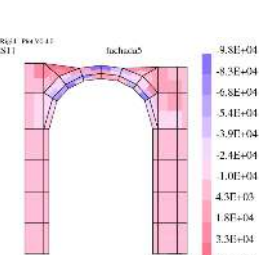
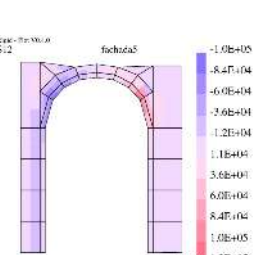
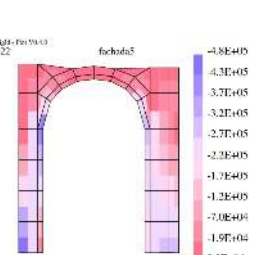
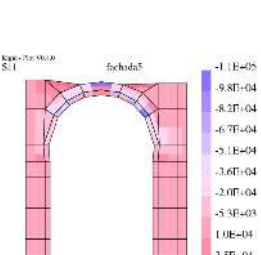
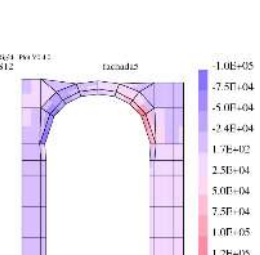
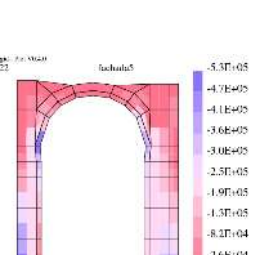
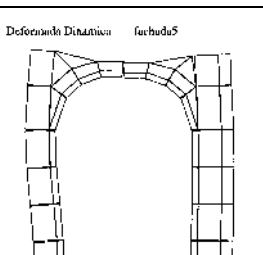
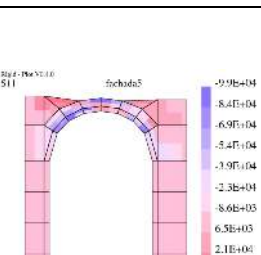
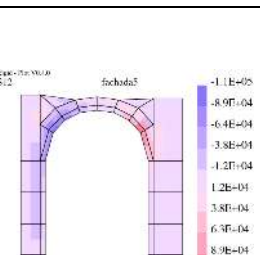
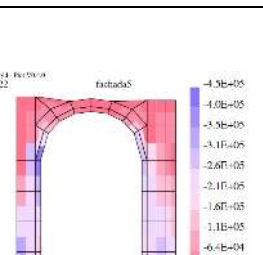
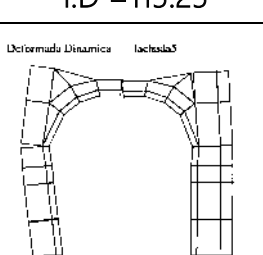
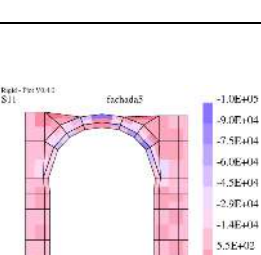
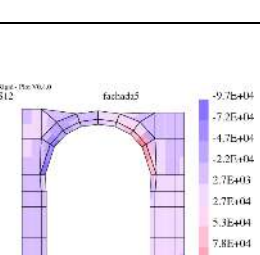
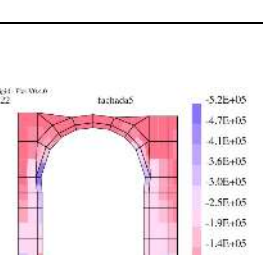
VIII. Templo del Carmen



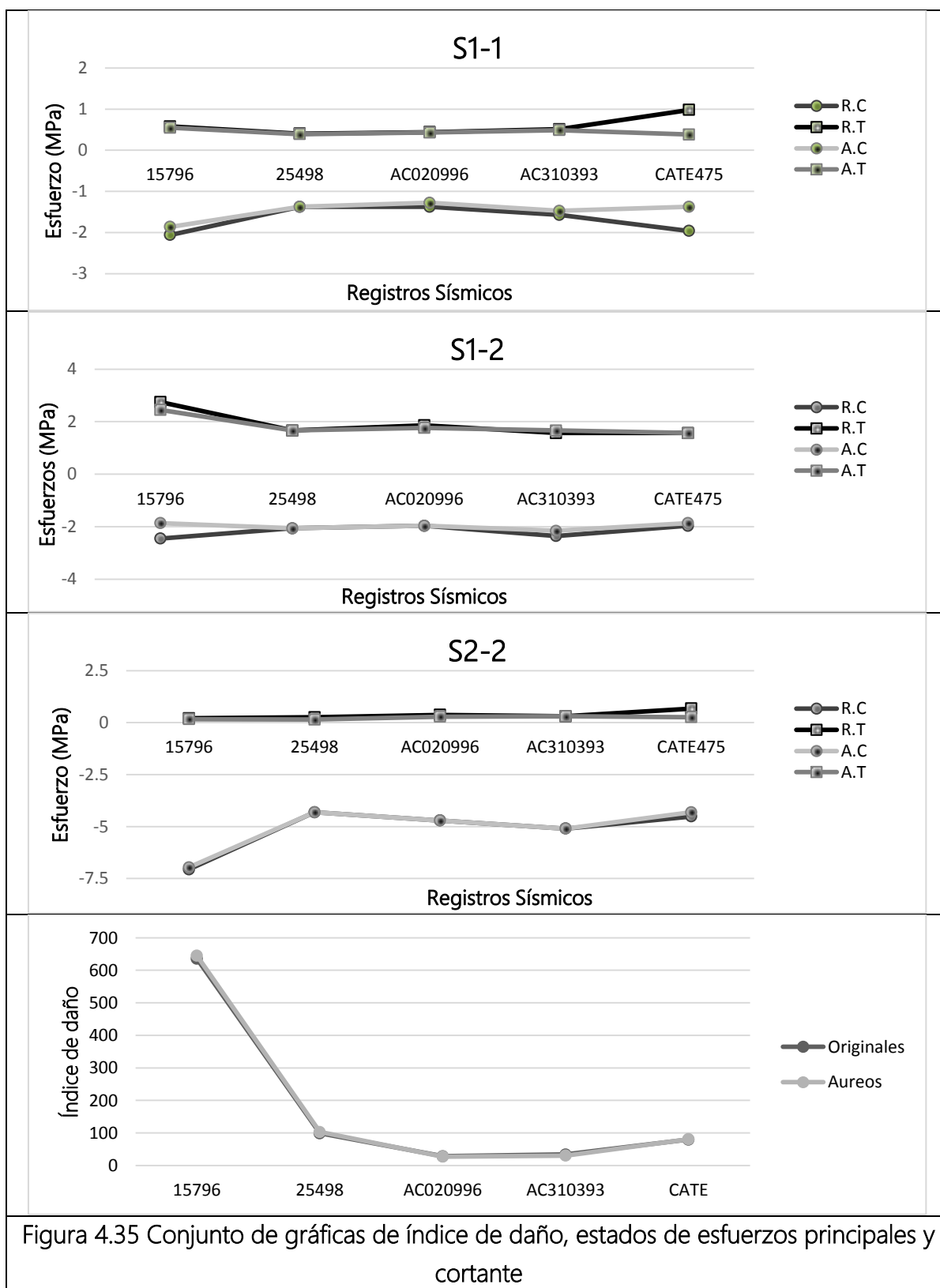
Templo del Carmen					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 25498	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 186.34	fachada5 S11  Max: 2.9E+05 Min: 2.7E+04	fachada5 S12  Max: 2.2E+05 Min: 1.5E+05	fachada5 S22  Max: 3.8E+05 Min: 3.4E+04
		Deformada Dinámica FACHADA5  I.D = 68.73	FACHADA5 S11  Max: 4.3E+05 Min: 3.5E+04	FACHADA5 S12  Max: 4.1E+05 Min: 3.8E+04	FACHADA5 S22  Max: 4.0E+05 Min: 3.7E+04
	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 97.05	fachada5 S11  Max: 2.6E+05 Min: 2.8E+04	fachada5 S12  Max: 1.6E+05 Min: 1.9E+05	fachada5 S22  Max: 4.8E+05 Min: 3.0E+04
		Deformada Dinámica fachada5  I.D = 59.21	fachada5 S11  Max: 1.1E+05 Min: 3.8E+04	fachada5 S12  Max: 1.2E+05 Min: 1.0E+05	fachada5 S22  Max: 4.4E+05 Min: 3.1E+04
Imagen 4.59 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

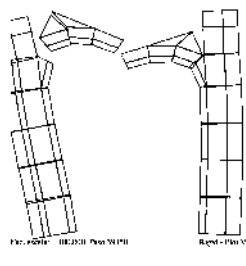
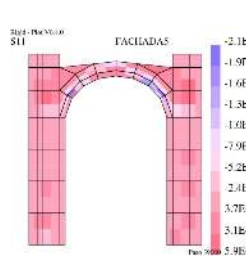
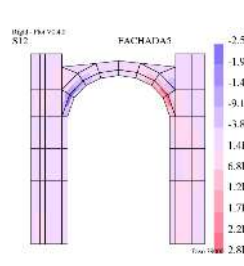
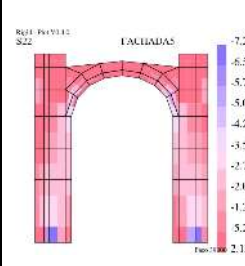
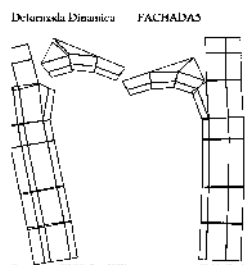
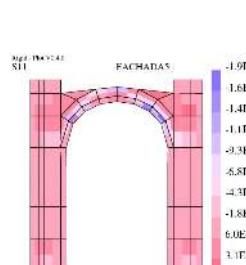
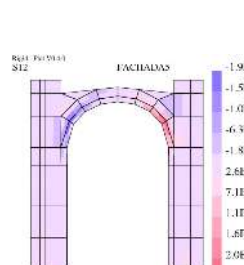
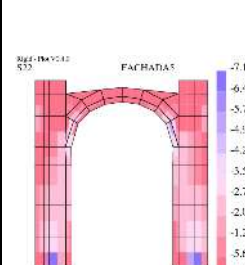
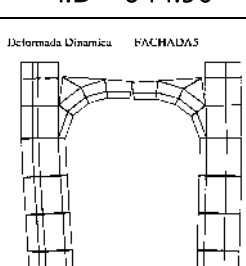
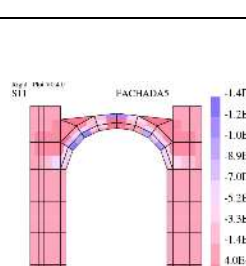
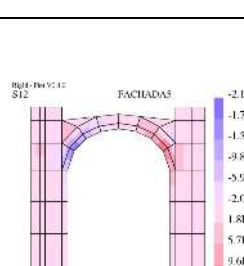
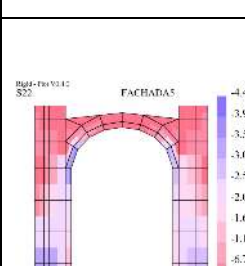
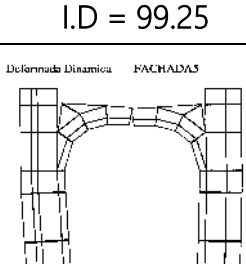
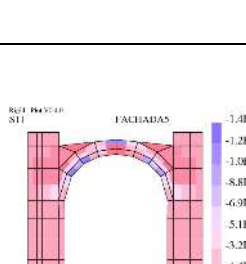
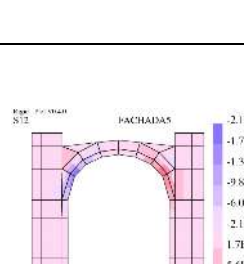
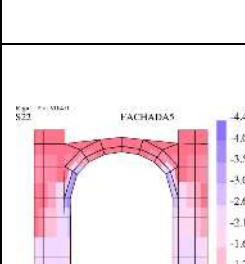
IX. Templo de las Monjas



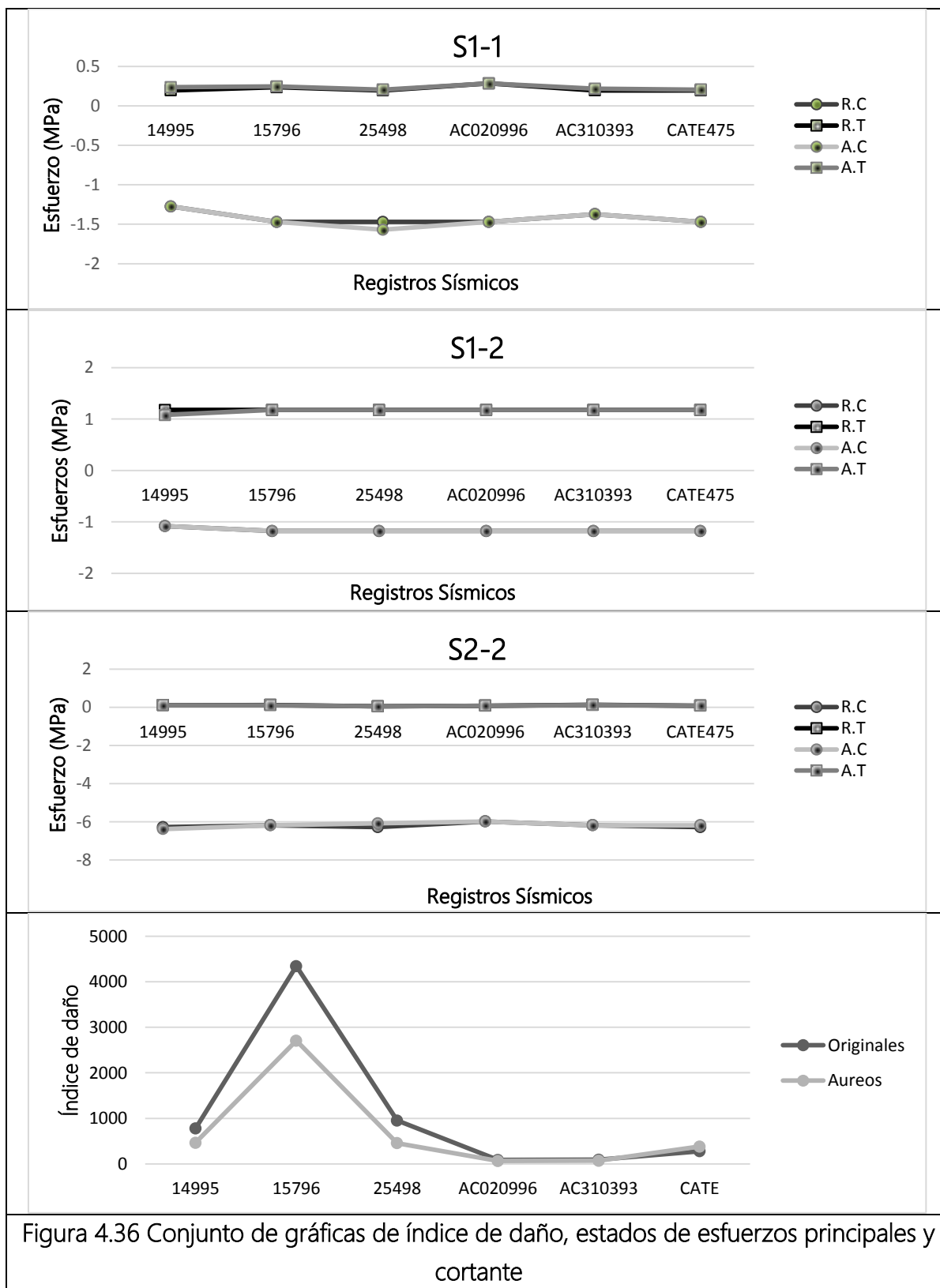
Templo de las Monjas					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 25498	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000 Equal - Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S11 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S12 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S22 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000
		I.D = 102.44			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000 Equal - Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S11 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S12 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S22 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000
		I.D = 117.23			
Registro sísmico CATE475	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000 Equal - Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S11 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S12 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S22 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000
		I.D = 115.25			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000 Equal - Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S11 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S12 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000	Equal - Poro 100.000 S22 Deformada Dinámica fachada5  Fac: facade 5 100.000 Poro 100.000
		I.D = 114.57			
Imagen 4.60 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

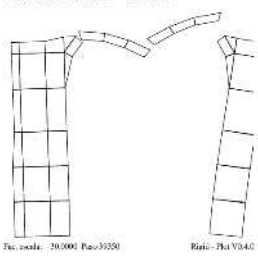
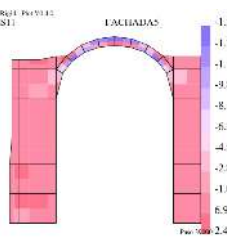
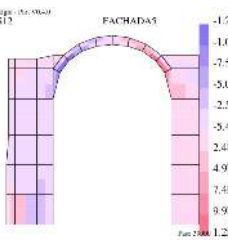
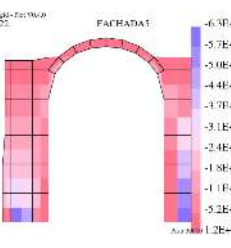
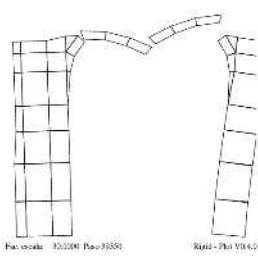
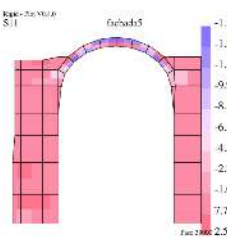
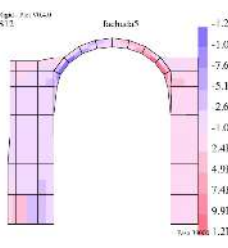
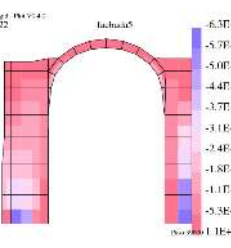
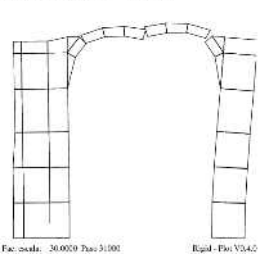
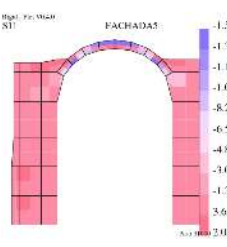
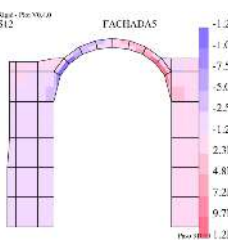
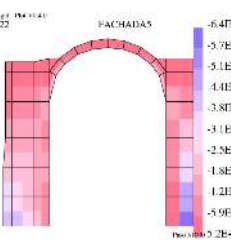
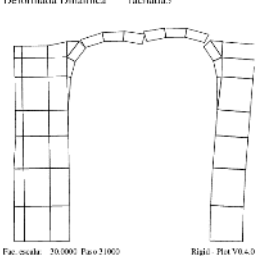
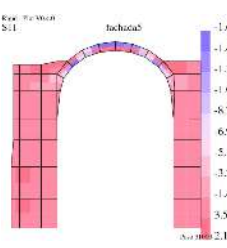
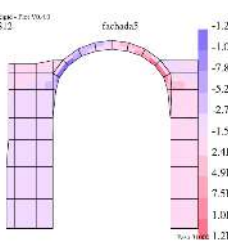
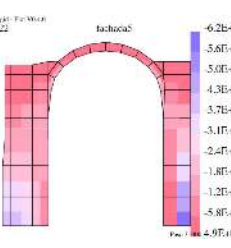
X. Templo de Santa Rosa de Lima



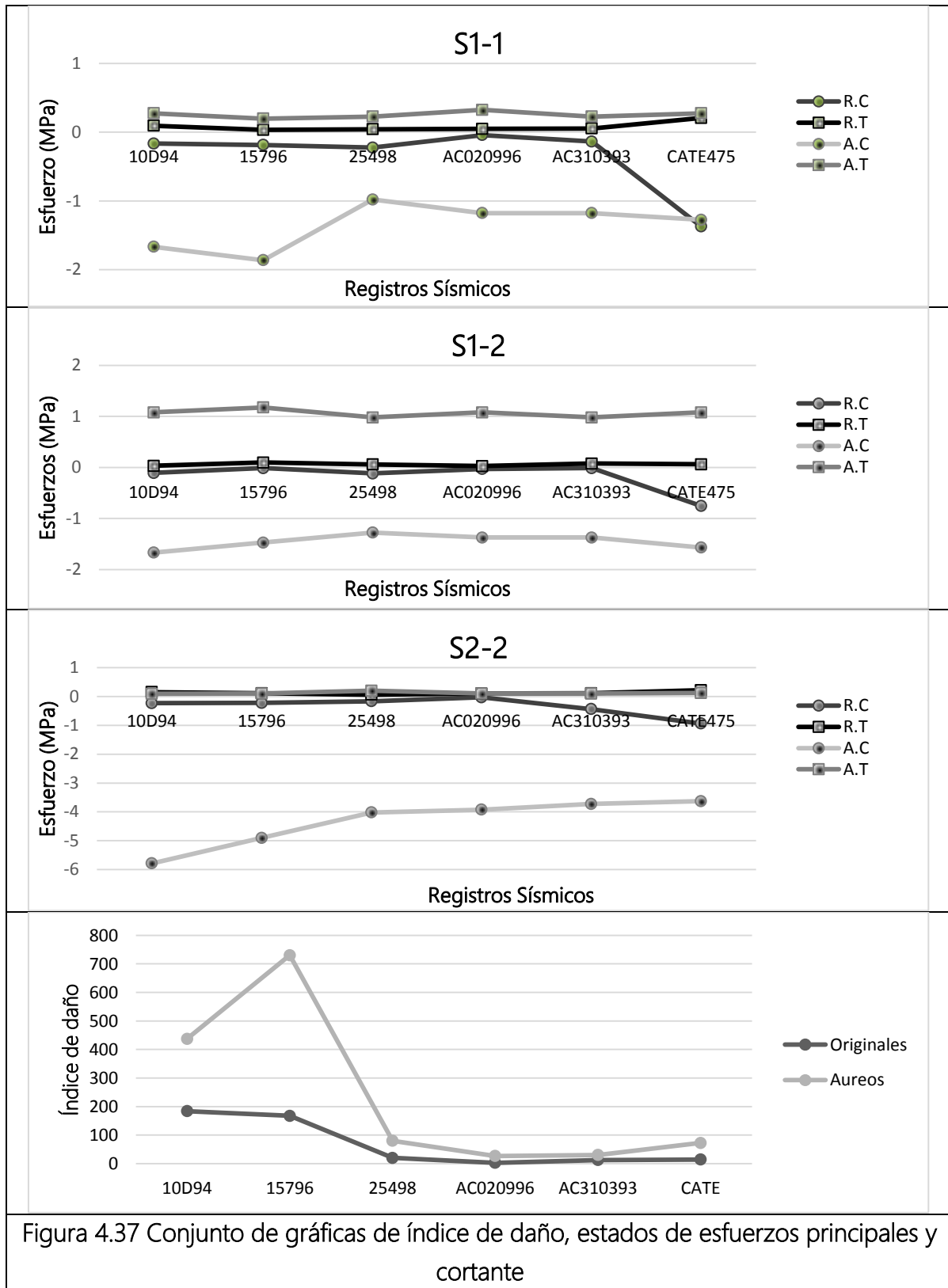
Templo de Santa Rosa de Lima					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 154796	Proporción Real	Deformada Dinámica FACHADAS  I.D = 635.54	Top: 0.000m S11 FACHADAS 	Top: 0.000m S12 FACHADAS 	Top: 0.000m S22 FACHADAS 
		Deformada Dinámica FACHADAS  I.D = 644.90	Top: 0.000m S11 FACHADAS 	Top: 0.000m S12 FACHADAS 	Top: 0.000m S22 FACHADAS 
	Proporción Real	Deformada Dinámica FACHADAS  I.D = 99.25	Top: 0.000m S11 FACHADAS 	Top: 0.000m S12 FACHADAS 	Top: 0.000m S22 FACHADAS 
		Deformada Dinámica FACHADAS  I.D = 103.10	Top: 0.000m S11 FACHADAS 	Top: 0.000m S12 FACHADAS 	Top: 0.000m S22 FACHADAS 
Imagen 4.61 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

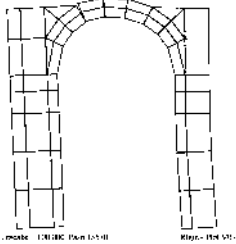
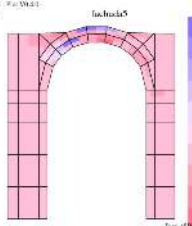
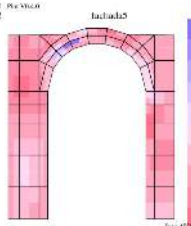
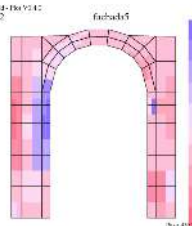
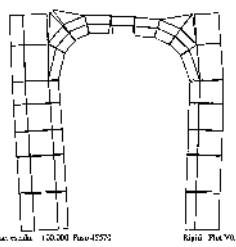
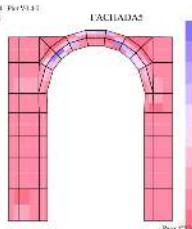
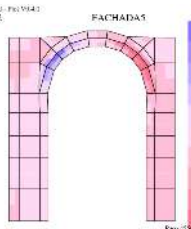
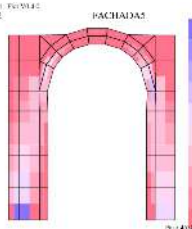
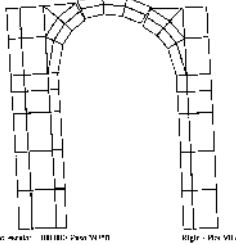
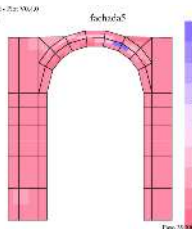
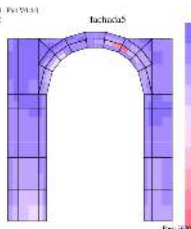
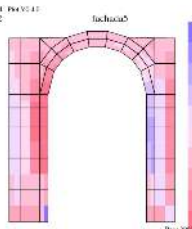
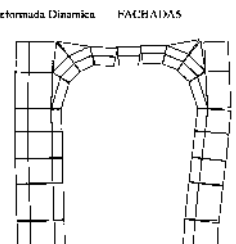
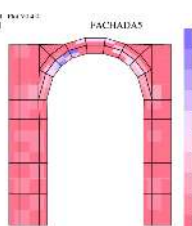
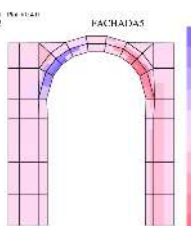
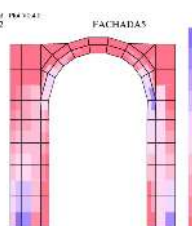
XI. Templo de San Agustín



Templo de San Agustín					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3250 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S1.1 FACHADAS  Fac. escala: 20.000 Piso:3250 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S1.2 FACHADAS  Fac. escala: 20.000 Piso:3250 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S2.2 FACHADAS  Fac. escala: 20.000 Piso:3250 Rigid.-Piso:V0.40
		I.D = 4343.16			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3250 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S1.1 fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3250 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S1.2 fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3250 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S2.2 fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3250 Rigid.-Piso:V0.40
		I.D = 2705.08			
Registro sísmico 25498	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3100 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S1.1 FACHADAS  Fac. escala: 20.000 Piso:3100 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S1.2 FACHADAS  Fac. escala: 20.000 Piso:3100 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S2.2 FACHADAS  Fac. escala: 20.000 Piso:3100 Rigid.-Piso:V0.40
		I.D = 951.15			
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3100 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S1.1 fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3100 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S1.2 fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3100 Rigid.-Piso:V0.40	Rigid.-Piso:V0.40 S2.2 fachada5  Fac. escala: 20.000 Piso:3100 Rigid.-Piso:V0.40
		I.D = 455.07			
Imagen 4.62 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

XII. Templo de Guadalupe



Templo de Guadalupe					
		Deformada dinámica	S1-1	S1-2	S2-2
Registro sísmico 10D94	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 183.99	Real: Pos: 50.00 S11 fachada5  Max: -1.7E+04 -1.2E+04 -1.2E+04 -9.0E+03 -6.3E+03 -4.1E+03 -1.3E+03 1.2E+03 4.1E+03 6.8E+03 9.0E+03	Real: Pos: 50.00 S12 fachada5  Max: -1.1E+04 -9.9E+03 -8.3E+03 -6.9E+03 -5.4E+03 -3.9E+03 -2.5E+03 -1.0E+03 3.9E+02 1.8E+03 3.3E+03	Real: Pos: 50.00 S22 fachada5  Max: -2.4E+04 -2.0E+04 -1.6E+04 -1.2E+04 -8.9E+03 -4.9E+03 -9.2E+02 3.0E+03 7.0E+03 1.1E+04 1.5E+04
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica FACHADAS  I.D = 437.42	Real: Pos: 50.00 S11 FACHADAS  Max: -1.7E+05 -1.5E+05 -1.3E+05 -1.1E+05 -9.5E+04 -7.4E+04 -5.3E+04 -3.3E+04 -1.3E+04 8.0E+03 2.8E+04	Real: Pos: 50.00 S12 FACHADAS  Max: -1.7E+05 -1.4E+05 -1.1E+05 -8.4E+04 -5.5E+04 -2.7E+04 1.4E+03 3.0E+04 5.8E+04 8.7E+04 1.1E+05	Real: Pos: 50.00 S22 FACHADAS  Max: -5.9E+05 -5.3E+05 -4.7E+05 -4.1E+05 -3.5E+05 -2.9E+05 -2.3E+05 -1.7E+05 -1.1E+05 -5.0E+04 9.5E+03
Registro sísmico 15796	Proporción Real	Deformada Dinámica fachada5  I.D = 167.39	Real: Pos: 50.00 S11 fachada5  Max: -1.9E+04 -1.6E+04 -1.4E+04 -1.2E+04 -1.0E+04 -7.8E+03 -5.5E+03 -3.3E+03 -1.1E+03 1.1E+03 3.3E+03	Real: Pos: 50.00 S12 fachada5  Max: -1.4E+03 -3.1E+02 8.1E+02 1.9E+03 3.0E+03 4.1E+03 5.3E+03 6.4E+03 7.5E+03 8.7E+03 9.8E+03	Real: Pos: 50.00 S22 fachada5  Max: -2.3E+04 -2.0E+04 -1.6E+04 -1.3E+04 -9.7E+03 -6.1E+03 -2.6E+03 9.0E+02 4.4E+03 8.0E+03 1.1E+04
	Proporción Áurea	Deformada Dinámica FACHADAS  I.D = 730.04	Real: Pos: 50.00 S11 FACHADAS  Max: -1.9E+05 -1.7E+05 -1.5E+05 -1.3E+05 -1.0E+05 -8.7E+04 -6.6E+04 -4.4E+04 -2.2E+04 -8.0E+02 2.0E+05	Real: Pos: 50.00 S12 FACHADAS  Max: -1.5E+05 -1.2E+05 -1.0E+05 -7.2E+04 -4.5E+04 -1.7E+04 1.0E+04 3.7E+04 6.5E+04 9.3E+04 1.2E+05	Real: Pos: 50.00 S22 FACHADAS  Max: -5.0E+05 -4.5E+05 -4.0E+05 -3.5E+05 -2.9E+05 -2.4E+05 -1.9E+05 -1.4E+05 -9.2E+04 -4.1E+04 1.0E+04
Imagen 4.63 Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes					

XIII. La Catedral de la Transfiguración

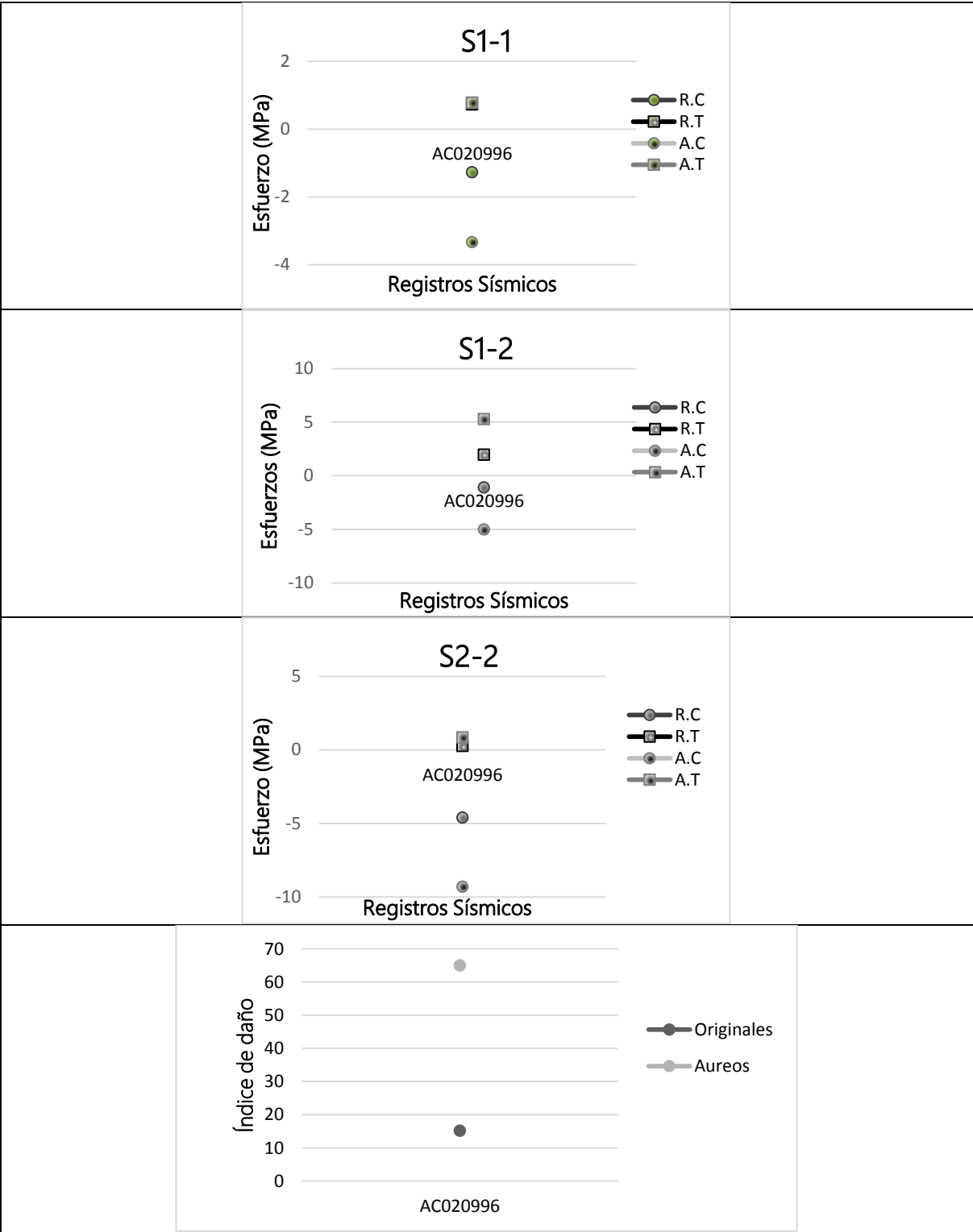
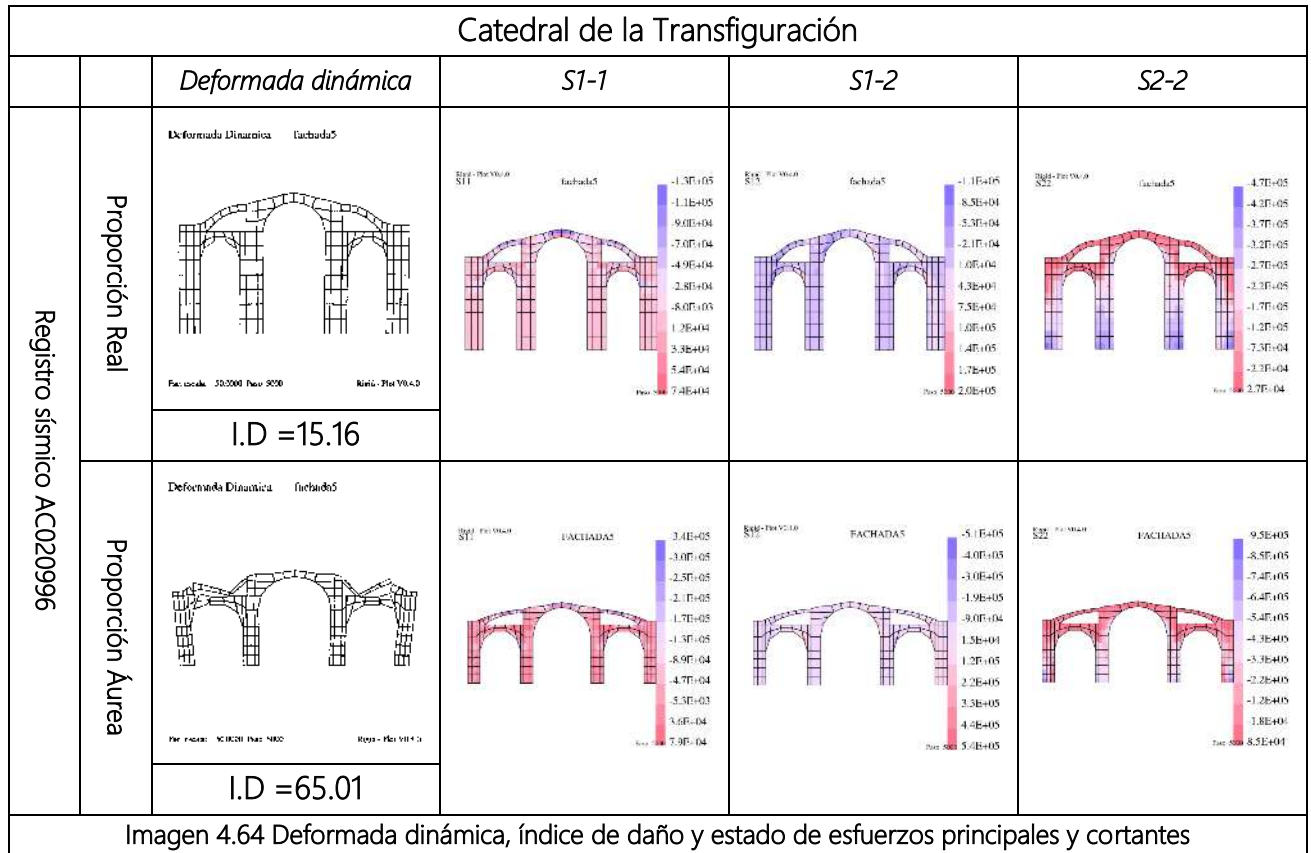
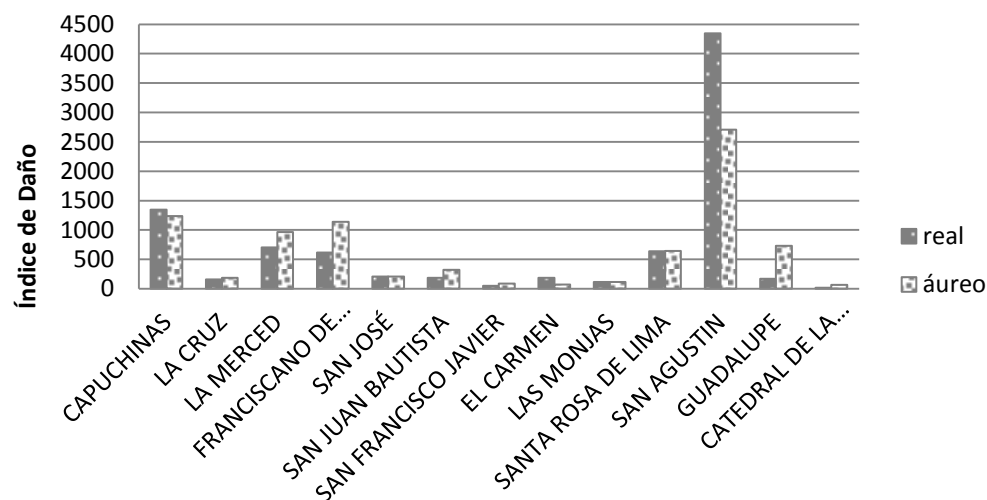


Figura 4.38 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante



En la gráfica 3 se muestra los índices de daño mayores para cada macroelemento real y para los generados con la proporción de oro, dicha gráfica nos ayudará a comparar cuál de los dos macroelementos (real o el áureo) tiene un mejor comportamiento sísmico.

Secciones Transversales



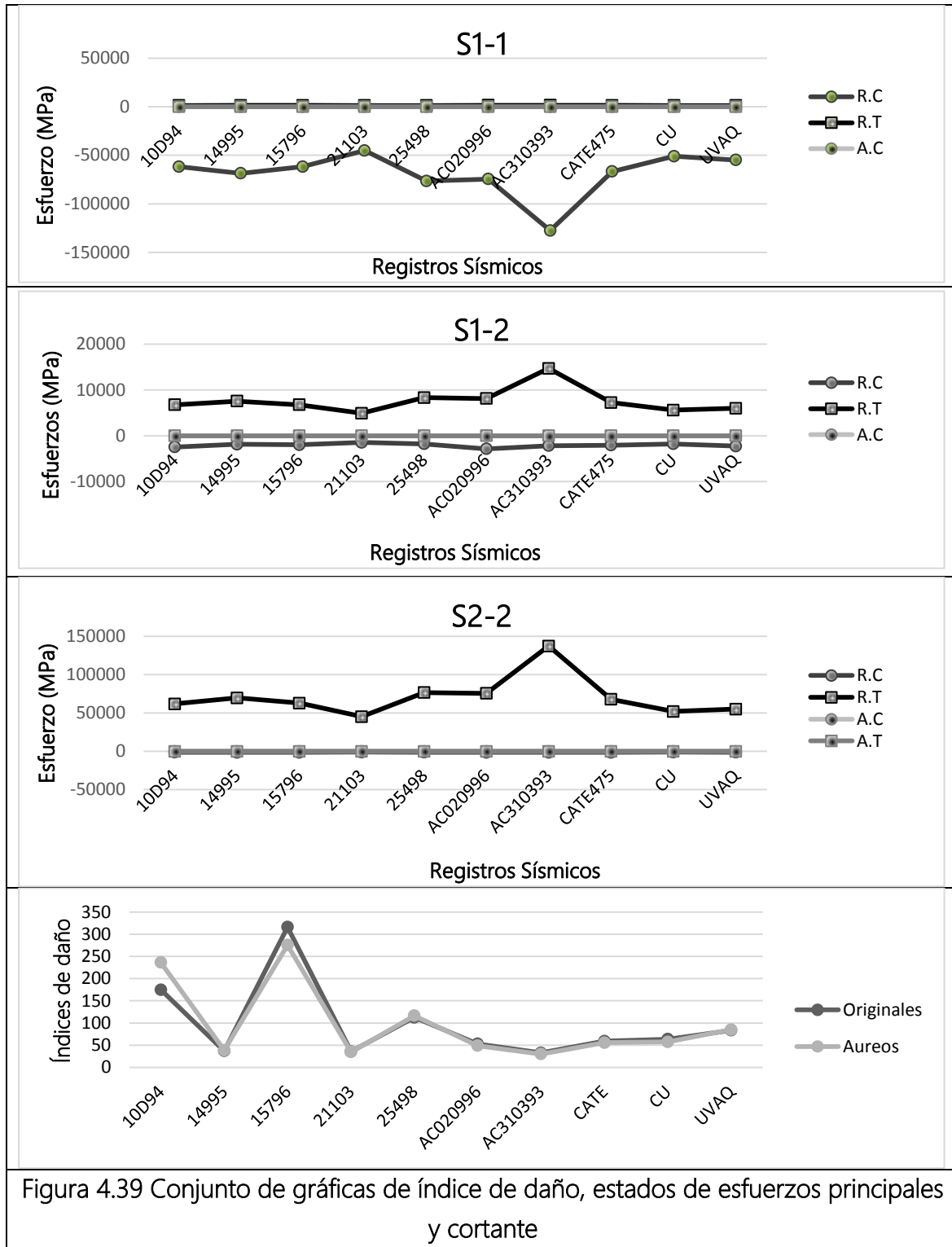
Gráfica 3. Índices de daño de los macroelementos transversales

Gracias a la gráfica anterior podemos ver que la proporción áurea perjudica el comportamiento de la mayoría de las secciones transversales en estudio. Así mismo podemos ver que el templo de San Agustín es el templo más vulnerable del conjunto estudiado.

4.2.2.2 Macroelementos Longitudinales

A continuación se expondrán los resultados de los macroelementos longitudinales como se ha venido haciendo con los otros macroelementos.

I. Templo de Capuchinas



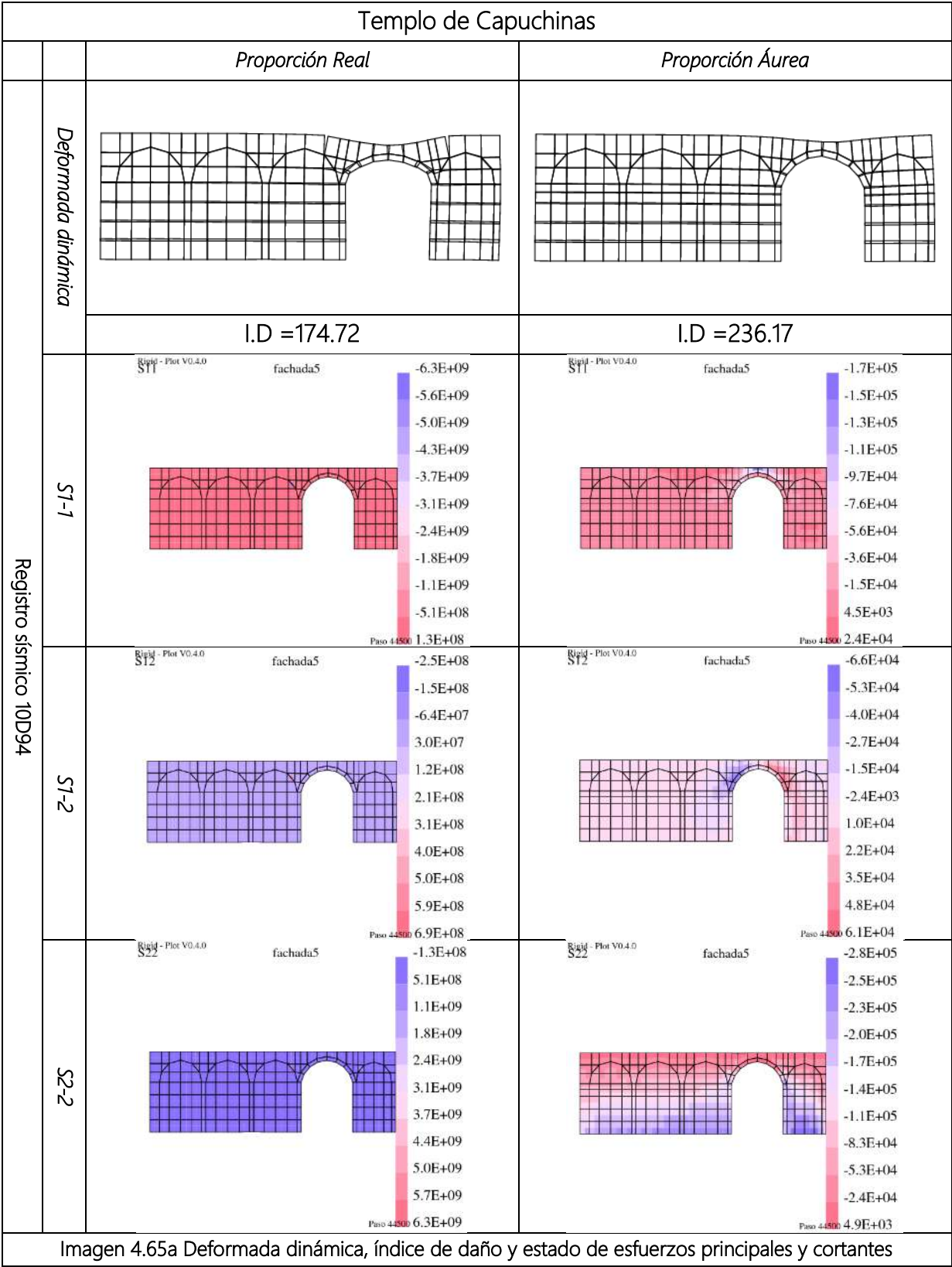
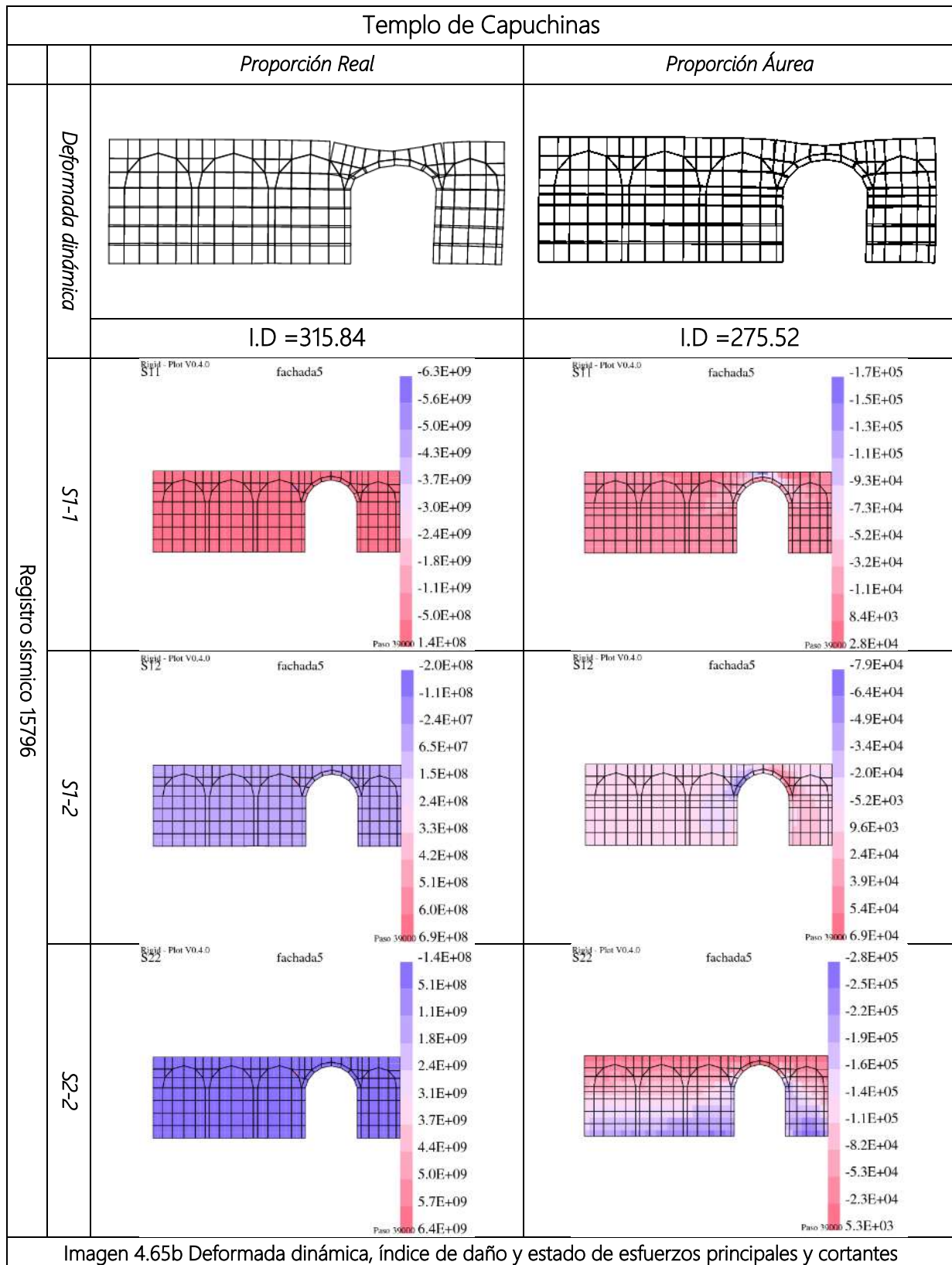
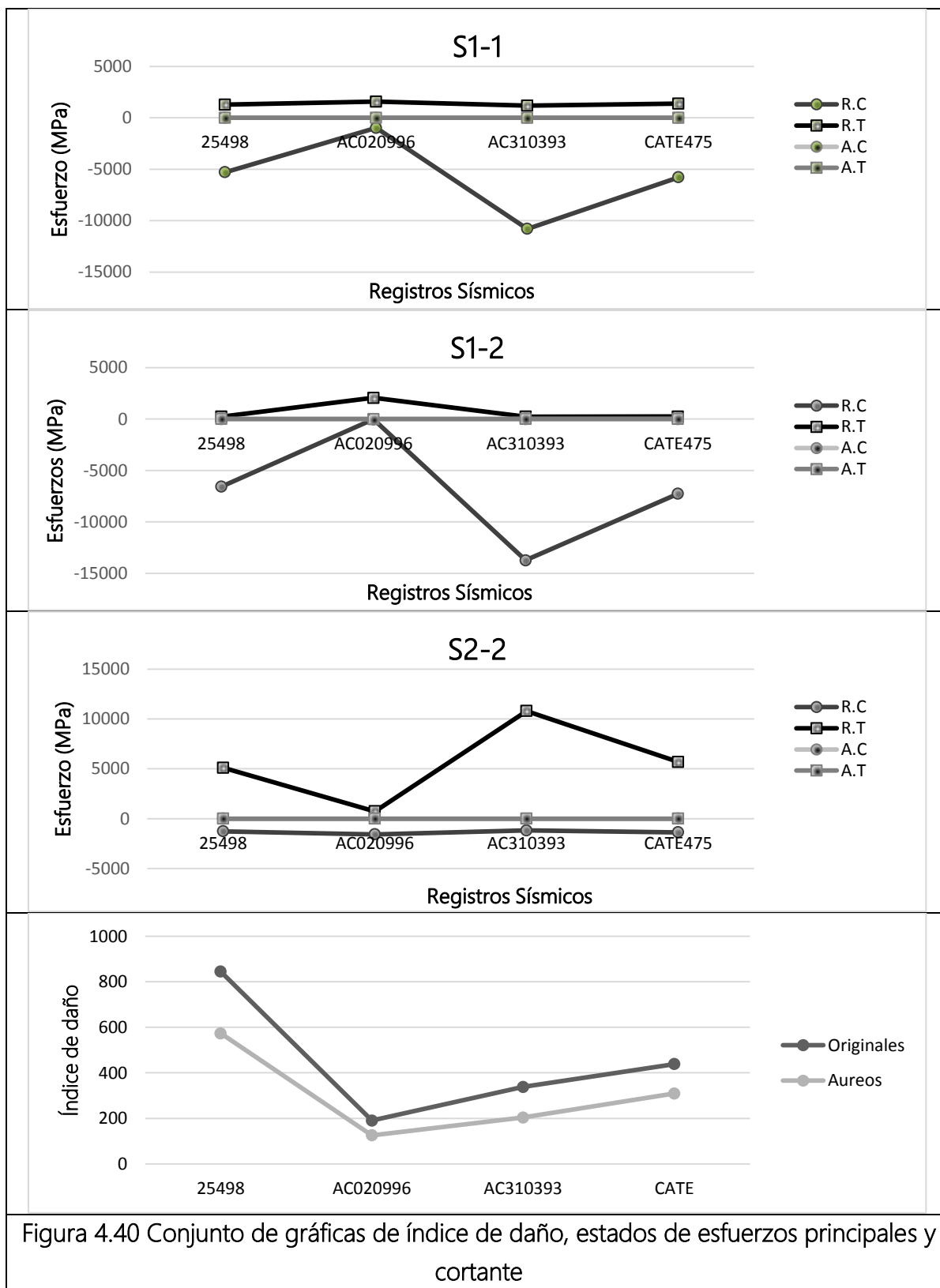


Imagen 4.65a Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes



II. Templo de la Cruz



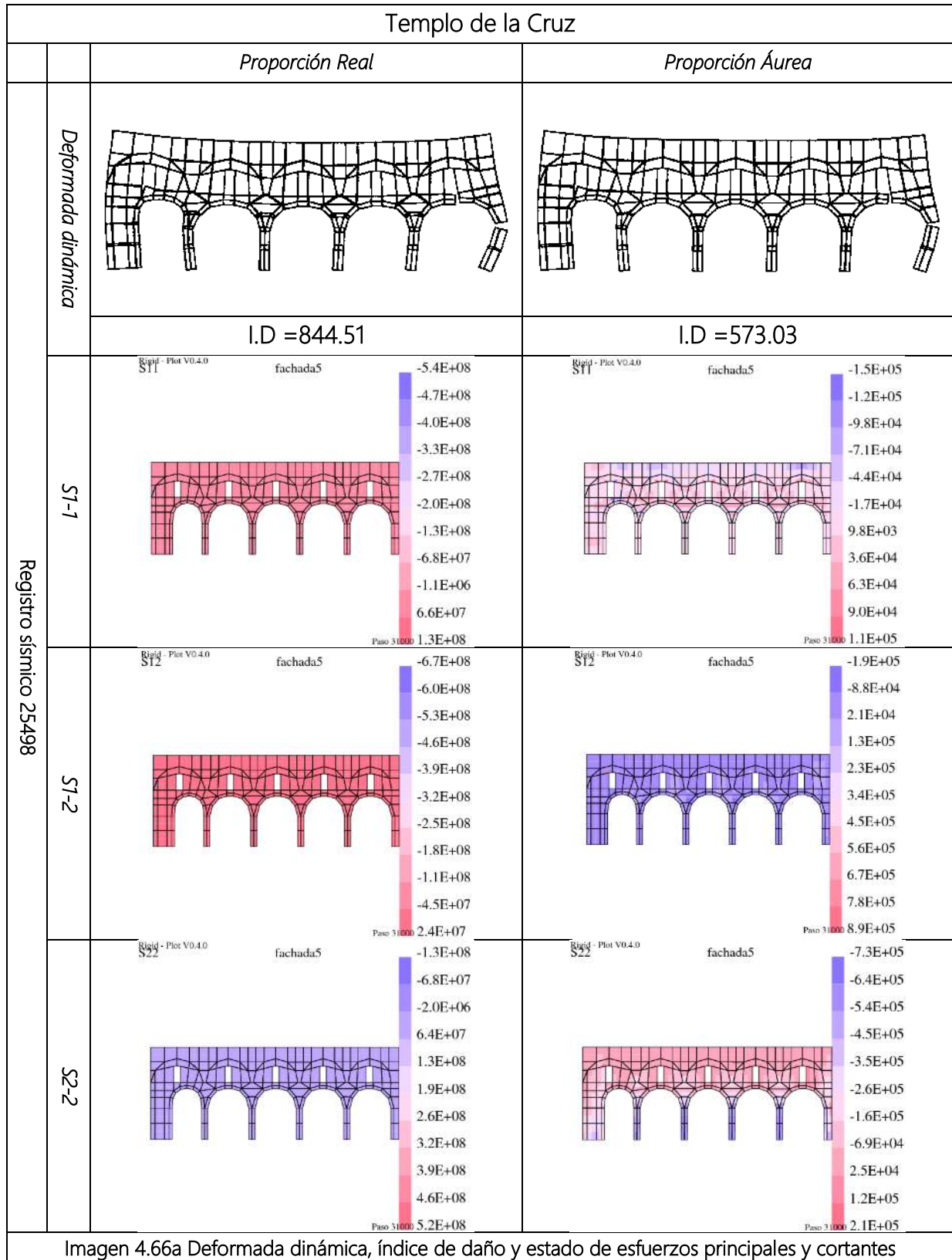


Imagen 4.66a Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

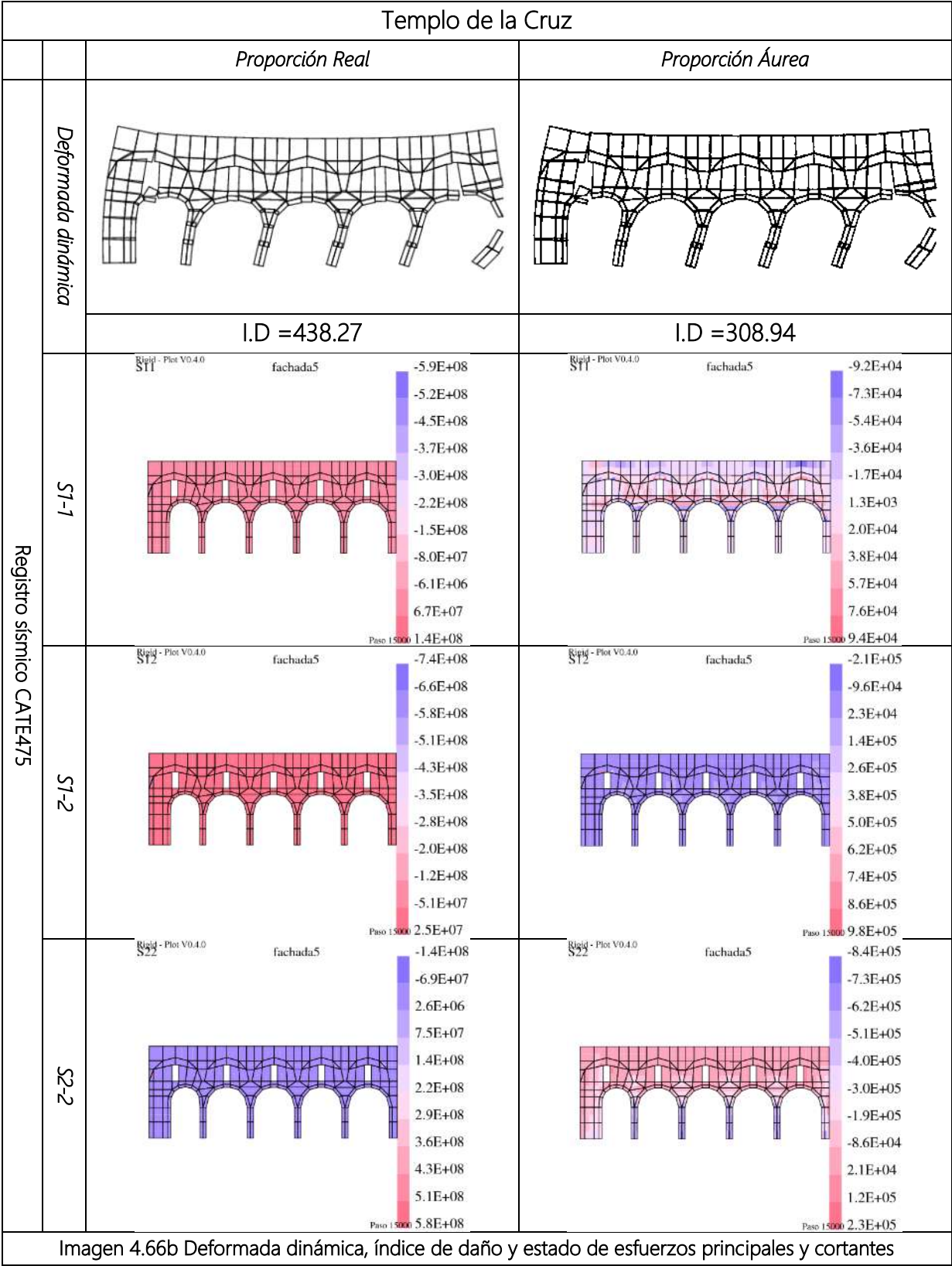


Imagen 4.66b Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

III. Templo de la Merced

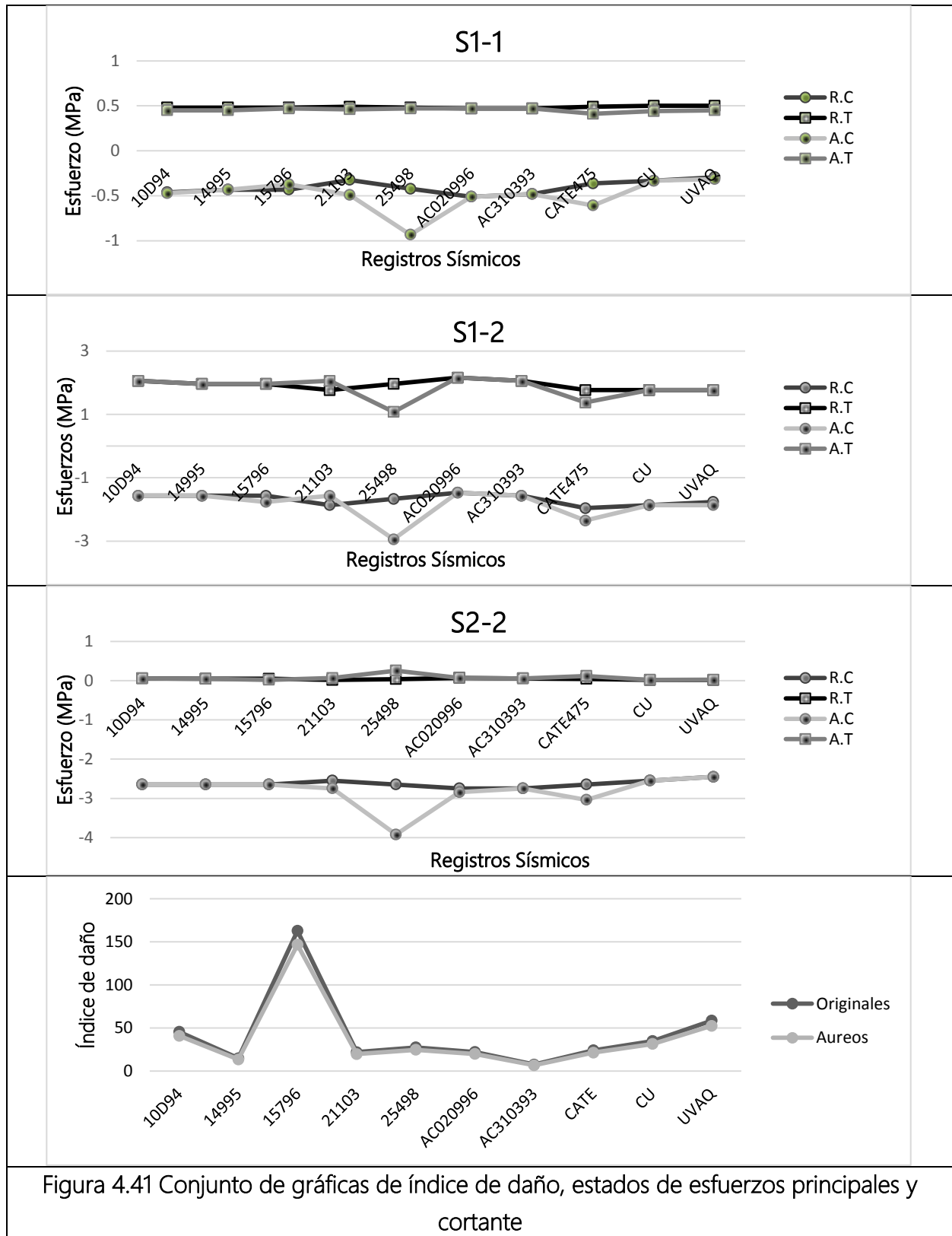
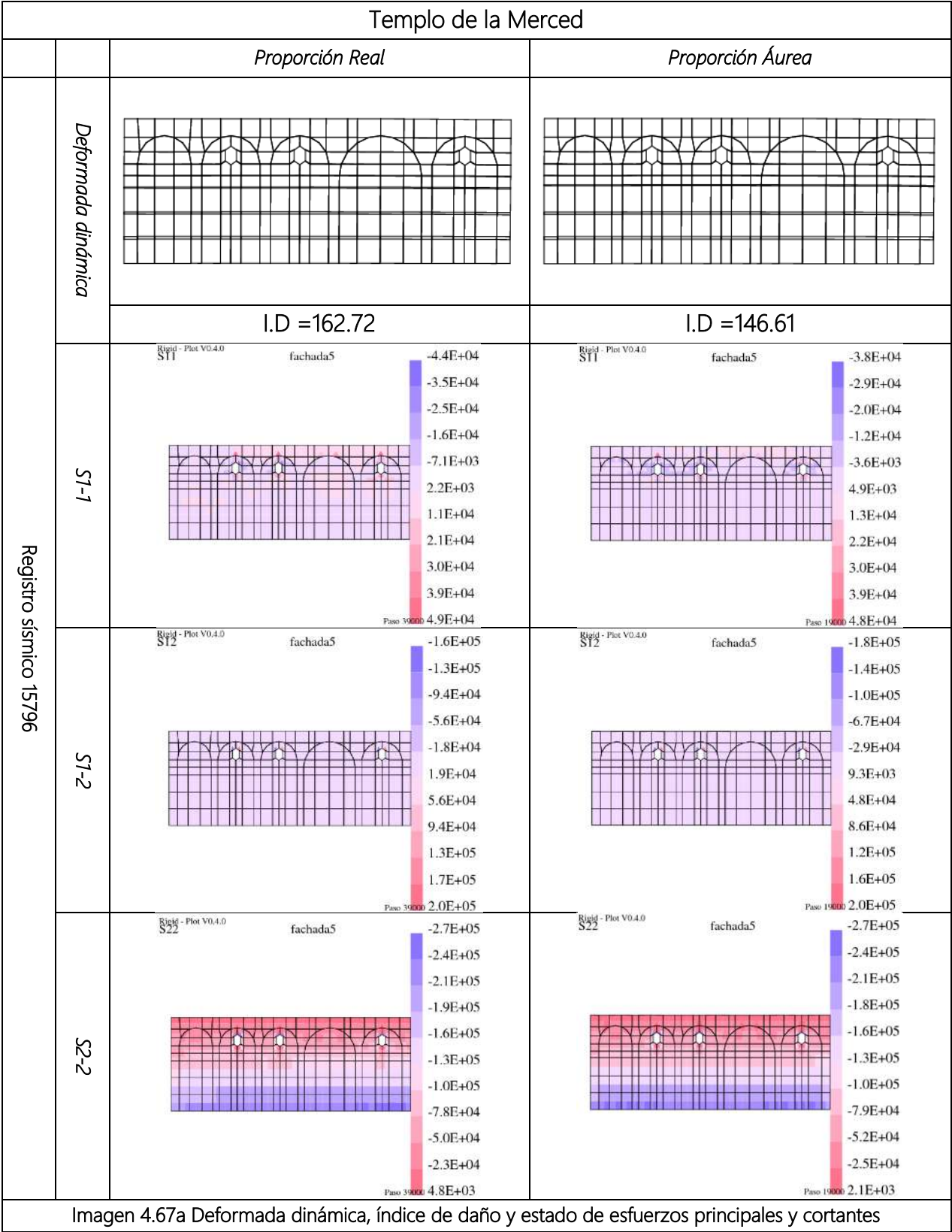
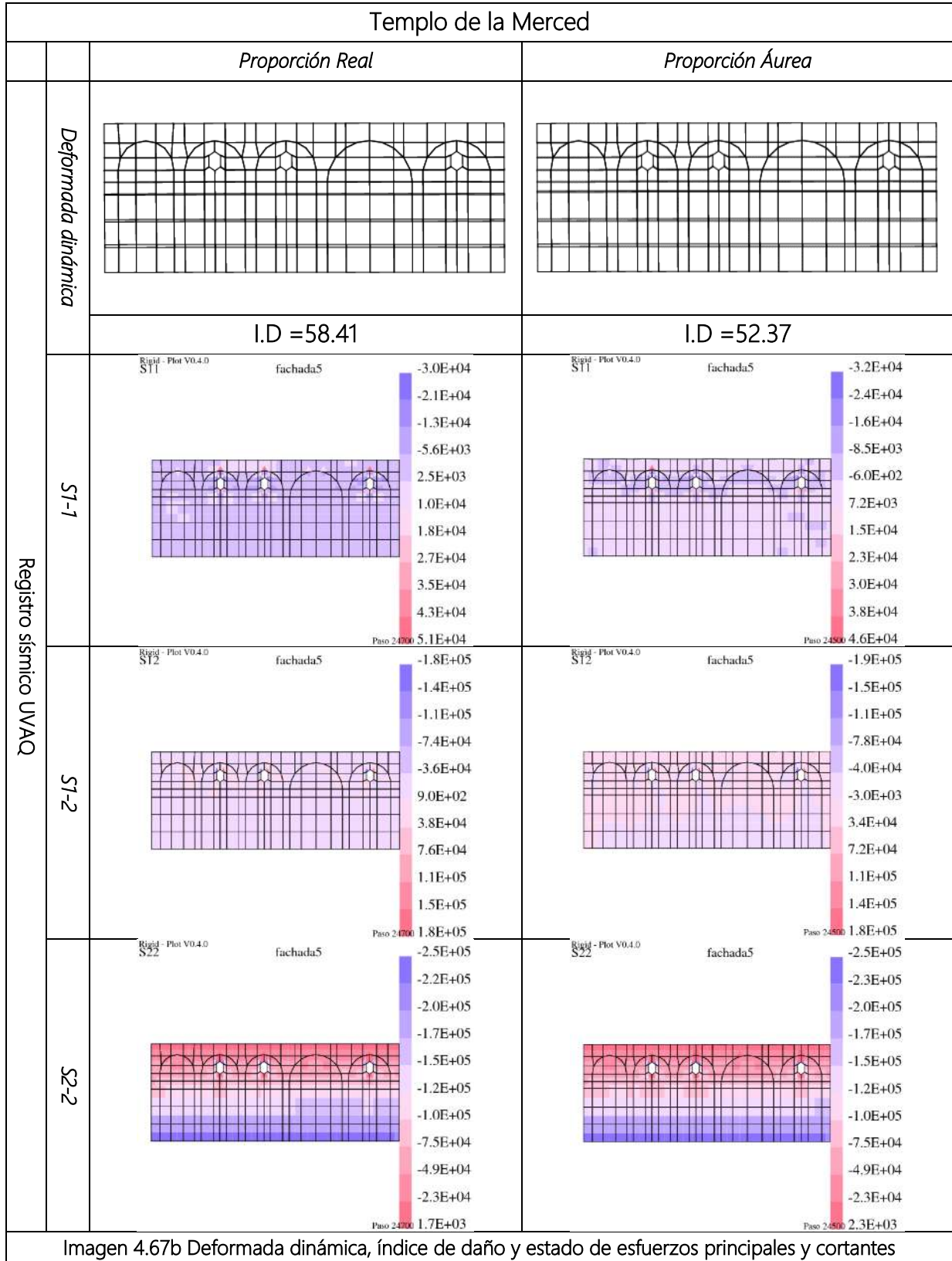


Figura 4.41 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante





IV. Templo Franciscano de Buenaventura

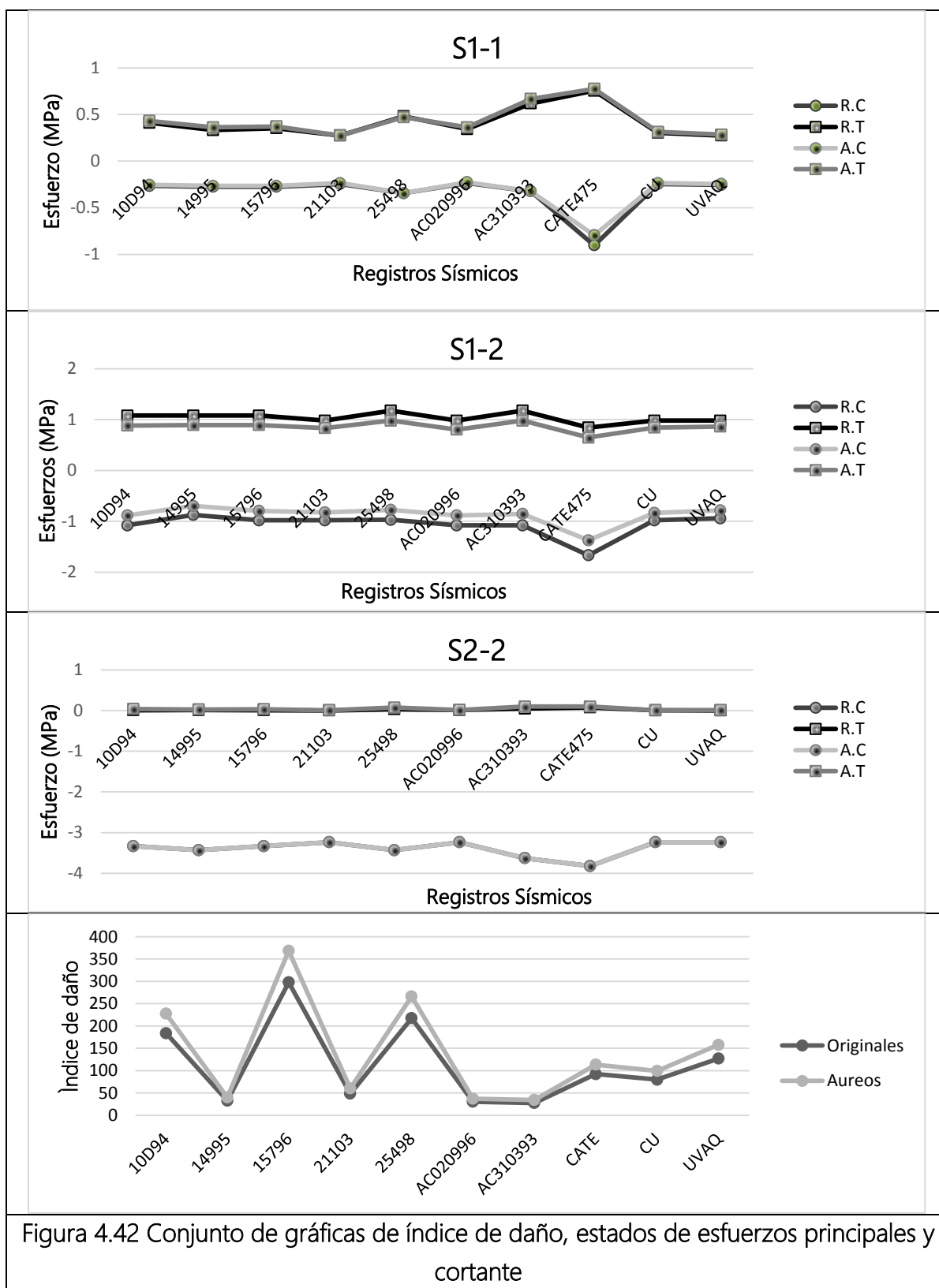
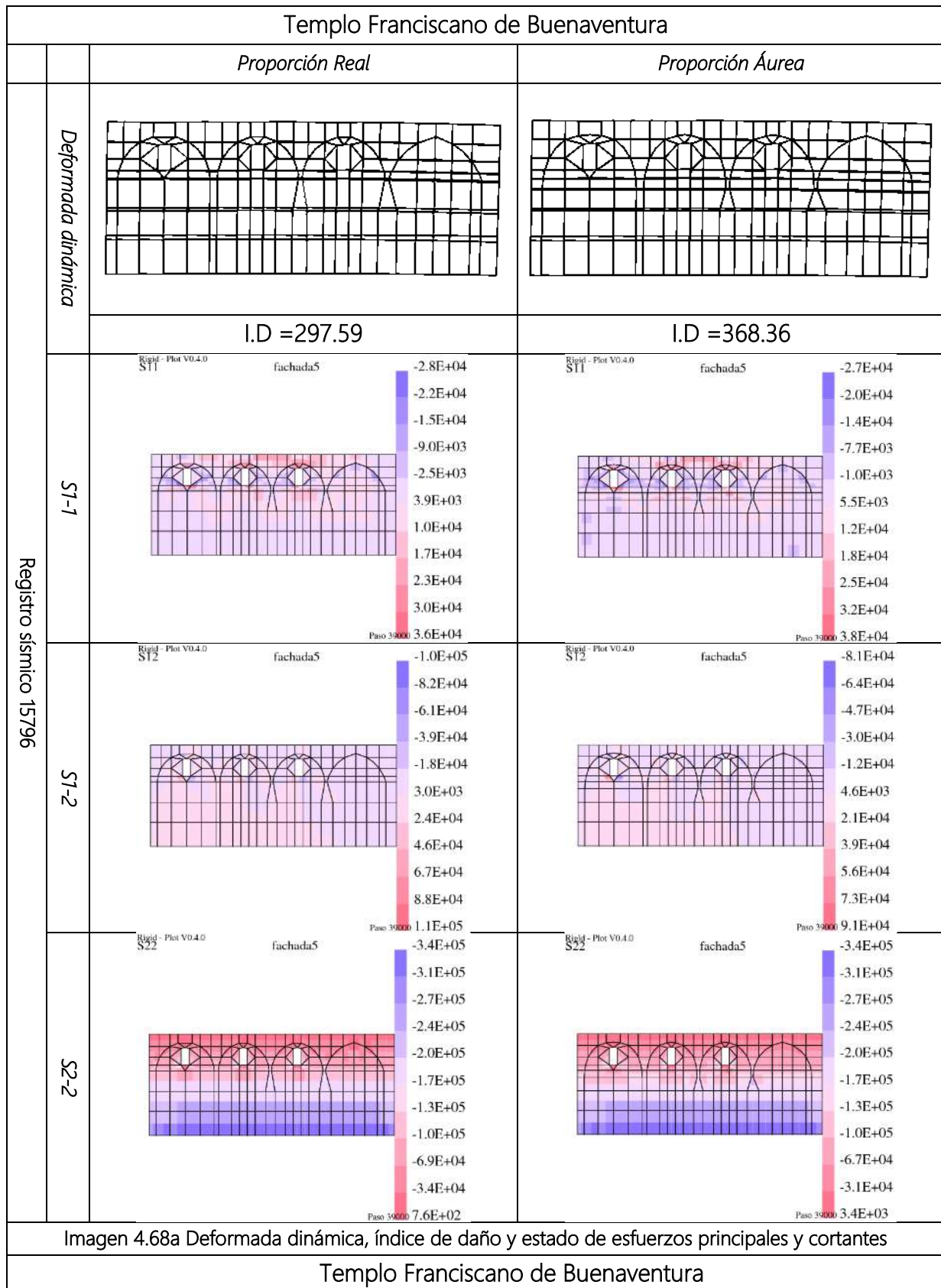


Figura 4.42 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante



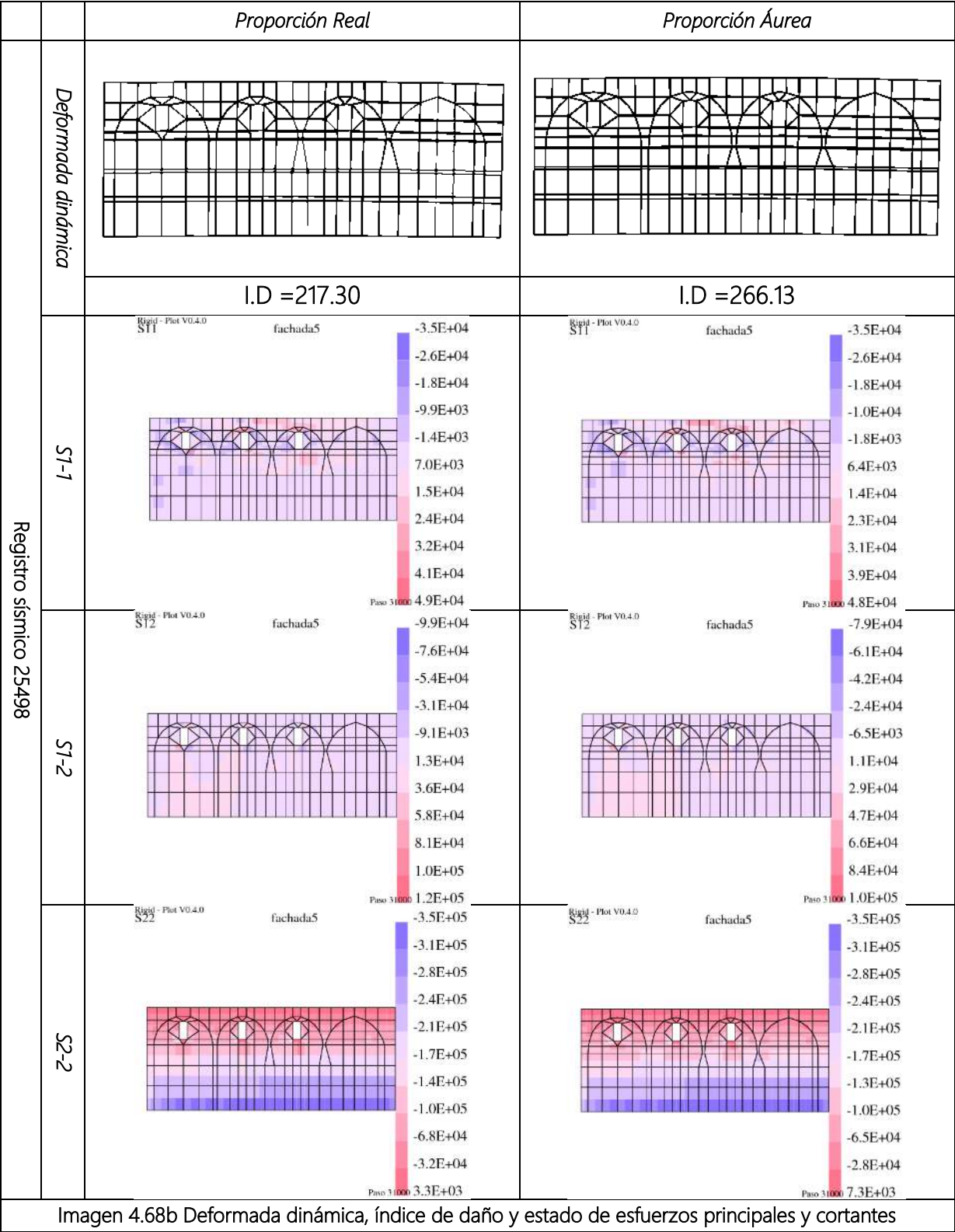
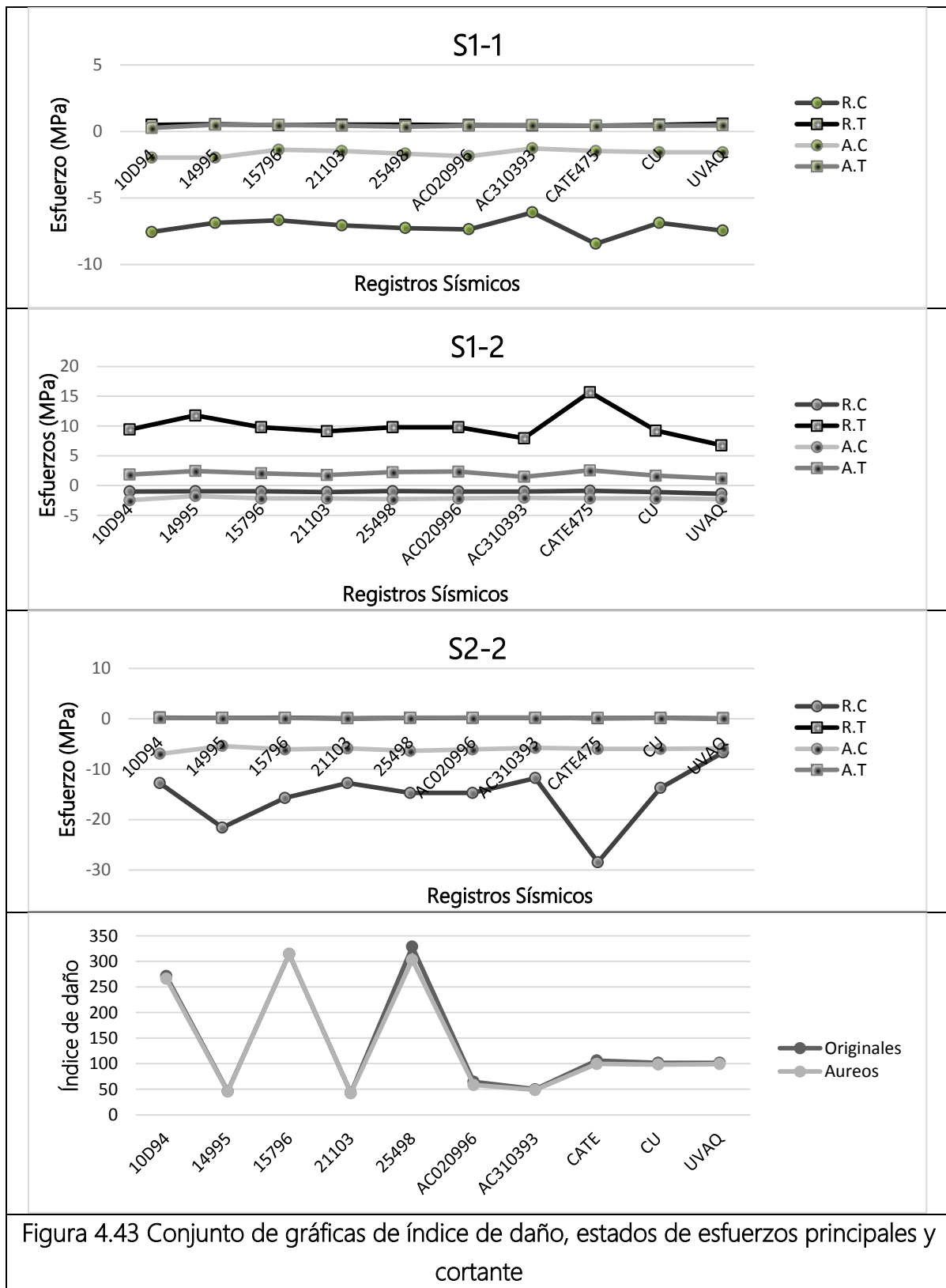
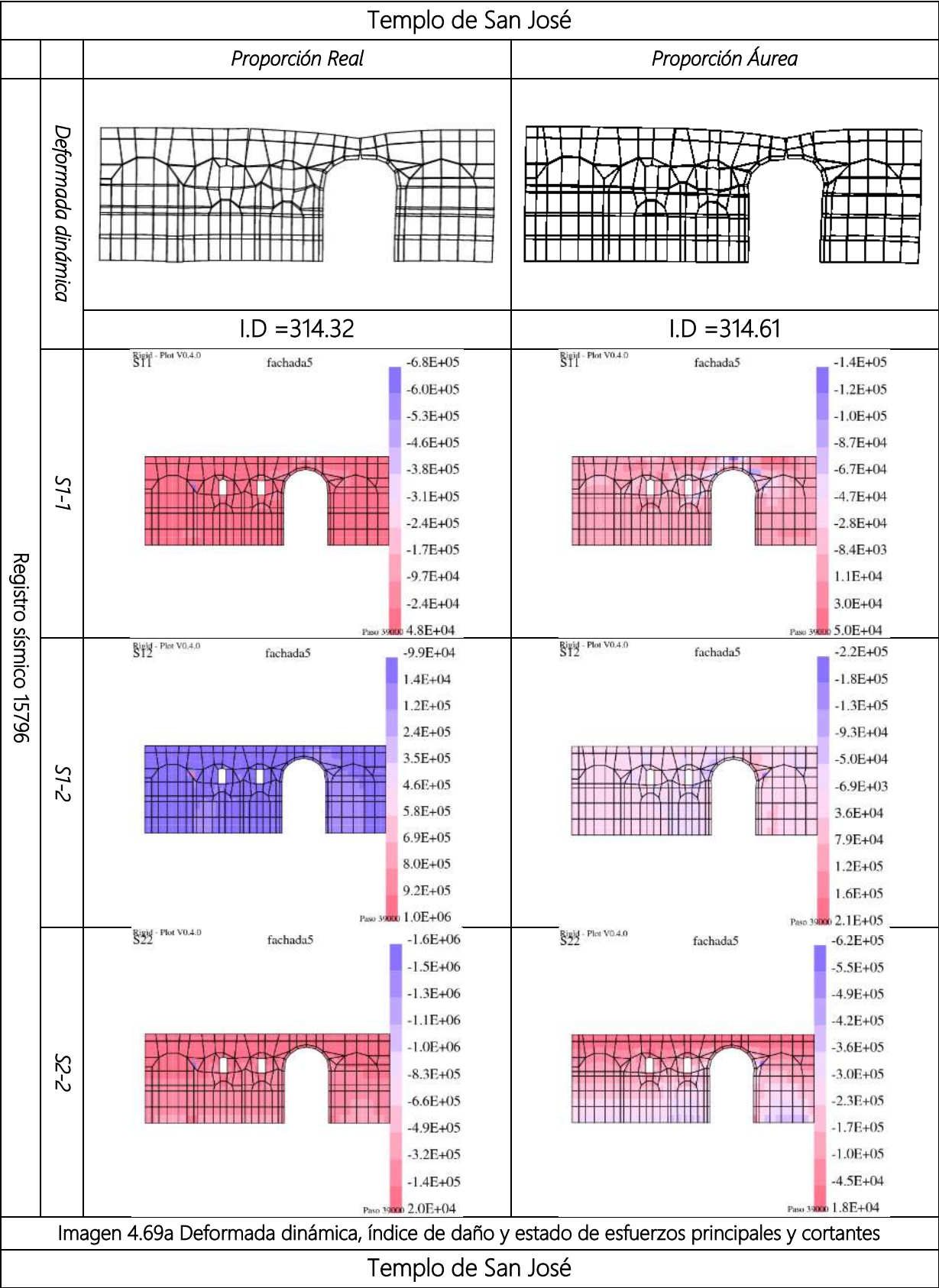
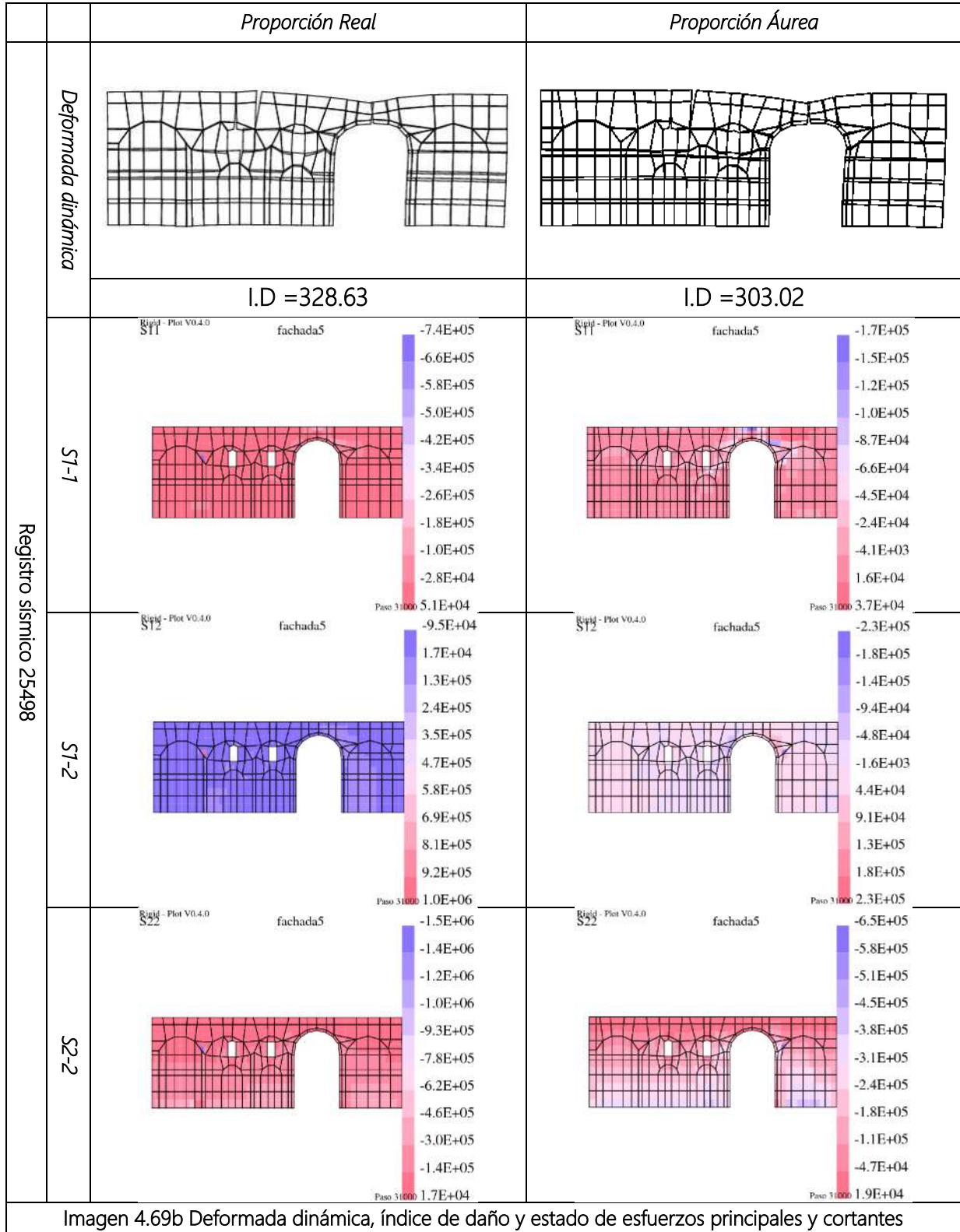


Imagen 4.68b Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

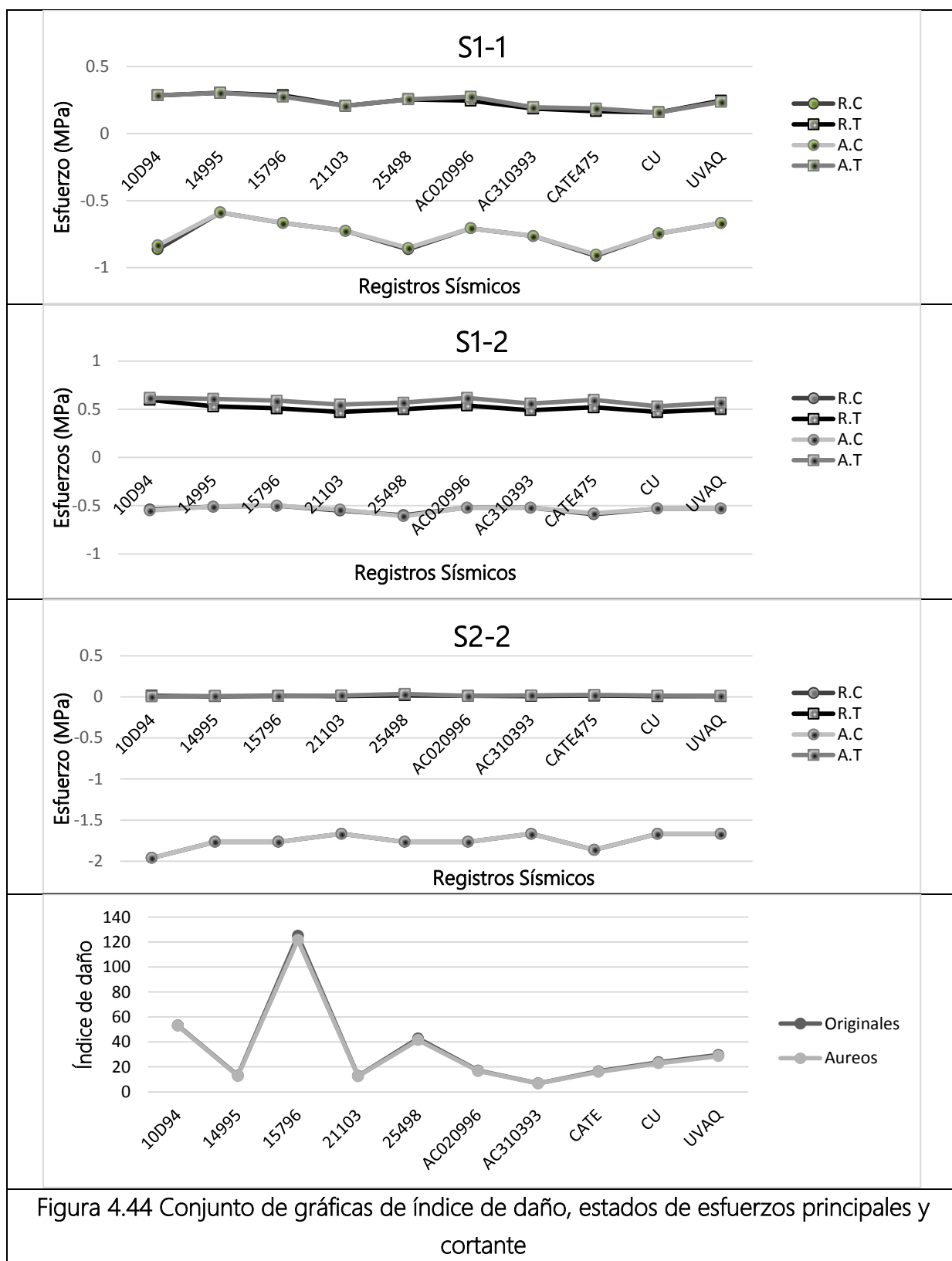
V. Templo de San José

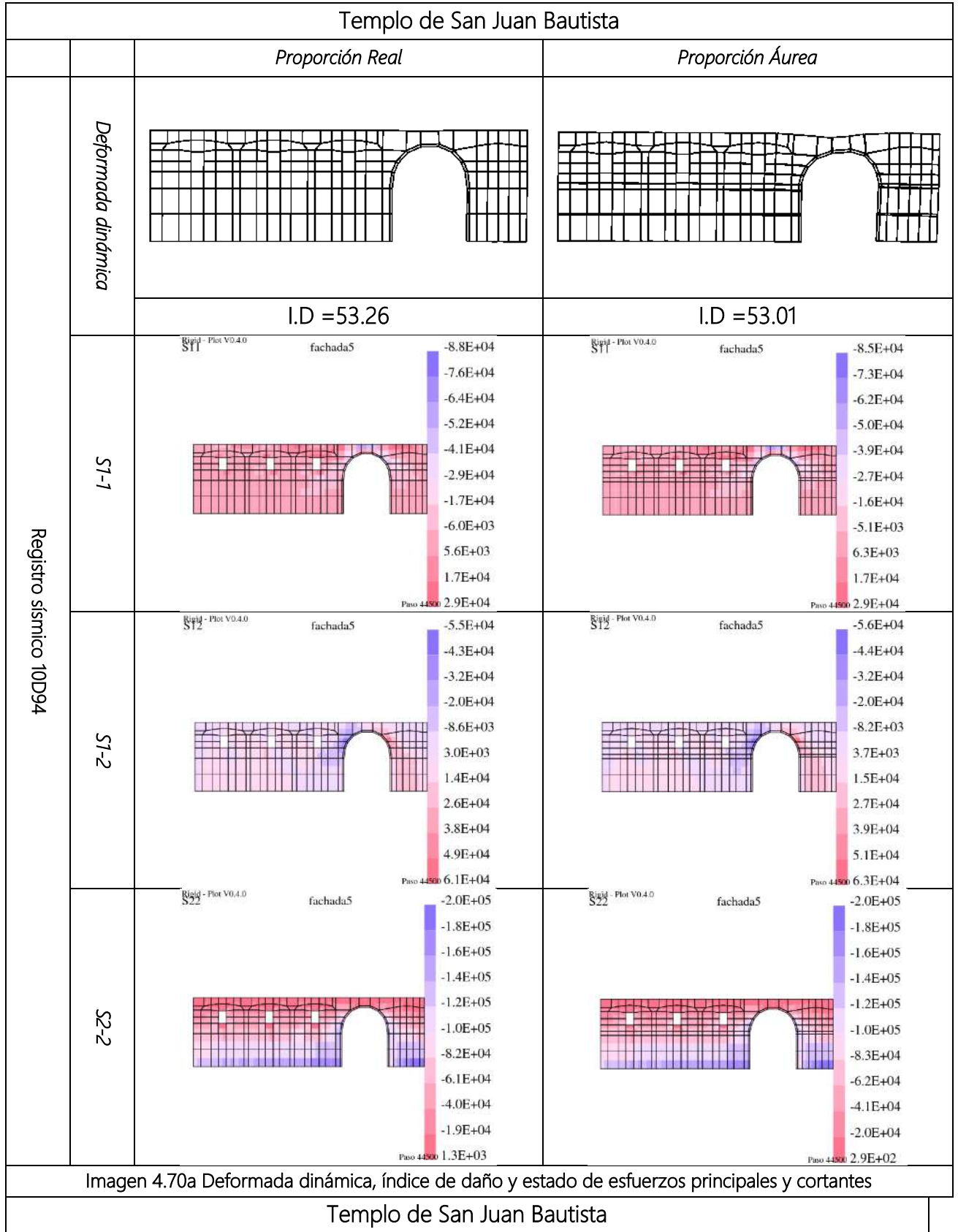


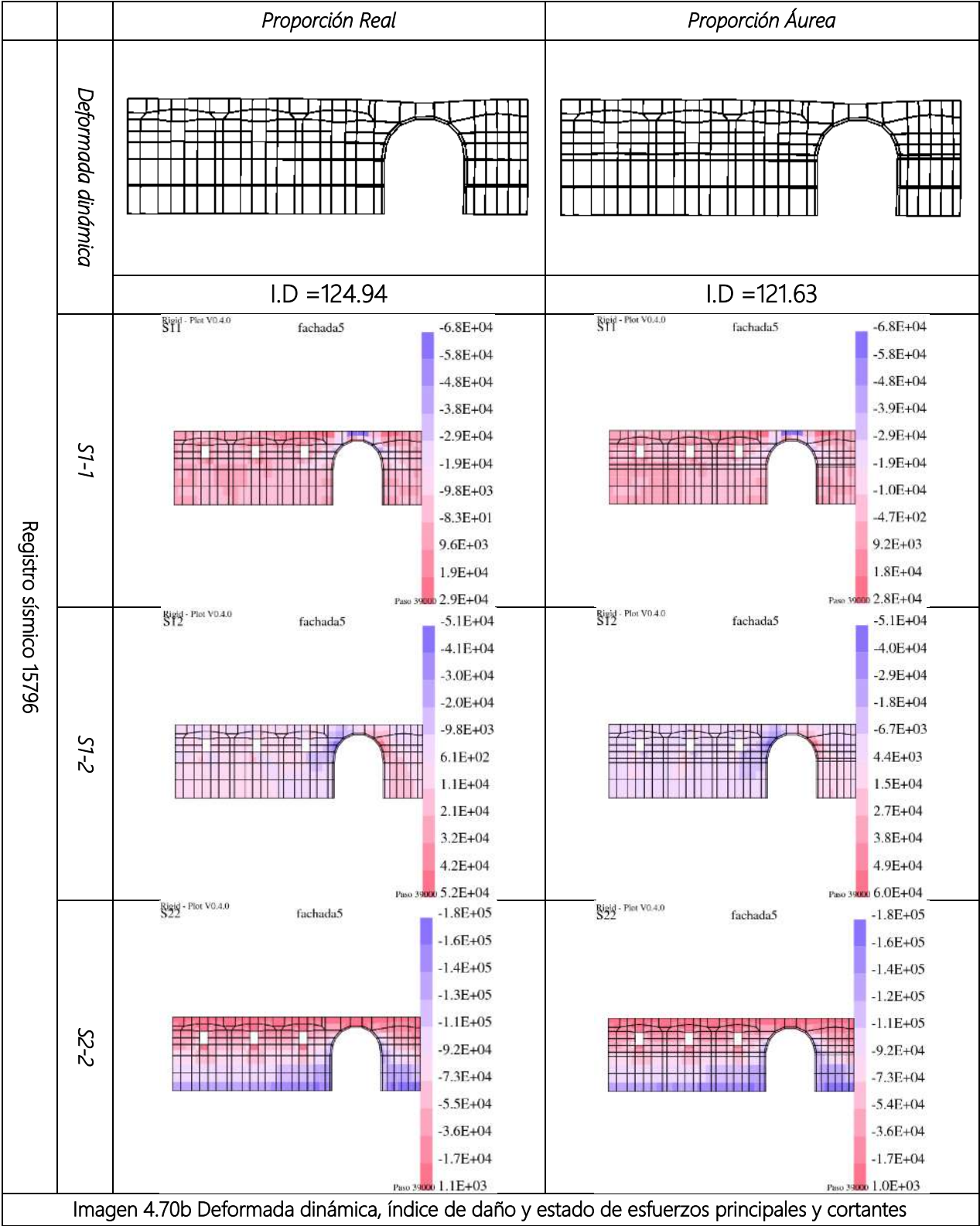




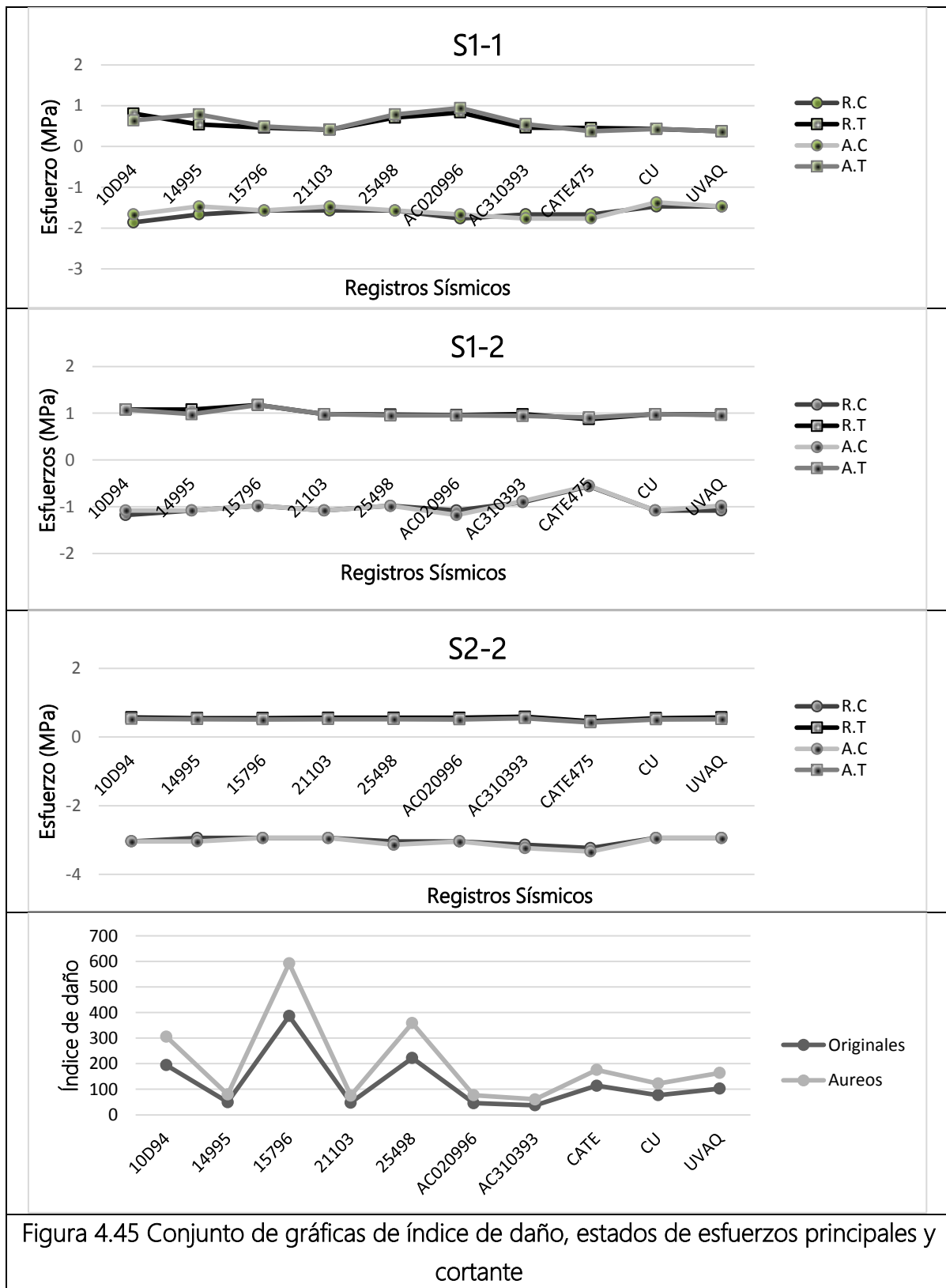
VI. Templo de San Juan Bautista

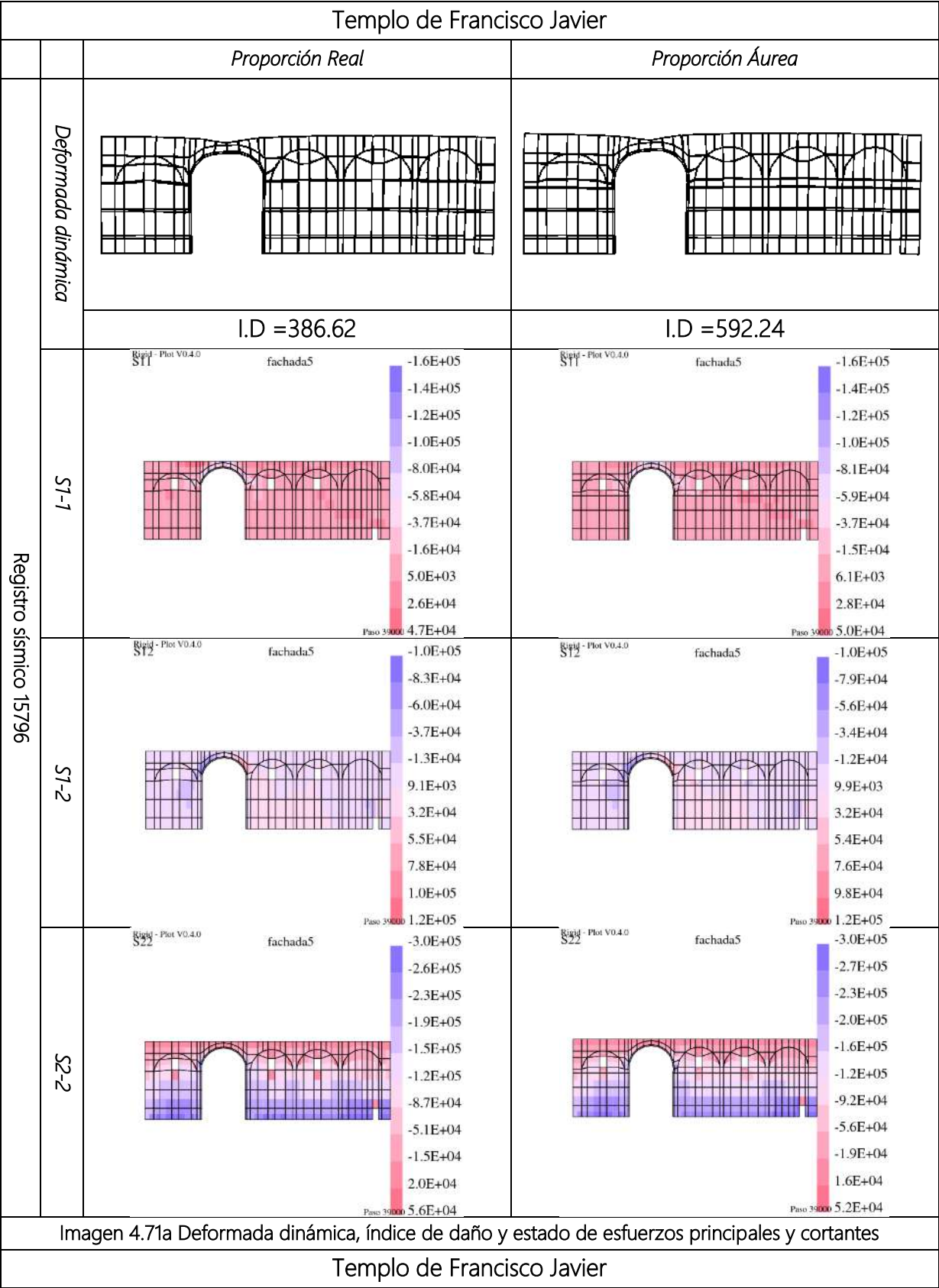


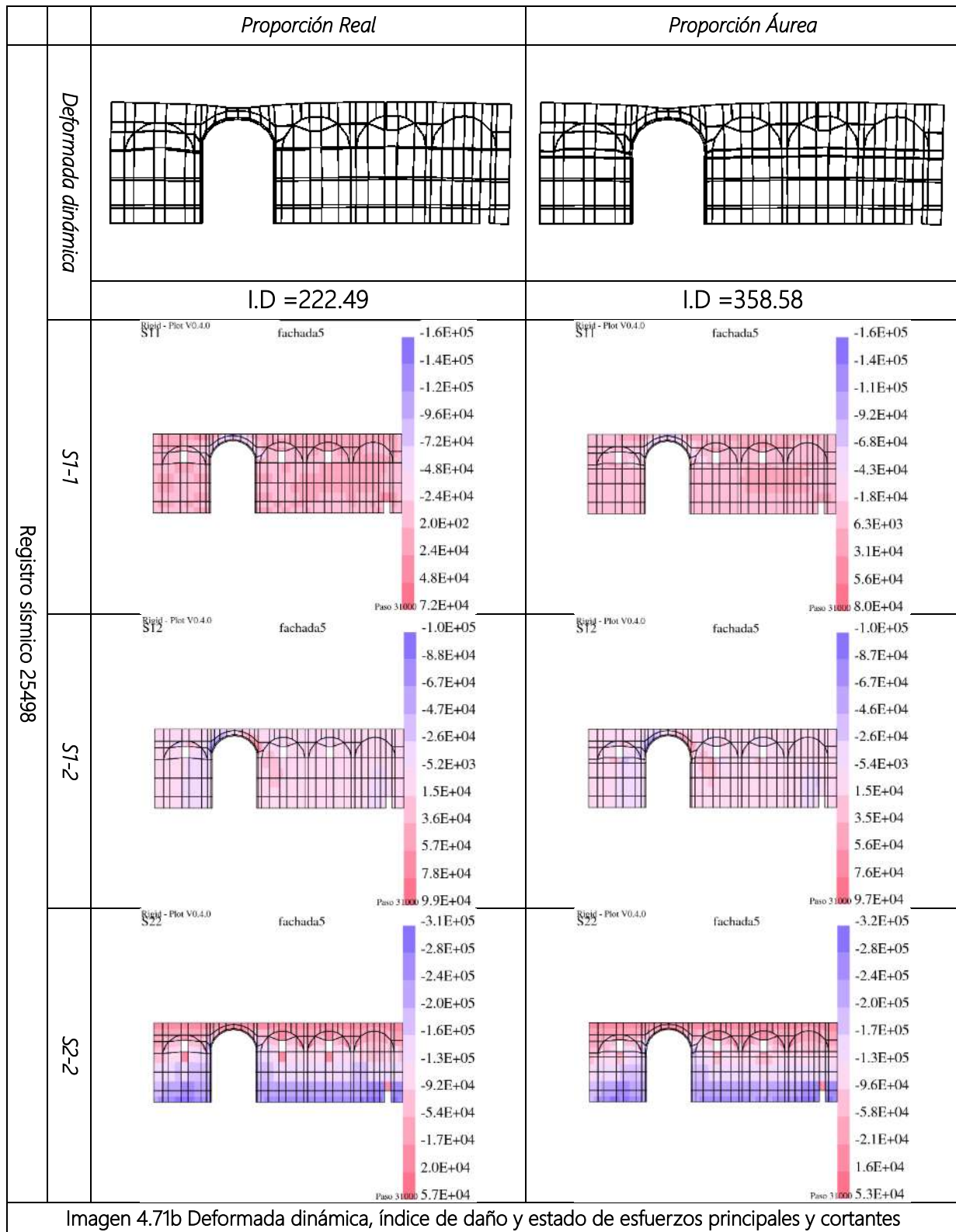




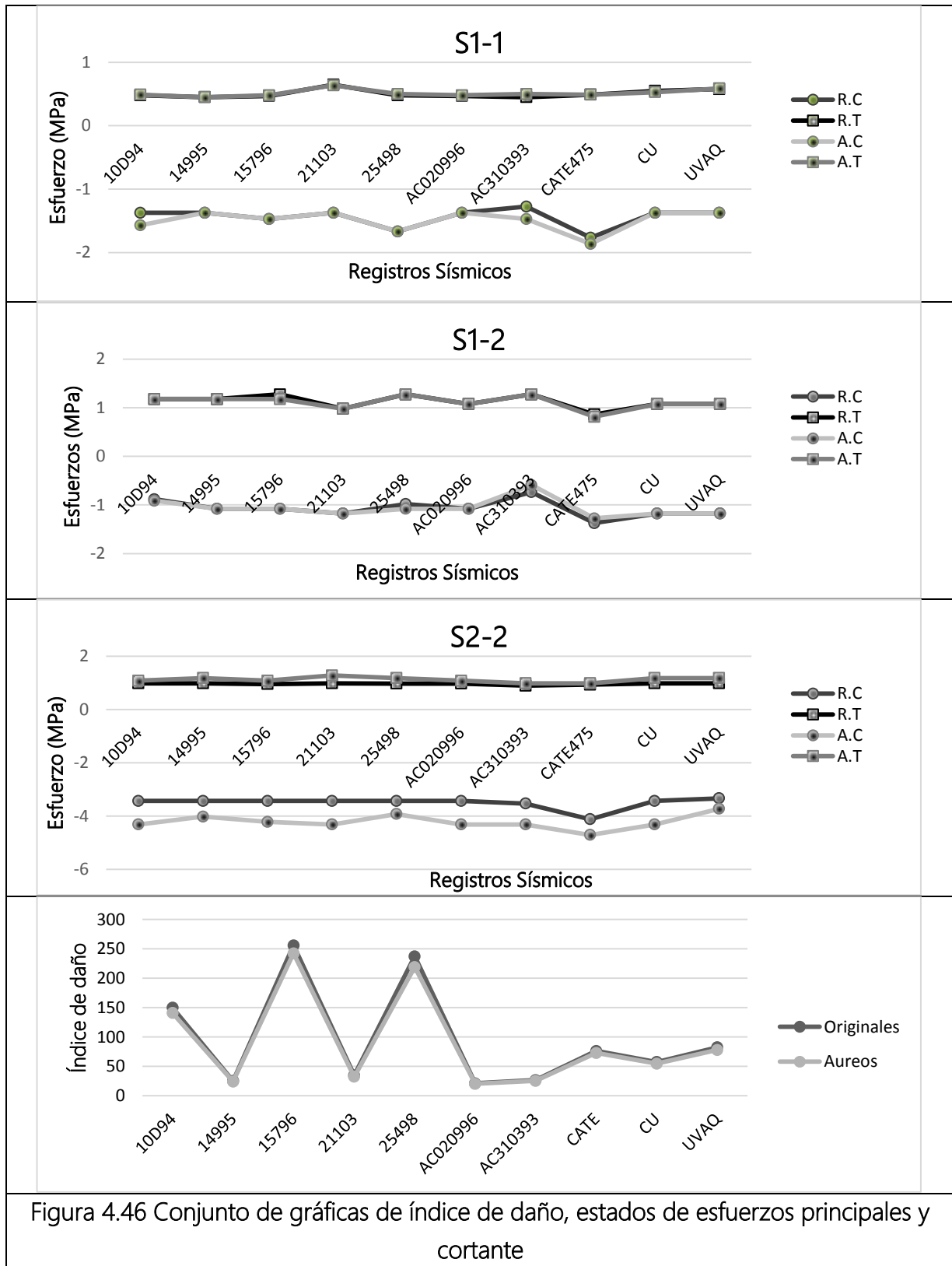
VII. Templo de Francisco Javier

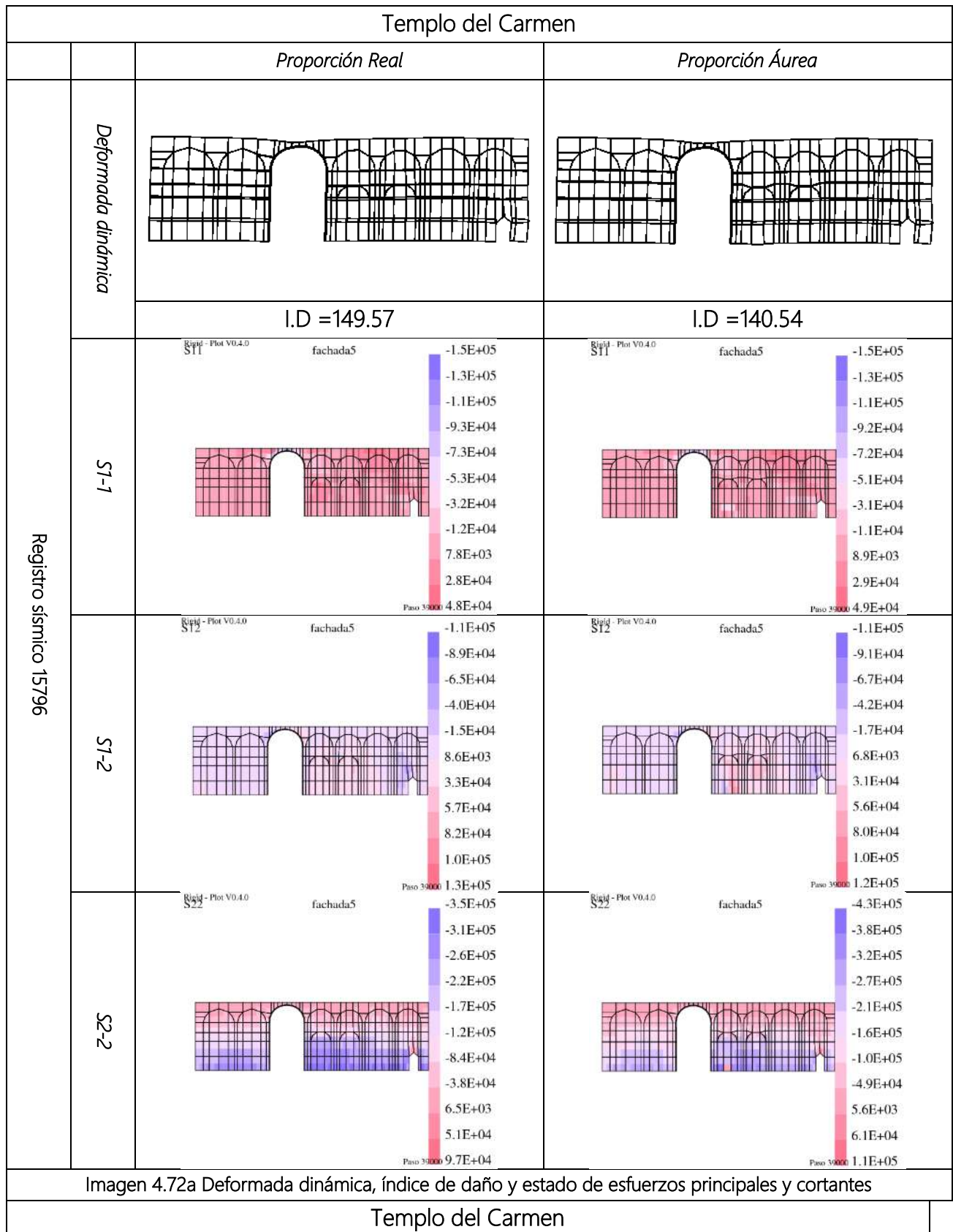


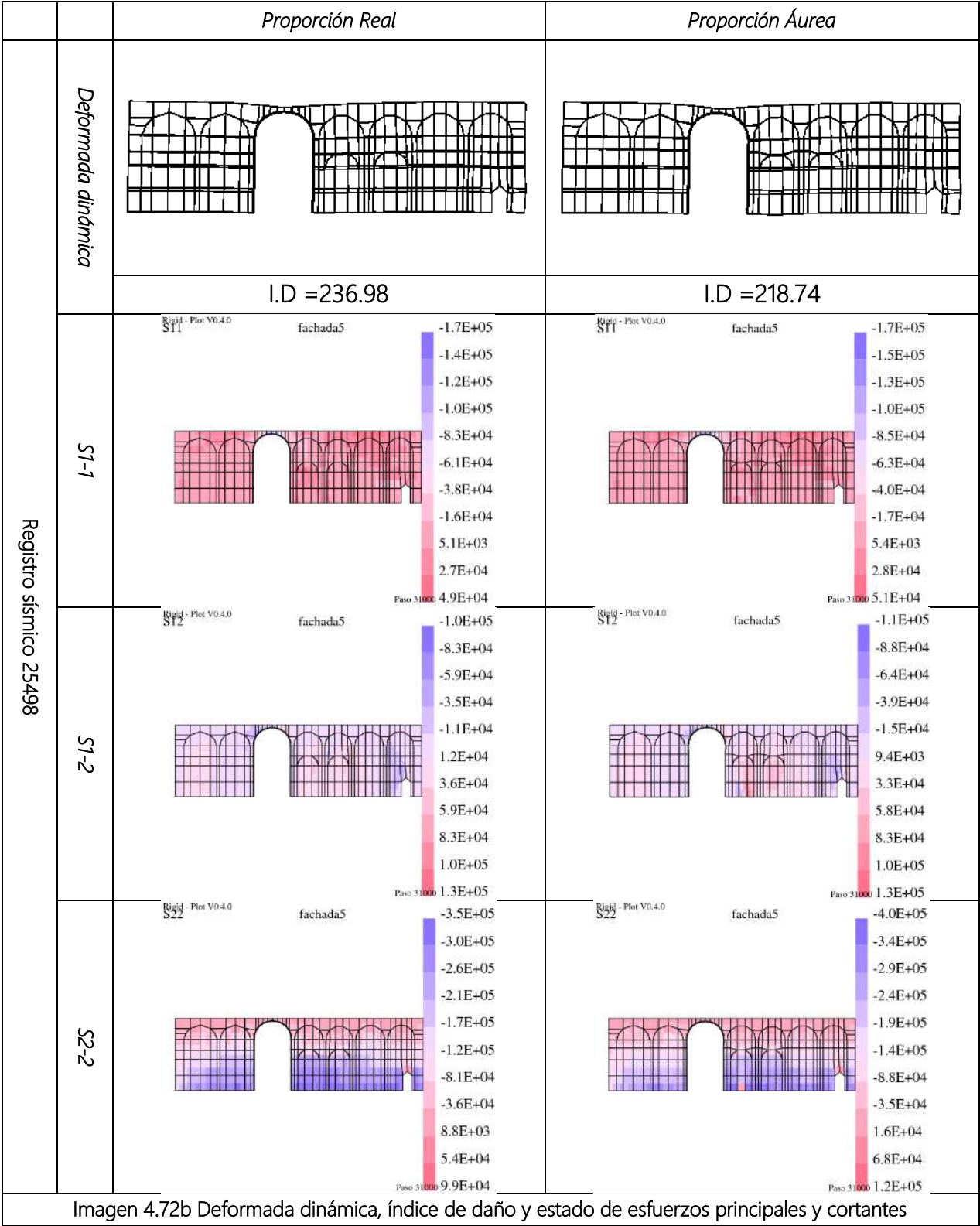




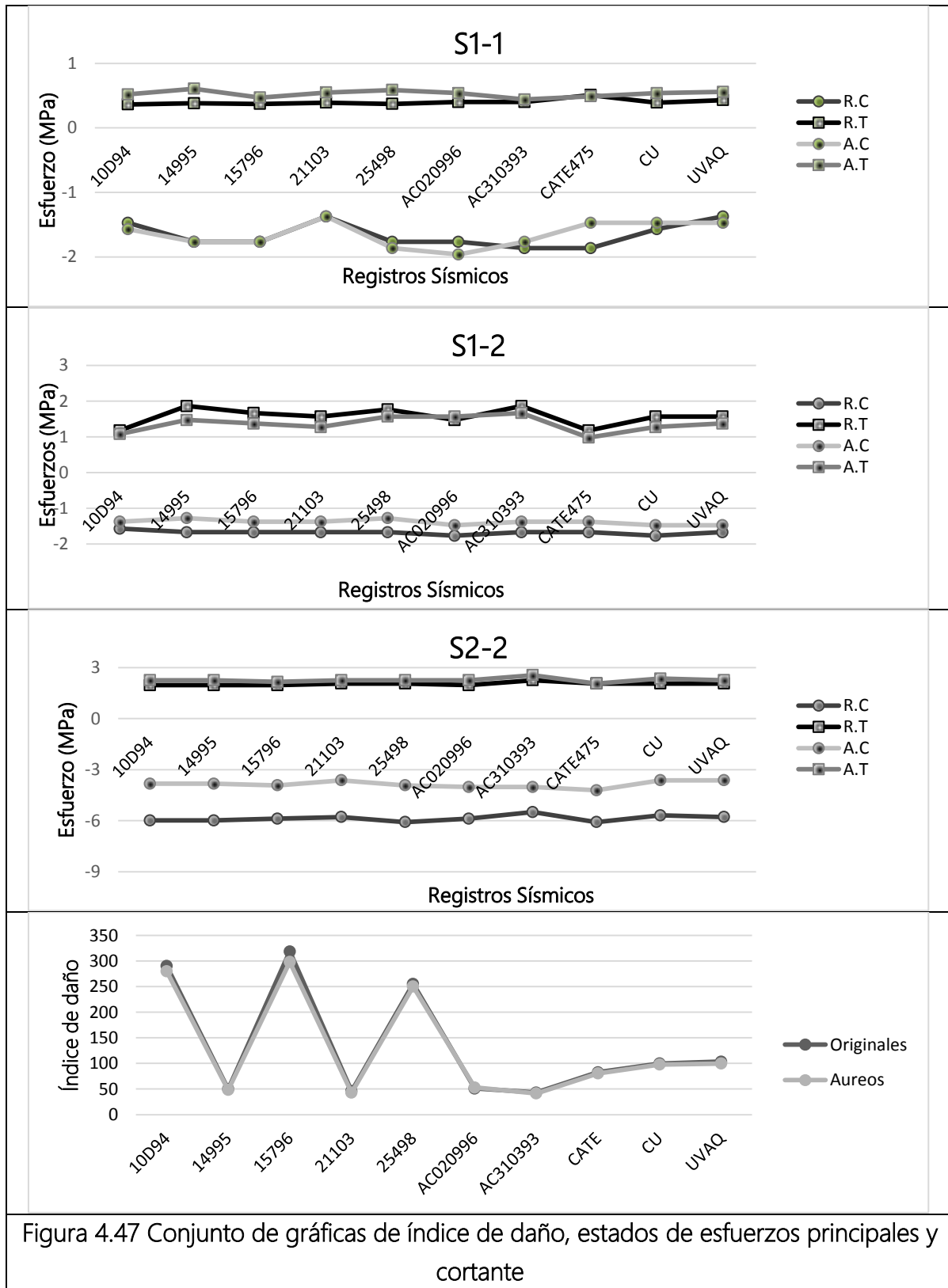
VIII. Templo del Carmen

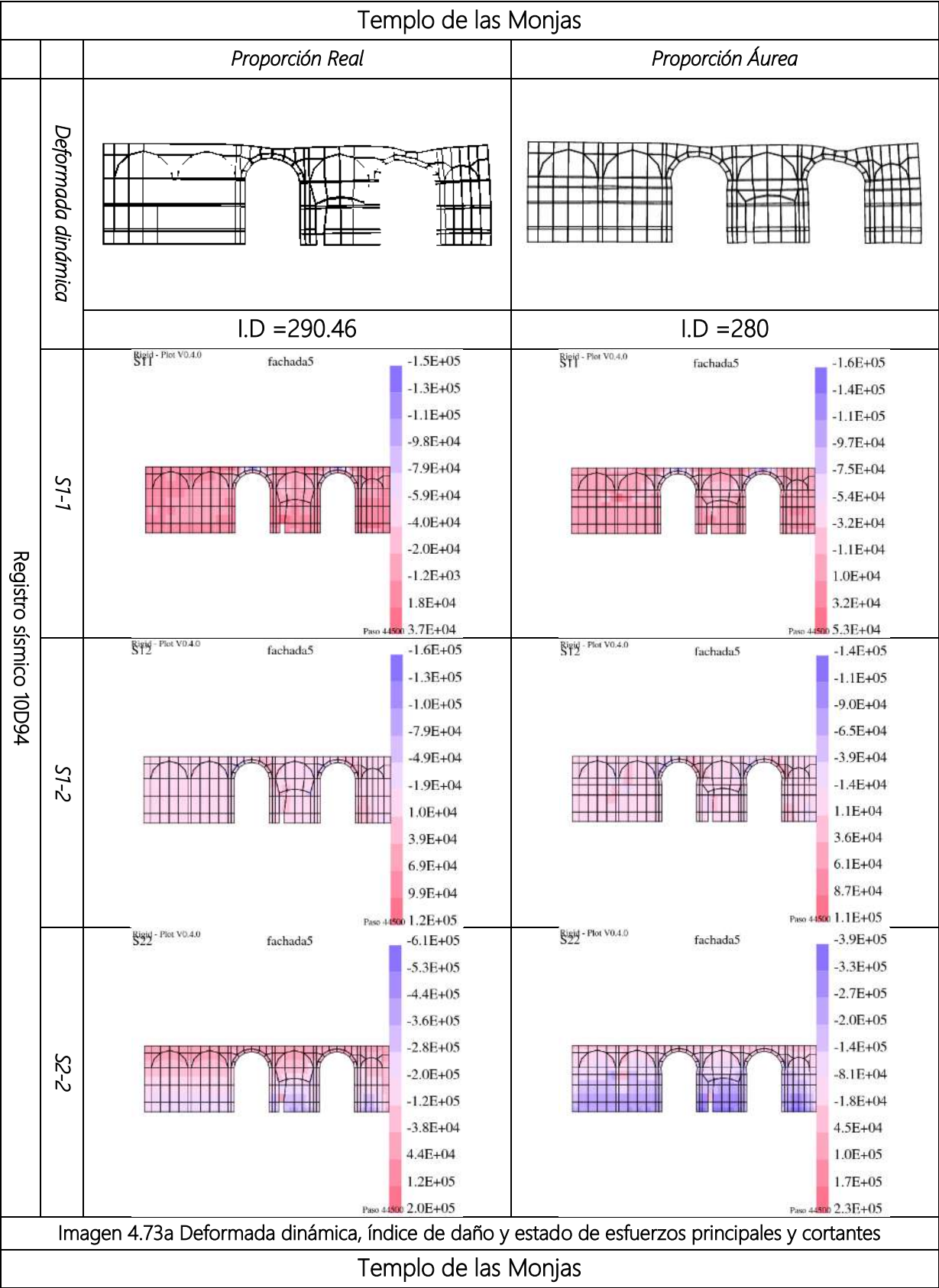


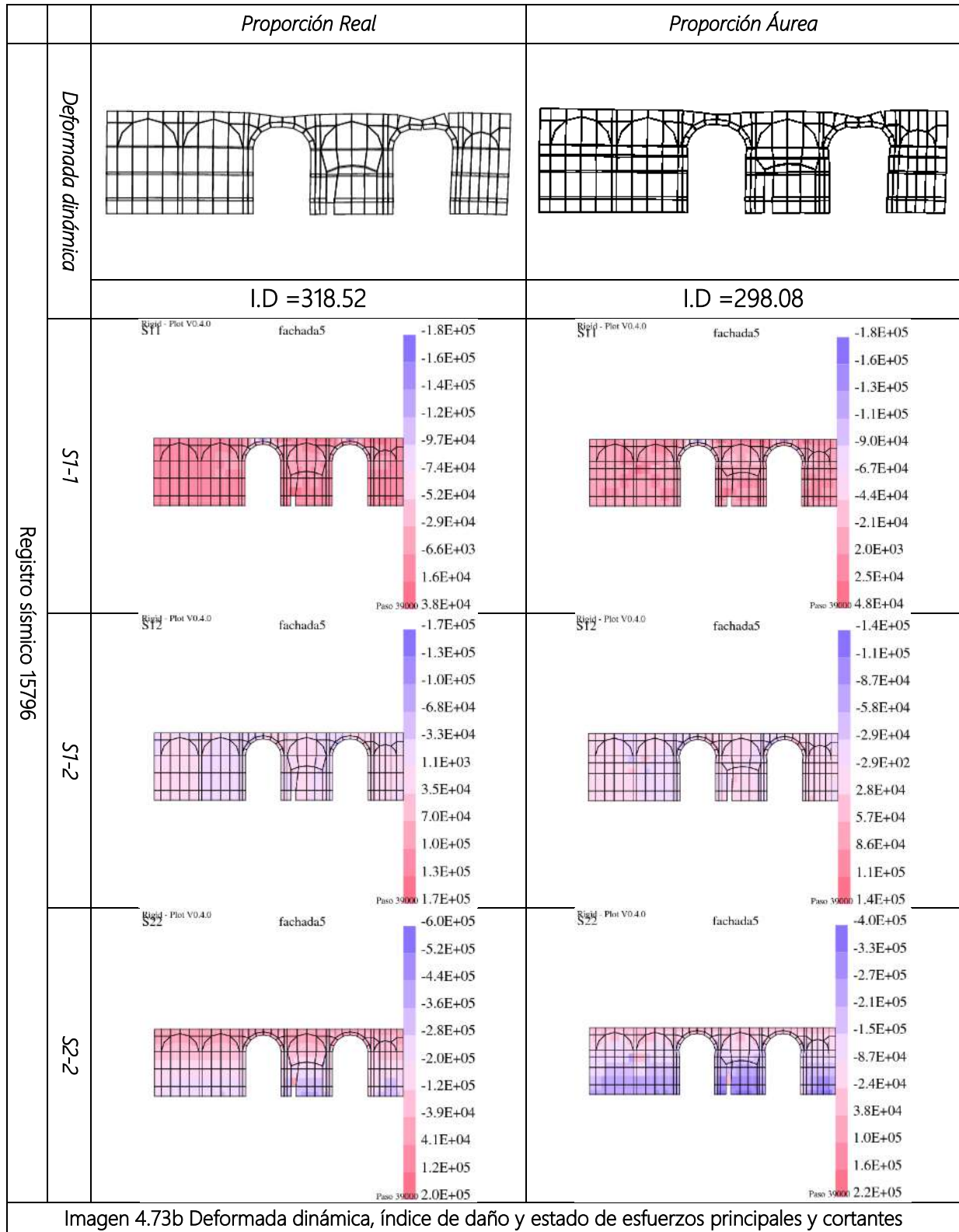




IX. Templo de las Monjas







X. Templo Santa Rosa de Lima

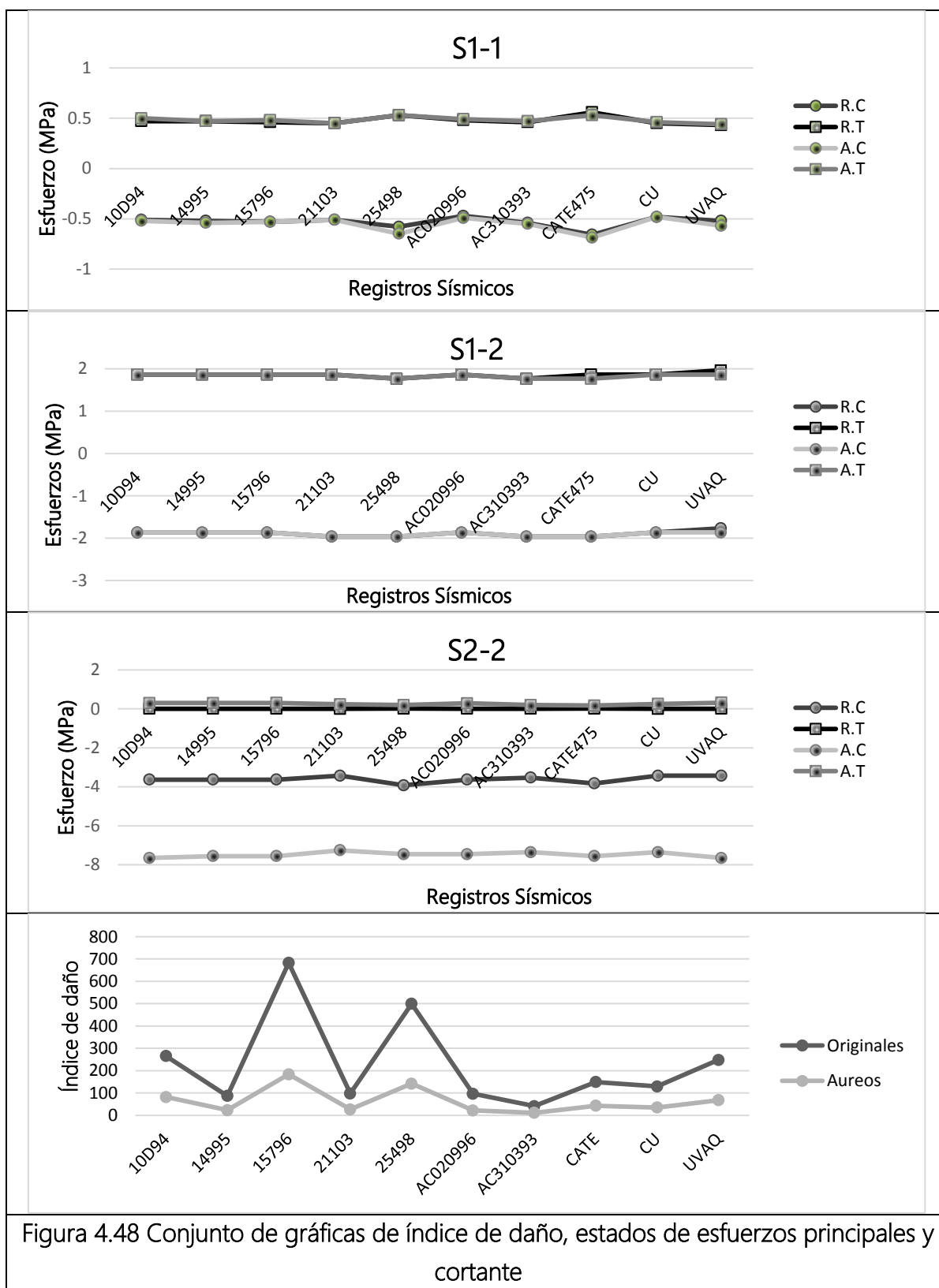
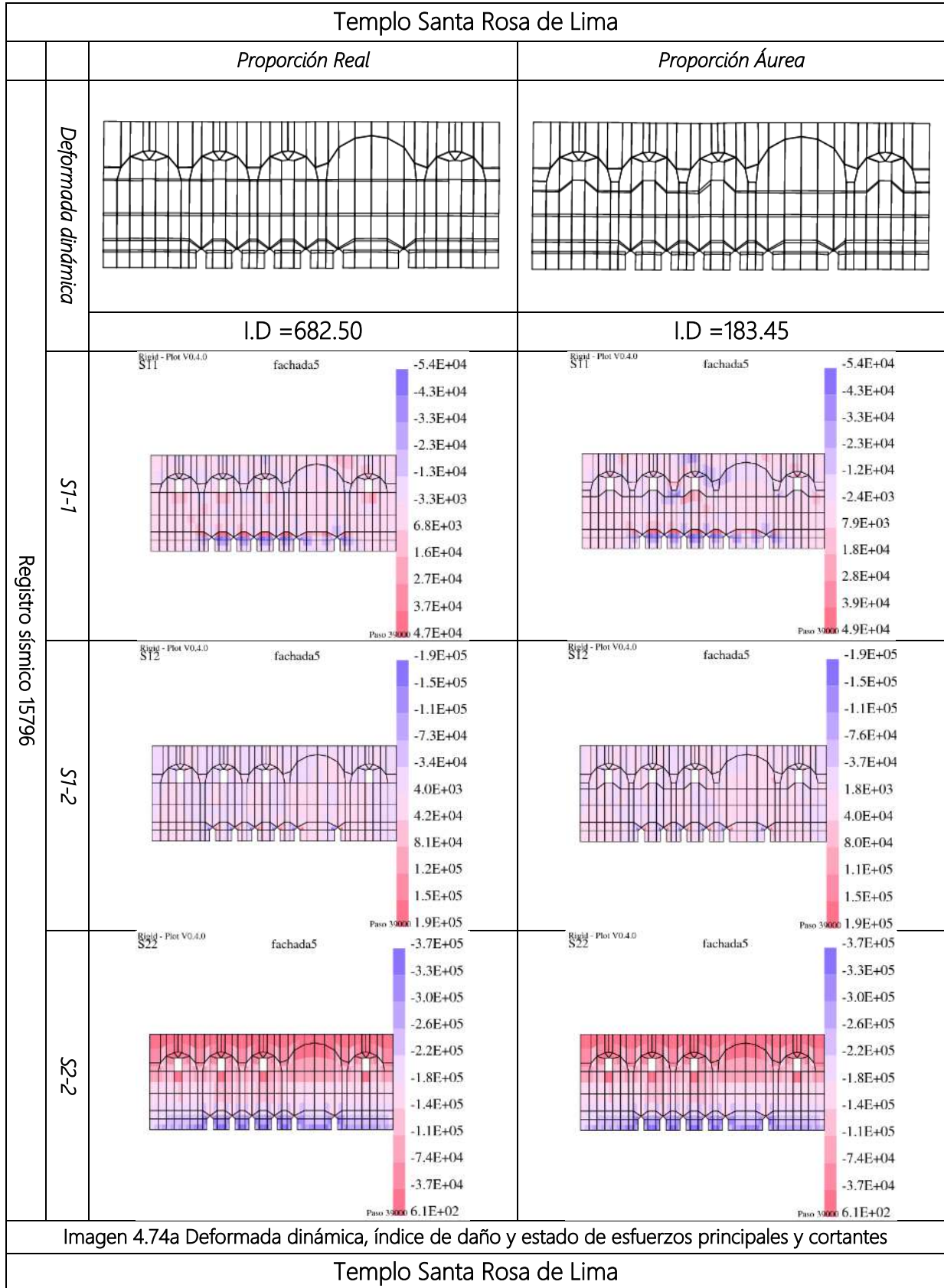
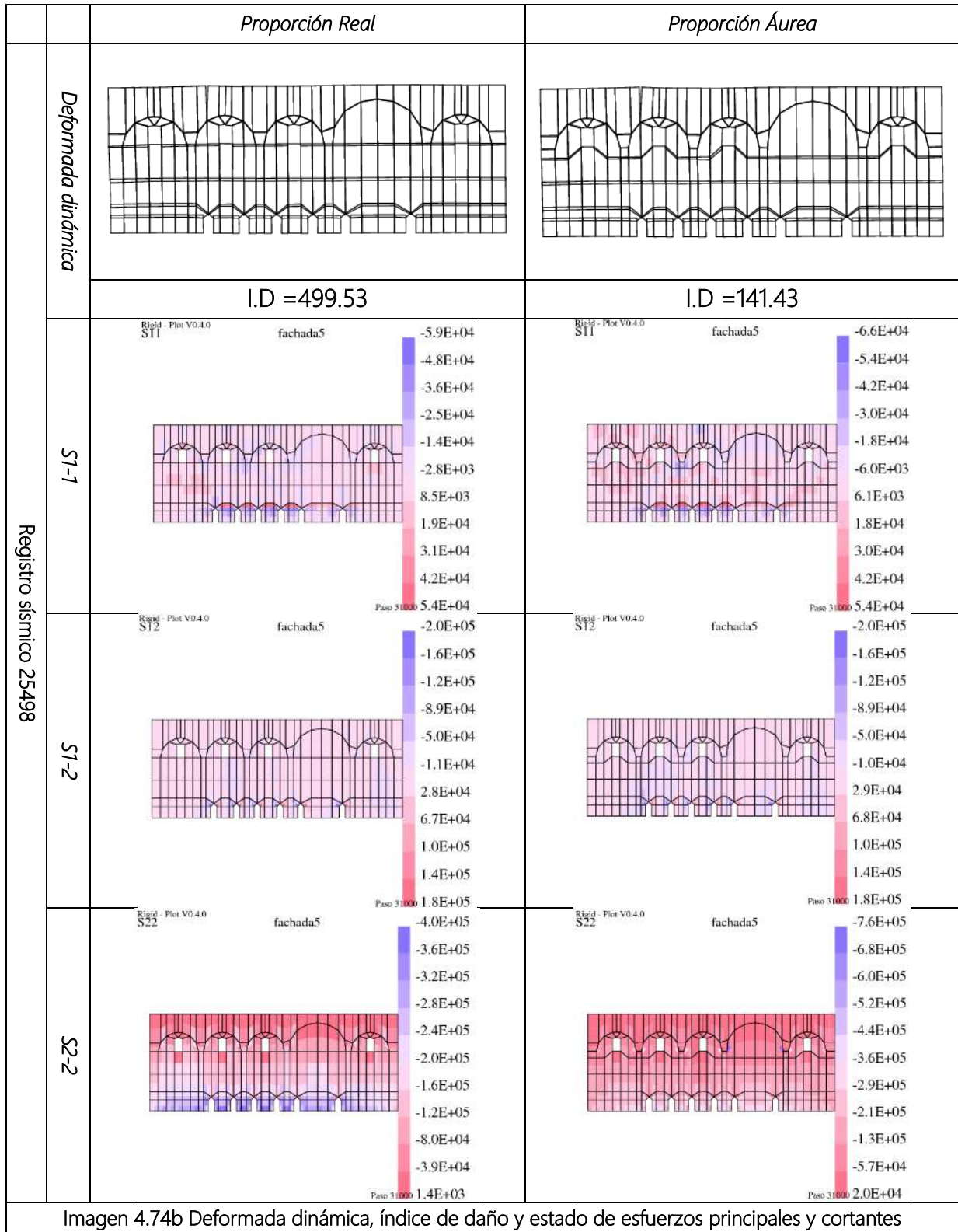


Figura 4.48 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante





XI. Templo de San Agustín

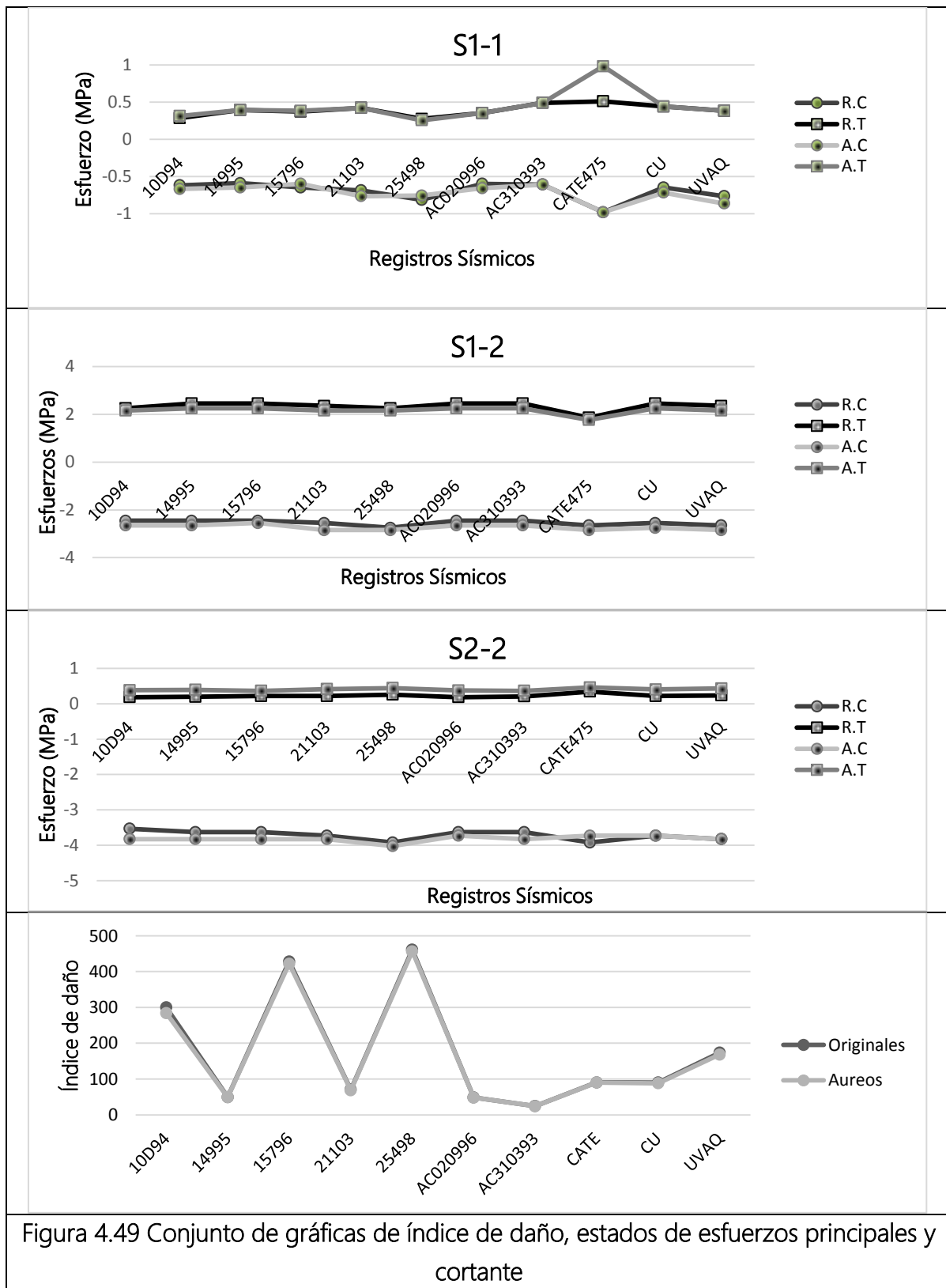
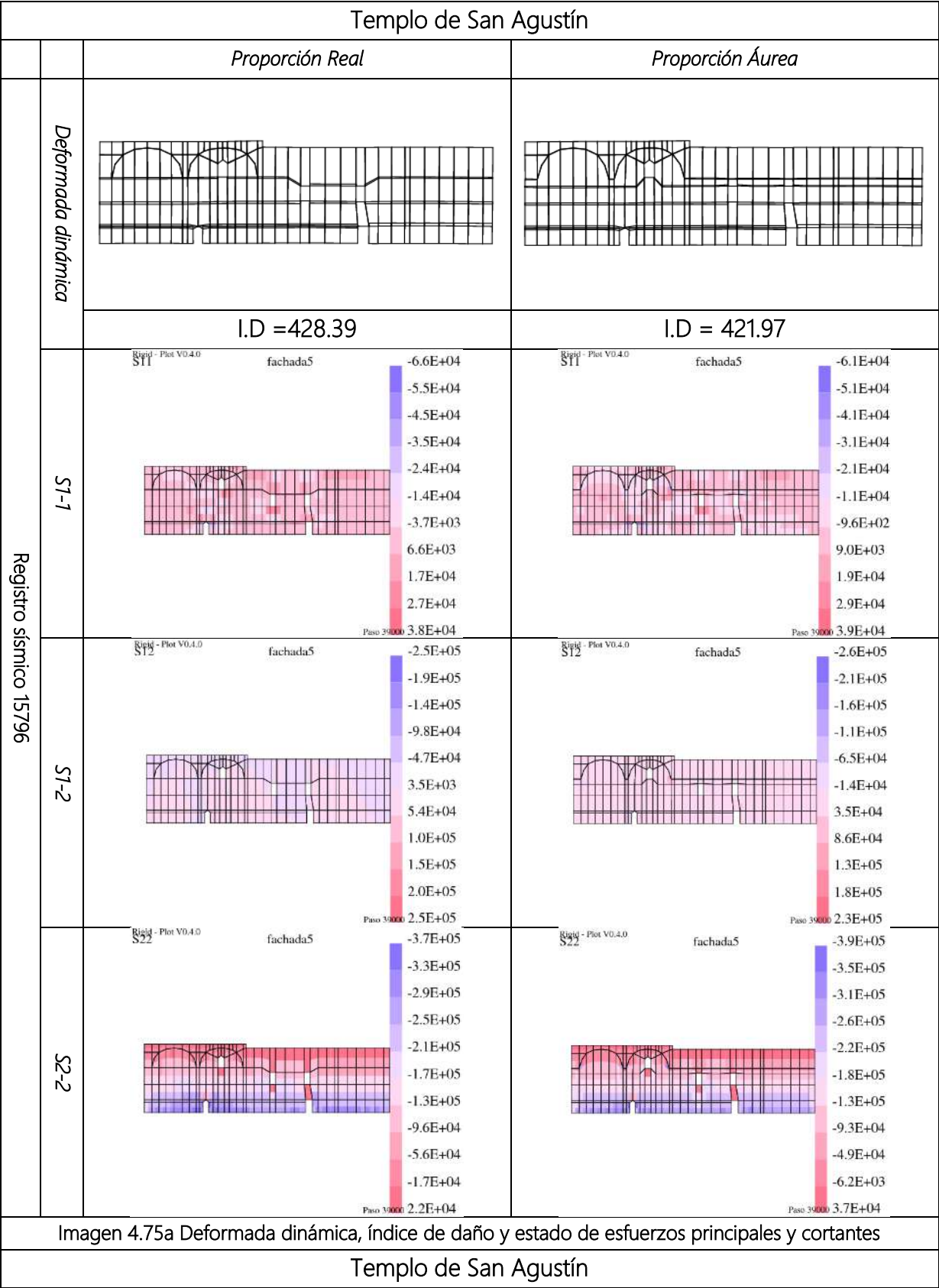
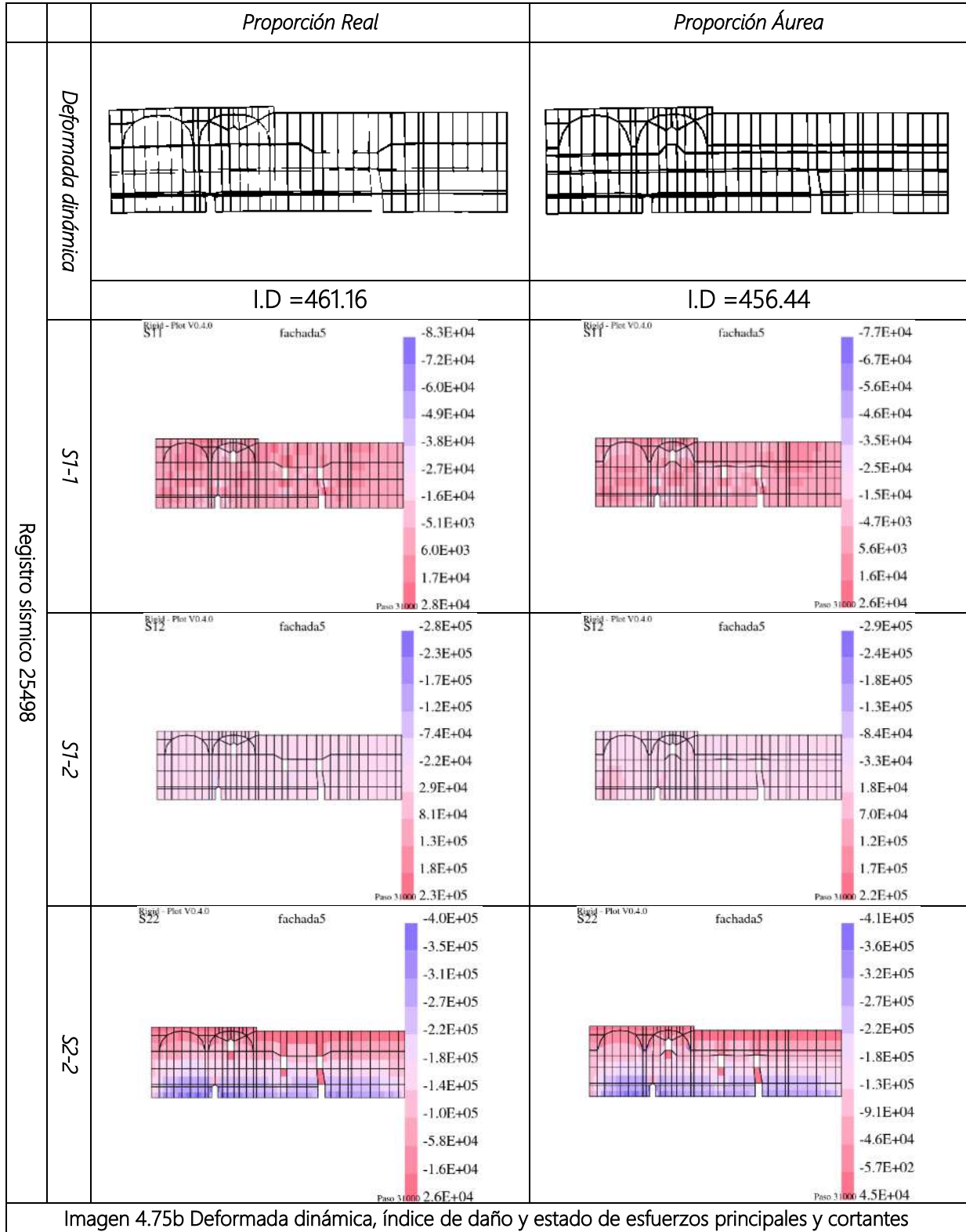


Figura 4.49 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante





XII. Templo de Guadalupe

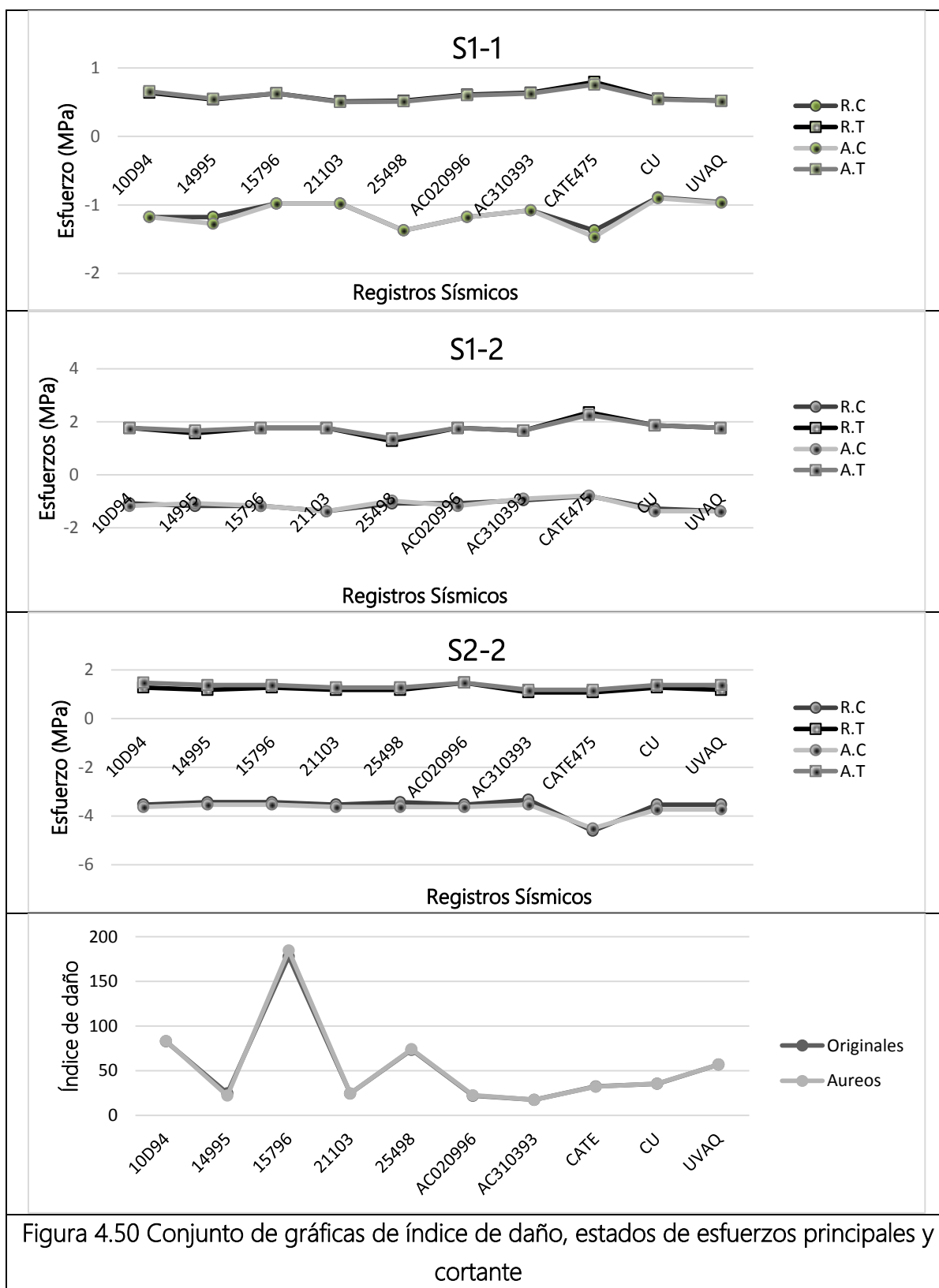
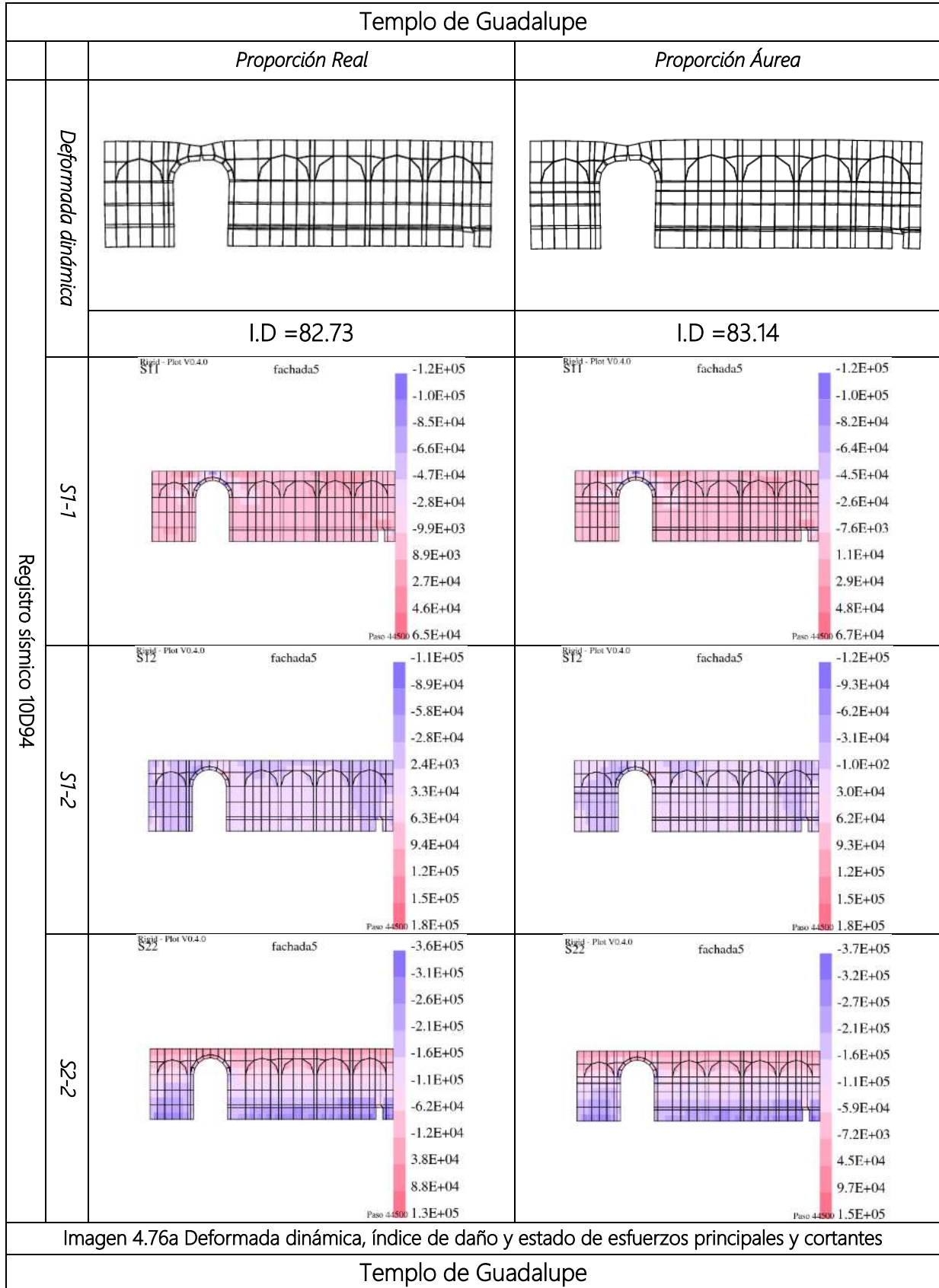


Figura 4.50 Conjunto de gráficas de índice de daño, estados de esfuerzos principales y cortante



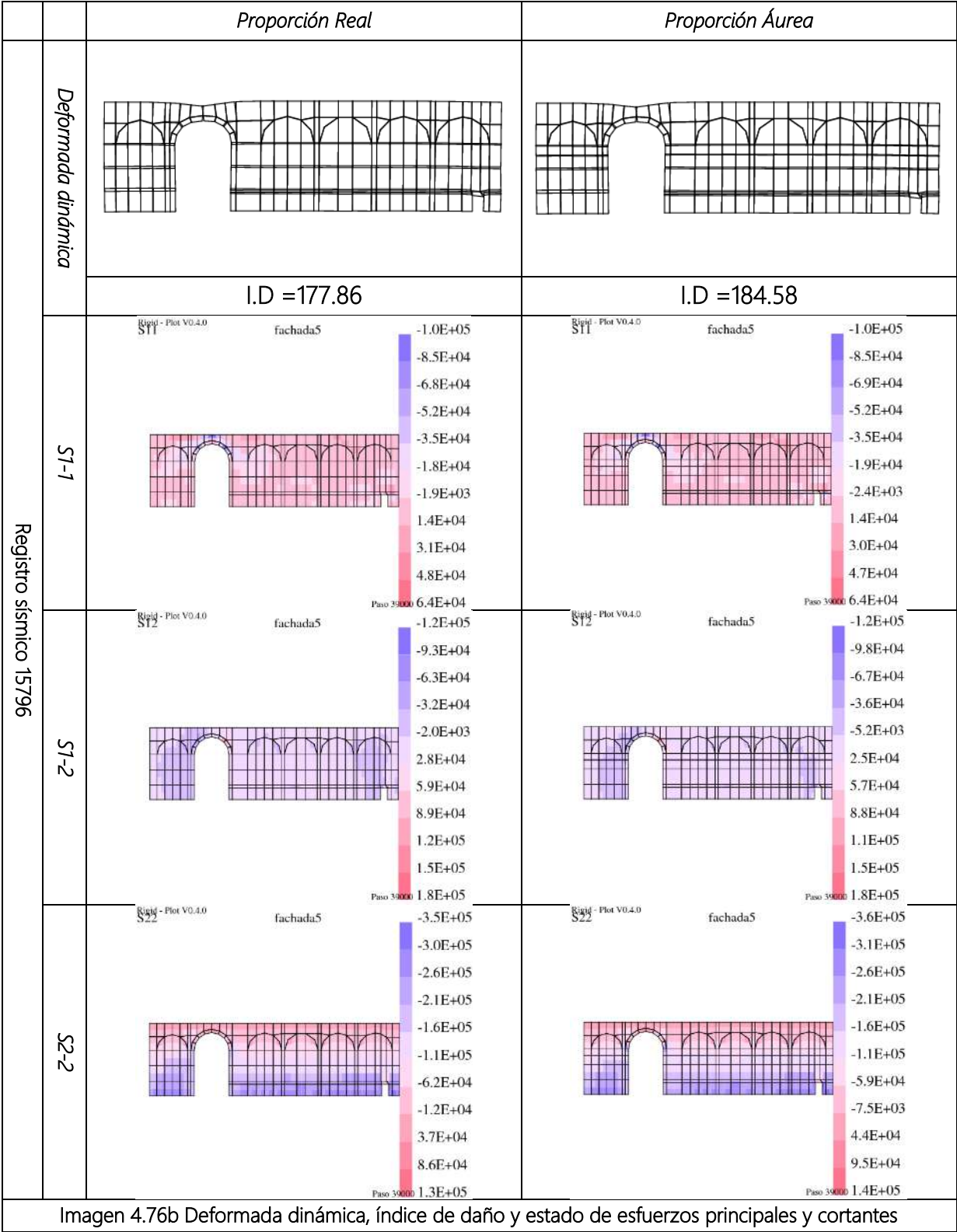
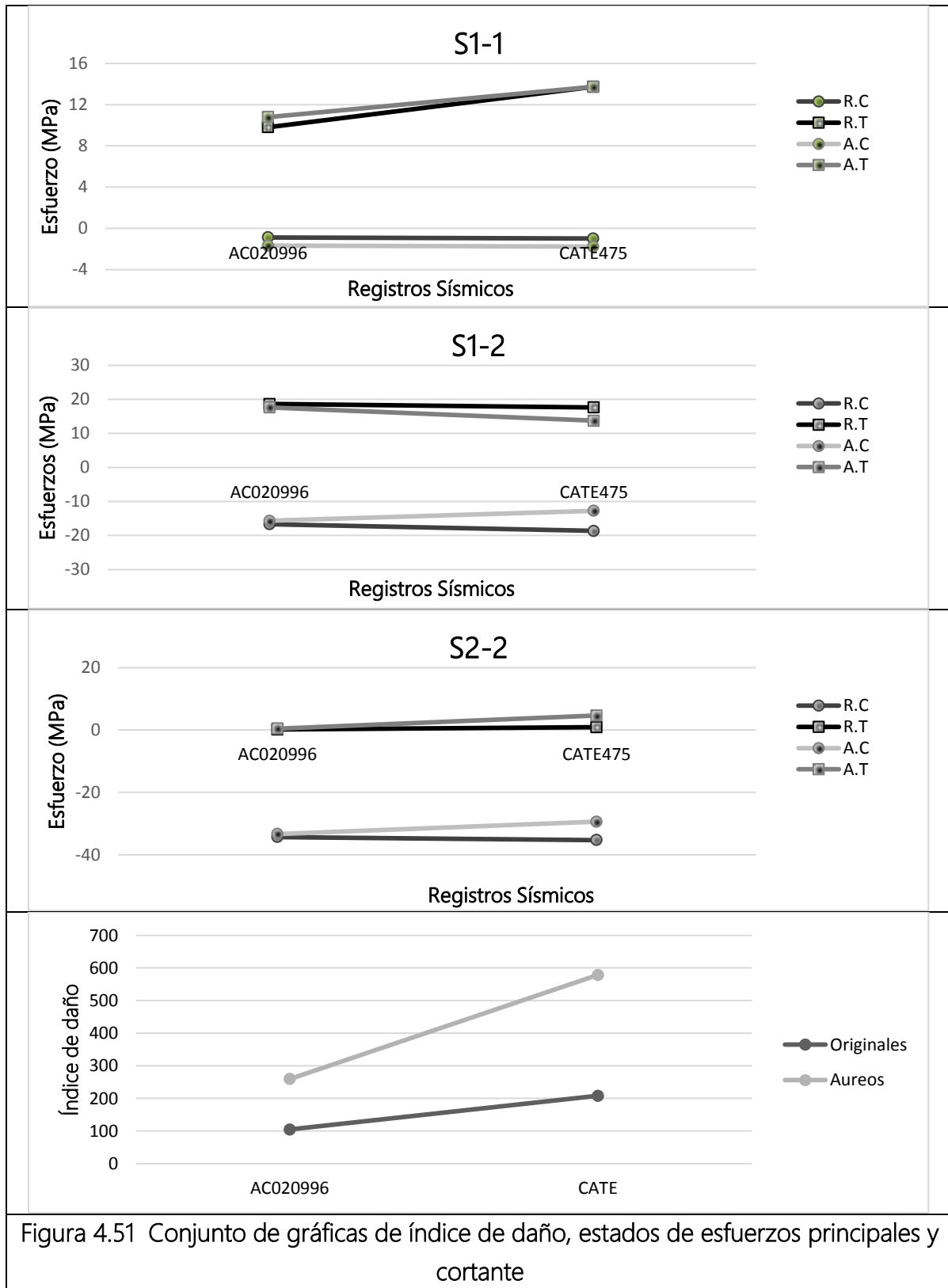
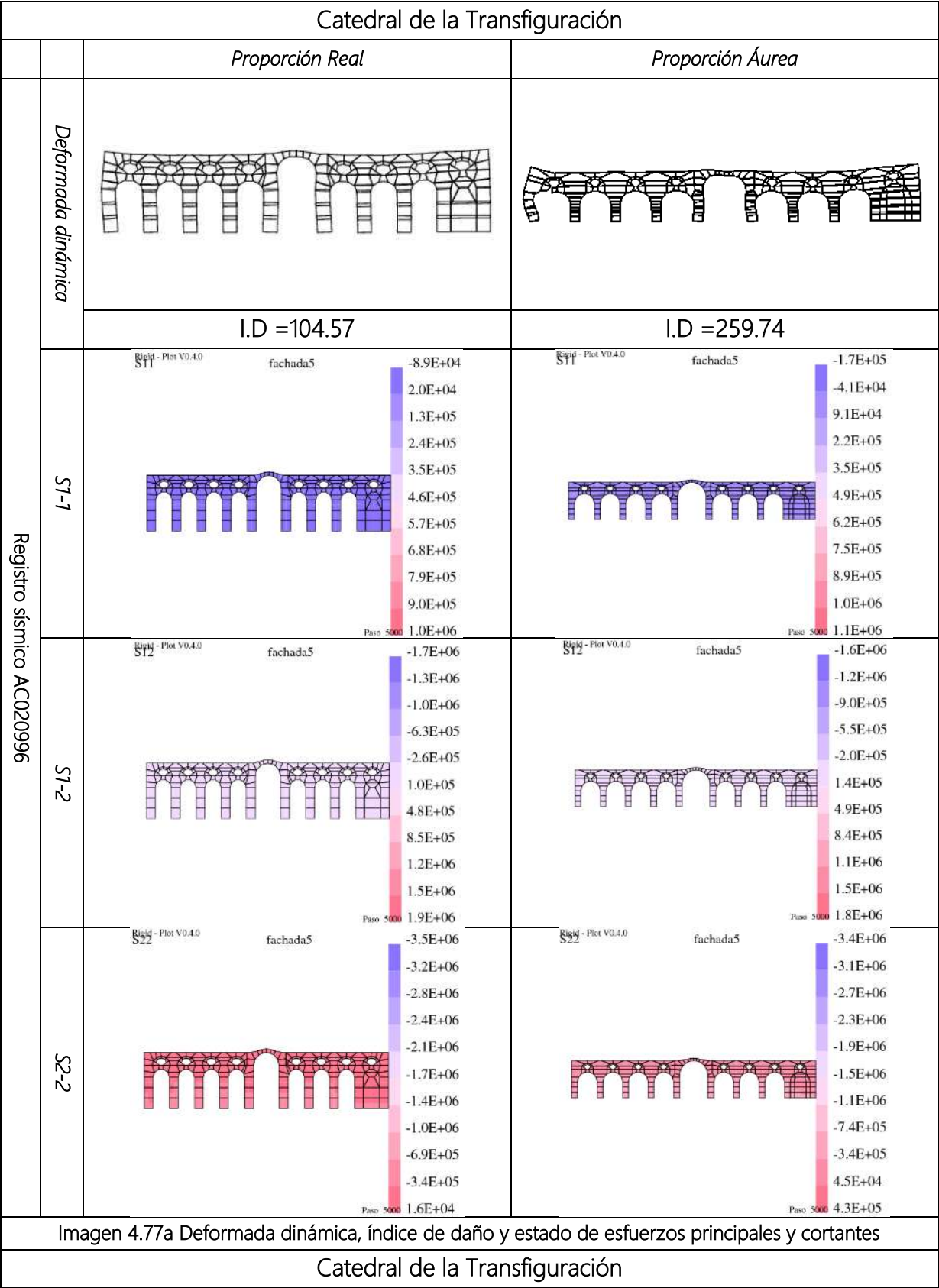
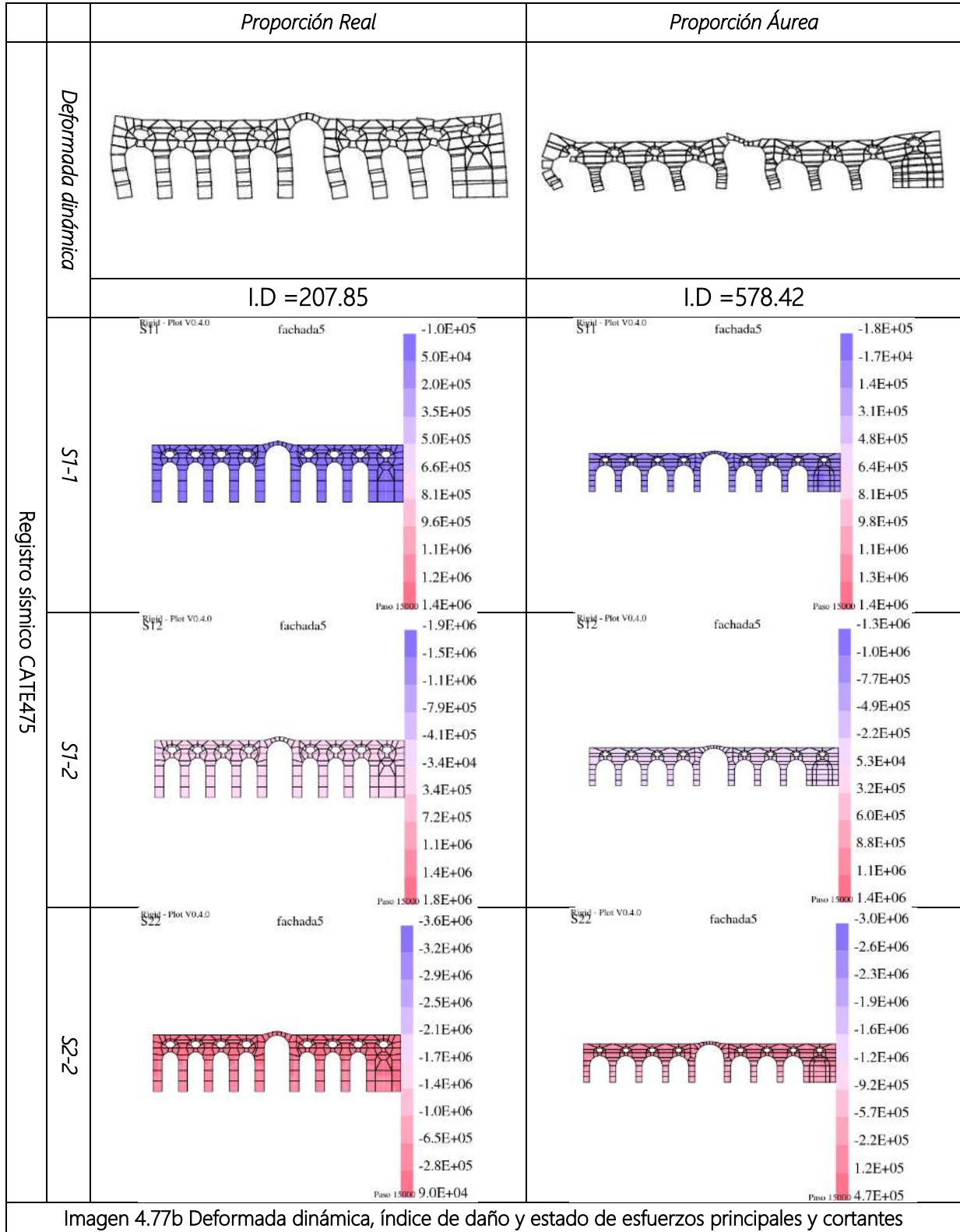


Imagen 4.76b Deformada dinámica, índice de daño y estado de esfuerzos principales y cortantes

XIII. Catedral de la Transfiguración



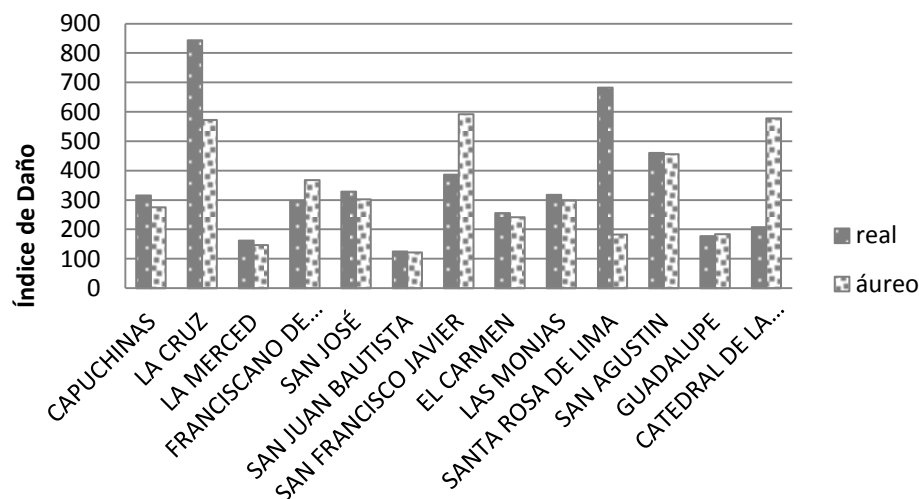




De acuerdo a los índices de daño de los macroelementos longitudinales mostrados en la gráfica 4 observamos que el templo de la Cruz es el más vulnerable, después le sigue en templo de Santa Rosa de Lima y el de San Francisco Javier.

El templo el cual se observa que tiene mejor comportamiento o índice de daño menor en el templo de San Juan Bautista.

Secciones Longitudinales



Gráfica 4. Índices de daño de los macroelementos longitudinales

De acuerdo a la gráfica podemos concluir que la proporción divina en este caso benéfica a la mayoría de los macroelementos puesto que solo en cinco de ellos no influye favorablemente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

- ∞ De los resultados mostrados en el capítulo de cuatro podemos observar que los esfuerzos cortantes obtenidos del análisis bajo peso propio de los macroelementos transversales son superiores en la mayoría de las secciones con geometría real, pues solo el 38.5% de las edificaciones las secciones áureas tienen esfuerzos cortantes mayores.
- ∞ Al realizar la comparación de los esfuerzos cortantes de macroelementos longitudinales sometidos ante cargas gravitacionales únicamente, podemos ver que los macroelementos generados siguiendo la razón áurea tienen mejor comportamiento, puesto que solo cinco secciones del conjunto analizado presentan esfuerzos cortantes superiores a los que se tienen en las secciones con geometría real.
- ∞ Al aplicar registros sísmicos con periodo de retorno de 475 años a los macroelementos transversales y comparar las secciones con geometría real contra las generadas con la proporción divina, se puede ver que se presentan índices de daño con poca variación entre ellos, con excepción del templo Franciscano de Buenaventura y el templo de San Agustín donde los índices crecen drásticamente, lo cual es atribuible mayormente al reducido espesor de bóveda que presentan, ya que el templo de San José a pesar de que cuenta con características similares respecto a la altura, espesores de muros y luces, tiene un espesor de bóveda mucho mayor que los mencionados lo cual se ve reflejado en un índice de daño que se encuentra dentro del rango promedio del conjunto. Sin embargo observamos que la proporción dorada perjudica el comportamiento sísmico de las edificaciones ya que el 69.23% de las secciones analizadas presentan índices de daño mayores en los macroelementos generados bajo la razón dorada.
- ∞ Para los macroelementos de las secciones longitudinales analizados con registros sísmicos con periodo de retorno de 475 años, se observó que las estructuras más vulnerables son las que están formadas por arcadas como es el caso del templo de la Cruz. Así mismo vieron patrones de comportamiento similar entre los macroelementos reales y los áureos, a excepción de la Catedral de la Transfiguración, lo cual se explica porque en dicha edificación se implementó la

proporción divina no solo transversalmente sino también longitudinalmente. Así mismo podemos decir que la proporción de oro beneficia el comportamiento de las secciones longitudinales de las edificaciones, ya que solo cuatro de ellas no se vieron favorecidas al ser generarlas bajo dicha razón

- ∞ De las secciones sometidas a registros sísmicos con periodos de retorno de 975 años podemos concluir que el macroelemento transversal más vulnerable o afectado es el del templo de San Agustín, dicho templo tiene un índice de daño con gran variación respecto al conjunto en estudio, también podemos mencionar que la razón de oro perjudica al 69.23% de las estructuras en estudio.
- ∞ Al realizar la comparación de las secciones longitudinales analizadas con registros sísmicos con periodo de retorno de 975 años, podemos decir que los índices de daño que se obtuvieron no tienen mucha variación entre los templos en estudio, así mismo observamos que el templo más afectado es el de la Cruz, que si recordamos es el mismo más vulnerable aplicando el periodo de retorno de 475 años. Al confrontar las edificaciones reales con las áureas podemos ver que al igual que con los registros sísmicos con periodo de retorno de 475 años, en este caso la proporción áurea beneficia a la edificación cuando sometemos el macroelemento longitudinal a sismos con periodos de retorno de 975 años.
- ∞ De los resultados obtenidos de los macroelementos transversales solamente podemos concluir que los parámetros geométricos tales como la altura, claro o luz, esbeltez y ancho de bóveda afectan de manera considerable el comportamiento de los edificios, y que la proporción áurea no beneficia el comportamiento sísmico de las edificaciones.
- ∞ En base a los resultados conseguidos del análisis de los macroelementos longitudinales se llegó a la conclusión de que a los macroelementos formados por arcadas son los más vulnerables de acuerdo a los análisis, sin embargo el templo de la Cruz es muy rígido puesto que cuenta con capillas laterales que el aportan bastante rigidez, por lo tanto en este tipo de edificaciones valdría la pena

seleccionar otra sección longitudinal donde se tome en cuenta el espesor total de los contrafuertes que están delimitando las capillas laterales.

- ∞ Finalmente, debido a que le presente investigación solo se ensayó el efecto de la proporción dorada sobre la fecha y altura total de los arcos y bóvedas, podemos concluir que la proporción divina no influye favorablemente en el comportamiento de la edificación tomando como referencia su sección transversal modificando los parámetros antes mencionados, sin embargo valdría la pena intentar aplicar dicha proporción en otros parámetros geométricos y analizarlos.

LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN



LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Al término del presente trabajo de investigación es posible dar apertura a nuevos objetivos, los cuales enriquecerán de manera substancial a los resultados ya obtenidos, debido a que los análisis de edificaciones históricas son poco estudiados y complejos.

Debido a que en el trabajo de tesis expuesto solo se analizó el efecto de la proporción divina sobre la fecha y altura total de arcos y bóvedas, se propone realizar análisis del comportamiento sísmico de los macroelementos aplicando la razón dorada sobre el claro y el espesor de muros, así como una combinación entre ambos.

Se sugiere que se realicen análisis con otro tipo de método y densificar los macroelementos debido a cargas producto de bóvedas o cúpulas, para posteriormente realizar una comparación entre los resultados obtenidos con ambos métodos y poder observar que tanto dista uno de otro.

Así mismo se propone incrementar la muestra de los edificios en estudio y el número de registros sísmicos, esto con la finalidad de minimizar la incertidumbre asociada, al comportamiento de este tipo de estructuras.

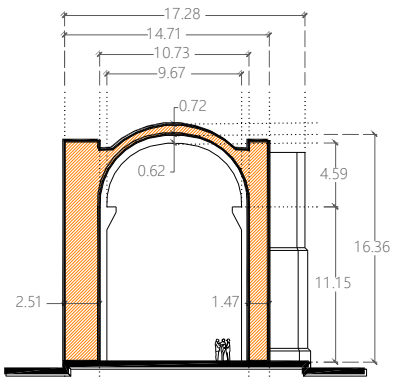
ANEXO A



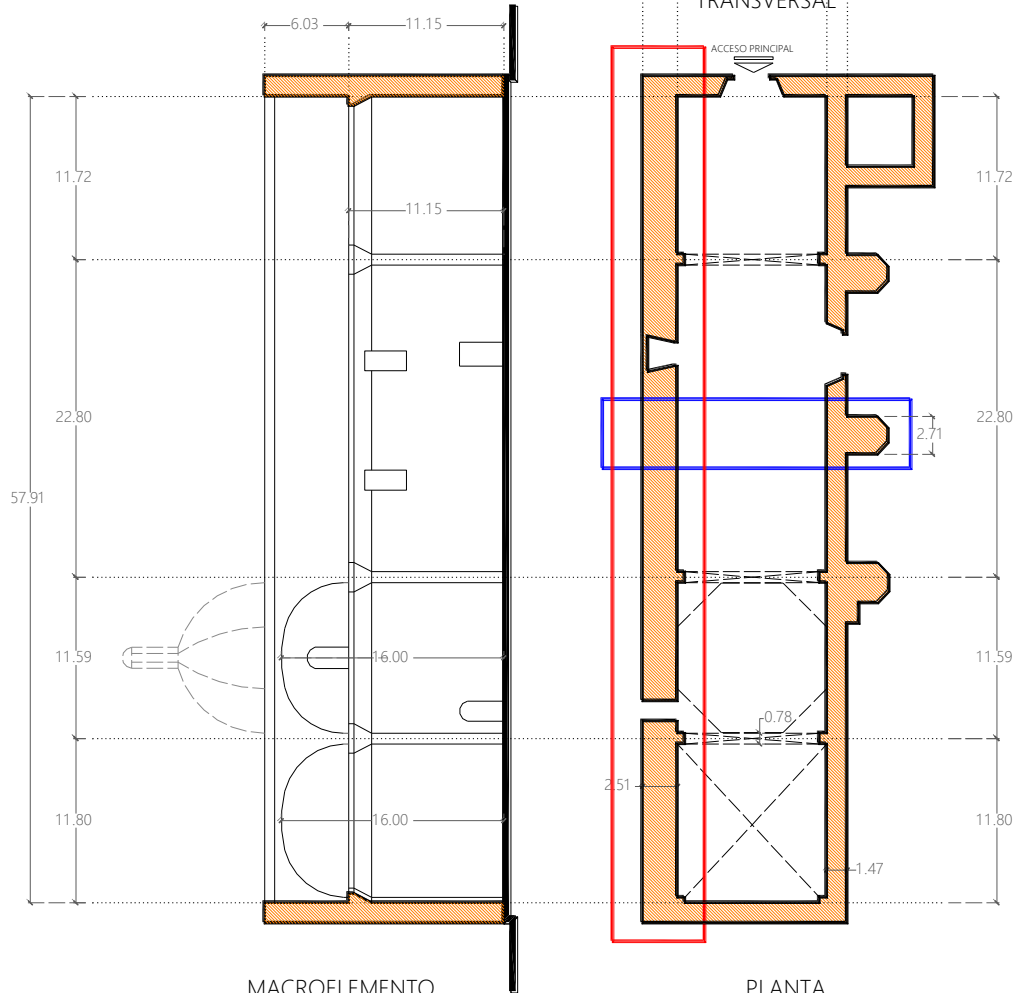
1. TEMPLO DE SAN AGUSTÍN
(1550)



- Macroelemento transversal
- Macroelemento longitudinal

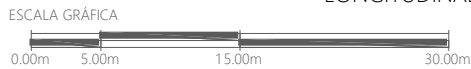


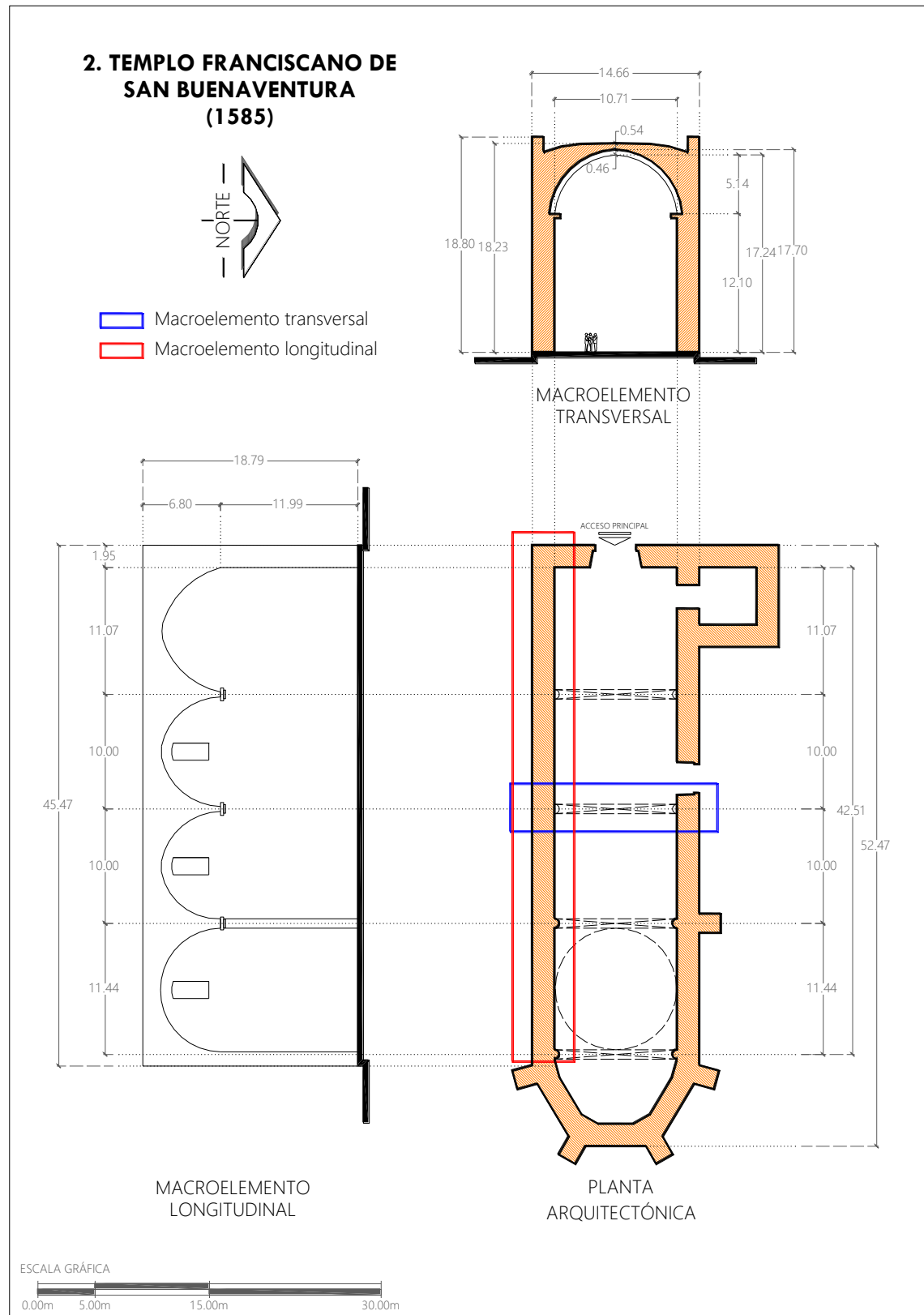
MACROELEMENTO
TRANSVERSAL



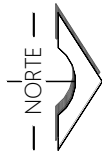
MACROELEMENTO
LONGITUDINAL

PLANTA
ARQUITECTÓNICA

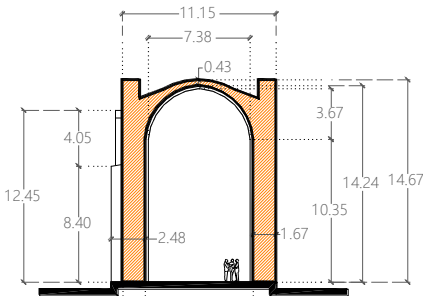




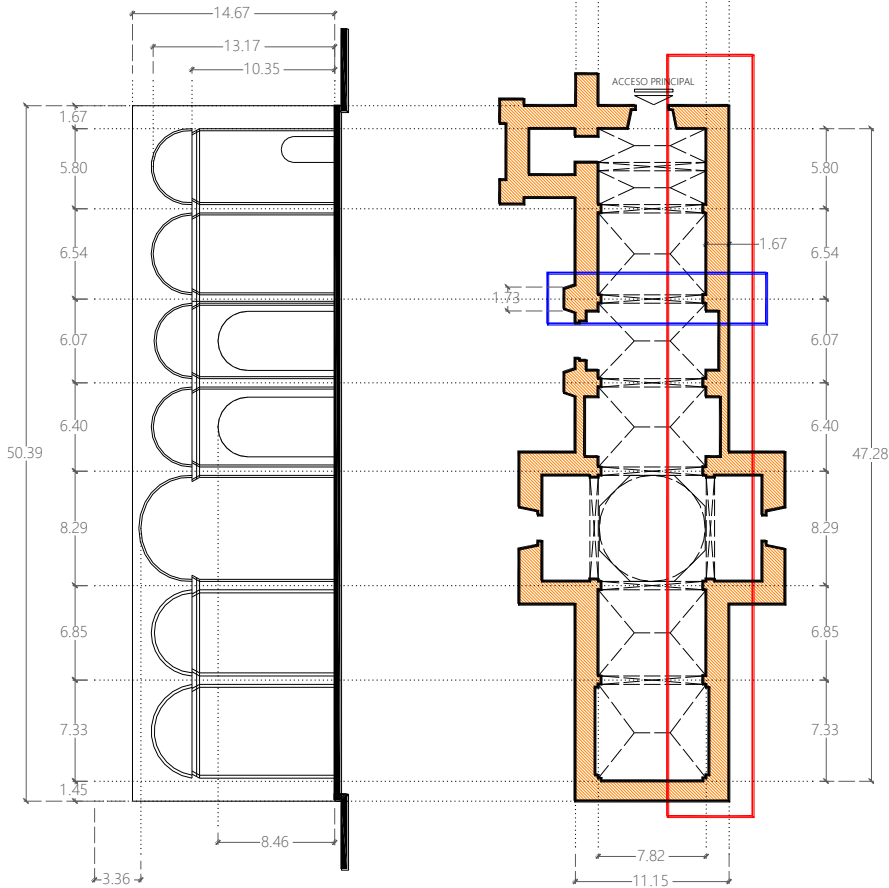
3. TEMPLO DEL CARMEN
(1596)



Macroelemento transversal
Macroelemento longitudinal

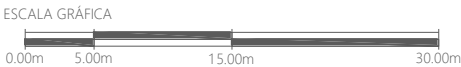


MACROELEMENTO
TRANSVERSAL

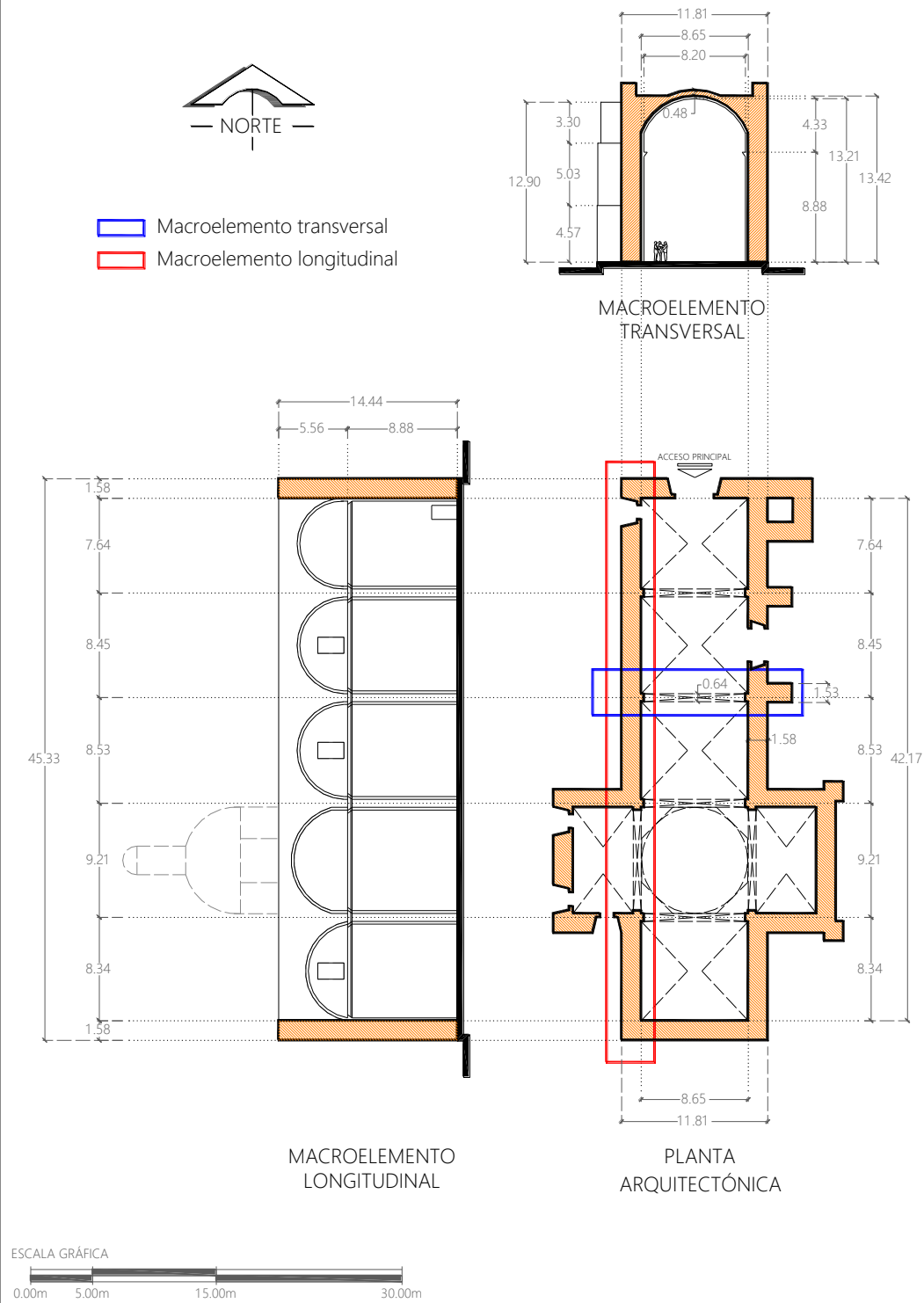


MACROELEMENTO
LONGITUDINAL

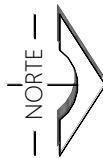
PLANTA
ARQUITECTÓNICA



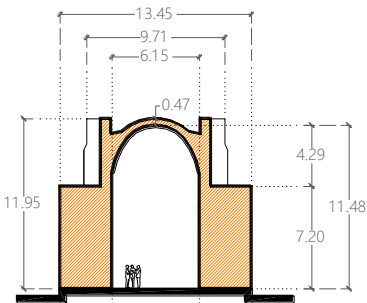
4. TEMPLO DE SAN FRANCISCO JAVIER (1660)



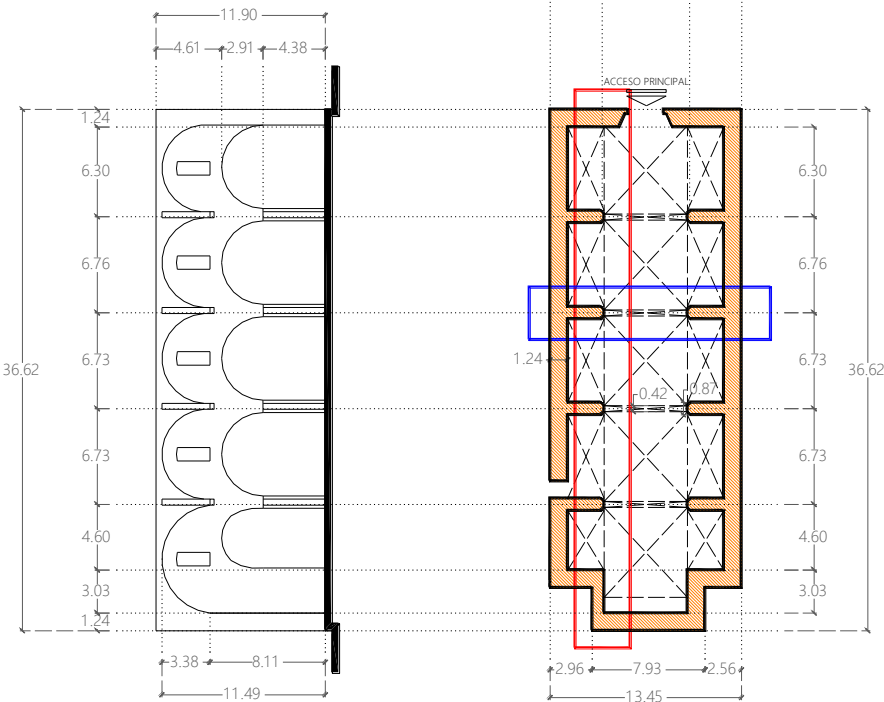
5. TEMPLO DE LA CRUZ
(1680)



Macroelemento transversal
Macroelemento longitudinal

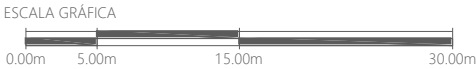


MACROELEMENTO
TRANSVERSAL

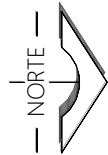


MACROELEMENTO
LONGITUDINAL

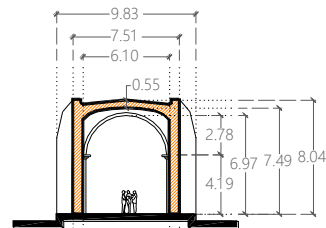
PLANTA
ARQUITECTÓNICA



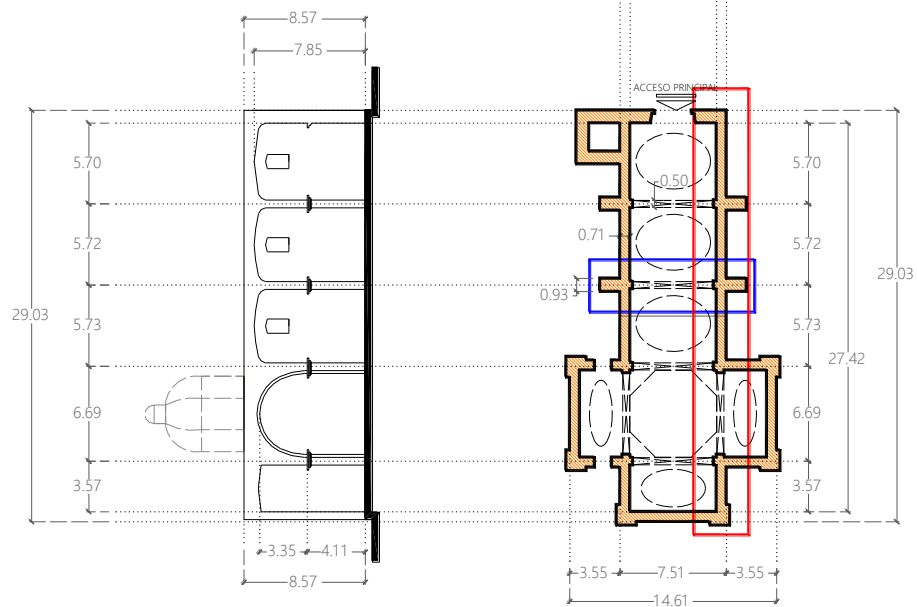
6. TEMPLO DE SAN JUAN BAUTISTA (1696)



- Macroelemento transversal
- Macroelemento longitudinal



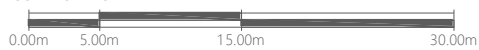
MACROELEMENTO
TRANSVERSAL



MACROELEMENTO
LONGITUDINAL

PLANTA
ARQUITECTÓNICA

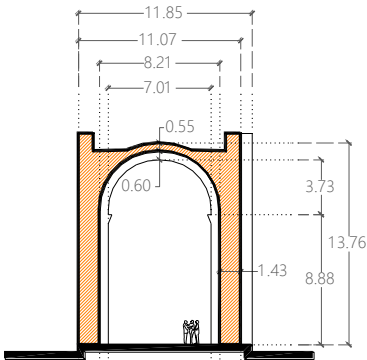
ESCALA GRÁFICA



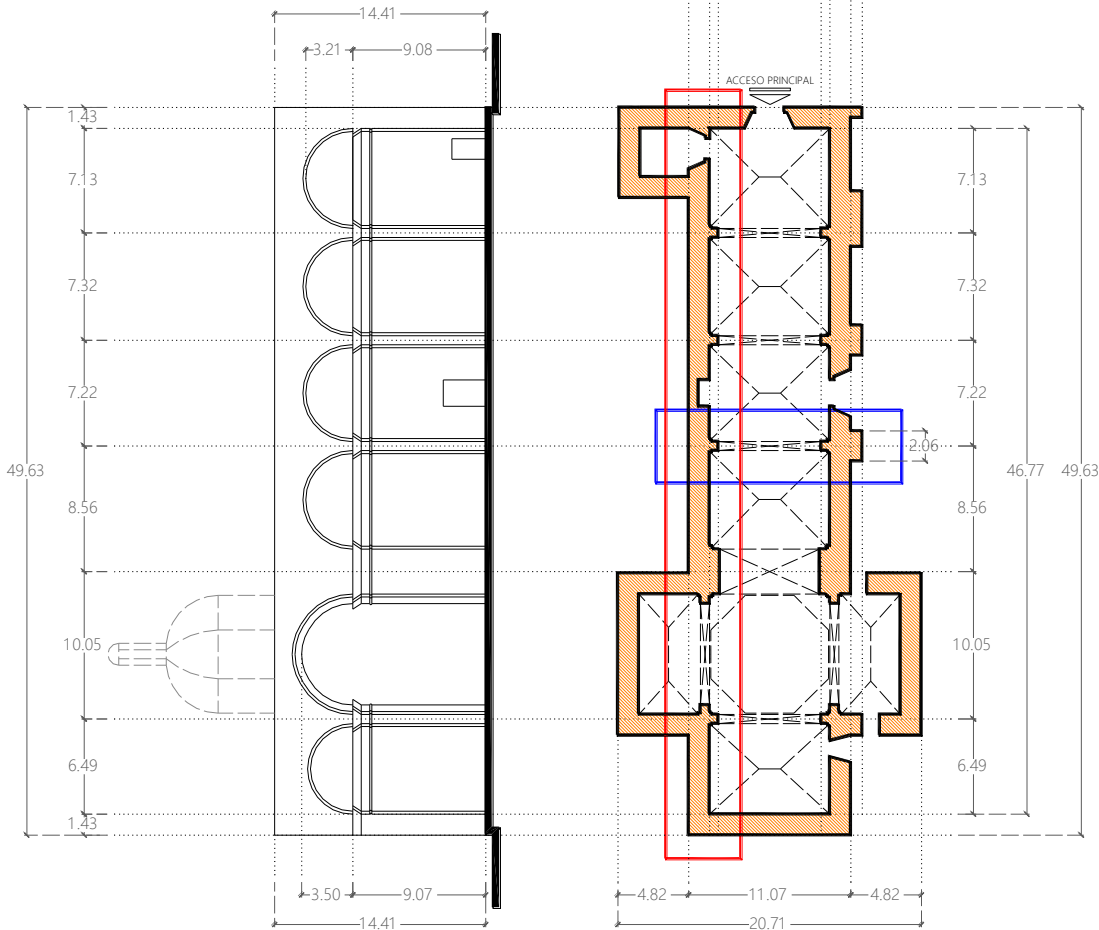
7. TEMPLO DE GUADALUPE
(1708)



- Macroelemento transversal
- Macroelemento longitudinal

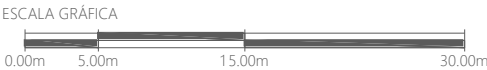


MACROELEMENTO TRANSVERSAL

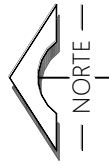


MACROELEMENTO LONGITUDINAL

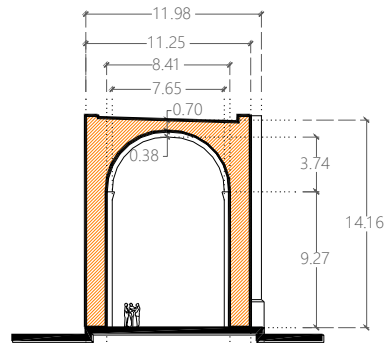
PLANTA ARQUITECTÓNICA



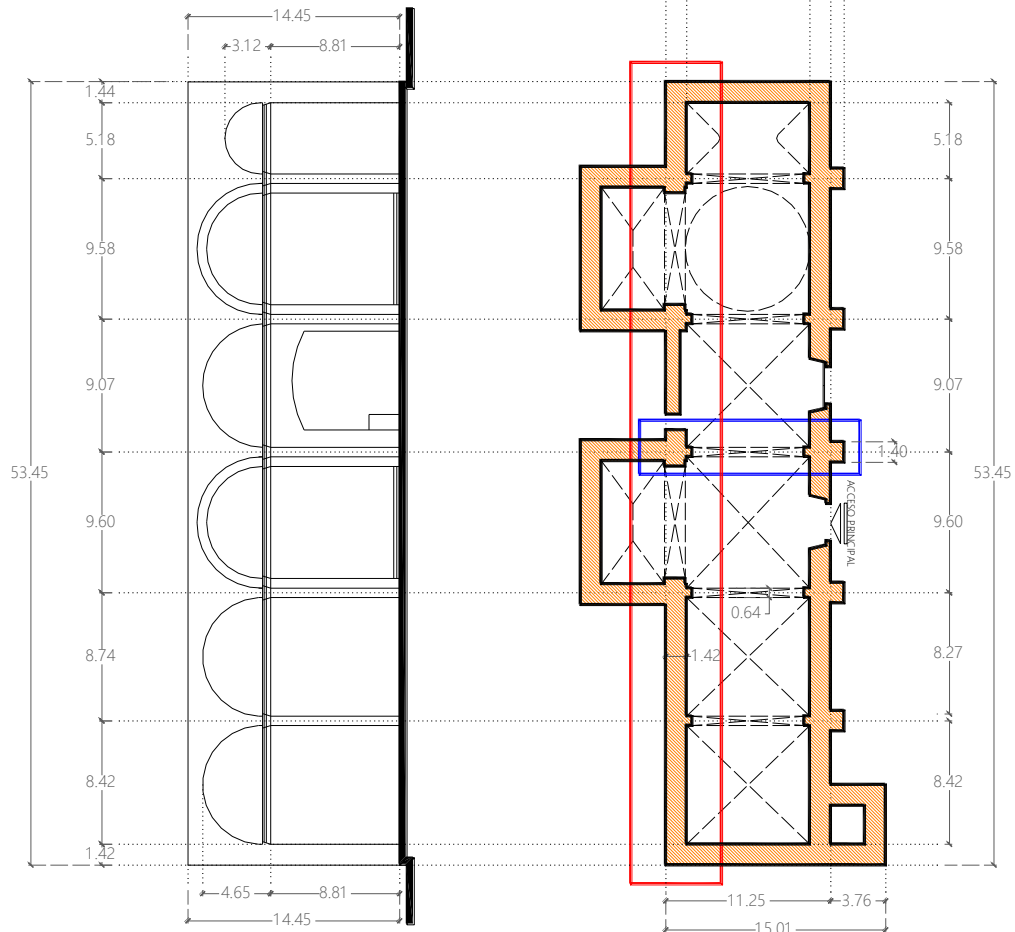
8. TEMPLO DE LAS MONJAS (1732)



- Macroelemento transversal
- Macroelemento longitudinal

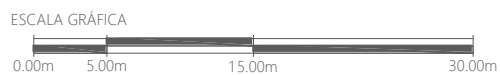


MACROELEMENTO
TRANSVERSAL



MACROELEMENTO
LONGITUDINAL

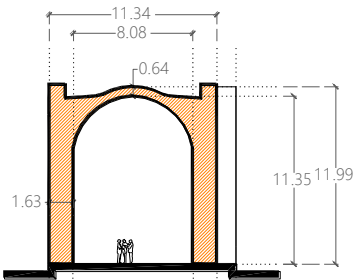
PLANTA
ARQUITECTÓNICA



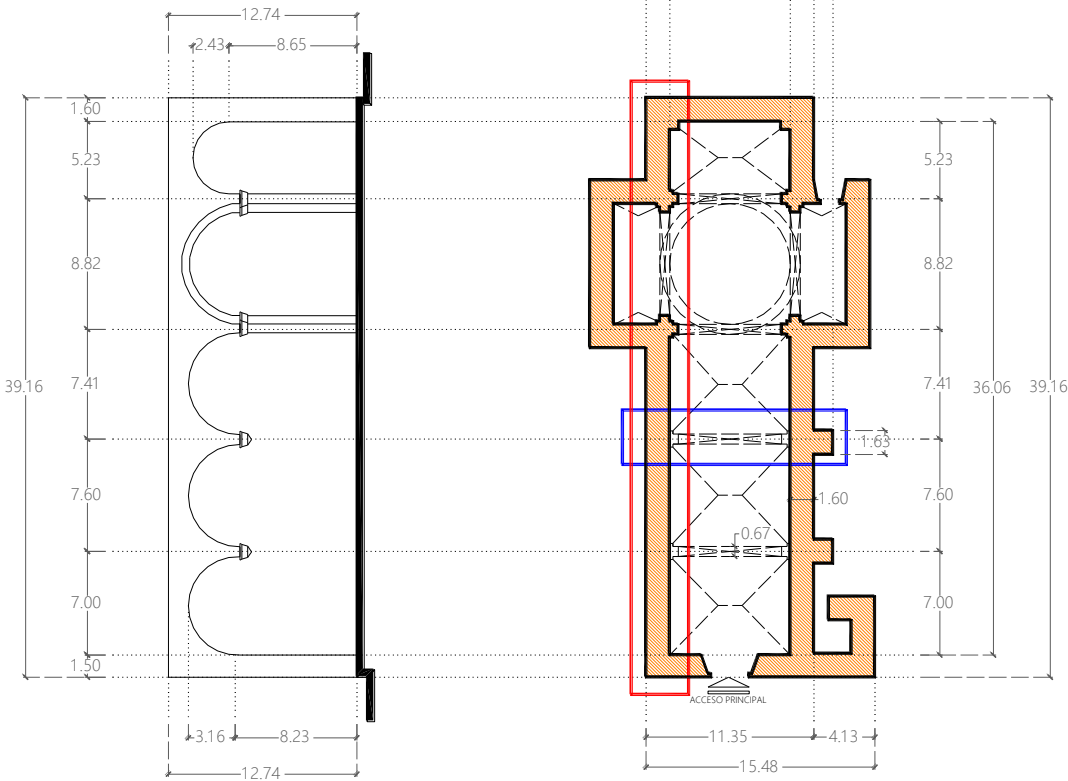
9. TEMPLO DE CAPUCHINAS
(1734)



- Macroelemento transversal
- Macroelemento longitudinal

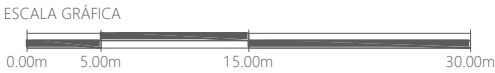


MACROELEMENTO TRANSVERSAL

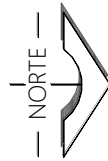


MACROELEMENTO LONGITUDINAL

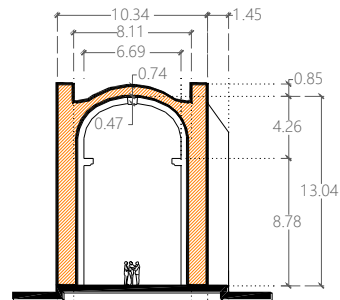
PLANTA ARQUITECTÓNICA



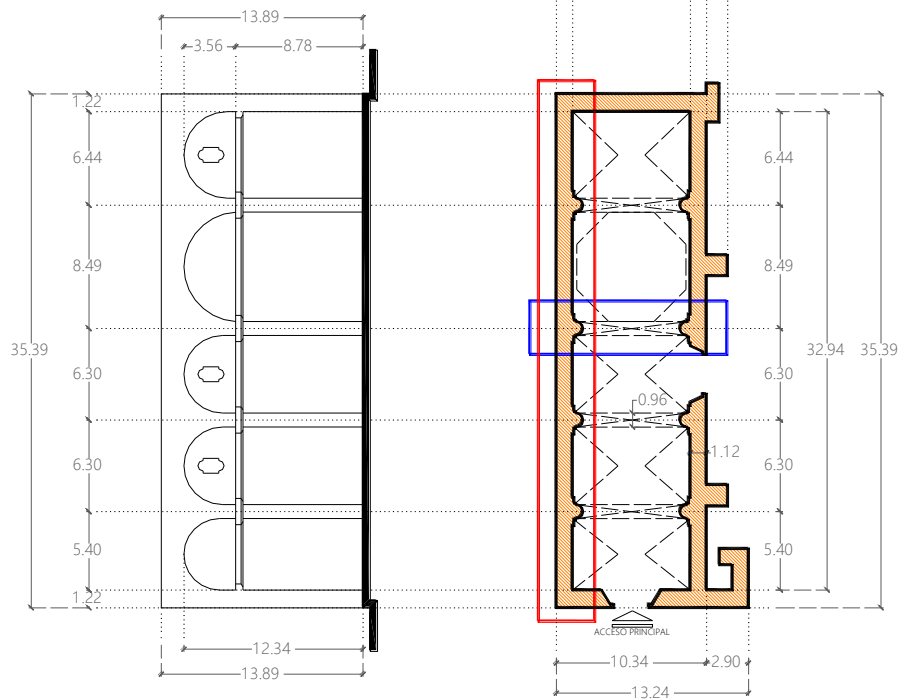
10. TEMPLO DE LA MERCED (1736)



- Macroelemento transversal
- Macroelemento longitudinal



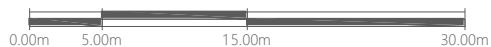
MACROELEMENTO
TRANSVERSAL



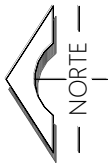
MACROELEMENTO
LONGITUDINAL

PLANTA
ARQUITECTÓNICA

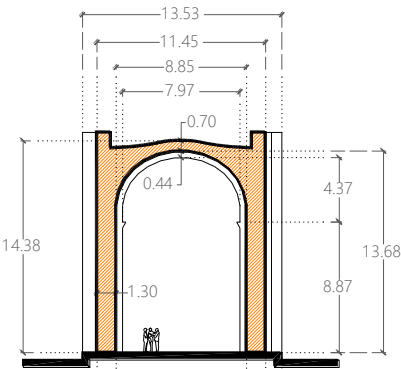
ESCALA GRÁFICA



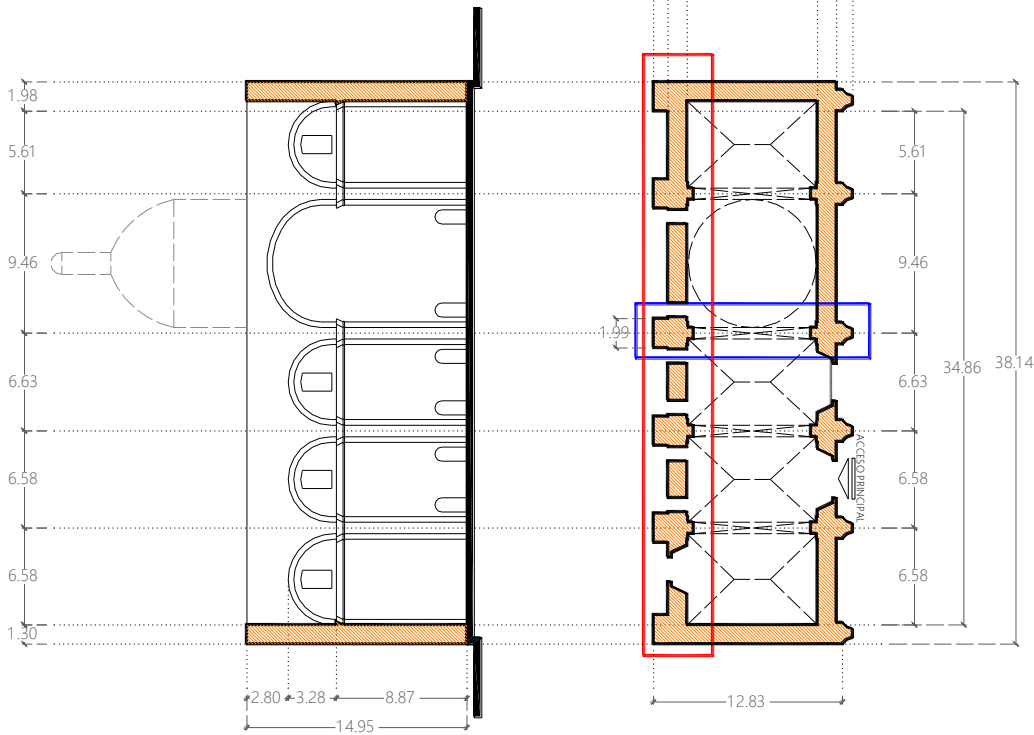
11. TEMPLO DE SANTA
ROSA DE LIMA
(1757)



- Macroelemento transversal
- Macroelemento longitudinal

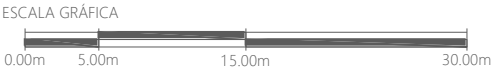


MACROELEMENTO
TRANSVERSAL

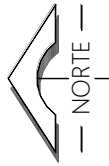


MACROELEMENTO
LONGITUDINAL

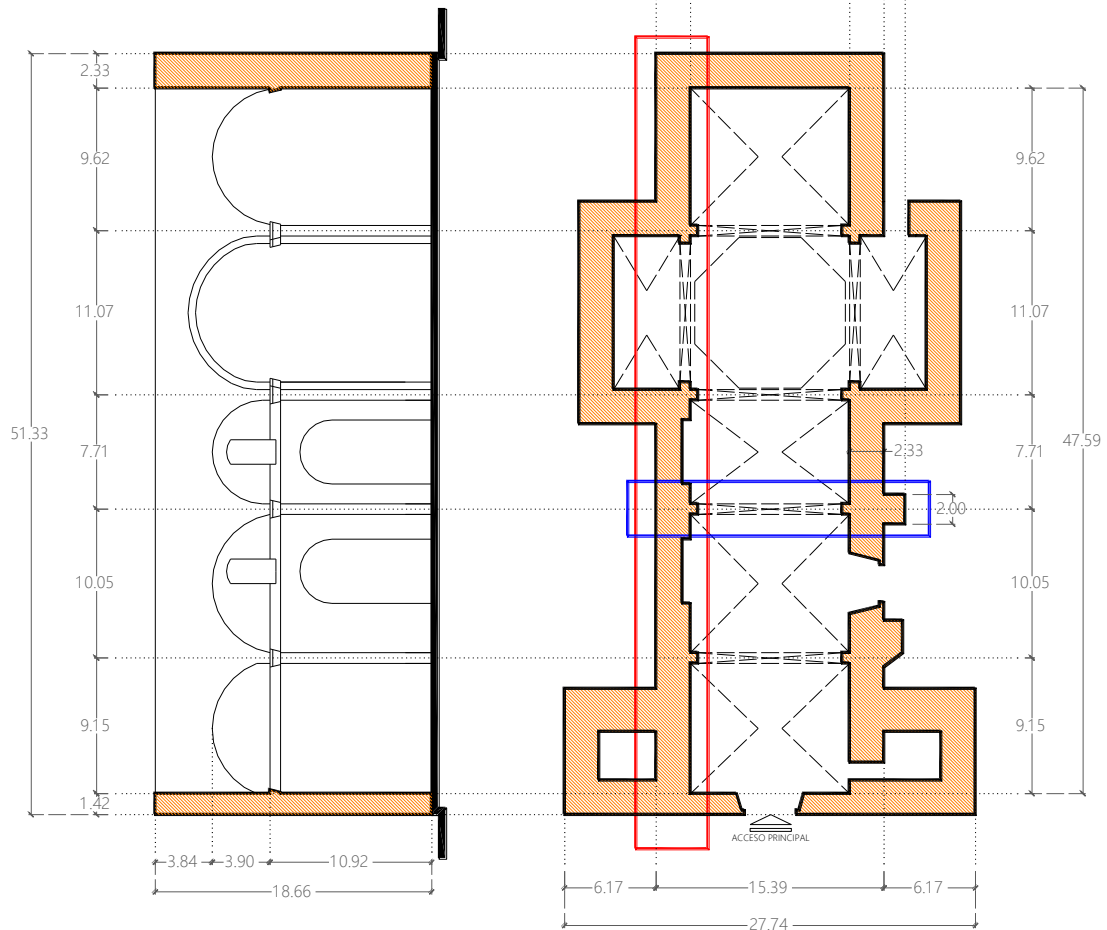
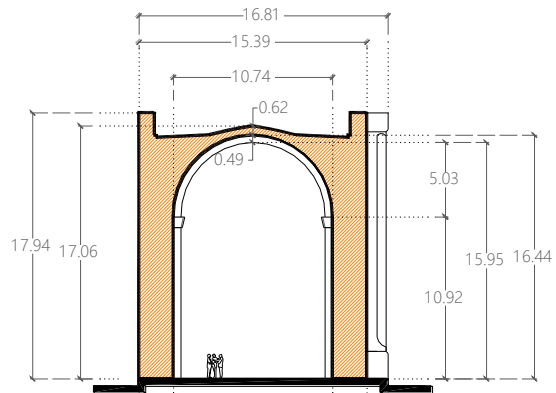
PLANTA
ARQUITECTÓNICA



12. TEMPLO DE SAN JOSÉ (1760)

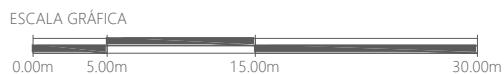


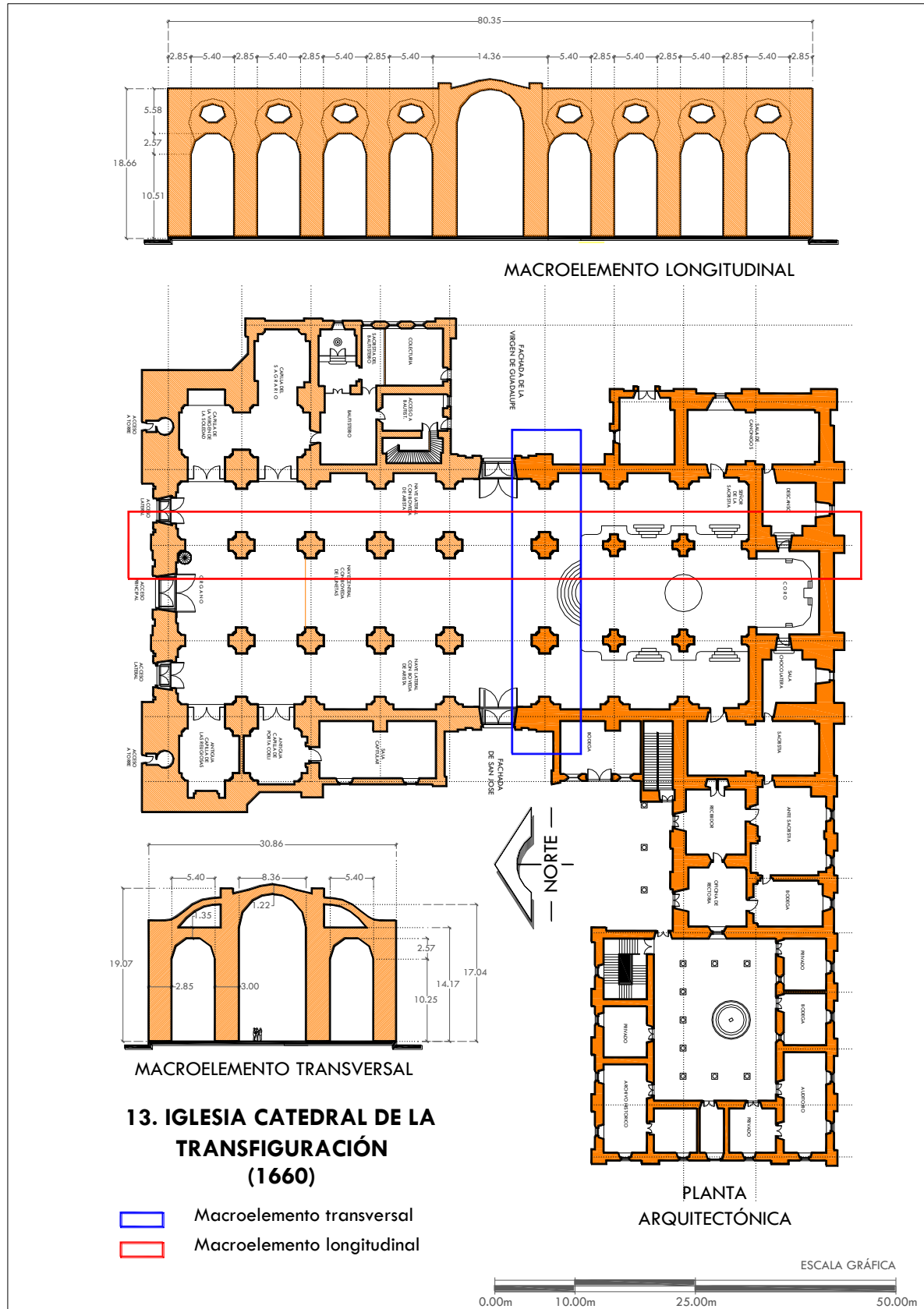
- Macroelemento transversal
- Macroelemento longitudinal



MACROELEMENTO
LONGITUDINAL

PLANTA
ARQUITECTÓNICA





ANEXO B



1. TEMPLO DE SAN AGUSTÍN



2. TEMPLO FRANCISCANO DE BUENAVENTURA



3. TEMPLO DEL CARMEN



4. TEMPLO DE SAN FRANCISCO JAVIER



5. TEMPLO DE LA CRUZ



6. TEMPLO DE SAN JUAN BAUTISTA



7. TEMPLO DE GUADALUPE



8. TEMPLO DE LAS MONJAS



9. TEMPLO DE CAPUCHINAS



10. TEMPLO DE LA MERCED



11. TEMPLO DE SANTA ROSA DE LIMA



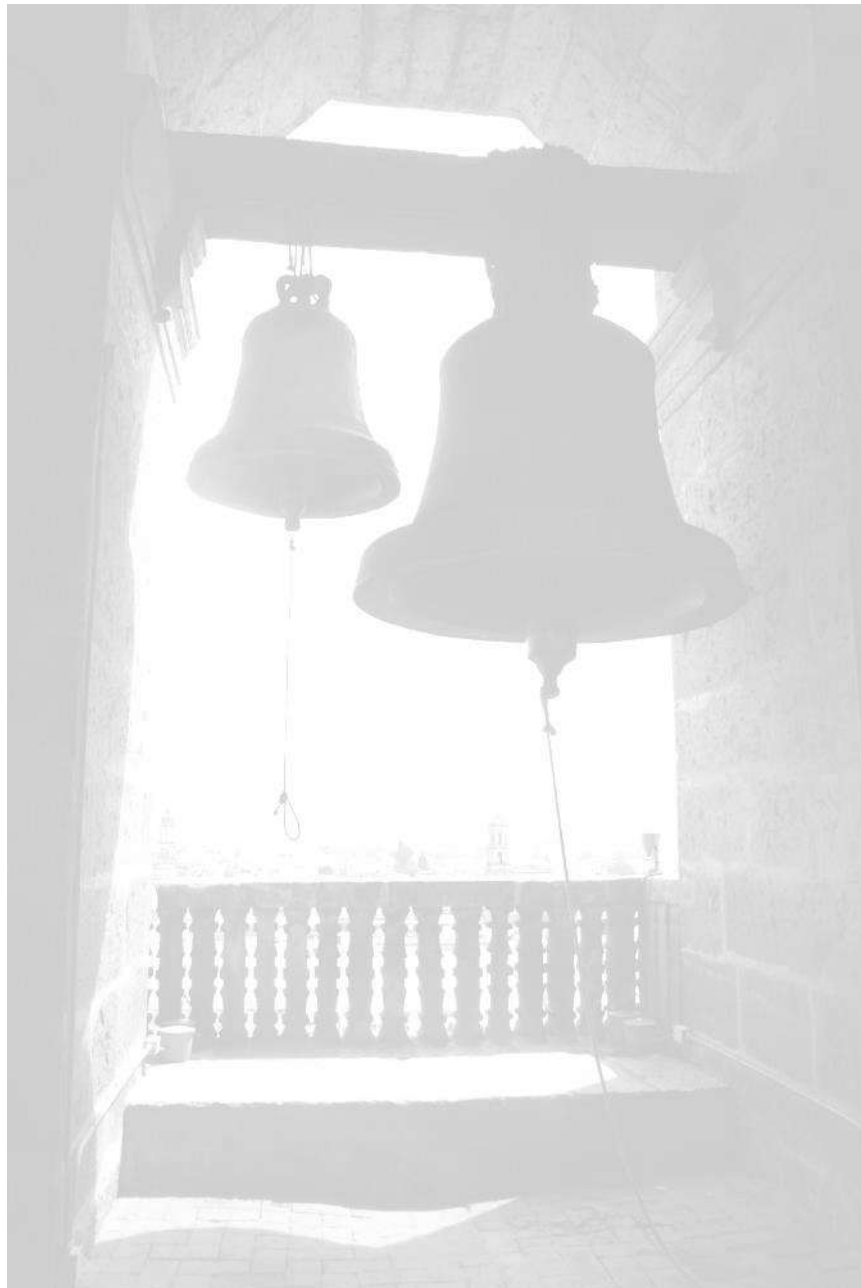
12. TEMPLO DE SAN JOSÉ



13. CATEDRAL DE LA TRANSFIGURACIÓN



REFERENCIAS



REFERENCIAS

Casolo S. y Peña F. (2007). Rigid element model for in-plane dynamics of masonry walls considering hysteretic behavior and damage, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol 36, pp. 1029-1048.

Doglioni F., Moretti A. y Petrini V. (1994), *Churches and earthquakes*, LINT, Trieste (en italiano).

Fajfar P., M.EERI, (2000). A nonlinear analysis method for performance based seismic design. *Earthquake Spectra*, 16(3), pp. 573-592.

Freeman, S.A. (1998). Development and use of capacity spectrum method. In *Proceedn Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*. Earthquake Enginnering Research Inst., Oakland California.

García-Acosta, V., Suárez-Reynoso, G. (1996). *Los sismos en la historia de México*, Vol.1. FCE-CIESAS-UNAM. México.

Gaytán R., Martínez G., Rojas R., Roca P., Viviescas A. (2012), Efecto de la componente sísmica vertical sobre las naves de la catedral de Morelia, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero.

Infante Sandoval H., Martínez Ruiz G., Rojas Rojas R., Álvarez Sereno J. (2012), Vulnerabilidad sísmica para el histórico colegio de San Nicolás en Morelia, Michoacán, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero.

Lagomarsino S., Giovinazzi S., Podestà S., Resemini S. (2003). Wp5 –Vulnerability of historical and monumental buildings Handbook. Risk- UE: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. Contract No. EVK4-CT-2000-00014. 90 pp.

Livio, Mario. (2006). *La Proporción Áurea*. Ed. Ariel, España.

Martínez G., Rojas R., Gaytan R., Infante H. (2011), *Fragilidad sísmica para las naves de la Catedral de Morelia*, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, Aguascalientes.

Meli , Roberto. (2011). *Los Conventos Mexicanos Del Siglo XVI*. Ed. Miguel Ángel Porrúa, México.

Peña, F. (2010). Programa RIGID v.4.0.1, Manual del usuario, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Constantino de la Fuente Martínez, (2008). La Divina Proporción en el Instituto “Cardenal López de Mendoza”. Un Análisis de las Proporciones del Antiguo Colegio de San Nicolás. SIGMA N° 33.

Huerta Santiago. (2004). “Arcos, bóvedas y cúpulas”. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid.

Y. J. Park, A. H-S. Ang, and Y. K. Wen (1987). Damage-Limiting Aseismic Design of Buildings. Earthquake Spectra: February 1987, Vol. 3, No. 1, pp. 1-26

Park Young-Ji; Ang Alfredo.(1985) “Mechanistic Seismic Damage Model For Reinforced Concrete”, Journal of Structural Engineering, Vol. 111, N°4. pp. 722-739.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- (1) <http://mateturismo.wordpress.com/2009/11/21/la-sinfonia-aurea-de-la-fachada-de-la-universidad-de-salamanca/>
- (2) <http://elblogdeliesjorgemanrique.wordpress.com/2013/04/20/el-numero-de-oro-en-el-edificio-del-instituto-general-y-tecnico-de-palencia-fco-j-villayandre/>
- (3) <http://beninar.blogspot.mx/2009/04/la-misteriosa-proporcion-aurea-de-la.html>
- (4) <http://www.matesymas.es/index.php/component/content/article?id=1400:catedral-de-notre-dame>
- (5) <http://art1arquitectura.blogspot.mx/2011/05/el-partenon-y-la-divina-proporcion.html>
- (6) http://linguapasseris.blogspot.mx/2009_01_01_archive.html

- (7) http://www.ehowenespanol.com/monumentos-basados-proporcion-aurea-info_192007/
- (8) http://es.wikipedia.org/wiki/Arco_de_Bar%C3%A1
- (9) http://es.wikipedia.org/wiki/Puerta_de_Alcal%C3%A1
- (10) http://es.wikipedia.org/wiki/Monasterio_de_El_Escorial
- (11) http://es.wikipedia.org/wiki/Torre_Eiffel
- (12) <http://www.civil.ucsc.cl/investigacion/memorias/garavena.pdf>
- (13) <http://www.mexicodesconocido.com.mx/el-centro-historico-de-morelia-michoacan.html>
- (14) <http://elblogdeliesjorgemanrique.wordpress.com/2013/04/20/el-numero-de-oro-en-el-edificio-del-instituto-general-y-tecnico-de-palencia-fco-j-villayandre/>
- (15) http://www.salamancaturistica.com/salamanca/monumentos_universidad.php
- (16) <http://www.analesiie.unam.mx/>