



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Centro de Ciencias del Diseño y la Construcción

Departamento de Estructuras

Tesis:

“Análisis de daños estructurales en edificaciones por
discontinuidades geológicas superficiales en la comunidad de
Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes”

Presenta:

Ing. María de Jesús Láriz Medina

Para obtener el grado en la Maestría de Ingeniería Civil

Salida en Estructuras

Tutor:

Dr. Martín Hernández Marín

Comité Tutorial:

Dr. José Ángel Ortiz Lozano

M. I. Jorge Eudave Muñoz

Aguascalientes, Ags. 20 de Noviembre de 2013

No. Oficio: CCDC-D-224-12
Asunto: Integración de Comité Tutorial
programada de Maestría en Ingeniería Civil

ING. MARÍA DE JESÚS LÁRIZ MEDINA
P R E S E N T E

Con fundamento en el Artículo 105-G Sección 2 del Capítulo XI del Reglamento General de Docencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, me permito designar como tutor al DR. MARTÍN HERNÁNDEZ MARÍN y como asesores al M. EN ING. JORGE EUDAVE MUÑOZ y al DR. JOSÉ ÁNGEL ORTIZ LOZANO del proyecto de tesis titulado “ANÁLISIS DE DAÑOS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES POR DISCONTINUIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES EN LA COMUNIDAD DE PABELLÓN DE HIDALGO, RINCÓN DE ROMOS Y AGUASCALIENTES ” en el marco del programa de posgrado de la Maestría en Ingeniería Civil con salida en estructuras, durante el periodo del 23 de Julio del 2012 al 30 de Junio del 2013.

Esta asignación de comité tutorial sustituye a cualquier otra realizada con fecha anterior. Sin otro particular lo exhorto a que continúe trabajando con esmero y dedicación para que pueda obtener el grado en el tiempo y forma establecidos en nuestra legislación vigente.

A T E N T A M E N T E
“SE LUMEN PROFERRE”
Aguascalientes, Ags., 09 de noviembre de 2012.


DR. MARIO EDUARDO ZERMEÑO DE LEÓN
DECANO

c.c.p. Dr. Jesús Pacheco Martínez- Coordinador del programa de Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p. Archivo
JPM/cgm.

V. B.






FORMATO DE CARTA DE VOTO APROBATORIO

MARIO E. ZERMEÑO DE LEON
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS
P R E S E N T E

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **MARÍA DE JESÚS LÁRIZ MEDINA** con ID 34466 quien realizó la tesis titulado: "**ANÁLISIS DE DAÑOS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES POR DISCONTINUIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES EN LA COMUNIDAD DE PABELLON DE HIDALGO, RINCON DE ROMOS AGUASCALIENTES**", y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

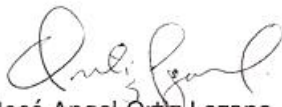
Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 5 de noviembre de 2013



Dr. Martín Hernández Marín
Tutor de Tesis



DR. José Angel Ortiz Lozano
Asesor de Tesis



M.I. Jorge Eudave Muñoz
Asesor de Tesis

c.c.p.- María de Jesús Láriz Medina
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
c.c.p.- Jefatura del Depto. de Estructuras
c.c.p.- Consejero Académico
c.c.p.- Minuta Secretario Técnico



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por proporcionar los medios para estudiar, así como la fortaleza para continuar y finalizar la maestría.

A mi familia por el apoyo y la fe otorgada.

A CONACYT, por proporcionar el apoyo económico en los semestres cursados de maestría.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por proporcionar un espacio de bienestar y apoyo recibido durante y posterior al estudio de posgrado.

A mi Tutor el Dr. Martín Hernández Marín por la paciencia y apoyo recibido, así como guía a lo largo del proceso de tesis.

A mis Asesores el Dr. José Ángel Ortiz Lozano y el M.I. Jorge Eudave Muñoz por proporcionar conocimientos que ayudaron a complementar el desarrollo de los temas de tesis.

A mi amigo Hugo Montalvo, por el apoyo en la comunidad, así como en la elaboración de esta tesis.

A mis amigos y compañeros de maestría (Hugo, Marisol, Roberto, Carlos, Pepe, Corchado, Tona, Sabas, Job, Héctor, Enrique, Julio)

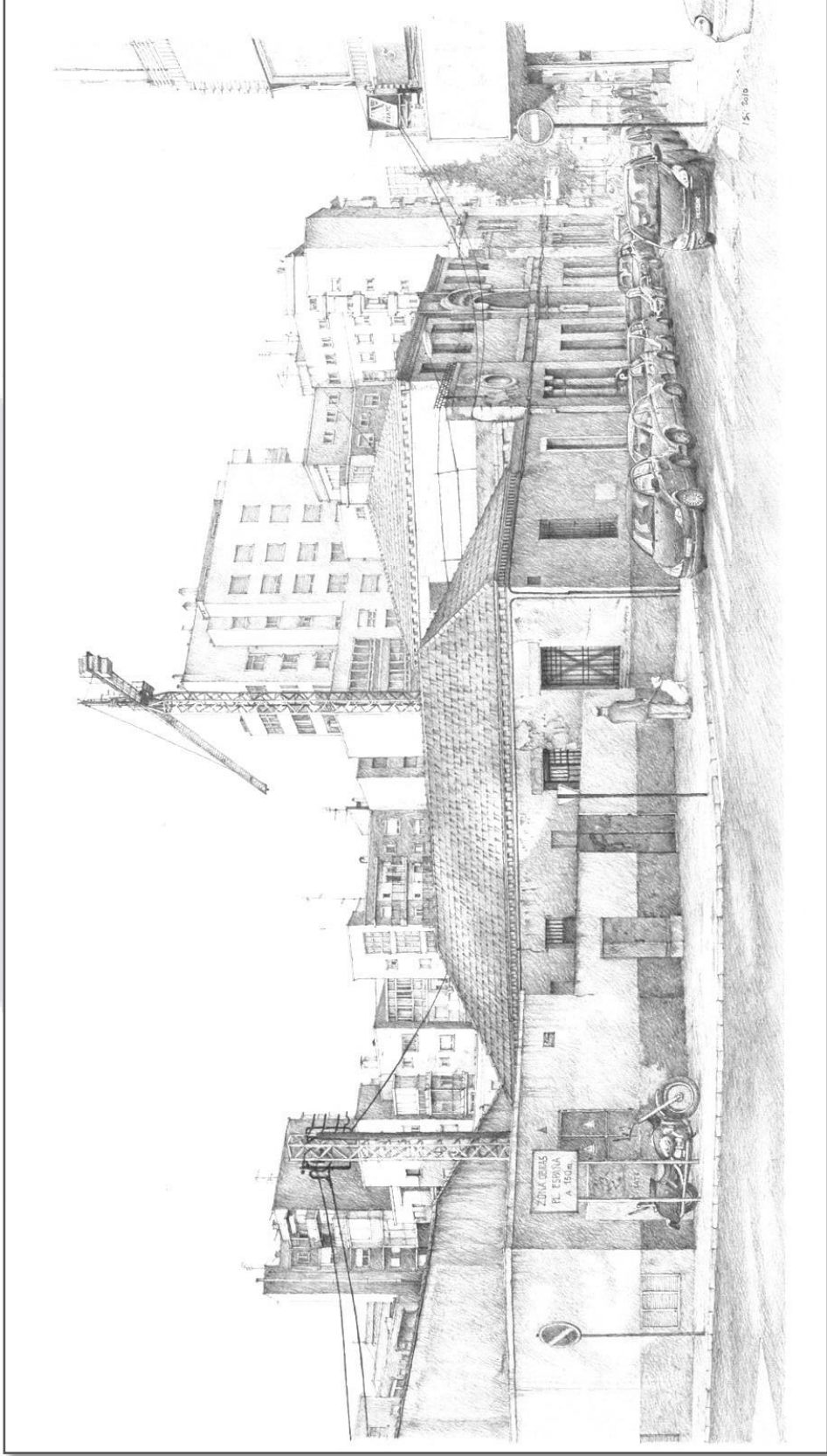
A mis profesores que brindaron conocimiento de calidad a lo largo de mi estancia en la universidad (Amador, Reyna, Martín, Ortiz, Eudave, EMO, Irma Díaz Bobadilla)

A la señora Eva por darme oportunidad de poder emplear su vivienda en el análisis de este documento.

A Héctor G. Alvarado por las bromas y los buenos momentos.

A todos ellos les doy mi más sinceras gracias

Cartagena, la Casa del Niño (Víctor Beltrí, 1917-1929)



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRAFICAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	12
RESUMEN	15
ABSTRACT	17
INTRODUCCIÓN	19
1. ESTADO DEL ARTE	26
1.1 CONCEPTOS BÁSICOS	26
1.1.1 Procesos constructivos	26
1.1.1.1 Clasificación de obras civiles	27
1.1.1.2 Edificaciones	28
1.1.2 Falla geológica	32
1.1.2.1 Definición de falla geológica	32
1.1.2.2 Características	33
1.1.2.3 Clasificación de tipos de fallas geológicas	34
1.1.2.4 Fallas activas e inactivas	36
1.1.2.5 Falla en la comunidad de Pabellón de Hidalgo	37
1.1.3 Estadística básica	38
1.1.3.1 Recopilación de datos y muestreo	38
1.1.3.2 Regresión línea simple	43
1.1.3.2.1 Diagrama de Dispersión	43
1.1.3.2.2 Análisis de Regresión Lineal Simple	44
1.1.3.2.3 Coeficiente de Correlación	45
1.1.3.2.4 Coeficiente de Determinación	46
1.1.3.2.5 Tabla de Análisis de Varianza o Tabla Anova	47
1.1.3.2.6 Prueba de Dependencia Lineal	48
1.1.4 Elemento finito	49
1.1.4.1 Procedimiento para el análisis de elementos finitos	49
1.1.4.2 Análisis con pushover (Análisis Estático No Lineal)	50
1.2 NORMATIVA VIGENTE PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	52

1.2.1 Carga viva y muerta	52
1.2.2 Análisis por cargas verticales	53
1.2.3 Análisis por cargas laterales (sismo). Método simplificado	54
1.2.3.1 Obtención de fuerzas laterales	55
1.2.3.2 Coeficiente sísmico	56
1.2.3.3 Factor de comportamiento dinámico	56
1.2.3.4 Centro de torsión	56
1.2.4 Análisis por cortante	59
2. METODOLOGÍA	61
2.1 MONITORIZACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DE LA FALLA GEOLÓGICA	61
2.2 PATOLOGÍA DE DAÑOS	62
2.2.1 Inspección del inmueble	62
2.2.2 Control del fisuramiento en muros	63
2.2.3 Criterio de evaluación de daños	65
2.2.3.1 Clasificación de daños (Burland)	66
3. RESULTADOS	69
3.1 RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN DE AFECTACIONES POR FALLA GEOLÓGICA	69
3.1.1 Datos obtenidos	69
3.1.2 Análisis estadístico de los datos de desplazamientos	75
3.1.2.1 Fisurómetro PL-01	75
3.1.2.2 Fisurómetro PL-02	78
3.1.2.3 Fisurómetro PL-03	81
3.1.2.4 Fisurómetro PL-04	85
3.1.2.5 Fisurómetro PL-05	89
3.1.2.6 Fisurómetro PL-06	92
3.1.2.7 Fisurómetro PL-07	95
3.1.2.8 Fisurómetro PL-08	99
3.1.2.9 Fisurómetro PL-09	102
3.1.2.10 Fisurómetro PL-10	106
3.1.2.11 Fisurómetro PL-11	109
3.1.2.12 Fisurómetro PL-12	113
3.1.2.13 Fisurómetro PL-13	116

3.1.2.14 Fisurómetro PL-14	120
3.1.2.15 Fisurómetro PL-15	123
3.1.2.16 Fisurómetro PL-16	127
3.1.2.17 Fisurómetro PL-17	130
3.1.3 Resultados Gráficos	134
3.1.4 Comportamiento futuro de la fractura	137
3.2 AFECTACIONES MEDIANTE DATOS DINÁMICOS	140
3.2.1 Vivienda estudiada	140
3.2.1.1 Descripción del inmueble	140
3.2.1.2 Análisis estructural, comportamiento por cargas de servicio	141
3.2.1.2.1 Descripción de plantas arquitectónicas y cargas actuantes en cada nivel	141
3.2.1.2.2 Áreas Tributarias en cada nivel de la vivienda estudiada	150
3.2.1.2.3 Revisión por Cargas Verticales según Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, 2004	154
3.2.1.2.4 Revisión por Cargas Laterales según Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, 2004	158
3.2.1.2.5 Revisión por Cortante según Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, 2004	171
3.2.1.3 Inspección de patologías	174
3.2.1.4 Correlación con falla geológica	183
3.3 ANÁLISIS MEDIANTE SIMULACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA LA ESTIMACIÓN DE ESFUERZOS	187
3.3.1 Muros	188
3.3.1.1 Muro 30	188
3.3.1.1.1 Esfuerzos máximos producidos por combinación de carga muerta y viva	190
3.3.1.1.2 Esfuerzos máximos producidos por los desplazamientos producidos por la falla geológica	190
3.3.1.1.3 Esfuerzos máximos producidos por la combinación de carga Muerta, carga viva y los desplazamientos producidos por la falla geológica	191

3.3.1.1.4	Discusión de Resultados	192
3.3.1.2	Muros 33 y 34	194
3.3.1.2.1	Esfuerzos máximos producidos por combinación de carga muerta y viva	195
3.3.1.2.2	Esfuerzos máximos producidos por los desplazamientos producidos por la falla geológica	196
3.3.1.2.3	Esfuerzos máximos producidos por la combinación de carga Muerta, carga viva y los desplazamientos producidos por la falla geológica	197
3.3.1.2.4	Discusión de Resultados	198
3.3.1.3	Muro 45	200
3.3.1.3.1	Esfuerzos máximos producidos por combinación de carga muerta y viva	202
3.3.1.3.2	Esfuerzos máximos producidos por los desplazamientos producidos por la falla geológica	203
3.3.1.3.3	Esfuerzos máximos producidos por la combinación de carga Muerta, carga viva y los desplazamientos producidos por la falla geológica	203
3.3.1.3.4	Discusión de Resultados	204
	CONCLUSIONES	207
	REFERENCIAS	209
	GLOSARIO	213

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema organizacional del proceso constructivo.	27
Tabla 2. Resultados de censos de viviendas afectadas en la comunidad de Pabellón de Hidalgo.	29
Tabla 3. Número de clases.	38
Tabla 4. Frecuencia para el manejo de datos.	39
Tabla 5. Resumen de tabla ANOVA	48
Tabla 6. Coeficientes sísmicos para Aguascalientes (Aguascalientes, 2013).	56
Tabla 7. Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería (Gobierno del Distrito Federal, 2004).	60
Tabla 8. Clasificación de Burlan de los daños en edificaciones.	67
Tabla 9. Lecturas de monitorización.	69
Tabla 10. Lecturas de monitorización (continuación).	70
Tabla 11. Lecturas de monitorización (continuación).	71
Tabla 12. Lecturas de monitorización (continuación).	72
Tabla 13. Lecturas de monitorización (continuación).	73
Tabla 14. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-01.	76
Tabla 15. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-01.	76
Tabla 16. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-01.	77
Tabla 17. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-01.	77
Tabla 18. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-02.	79
Tabla 19. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-02.	79
Tabla 20. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-02.	80
Tabla 21. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-02.	81
Tabla 22 resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-03.	82
Tabla 23. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-03.	83

Tabla 24. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-03.	84
Tabla 25. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-03.	84
Tabla 26. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-04.	86
Tabla 27. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-04.	86
Tabla 28. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-04.	87
Tabla 29. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-04.	88
Tabla 30. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-05.	90
Tabla 31. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-05.	90
Tabla 32. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-05.	91
Tabla 33. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-05.	91
Tabla 34. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-06.	93
Tabla 35. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-06.	93
Tabla 36. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-06.	94
Tabla 37. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-06.	95
Tabla 38. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-07.	96
Tabla 39. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-07.	97
Tabla 40. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-07.	98
Tabla 41. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-07.	98
Tabla 42. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-08.	100
Tabla 43. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-08.	100
Tabla 44. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-08.	101

Tabla 45. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-08.	102
Tabla 46. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-09.	103
Tabla 47. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-09.	104
Tabla 48. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-09.	105
Tabla 49. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-09.	105
Tabla 50. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-10.	107
Tabla 51. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-10.	107
Tabla 52. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-10.	108
Tabla 53. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-10.	109
Tabla 54. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-11.	110
Tabla 55. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-11.	111
Tabla 56. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-11.	112
Tabla 57. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-11.	112
Tabla 58. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-12.	114
Tabla 59. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-12.	114
Tabla 60. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-12.	115
Tabla 61. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-12.	115
Tabla 62. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-13.	117
Tabla 63. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-13.	117
Tabla 64. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-13.	118
Tabla 65. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-13.	119

Tabla 66. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-14.	121
Tabla 67. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-14.	121
Tabla 68. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-14.	122
Tabla 69. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-14.	122
Tabla 70. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-15.	124
Tabla 71. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-15.	124
Tabla 72. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-15.	125
Tabla 73. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-15.	126
Tabla 74. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-16.	128
Tabla 75. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-16.	128
Tabla 76. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-16.	129
Tabla 77. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-16.	130
Tabla 78. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-17.	131
Tabla 79. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-17.	132
Tabla 80. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-17.	133
Tabla 81. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-17.	133
Tabla 82. Comportamiento de los fisurómetros a 5 y 10 años.	138
Tabla 83. Desplazamientos de los fisurómetros a 5 y 10 años.	139
Tabla 84. Bajada de cargas para la losa de entrepiso.	148
Tabla 85. Cargas actuantes en la losa de entrepiso.	148
Tabla 86. Bajada de cargas para la losa de azotea.	148
Tabla 87. Cargas actuantes en la losa de azotea.	149
Tabla 88. Bajada de cargas para la cubierta en terraza.	149
Tabla 89. Cargas actuantes en la cubierta de azotea	149

Tabla 90. Áreas tributarias en planta baja.	153
Tabla 91. Áreas tributarias en planta alta.	153
Tabla 92. Áreas tributarias en cubierta metálica.	153
Tabla 93. Resumen del análisis de cargas verticales en muros de planta alta.	155
Tabla 94. Resumen del análisis de cargas verticales en muros de planta baja.	156
Tabla 95. Resumen del análisis de cargas verticales en muros de planta baja (continuación).	157
Tabla 96. Calculo de cortante en entrepisos de vivienda.	159
Tabla 97. Centro de masa en entrepiso 02.	160
Tabla 98. Centro de masa en entrepiso 01.	162
Tabla 99. Cálculo de rigidez en muros de planta alta. Dirección X.	165
Tabla 100. Cálculo de rigidez en muros de planta alta. Dirección Y.	165
Tabla 101. Cálculo de fuerza cortante en entrepiso 1 y 2.	166
Tabla 102. Efecto cortante en dirección X.	169
Tabla 103. Efecto cortante en dirección Y.	170
Tabla 104. Revisión de cortante en la dirección X.	172
Tabla 105. Revisión de cortante en la dirección Y.	173
Tabla 106. Inspección de grietas en muros de planta baja y en muros de planta alta.	174
Tabla 107. Resumen de frecuencia de longitudes de grietas.	180
Tabla 108. Resumen de frecuencia de ancho de grietas.	181
Tabla 109. Resumen de frecuencia de ángulos promedios de grietas.	183
Tabla 110. Datos registrados de grietas de muro 30.	189
Tabla 111. Revisión de estados límite de falla de muro 30.	193
Tabla 112. Datos registrados de grietas de los muros 33 y 34.	195
Tabla 113. Revisión de estados límite de falla de los muros 33 y 34.	199
Tabla 114. Datos registrados de grietas del muro 45.	201
Tabla 115. Revisión de estados límite de falla del muro 45.	205

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Tipo de inmueble.	30
Grafica 2. Material en muros.	31
Grafica 3. Tipo de losa.	31
Grafica 4. Representación grafica mediante histograma.	40
Grafica 5. Representación grafica mediante polígono de frecuencias.	41
Grafica 6. Representación grafica mediante ojiva.	42
Grafica 7. Representación grafica mediante diagrama de sectores (pastel).	42
Grafica 8. Diagrama de dispersión.	44
Grafica 9. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-01.	75
Grafica 10. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-01.	77
Grafica 11. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-02.	79
Grafica 12. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-02.	80
Grafica 13. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-03.	82
Grafica 14. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-03.	84
Grafica 15. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-04.	86
Grafica 16. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-04.	87
Grafica 17. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-05.	89
Grafica 18. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-05.	91
Grafica 19. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-06.	93
Grafica 20. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-06.	94
Grafica 21. Desplazamientos en el sentido horizontal de la fisurómetro PL-07.	96
Grafica 22. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-07.	98
Grafica 23. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-08.	100
Grafica 24. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-08.	101
Grafica 25. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-09.	103
Grafica 26. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-09.	105
Grafica 27. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-10.	107
Grafica 28. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-10.	108
Grafica 29. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-11.	110

Grafica 30. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-11.	111
Grafica 31. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-12.	113
Grafica 32. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-12.	115
Grafica 33. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-13.	117
Grafica 34. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-13.	118
Grafica 35. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-14.	120
Grafica 36. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-14.	122
Grafica 37. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-15.	124
Grafica 38. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-15.	125
Grafica 39. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-16.	127
Grafica 40. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-16.	129
Grafica 41. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-17.	131
Grafica 42. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-17.	132
Grafica 43. Desplazamientos horizontales.	135
Grafica 44. Desplazamientos verticales.	136
Grafica 45. Porcentaje de muros de la vivienda de estudio dañados.	179
Grafica 46. Valor numérico de muros de la vivienda de estudio dañados.	180
Grafica 47. Histograma de frecuencias de longitudes de grietas en muros de vivienda de estudio.	181
Grafica 48. Histograma de frecuencias de ancho de grieta máxima en muros de vivienda de estudio.	182
Grafica 49. Histograma de frecuencias de ángulo promedio de grieta en muros de vivienda de estudio.	183

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de zona de estudio. Pabellón de hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes.	22
Figura 2. Ciclo del proceso constructivo.	26
Figura 3. Características de la falla geológica (Universidad Técnica de Loja, 2008).	33
Figura 4. Características de la falla geológica (Universidad Técnica de Loja, 2008).	34
Figura 5. Falla normal.	34
Figura 6. Falla inversa.	35
Figura 7. Falla horizontal o de desgarre.	35
Figura 8. Falla rotacional o tijera.	36
Figura 9. Falla oblicua.	36
Figura 10. Interpretación del coeficiente de correlación.	46
Figura 11. Fisurómetro.	61
Figura 12. Colocación del fisurómetro.	62
Figura 13. Láminas de control.	63
Figura 14. Determinación del ángulo de inclinación de la grieta de los muros.	64
Figura 15. Localización de los fisurómetros en la comunidad de Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes.	74
Figura 16. Fisurómetro PL-01.	75
Figura 17. Fisurómetro PL-02.	78
Figura 18. Fisurómetro PL-03.	81
Figura 19. Fisurómetro PL-04.	85
Figura 20. Fisurómetro PL-05.	89
Figura 21. Fisurómetro PL-06.	92
Figura 22. Fisurómetro PL-07.	95
Figura 23. Fisurómetro pl-08.	99
Figura 24. Fisurómetro PL-09.	102
Figura 25. Fisurómetro PL-10.	106
Figura 26. Fisurómetro PL-11.	109

Figura 27. Fisurómetro PL-12.	113
Figura 28. Fisurómetro PL-13.	116
Figura 29. Fisurómetro PL-14.	120
Figura 30. Fisurómetro PL-15.	123
Figura 31. Fisurómetro PL-16.	127
Figura 32. Fisurómetro PL-17.	130
Figura 33. Vivienda estudiada para el análisis.	140
Figura 34. Plano arquitectónico de vivienda. Planta baja.	142
Figura 35. Detalle arquitectónico de la estructura de la losa de entrepiso.	143
Figura 36. Plano arquitectónico de vivienda. Planta alta.	144
Figura 37. Detalle arquitectónico de la estructura de la losa de azotea.	145
Figura 38. Plano arquitectónico de vivienda. Planta de azotea.	146
Figura 39. Detalle arquitectónico de la estructura de la cubierta metálica de terraza y habitación central.	147
Figura 40. Plano arquitectónico definiendo áreas tributarias. Planta baja.	150
Figura 41. Plano arquitectónico definiendo áreas tributarias. Planta alta.	151
Figura 42. Plano arquitectónico definiendo áreas tributarias. Planta azotea.	152
Figura 43. Contribución de peso en entrepiso 1 y 2.	158
Figura 44. Localización del centro de masa en entrepiso 02.	161
Figura 45. Localización del centro de masa en entrepiso 01.	163
Figura 46. Caras de muros consideradas en el análisis. Planta baja.	175
Figura 47. Caras de muros consideradas en el análisis. Planta alta.	176
Figura 48. Muro 10 de planta baja. Vista interna.	177
Figura 49. Muro 20 de planta baja. Desplazamiento vertical inicial.	177
Figura 50. Muro 30 de planta alta.	178
Figura 51. Muro 47 de planta alta.	178
Figura 52. Muro 45 de planta alta.	178
Figura 53. Muro 12 de planta alta. Vista exterior.	179
Figura 54. Abertura máxima de grietas en planta alta.	185
Figura 55. Abertura máxima de grietas en planta baja.	186
Figura 56. Muro 30 planta alta.	188

Figura 57. Representación de grietas en muro 30.	189
Figura 58. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por carga muerta y carga viva. Muro 30.	190
Figura 59. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muro 30.	191
Figura 60. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por carga muerta, carga viva y desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muro 30.	192
Figura 61. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) y representación de grietas del muro 30.	192
Figura 62. Muro 33 y 34 planta alta.	194
Figura 63. Representación de grietas en muro 33 y muro 34.	195
Figura 64. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por carga muerta y carga viva. Muros 33 y 34.	196
Figura 65. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muros 33 y 34.	197
Figura 66. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por carga muerta, carga viva y desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muros 33 y 34.	198
Figura 67. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) y representación de grietas de los muros 33 y 34.	198
Figura 68. Muro 45 planta alta.	200
Figura 69. Representación de grietas en muro 45.	201
Figura 70. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por carga muerta y carga viva. Muro 45.	202
Figura 71. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muro 45	203
Figura 72. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) originados por carga muerta, carga viva y desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muro 45	204
Figura 73. Esfuerzos máximos (en kg/m ²) y representación de grietas del muro 45.	205

RESUMEN

Las discontinuidades geológicas superficiales asociadas a subsidencia son un problema de carácter global y en la última década se han incrementado, produciendo daños en construcciones. En este contexto, el desarrollo de este documento consiste primordialmente en dar las pautas para el análisis de desplazamientos producidos por éstas discontinuidades, particularmente una que afecta a la Comunidad de Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes, dañando actualmente alrededor de 32 edificaciones, incluyendo viviendas habitacionales, teniendo presente un potencial colapso en ellas de continuar con las deformaciones.

Metodológicamente, este estudio se basa en tres vertientes; la primera de ellas es el empleo de 17 fisurómetros para monitorizar indirectamente la actividad de la discontinuidad, mediante la medición de desplazamientos horizontales y verticales en elementos estructurales dañados, la segunda de ella es el análisis del comportamiento estructural de una vivienda afectada por la discontinuidad. De acuerdo con los resultados de monitorización, la discontinuidad superficial se encuentra actualmente activa, con variaciones en las deformaciones de hasta 9.5 mm verticalmente y 10 mm horizontalmente, y la tercera el análisis numérico de los muros con mayor afectación por medio del método de elementos finitos mediante el programa SAP2000 V14.

El estudio de los desplazamientos fue revisado por estadística básica, y por medio de un análisis de mínimos cuadrados se determinó la tendencia de desplazamientos horizontales y verticales de 5 y 10 años, a fin de determinar las máximas deformaciones de la discontinuidad a futuro.

Paralelamente se trabajó en el estudio de una vivienda que cuenta con el proceso constructivo con mayor frecuencia censado en la comunidad que incluye muros a base de mampostería confinada con tabique rojo recocido de 7x14x28 cm, losa de entrepiso y azotea a base de viga de alma abierta y cuña, con una distribución simétrica en sus ejes ortogonales en dos niveles. En esta vivienda inicialmente se realizó la revisión estructural previa a la verificación de daños basados en las Normas Técnicas del D.F. de 2004, y para su posterior análisis de daños.

La verificación de daños consistió en medir las longitudes de grietas, aberturas y ángulos promedio de inclinación de cada una de ellas. Se cuantificaron 101 grietas localizadas en los 29 de los 51 muros de la vivienda.

Se encontraron valores máximos de 6.50 m, para la longitud, 4.14 cm para la abertura máxima y para el ángulo promedio oscilando entre 0° y 90° .

Con base a un análisis estadístico se encontraron frecuencias máximas obtenidas para la longitud de 41 grietas para un rango de 0.17 a 0.961 m. 81 grietas para un rango de 0.015 a 0.531 cm en aberturas máxima de grietas; y, 19 grietas entre el rango de 33.75° y 45.0° .

Tras el análisis numérico con elementos finitos se obtuvieron esfuerzos máximos de 129,606.1 kg/m² a compresión y 950,238.6 kg/m² a tensión en el muro número 30 de la vivienda analizada, del cual se observó que el punto donde se forman las grietas es en la transición entre los esfuerzos positivos y los esfuerzos negativos.

Se recomienda para el caso particular de la vivienda analizada, separar la vivienda, tanto en la estructura como en la subestructura, evitando voladizos, es decir, colocando tanto vigas como columnas en los muros críticos. Para el caso de la terraza, misma que cuenta con una losa a base de lámina tipo teja, será conveniente cambiar el anclaje, empleando anclas con resina tipo epóxica expandible, y placas base que faciliten el desplazamiento horizontal y vertical.

ABSTRACT

Geological surficial discontinuities associated to subsidence are a global problem that has become more critical along the last decade, causing damage to buildings. Under this context, the development of this document consists is primarily provide guidelines for the analysis of displacements produced by these discontinuities, in particularly one that affects the Community of Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes, which has damaged about 32 buildings, including 24 residential houses, having a potential collapse of them if deformation continues.

Methodologically, this study is based on three aspects: the first is the use of 17 fissurometers in order to monitor the activity of the discontinuity, by measuring horizontal and vertical displacements; the second one is to analyze the structural behavior of the affected house because of this discontinuity. According to the results of monitoring, the surface discontinuity is currently active, with variations in the deformation of 9.5 mm and 10 mm vertically and horizontally, respectively and the third; numerical analysis of the most affected walls by means of the finite element method, using the software SAP2000 V14.

Displacement study was reviewed by basic statistics and the tendency of horizontal and vertical displacements in 5 and 10 years was determined using a minimum square analysis, in order to determine the maximum deformation of the discontinuity in the future.

Besides, that, a study was made over a house that has the construction process more often censed at the community that includes masonry walls confined by 7x14x28 cm red bricks, mezzanine and roof slab based on open web joist and wedge, with a symmetrical distribution in its two-level orthogonal axes. Initially In this house was performed a structural revision before the verification of damages based on the Technical Standards of the City of 2004, and for subsequent analysis of damage.

Verification of damage meant to measure the lengths of cracks, and average inclination of angles of each gap. 101 cracks were quantified and located over 29 of the 51 walls of the house.

Maximum values of 6.50 m were found for the length of 4.14 cm for the maximum gap and the average angle was ranging between 0.0° and 90.0° .

Based on the statistical analysis were found that maximum frequencies obtained for the length of 41 cracks are in a range of 0.17 to 0.961 m. 81 cracks for a range of 0.015 to 0.531 cm, over maximum gaps of cracks; and 19 cracks between the range of 33.75° and 45.0° .

After the numerical analysis with finite elements were obtained maximum stresses of $129,606.1 \text{ kg/m}^2$ by compression and $950,238.6 \text{ kg/m}^2$ by tension on the wall number 30 and it was observed that the point where the cracks are formed is in the transition between the positive and negative efforts.

Is recommended for the particular analyzed house, to separate the structure and the substructure as well avoiding overhanging structures this means placing beams and columns as well in the critical walls. In case of balcony made with deck slab of roof tile type will be convenient to change the anchor, using expandable epoxy type resin, and motherboards that facilitate horizontal and vertical displacements.

INTRODUCCIÓN

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se ha detectado, a nivel global, problemas por agrietamientos en el suelo, existiendo varias teorías de la causa de este fenómeno, mismas que han sido reportadas en la literatura desde 1969 por Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico Rodríguez (Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez, 1969) para los asentamientos en la ciudad de México, así como en Londres en el mismo año por Sir Alec Wesley Skempton (Skempton et al, 1969) donde en su publicación hablan sobre asentamientos causados en suelos arcillosos.

El desarrollo de diferentes investigaciones se ha manifestado 3 hipótesis sobre el origen del fallamiento geológico en el valle de Aguascalientes, proponiendo que son debidas principalmente a (Aranda y Aranda, 1985):

1. Abatimiento de Acuíferos
2. Creep (Deslizamiento paulatino de la masa del suelo)
3. Movimientos Tectónicos

En Aguascalientes, se discierne en el hecho que las discontinuidades o fallamiento superficial sea por la extracción del agua subterránea o a causa de los movimientos tectónicos en la corteza, sin embargo, la mayoría de los investigadores afirman que la principal detonante de este fenómeno es la extracción desmedida del agua subterránea. (Aranda y Aranda, 1985).

No obstante las afectaciones causadas son más de interés socioeconómico que geológico, esto debido los principales problemas representados en los inmuebles o en la vía pública causan egresos en el gasto publico o gubernamental así como pérdidas monetarias para los dueños de los predios por las reparaciones que pudiesen presentar, como en la pérdida total o parcial del inmueble.

Además, es de gran importancia es el riesgo en individuos que habitan sobre la zona de falla, esto al no detectar a tiempo la magnitud de daño en las viviendas pudiendo provocar un colapso súbito en las estructuras principales y por tanto un desplome de la vivienda.

Así mismo, en la vía pública pudiese representar un peligro reflejado en obras de infraestructura dañadas, un ejemplo de ello es al tener una tubería de gas natural que tras los esfuerzos en tensión y cortante en la tubería provocados por la discontinuidad geológica provoca fisuramiento y derrame del líquido.

En el estado de Aguascalientes se han reportado e identificando hasta el 2010 un total de 209 fallas cubriendo una longitud de 316, 384 metros lineales y más de dos mil inmuebles censados con afectaciones (Secretaría de Obras Públicas, 2010). Un sitio que aun no ha sido estudiado a fondo y que presenta características de daño en viviendas es la comunidad de Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes, en este contexto, a través de este documento, se busca dar las herramientas para determinar las potenciales afectaciones así como realizar mediciones pertinentes para determinar las correspondencia que tienen la falla geológica con los daños estructurales en las viviendas, proponiendo una restructuración de los muros o marcos principales para disminuir el riesgo del inmueble.

ANTECEDENTES

El problema de subsidencia, fracturamiento o discontinuidades en la superficie terrestre no es propio únicamente del Estado de Aguascalientes, se ha manifestado en ciudades como San Luis Potosí, Morelia, Celaya e Irapuato a nivel Nacional (Rodríguez-Castillo y Rodríguez-Velázquez, 2006) y en países como Estados Unidos (Holzer, 1984), Italia (Doornhof et al, 2006), China (Lee et al, 1996) etc. en escala global.

La primera vez que se relacionó a los hundimientos superficiales con causas propias de la extracción excedida de aguas subterráneas fue por Fuller en 1908 (Poland, 1984); sin embargo científicamente los asentamientos superficiales fueron tomados en cuenta por el Ing. Karl Von Terzaghi (Terzaghi, 1925), cuyo trabajo se considera el punto de partida para la mecánica de suelos así como los asentamientos producidos por la consolidación del suelo.

Sin embargo, la extracción en gran volumen del agua no es la única causa que provoca asentamientos superficiales y por ende, afectaciones a

inmuebles. Se han reportado, otras causas como lo son la perforación de pozos, durante los trabajos de minería subterránea (minerales, carbón, sal), la extracción de petróleo o gas, los procesos de disolución y lavado de materiales, la consolidación de suelos blandos y orgánicos, (Sillerico et al, 2010), la excavación y la construcción de túneles (Cording, 2008).

Según Burbey (2002), las condiciones que propician la aparición de deformación del suelo inducida por el bombeo de agua son principalmente:

- Clima semiárido.
- Bombeo a largo plazo de las aguas subterráneas dando como resultado disminuciones del nivel freático.
- Espesor considerable de capas compresibles acumuladas.
- La existencia de las discontinuidades estructurales como fallas antiguas.

De acuerdo a información proporcionada por el Gobierno del Estado de Aguascalientes (2012), en México, las primeras observaciones sobre el fracturamiento geológico superficial fueron en 1925, expuestas por Roberto Gayol ante la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos (Gayol, 1925). Así mismo, continuando con las aseveraciones de Gayol en 1947 el Dr. Nabor Carrillo relacionó la teoría de los hundimientos con la extracción de agua (Carrillo, 1947).

Para Aguascalientes, los estudios realizados se han abordado en la capital, destacando la colaboración de los hermanos Aranda en 1985, además de grupos colegiados. (Aranda y Aranda, 1985). Recientemente se realizó un análisis de la problemática de la deformación superficial en el valle de Aguascalientes, compilando y organizando la información actual y proponiendo los mecanismos condicionantes de la falla geológica (Pacheco et al, 2013).

Dentro de la zona en donde se ubica la ciudad de Aguascalientes, la relación entre deformación de la superficie y el descenso crítico de agua subterránea es evidente, dado que en esta parte del valle, las fallas geológica superficiales representan su mayor área de afectación así como el más grande

y más profundo cono de la extracción de las aguas subterráneas. (Pacheco Martínez et al, 2013)

Así mismo el H. Ayuntamiento actualiza periódicamente las Cartas Urbanas de Grietas y Fallas de la ciudad, recopilando la información en un programa llamado SIDDIS. (Secretaría de Obras Públicas, 2010).

En la figura 1 se muestra la zona de estudio, localizada en Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes. La comunidad se encuentra en las coordenadas GPS: Longitud: -102.339722, Latitud: 22.176389 a una altura media de 1920 metros sobre el nivel del mar. La población total de Pabellón de Hidalgo es de 4006 personas, haciendo un total de 896 hogares. De estas 873 viviendas, 9 tienen piso de tierra y unos 29 consisten de una sola habitación. 848 de todas las viviendas tienen instalaciones sanitarias, 862 son conectadas al servicio público, 860 tienen acceso a la luz eléctrica. (Nuestro México.com, 2013)



Figura 1. Localización de zona de estudio. Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes

En la actualidad existe poca información en lo que refiere al estudio o trato que se debe emplear en un elemento estructural que ha sido afectado por una discontinuidad, que en este documento se referirá a fallas o fracturas, sin embargo, se manejan criterios para la solución de problemas de esta índole, tal es el caso de componentes que sufrieron falla por fractura del elemento o colapso plástico ante fatiga o una eventualidad (Hernández-Albañil y Espejo-Mora, 2002).

Las condiciones naturales y antropogénicas más importantes que provocan la aparición de deformaciones del terreno en particular para el Valle de Aguascalientes son (Pacheco-Martínez et al, 2013):

- El valle está dentro de un graben tectónico que representa una depresión topográfica que está situado entre fallas normales norte-sur. El sistema de acuíferos en el valle contiene sedimentos fluviales de origen terciario y cuaternario aluvial con un grado medio a bajo de consolidación.
- El clima en el Valle de Aguascalientes es de árido a semiárido, lo que implica que la evapotranspiración excede la precipitación
- el agua subterránea representa la principal fuente de agua no sólo para la agricultura, sino también para el consumo de municipios e industrias

El aumento en el esfuerzo efectivo en los suelos por los descensos en los niveles freáticos, ocasionan que los estratos se consoliden y usualmente resultan desplazamientos horizontales y verticales (Ortiz-Lozano et al, 2010). Así mismo, el escaso conocimiento sobre la magnitud de los esfuerzos producidos en la masa del suelo, imposibilitan una adecuada cuantificación de daños en edificaciones y una potencial línea de reparación o reconfiguración estructural.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar cuantitativamente las patologías en casas habitación o inmuebles provocadas por las discontinuidades o fracturamiento geológico superficial localizadas en la comunidad de Pabellón de Hidalgo, Aguascalientes, México. Evaluando mediante un detallado dimensionamiento de afectaciones en muros y elementos estructurales, y la potencial correspondencia de la fractura del terreno con las afectaciones del inmueble a través de la monitorización de las afectaciones asociadas a la falla geológica.

Objetivos particulares

- Censar de inmuebles afectados por la discontinuidad geológica.
- Analizar estadísticamente los datos registrados.
- Monitorizar las afectaciones de elementos constructivos ocasionados directamente por la falla geológica.
- Obtención de datos de afectaciones en una construcción causados por discontinuidades geológicas superficiales, determinando las siguientes mediciones:
 - ◆ Ángulos de las fracturas.
 - ◆ Aberturas.
 - ◆ Dirección de la discontinuidad con relación al marco principal de la vivienda.
- Determinar un patrón de daños en los elementos estructurales con mayor afectación.
- Establecer un análisis mediante simulaciones numéricas, fijando una metodología para el potencial refuerzo de los elementos estructurales.

ALCANCES DEL ESTUDIO

La finalidad de la tesis, es como indican los objetivos, es desarrollar la medición de las grietas en los elementos estructurales de las viviendas y correlacionarlas con la discontinuidad geológica presente en la comunidad de Pabellón de Hidalgo, Aguascalientes.

De los datos registrados a través de un censo y la monitorización en viviendas afectadas, se determinará mediante elemento finito un análisis de elementos estructurales como son losas, muros y marcos así como las uniones y/o conexiones entre ellos para determinar los esfuerzos principales presentes.

Las aportaciones de dicho documento, son:

- Proponer una metodología de monitorización la falla
- Determinar un criterio de medición de las afectaciones en la edificación.
- Proponer un criterio de evaluación estructural.
- Otra potencial contribución, es dar las herramientas al habitante de las viviendas de una solución estructural, teniendo presente, el mantenimiento a futuro según el avance de abertura registrado.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Dentro de este capítulo se tratarán brevemente y de manera general algunos conceptos básicos que se tomarán en cuenta para el desarrollo de los temas tratados, así como para el desarrollo de planteamiento de hipótesis y resultados.

Se manejarán para ello 3 subcapítulos que comprenderán dónde conceptos de procesos constructivos, fallamiento geológico y estadística general.

1.1.1 Procesos constructivos

La literatura en general divide a los procesos constructivos en dos grandes vertientes, la primera la generación del proyecto y la segunda la ejecución del mismo (Sarría-Molina, 1999).

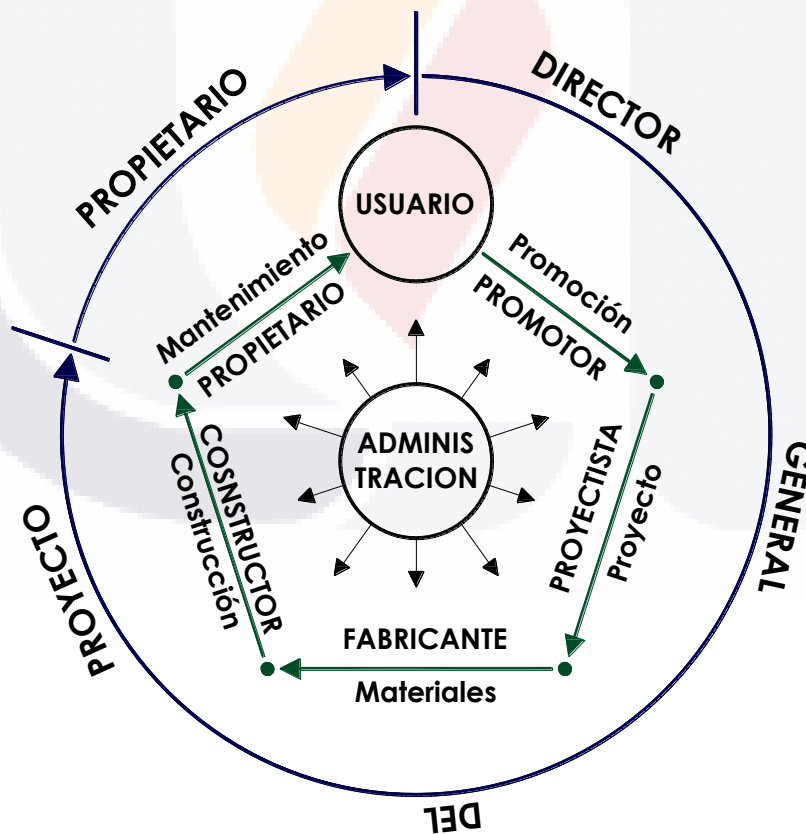


Figura 2. Ciclo del proceso constructivo

El proceso constructivo se puede representar en 5 actividades principales (Murcia et al, 1993) (figura 2):

- Planificación
- Diseño, es decir el proyecto ejecutivo y el calculo
- Planificación de materiales
- Ejecución
- Uso-mantenimiento

Cada uno de los cuales tienen específicamente su actividad, a continuación se describe brevemente dentro de la tabla 1 (Murcia et al, 1993):

Tabla 1. Esquema organizacional del proceso constructivo

Representante	Actividad
Promotor	Toma la decisión de realizar la construcción así como de la obtención de los recursos
Proyectista	Realiza el diseño del proyecto arquitectónico, estructural y de instalaciones
Fabricante	Elabora materiales y/o equipo que son requeridos en la construcción y equipamiento
Constructor	Ejecuta la Obra
Propietario	Es el dueño de la construcción y responde a su mantenimiento
Usuario	Es el destinatario y usuario de la construcción
Laboratorio de control	Ensayan materiales, componentes y equipos
La forma de contratación	Condiciona de origen, el proceso y la calidad final de la obra
Legislación	Regula el marco general de la construcción y las responsabilidades de diversos sujetos.

1.1.1.1 Clasificación de obras civiles

Las obras civiles suelen clasificarse según su inversión, es decir, con recursos públicos o privados. Sin embargo, se pueden asignar como sigue a continuación (Linares-Faustinos, 2010):

Edificaciones: Habitacionales, oficinas, plazas, centros comerciales y recreativos, cines, teatros, auditorios, estadios, centrales de abasto, hospitales, escuelas y otras edificaciones con diversos tipos de servicios.

Obras hidro-sanitarias: Sistemas de conducción y almacenamiento de agua potable, plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales, sistemas de alcantarillado, drenajes industriales y pluviales, así como rellenos sanitarios.

Vías terrestres y de comunicación: Carreteras, vías férreas con puentes y túneles; aeropuertos con pistas, calles de rodaje, plataformas de aviación comercial y general, hangares, zonas de combustible, terminales de pasajeros, torres de control, además, instalaciones eléctricas y electrónicas; así como, helipuertos (para uso industrial y público).

Obras hidráulica: Presas de almacenamiento, hidroeléctricas y derivadoras, en las cuales se capta agua para generar energía eléctrica, o para abastecimiento de áreas de cultivo en especial a distritos de riego y poblacional rural, urbano y comercial.

Obras portuarias: Puertos marítimos y pluviales, con sus obras de protección (rompeolas, escolleras, y espigones), muelles, terminales de diversa índole: industriales, pesqueras, agrícolas, turísticas, y de comercio.

1.1.1.2 Edificaciones

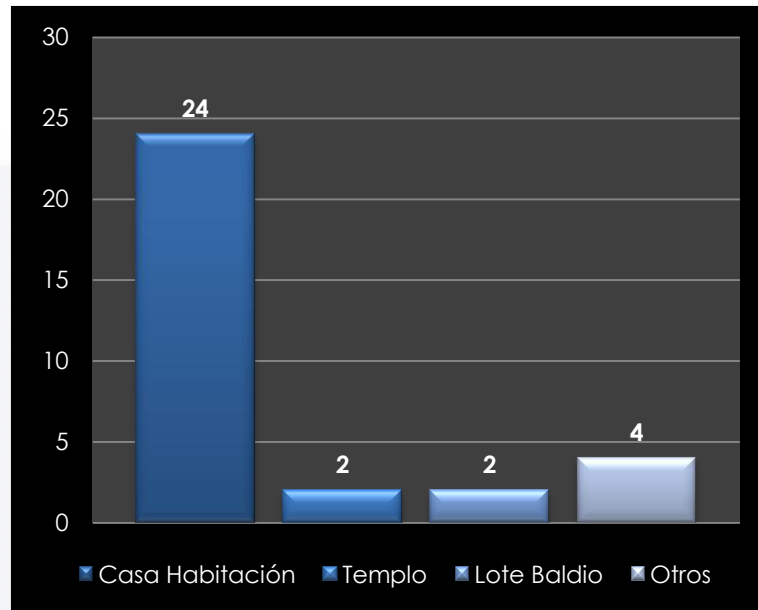
Dentro de este documento se manejarán las construcciones de tipo de edificación, mismas que fueron censadas para determinar la frecuencia máxima de las mismas.

A continuación en la tabla 2 se presentan los resultados de la encuesta realizada, para lo cual se tomó en cuenta el tipo de inmueble, así como su domicilio y si actualmente se encuentra habitada.

Tabla 2. Resultados de censos de viviendas afectadas en la comunidad de Pabellón de Hidalgo

Elemento	Tipo de inmueble	Domicilio	Estatus
1	Lote baldío	C. Guillermo Prieto #204	Sin habitar
2	Casa habitación	C. Francisco Zarco #205-A	Habitada
3	Templo	C. Francisco Zarco sin numero	-----
4	Escuela primaria	C. Teodoro Olivares sin numero	-----
5	Casa habitación	C. Teodoro Olivares #105	Habitada
6	Casa habitación	C. Enrique Zúñiga #107	Habitada
7	Casa habitación	C. Enrique Zúñiga #109	Habitada
8	Casa habitación	C. Enrique Zúñiga #108	Habitada
9	Casa habitación	C. Enrique Zúñiga #110	Habitada
10	Canal de Agua	Terreno Federal	-----
11	Casa habitación	C. José Santos Villa #213	Habitada
12	Casa habitación	C. José María Chico #114	Sin habitar
13	Lote baldío	C. José María Chico #117	Sin habitar
14	Casa habitación	C. José Santos Villa #107	Habitada
15	Casa habitación	C. José Santos Villa #206	Habitada
16	Casa habitación	C. José Santos Villa #208	Habitada
17	Casa habitación	C. José Santos Villa #212	Habitada
18	Casa habitación	C. José Santos Villa #214	Habitada
19	Casa habitación	C. José Santos Villa #110	Habitada
20	Casa habitación	C. José Santos Villa #108	Habitada
21	Casa habitación	C. José Santos Villa #106	Habitada
22	Casa habitación	Priv. Mariano Hidalgo #7	Habitada
23	Templo	C. Libertad sin numero	-----
24	Casa habitación	C. Libertad #102	Habitada
25	Casa habitación	C. Libertad #101	Habitada
26	Casa habitación	C. 24 de Enero #131	Habitada
27	Casa habitación	C. 24 de Enero #133	Habitada
28	Casa habitación	C. 24 de Enero #129	Habitada
29	Casa habitación	C. 24 de Enero #127	Habitada
30	Casa habitación	C. 24 de Enero #125	Habitada
31	Museo	C. 24 de Enero Sin numero	-----
32	Seminario	C. Sin nombre	Habitada

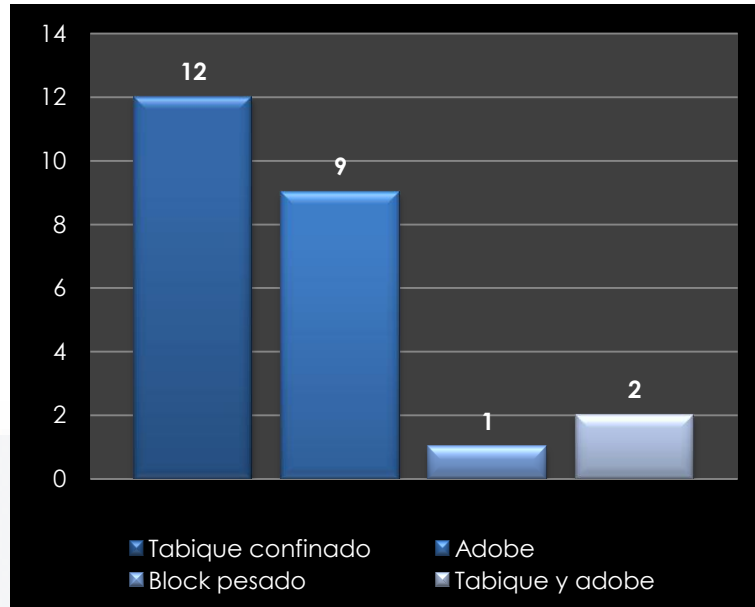
De acuerdo a estos datos, se observa principalmente que la frecuencia máxima es presentada en edificación tipo casa habitación, representando la mayor importancia debido a que afecta de forma directa a la población de Pabellón de Hidalgo. Se presenta a continuación la grafica 1 que visualiza lo descrito:



Grafica 1. Tipo de inmueble

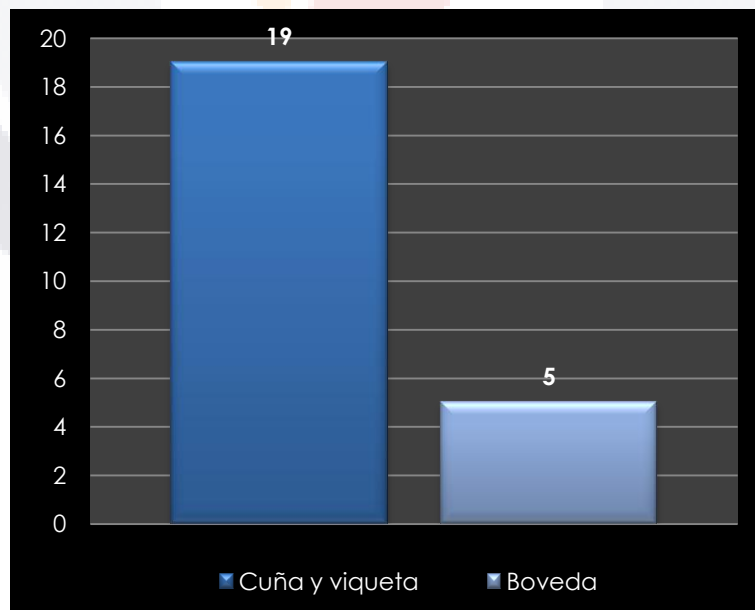
La tabla 2 representa que de un total de 32 edificaciones afectadas por la grieta geológica, se presenta en mayor medida con un total de 24 edificaciones las de tipo casa habitación, representando el 75% del total de edificaciones registradas, por lo cual este documento tendrá la finalidad de priorizar este tipo de inmueble para su desarrollo.

Adicional al tipo de edificación, cabe señalar el tipo de material constructivo, ya que de eso dependerá también el grado de afectación, debido a características como dimensiones, resistencia a ruptura, composiciones, juntas, entre otras.



Grafica 2. Material en muros

Por lo anterior se muestra en la grafica 2 los materiales más utilizados en muros, que en este caso es de tabique rojo recocido con dimensión promedio de 7x14x28 cm; juntado con mortero cemento-cal-arena, teniendo un espesor de 14 cm, confinado con castillos y cadenas de concreto armado, llamado también muro de tabique confinado.



Grafica 3. Tipo de losa

La grafica 3, representa los tipos de losas empleadas en la construcción de la viviendas o casas tipo habitacionales, mismas que para la comunidad de estudio es a base de viguetas formadas por dos ángulos metálicos acuatados de dimensión promedio de $1\frac{1}{2}'' \times 1\frac{1}{2}'' \times \frac{1}{8}''$ y tabique rojo recocido (cuña) de dimensiones $4 \times 14 \times 28$ cm, teniendo alrededor de 79% con este proceso constructivo, presente en viviendas tanto de 1 como de 2 niveles.

Durante el censo de la comunidad, se revisaron diferentes variables que no se tomó en cuenta en este documento, como por ejemplo:

- Número de habitaciones.
- Niveles de la construcción.
- Número de individuos que habitan la edificación.
- Área de la lotificación, etc.

1.1.2 Falla geológica

Una prioridad de esta tesis es el trato con la falla geológica, misma que está localizada en la comunidad de Pabellón de Hidalgo, por lo que, se define y toma las características primordiales para poder describir a la falla de estudio.

1.1.2.1 Definición de falla geológica

Una falla geológica, en el área de geología es: "Una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad por fractura), cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano" (Universidad Técnica de Loja, 2008).

El movimiento de las fallas geológicas, ya sea natural o antropogénicamente inducido produce deslizamientos, terremotos y hasta vulcanismo. Estos movimientos generan deformaciones en las rocas del interior

de la corteza terrestre, acumulando y liberando energía en forma de ondas en la superficie terrestre (Bermúdez-Ardila, 2007).

1.1.2.2 Características

Las siguientes características describen las fallas geológicas (Universidad Técnica de Loja, 2008):

Dirección: Se refiere al ángulo formado por una línea horizontal contenida en el plano de falla con el eje norte-sur.

Buzamiento: Ángulo que forma el plano de falla con la horizontal.

Salto de Falla: Distancia entre un punto dado de uno de los bloques y el correspondiente en el otro, tomada a lo largo del plano de falla.

Escarpe: Distancia entre las superficies de los dos bordes, tomada en vertical.

Plano de Falla: Es la a lo largo de la cual se produce la fractura y el desplazamiento de los bloques.

En la figura 3 y figura 4 representan todas las características descritas en este capítulo:

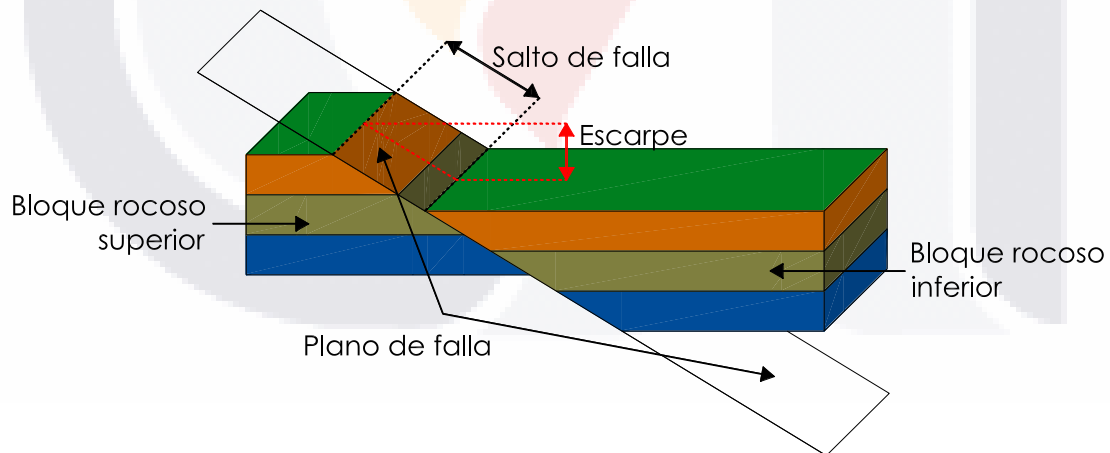


Figura 3. Características de la falla geológica (Universidad Técnica de Loja, 2008).

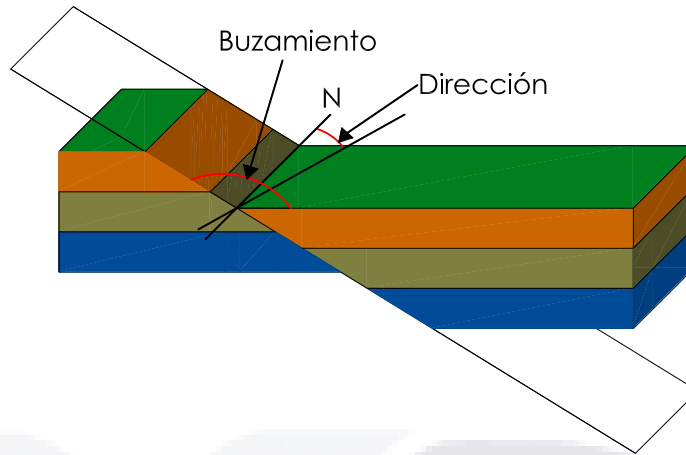


Figura 4. Características de la falla geológica (Universidad Técnica de Loja, 2008)

1.1.2.3 Clasificación de tipos de fallas geológicas

Se clasifican en tres tipos en función de los esfuerzos que las originan y de los movimientos de los bloques (Universidad Técnica de Loja, 2008):

Falla normal: Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se desliza hacia abajo se le denomina bloque de techo, mientras que el que se levanta se llama bloque de piso (figura 5).

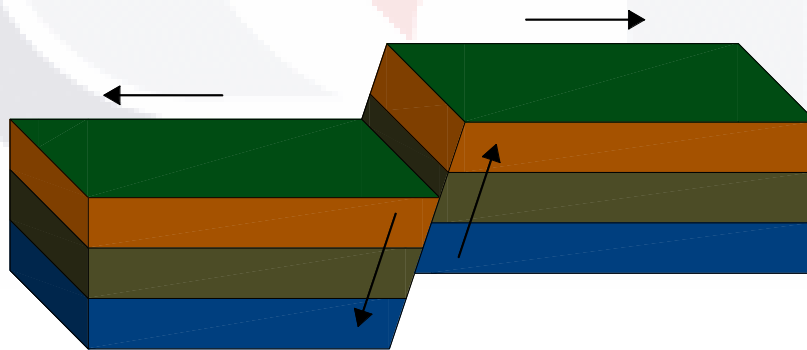


Figura 5. Falla normal

Falla inversa: Se genera por compresión horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados. El bloque rocoso superior se encuentra

sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un ángulo inferior a 45° , estas pasan a tomar el nombre de cabalgamiento (figura 6).

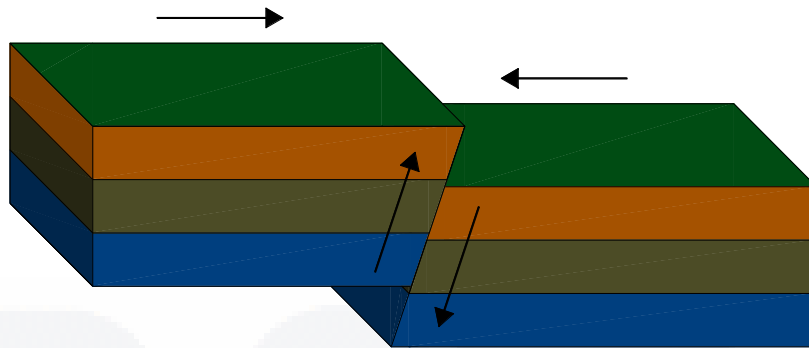


Figura 6. Falla inversa

Falla Horizontal o Desgarre: Estas fallas son verticales y el movimiento de los bloques es horizontal. Estas fallas son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: derechas e izquierdas (figura 7).

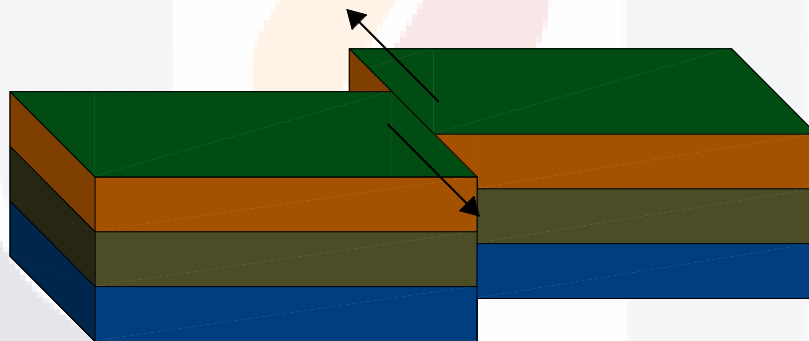


Figura 7. Falla horizontal o de desgarre

Falla rotacional o de tijeras: Es la que se origina por un movimiento de basculamiento de los bloques que giran alrededor de un punto fijo, como las dos partes de una tijera (figura 8).

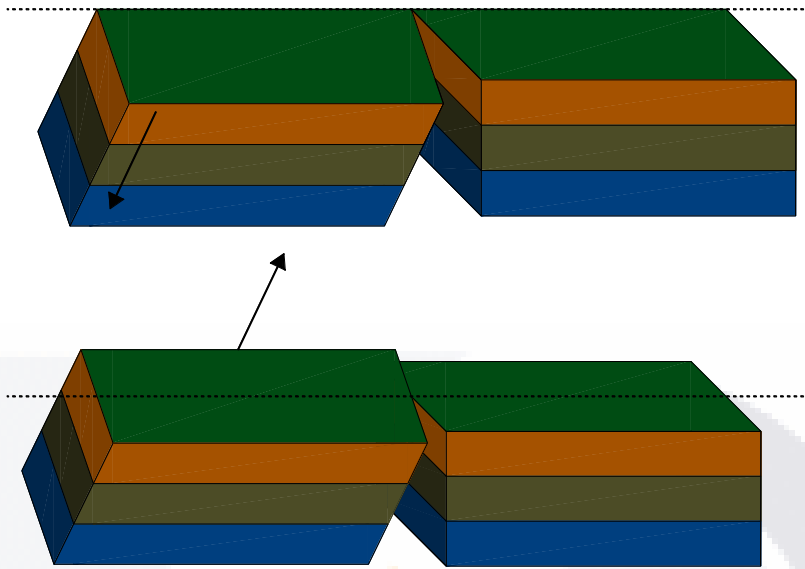


Figura 8. Falla rotacional o tijera

Falla oblicua: Es aquella que presenta movimiento en una componente vertical y una componente horizontal (figura 9).

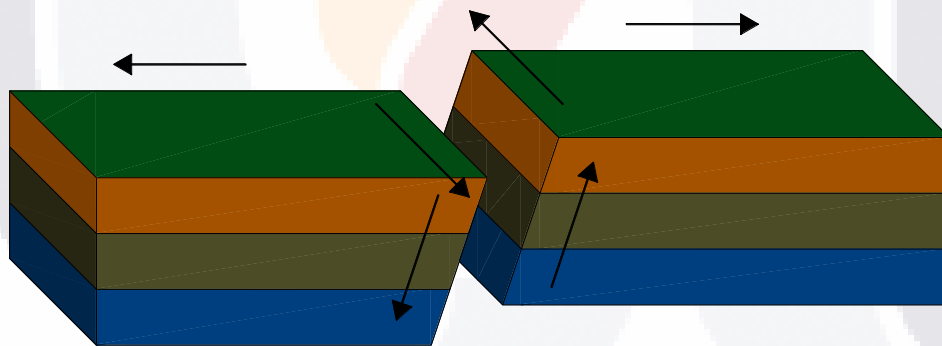


Figura 9. Falla oblicua

1.1.2.4 Fallas activas e inactivas

Una falla es activa cuando deforma sedimentos cuaternarios, es decir cuando muestra evidencias de movimientos durante los últimos 1,8 millones de años (Universidad Técnica de Loja, 2008). Algunas fallas activas suelen tener terremotos asociados lo que demuestra que siguen funcionando. El

deslizamiento puede ser repentino en forma de saltos lo que da lugar a sismos, seguido de periodos de inactividad. Los sismos más grandes han sido originados por saltos de 8 a 12 m. El deslizamiento también puede darse de manera lenta y continua, solo perceptible con instrumentos tales como estaciones GPS después de varios años de observaciones. El primer tipo son fallas sísmicas mientras que el segundo son asísmicas o reptantes. Sin embargo, al considerar intervalos grandes de tiempo del orden de miles de años, ambos tipos se desplazan a velocidades promedio de unos cuantos milímetros a unos cuantos centímetros por año.

1.1.2.5 Falla en la comunidad de Pabellón de Hidalgo

La comunidad de Pabellón de Hidalgo se localiza en el municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes. Por el poblado pasa una falla geológica con una longitud de 800.7 m (Secretaría de Obras Públicas, 2010), sin embargo existen algunas discrepancias en cuanto a su término, debido a que el censo que se reporta en la literatura no contemplan algunos espacios, para este documento se tomo una longitud de 913.3 m.

Como característica definida de la falla es que es de tipo oblicuo (desplazamientos verticales y horizontales), presentándose diferencias en desplazamientos horizontales y verticales. La dirección de la falla es suroeste-noreste a 18° en el tramo sur hasta una distancia de 340 metros, y sureste-noroeste a 20° en su tramo norte a partir de esos 340 metros, siguiendo con aproximación las curvas topográficas del lugar.

De acuerdo con los 17 fisurómetros que monitoreaban las deformaciones la falla se encuentra actualmente activa, con variaciones en las deformaciones de hasta 9.5 mm verticalmente y 10 mm horizontalmente.

Actualmente, la falla geológica afecta a alrededor de 32 edificaciones, siendo uno de los edificios afectados el Museo de la Insurgencia, así como, viviendas de 24 familias. Teniendo presente un potencial colapso en ellas de continuar las deformaciones

1.1.3 Estadística básica

La estadística y la probabilidad representan un papel muy importante en todas las fases del comportamiento humano. El empleo de la probabilidad y de la estadística se ha extendido, no solo a las áreas tradicionales universitarias o escolásticas, sino también a todos los campos de la ingeniería, en este caso, este documento maneja algunos criterios estadísticos con la finalidad en la interpretación de los datos y su potencial desarrollo en un tiempo determinado.

Iniciaremos desarrollando algunos conceptos y formulas que serán aplicados en los capítulos subsiguientes.

1.1.3.1 Recopilación de datos y muestreo

Los datos recopilados pueden ser cualitativos o cuantitativos, pudiéndose representar de la siguiente manera (Rodríguez-Ojeda, 2007):

- Mediante tabulaciones.
- Gráficamente.
- Numéricamente.

La forma más correcta de la agrupación de datos para su interpretación, es a través de una tabla de distribución de frecuencia. A continuación se manejan los pasos a seguir para su construcción:

- Tomar la unidad de medida de los datos.
- Obtener el valor de **R** (Rango de los datos).

$$R = \text{Valor mayor} - \text{Valor menor}$$

Ecuación 1

- Seleccionar el numero de clases o intervalos **k**. Para agrupar los datos, se recomienda emplear el siguiente (tabla 3) criterio para su correcta agrupación.

Tabla 3. Número de clases

n	k
Menos de 50	5-7
Entre 50 y 100	6-10
Entre 100 y 250	7-12
Mas de 250	10-20

n: Número de datos.

k: Número de clases.

- Obtener la amplitud A de las clases, empleando la ecuación 2:

$$A = \frac{R}{k} \quad \text{Ecuación 2}$$

- Realizar el conteo de los datos para obtener la frecuencia correspondiente en cada clase.

Tabla 4. Frecuencia para el manejo de datos

Grafica de frecuencia							
k	Ri	Rs	fi	fr	fA	fRA	Marca de clase

Donde:

k: Número de clases (1, 2, 3,..., k).

Ri: Rango inferior de la clase.

Rs: Rango superior de la clase.

fi: Frecuencia de esa clase.

fr: Frecuencia relativa.

$$f_r = \frac{f_i}{\sum f_i} \quad \text{Ecuación 3}$$

fA: Frecuencia acumulada

$$f_A = f_i + f_{A\ i-1} \quad \text{Ecuación 4}$$

fRA: Frecuencia relativa acumulada

$$f_{RA} = f_{RA\ i} + f_{RA\ i-1} \quad \text{Ecuación 5}$$

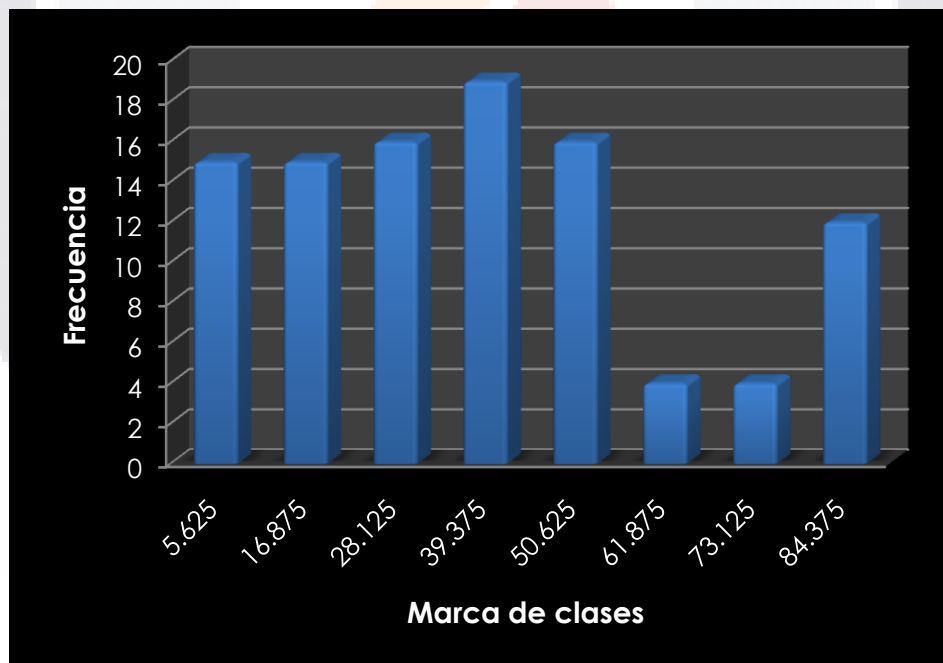
Marca de clase:

$$\text{Marca de clases} = \frac{R_s - R_i}{2} + R_i \quad \text{Ecuación 6}$$

Una vez obtenida la tabla de frecuencia, pueden ser interpretados gráficamente los datos muestreados. Entre las graficas más comunes para resaltar las características de los datos tenemos las siguientes (Rodríguez-Ojeda, 2007):

Histograma o diagrama de barras: Es el gráfico más común que se emplea para la graficación de frecuencia de datos. Se construye dibujando rectángulos cuya base corresponde a cada intervalo de clases y su altura según el valor de su frecuencia. La frecuencia puede ser absoluta o relativa (grafica 4).

Si las alturas de las barras son similares, se dice que se tiene una distribución “uniforme”. Si las alturas son mayores en la parte central se dice entonces que tiene forma de “campana” y puede ser simétrica o asimétrica, con sesgo del lado derecho o izquierdo. Si hay barras muy alejadas del grupo, se dice que son datos atípicos.



Grafica 4. Representación grafica mediante histograma

Polígono de frecuencia: Es una forma de representar el perfil de la distribución de los datos, se logra uniendo mediante segmentos de recta los puntos, los puntos es la union de la arca de clase con la frecuencia correspondiente (grafica 5).



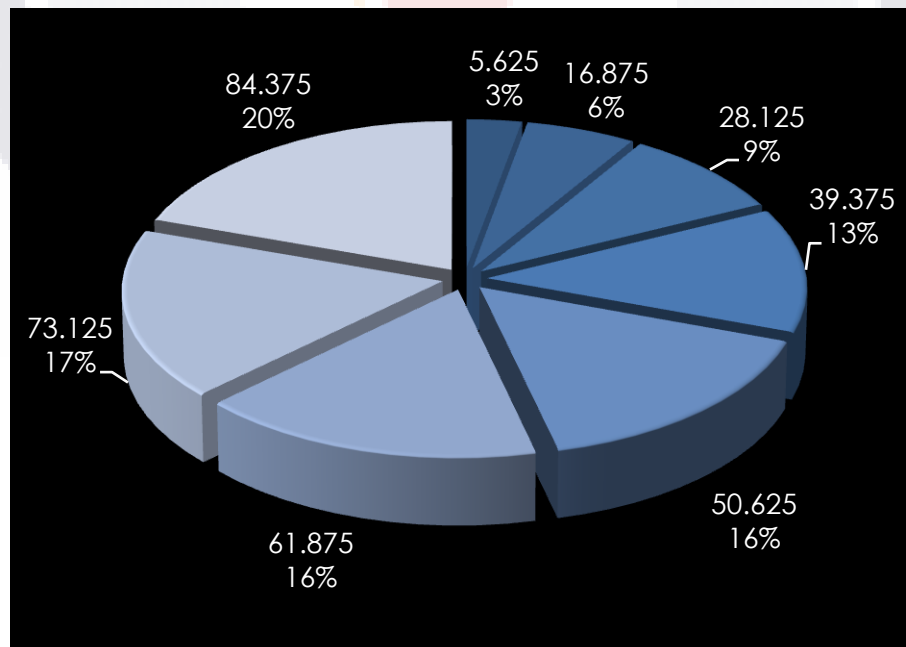
Grafica 5. Representación grafica mediante polígono de frecuencias

Ojiva: Se usa para representar la frecuencia acumulada, absoluta o relativa. Al igual que el polígono de frecuencias se obtiene uniendo segmentos de recta que se extiende entre los valores de las clases y la frecuencia acumulada (grafica 6).



Grafica 6. Representación grafica mediante ojiva

Diagrama de sectores: También llamado “grafica de pastel” se divide un círculo en tantas porciones como clases existan, de modo que a cada clase le corresponde un arco de círculo proporcional a su frecuencia absoluta o relativa (grafica 7).



Grafica 7. Representación grafica mediante diagrama de sectores (pastel)

El arco de cada porción es representativo al porcentaje de la frecuencia con relación al total de la muestra, teniendo en cuenta el valor de 360° .

Existen otros gráficos con los que se pueden representar los datos cualitativos, entre los que se destacan:

- Tallo y hojas.
- Pictográficas.
- Cartogramas.
- Pirámide de población.
- Climograma.

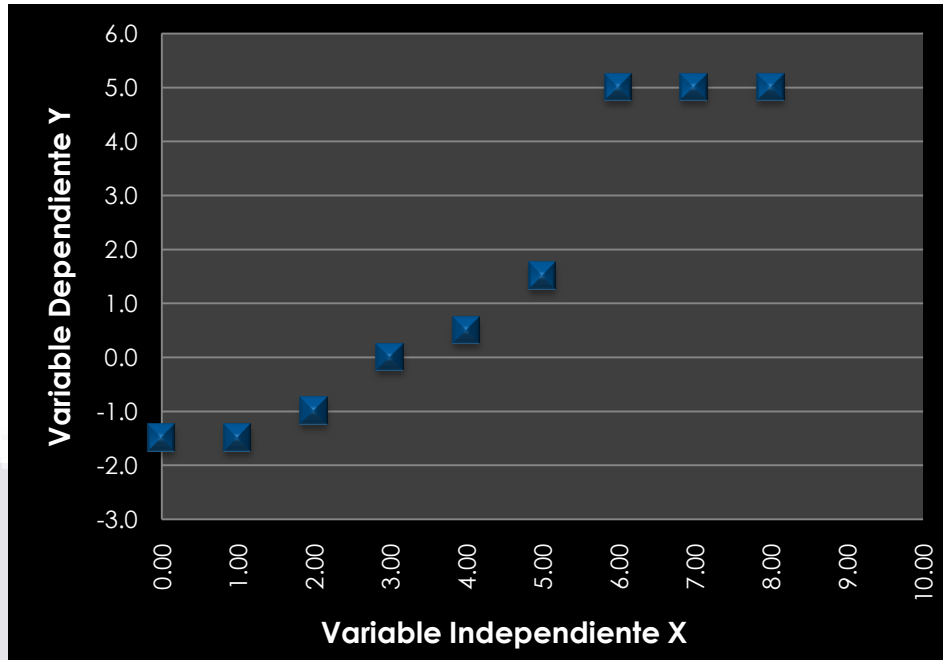
Y de datos cuantitativos:

- Áreas.
- Caja y brazo
- Diagrama de dispersión.

1.1.3.2 Regresión línea simple

1.1.3.2.1 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN

Gráfica en la que cada punto representa un par de valores vistos de las variables independiente y dependiente. El valor de la variable independiente "x" se identifica respecto del eje horizontal, mientras que el valor de la variable dependiente "y" se identifica respecto del eje vertical (Carrasco y Zúñiga, 2007) (gráfica 8).



Grafica 8. Diagrama de dispersión

1.1.3.2.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

El análisis de regresión da lugar a una ecuación matemática que permite describir la relación existente entre dos variables. Es decir, obtener una línea "ideal" conocida como línea de regresión que describa la relación o dependencia entre dos variables. (Carrasco y Zúñiga, 2007).

Para lo cual es necesaria la obtención de las siguientes sumatorias y simplificar lo descrito en el párrafo anterior.

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Ecuación 7

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Ecuación 8

$$SCT = S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Ecuación 9

$$SCE = S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}}$$

Ecuación 10

$$SCR = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Ecuación 11

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

Ecuación 12

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

Ecuación 13

1.1.3.2.3 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

“El coeficiente de correlación es un estadístico que proporciona información sobre la relación lineal existente entre dos variables cualesquiera. Básicamente, esta información se refiere a dos características de la relación lineal: la dirección o sentido y la cercanía o fuerza.

Es importante notar que el uso del coeficiente de correlación sólo tiene sentido si la relación bivariada a analizar es del tipo lineal. Si ésta no fuera no lineal, el coeficiente de correlación sólo indicaría la ausencia de una relación lineal más no la ausencia de relación alguna. Debido a esto, muchas veces el coeficiente de correlación se define como un instrumento estadístico que mide el grado de asociación lineal entre dos variables” (Lahura, 2003) (ecuación 19).

Para simplificar la escritura se establecen las siguientes ecuaciones:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ecuación 14

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Ecuación 15

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$$

Ecuación 16

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2$$

Ecuación 17

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})$$

Ecuación 18

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}}$$

Ecuación 19

El intervalo del resultado de r es de -1 a 1, dependiendo del signo que tiene la pendiente de la recta de la regresión. El valor obtenido de r, refleja la relación lineal de los datos (Rodríguez-Ojeda, 2007).

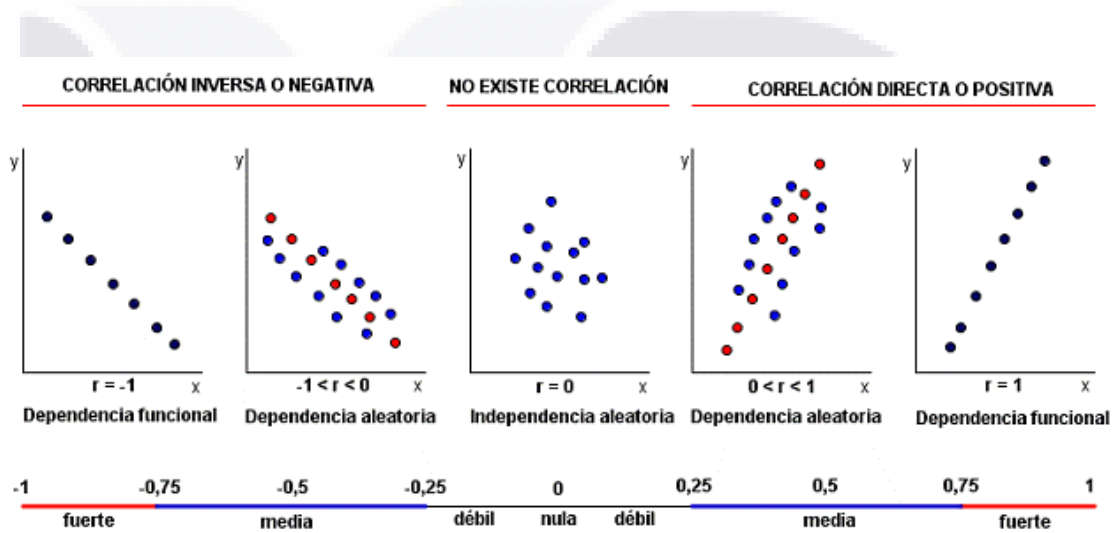


Figura 10. Interpretación del coeficiente de correlación

1.1.3.2.4 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

Es otra medida de la relación lineal entre las variables X y Y. Se emplea para interpretar la eficiencia de la recta de mínimos cuadrados para explicar la variación de Y.

$$r^2 = \frac{SCR}{SCT}$$

Ecuación 20

Donde:

SCR tiene 1 grado de libertad (varianza ponderada con el modelo de 2 parámetros)

SCT tiene n-1 grados de libertad (suma de los cuadrados SCR y SCE)

SCE tiene $n-2$ grados de libertad (existen n datos y dos parámetros en el modelo)

El valor de r^2 mide el poder de explicación del modelo de mínimos cuadrados, si es cercano a 1 significa que la recta se ajusta bien a los datos.

1.1.3.2.5 TABLA DE ANÁLISIS DE VARIANZA O TABLA ANOVA

“En su más simple forma, el análisis de varianza compara varios tratamientos para determinar la igualdad de los promedios. En contraste con la prueba de t de estudiante, que estudia la igualdad de dos poblaciones el análisis de varianza estudia más de 2 distribuciones, y usa la estadística F .

Las propiedades y suposiciones en el análisis de varianza (ANOVA) son:

1. Para las pruebas del análisis de varianza se usa la distribución de F . Esta distribución F no es simétrica, sino sesgada, es decir, oblicua hacia la derecha.
2. Los valores de F pueden ser de cero o positivos, pero no pueden ser negativos.
3. La prueba de hipótesis es siempre unilateral derecha.
4. Hay una distribución de F diferente para cada par de grados de libertad, (g.l.).
5. Las poblaciones tienen distribuciones normales
6. Las poblaciones tienen la misma varianza o desviación estándar. Si esta condición no puede ser cumplida, la prueba de F no es válida. En este caso se debe de usar una prueba de hipótesis diferente.
7. Las muestras son aleatorias e independientes una de la otra.”
(Quevedo-Urías, 2006)

Los datos son concentrados en la tabla ANOVA, la cual se muestra a continuación:

Tabla 5. Resumen de tabla ANOVA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	SCR	SCR/1	$\frac{(SCR/1)}{(SCE/(n-2))}$	$F_{[\alpha/2; (n_1-1); (n_2-1)]}$	Calculada interpolando valores de distribución F
Residuos	n - 2	SCE	$S^2 = \frac{SCE}{(n-2)}$			
Total	n - 1	SCT				

1.1.3.2.6 PRUEBA DE DEPENDENCIA LINEAL

Se demuestra a partir de tomar el estadístico F_0 y compararlo con la distribución F con $v_1=1$, $v_2= n - 2$ grados de libertad. Para ello se emplea la Ecuación 21 para obtenerla:

$$F_0 = \frac{SCR}{SCE/(n-2)}$$

Ecuación 21

Este estadístico se emplea para realizar una prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal. Para ello se realiza la siguiente formulación (Rodríguez-Ojeda, 2007):

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ Hipótesis nula para probar que no hay dependencia lineal entre x y Y

$H_1: \beta_1 \neq 0 \rightarrow$ No se rechaza la hipótesis de dependencia lineal entre X y Y

Si se especifica el nivel de significancia α de la prueba, entonces la región crítica de rechazo:

Rechazar H_0 si $F_0 > F_c$ con $v_1=1$, $v_2= n - 2$ grados de libertad.

1.1.4 Elemento finito

El método de los elementos finitos, diferencia finitas o de volumen de control, es un procedimiento basado en técnicas computacionales. Puede usarse para analizar estructuras y diferentes sistemas continuos. Sus aplicaciones comunes, incluyen el comportamiento de sistemas estáticos, dinámicos y térmicos. (Cubillos, 2007)

Los resultados del análisis de elementos finitos, son raramente exactos, es decir, los productos son aproximaciones. Sin embargo, una solución adecuada puede ser obtenida, si se usa un modelo apropiado de elementos finitos. Un modelo apropiado depende de varios factores, destacando la distribución de la discretización espacial, el tipo de discretización en el tiempo, las condiciones de contorno o frontera, la correcta inclusión de las propiedades físicas de los materiales, entre otras. (Da Fonseca-Lopes, 2011)

El objetivo del análisis por Método Finito es determinar de forma aproximada la respuesta de un sistema con una cantidad finita de elementos sujetos a cargas establecidas. Con pocas excepciones, como el análisis estático de vigas simples, marcos y sistemas de membranas, el método de elementos finitos no concibe una solución exacta. No obstante, con un modelo apropiado, se puede obtener una solución precisa. (Cubillos, 2007)

1.1.4.1 Procedimiento para el análisis de elementos finitos

A continuación se describen los procedimientos o pasos requeridos para realizar un adecuado análisis mediante elementos finitos (Cubillos, 2007):

Discretización de la estructura: La estructura es dividida en una cantidad finita de elementos. Determinar el tamaño o la cantidad de elementos en cierta área o volumen del elemento implicando que el analista debe estar consciente de esto para no generar cálculos innecesarios o soluciones erróneas.

Definir las propiedades físicas del elemento: se definen las propiedades físicas y mecánicas del elemento analizado.

Elaborar las matrices de rigidez: la matriz de rigidez se refiere a los desplazamientos en los nudos al ser aplicadas fuerzas en ellos ($k \cdot f = u$). El acople de las matrices de rigidez, implica la aplicación de equilibrio para toda la estructura (sumatorias de fuerzas y momentos).

Aplicación de las cargas y/o acciones: aplicar las fuerzas o cargas distribuidas o concentradas, verticales o laterales, así como los momentos externos de la estructura.

Especificar las condiciones de frontera: las condiciones de apoyo a las que está sometido el elemento (empotrado, articulado, libre, entre otras). Empleando los elementos de la frontera se pueden determinar las reacciones.

Solucionar los sistemas de ecuaciones lineales: el sistema de ecuaciones algebraicas obtenida tras el seguimiento de los pasos, nos conducen como incógnitas los desplazamientos nodales.

Calcular los esfuerzos: para concluir, el analista podrá calcular los esfuerzos, deformaciones u otra información requerida para su revisión. El post-procesador ayuda a visualizar la salida en forma gráfica.

1.1.4.2 Análisis con pushover (Análisis Estático No Lineal)

El análisis mediante pushover o análisis no lineal (nonlinear static procedure: NSP), surge como alternativa para los análisis dinámicos no lineales. Mediante este método se desarrolla para conocer la vulnerabilidad presente en las edificaciones al ser sometidos bajo cargas laterales, principalmente por sismo y viento. Consiste básicamente en aplicar, una carga lateral en la edificación monotónicamente creciente hasta alcanzar el desplazamiento o fuerza de corte basal definida.

Incorpora directamente características no lineales de la relación fuerza-deformación de los elementos y componentes estructurales de la respuesta inelástica del material, siendo representado comúnmente mediante la curva de capacidad de carga, la cual corresponde a la relación del cortante basal y el desplazamiento en el nivel superior de la estructura. (Portillo et al, 2011)

El análisis estático no lineal, consiste inicialmente en que actúen las cargas gravitacionales para producir deformaciones en la estructura, pasando posterior a las cargas laterales que serán incrementadas paso a paso en una dirección para producir la primera rotula plástica y presente una redistribución en la rigidez, siendo un proceso iterativo hasta lograr la falla total. (Rodríguez, 2013)

Para realizar un análisis estático no lineal o pushover es necesario contar con información de la estructura, las cuales son (Rodríguez, 2013):

- Características constitutivas de los materiales.
- Dimensión de las secciones de los miembros y el acero de refuerzo longitudinal y transversal.
- Cargas permanentes y variables que actúan en la estructura.
- La posible localización de donde se podría formar las rótulas plásticas en los miembros de la estructura.
- Propiedades de las relaciones tensión deformación de las rótulas plásticas en función del acero de refuerzo longitudinal y transversal.

Para el interés de esta tesis, se trabajó mediante los desplazamientos obtenidos en el capítulo 9.1.1 debido al dimensionamiento realizado en la estructura de la vivienda de estudio, se podrá conocer la forma de actuar de la estructura y su vulnerabilidad al colapso. Para ello se empleó el programa SAP2000 V14, el cual facilitara el proceso del análisis matricial, el mismo que incluye el análisis estático no lineal.

1.2 NORMATIVA VIGENTE PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En este capítulo se describe brevemente el criterio normativo empleado en el cálculo de las estructuras o elementos previstos en este documento. Debido a la localización de la comunidad de estudio, Pabellón de Hidalgo, se manejaron los criterios estructurales del Código Urbano con la reforma de marzo 12 de 2007, de igual forma se manejó las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, Libro 1 Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería con publicación en el Diario Oficial de la Federación en octubre 06 de 2004.

Ciertos criterios se tomaron del Código Municipal de Aguascalientes, esto debido a que el municipio de Rincón de Romos no cuenta con su propio Código Municipal.

Para la revisión estructural se tomaron las fórmulas y criterios del libro 1 Diseño y construcción de mampostería de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, revisando por cargas verticales, cortante y el método simplificado para cargas laterales.

Por otro lado, la revisión estructural se limitara a la estructura superior, es decir, no contemplara el estudio de mecánica de suelos, así como es estudio de la cimentación actual. Así mismo, no se incluye una revisión por flexocompresión debido a la limitada información acerca de la cantidad de acero presente en los elementos de confinamiento.

1.2.1 Carga viva y muerta

Las cargas actuantes de la estructura se dividen en muertas o permanentes y vivas o variables. Las cargas vivas se tomaron del Código Municipal de Aguascalientes, Capítulo X, Artículo 895. Para las Cargas permanentes se emplearon los pesos volumétricos de la estructura actuante, empleando los coeficientes de Artículo 886, Capítulo VIII, del mismo código.

La carga muerta o permanente la define el Código Municipal de Aguascalientes (Aguascalientes, 2013): "Se considerarán como cargas muertas los pesos de todos los elementos constructivos, los acabados y todos aquellos

elementos que ocupan una posición permanente en una edificación y que tienen un peso que no varía con el tiempo en forma significativa."

De igual modo, el Código Municipal de Aguascalientes en el artículo 893, determina carga viva como (Aguascalientes, 2013): "Se considerarán como cargas vivas aquellos pesos debidos al uso y ocupación de una construcción y que no tienen carácter permanente... no incluyen el peso de muros de mampostería ni de otros materiales de peso similar, ni el peso de muebles, equipos u objetos con peso fuera de lo común, tales como cajas fuertes de gran tamaño, bóvedas, archivo o libreros pesados, cortinajes o escenarios en salas de espectáculos, u objetos similares."

Tanto las cargas vivas como las muertas están afectadas por los factores de carga, según sea el caso, descrito en las Normas Técnicas Complementarias del D.F., 2004.

1.2.2 Análisis por cargas verticales

Para la revisión y análisis del estado de la vivienda a partir de las cargas verticales o compresión se tomaron los criterios de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, mismas que son aplicables a toda la República Mexicana.

Para el análisis de cargas verticales, se asume que las juntas y los elementos de piso tienen rotaciones provocadas por el aplastamiento del mortero. Esto es, que para muros que soportan losas, supone que la junta tiene capacidad rotatoria, considerándose entonces, una distribución de momentos en la unión del muro y la losa, la rigidez a flexión es nula en los muros, y los muros actúan solo axialmente. (Gobierno del D.F., 2004).

La resistencia a compresión resistente en muros confinados, se tomara a partir de la siguiente ecuación:

$$P_R = F_R \cdot F_E \cdot (f_m^* + 4) \cdot A_T$$

Ecuación 22

Donde:

P_R = Resistencia de diseño del muro a carga vertical.

F_R = Factor de resistencia.

F_R =

0.6

 Para muros confinados o reforzados interiormente.

F_R =

0.3

 Para muros no confinados ni reforzados interiormente.

F_E = Factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez.

F_E =

0.7

 Para muros interiores que soportan claros que no difieran en más del 50%.

F_E =

0.6

 Para muros extremos ó con claros que difieran en más del 50%.

Siempre y cuando:

e/c	$< \text{ó} =$	$t/6$
H/t	$< \text{ó} =$	20

f_m^* = Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, referida al área bruta.

A_T = Área bruta de la sección transversal del muro o segmento de muro, que incluye a los castillos.

Para lo cual, el muro será satisfactorio o cumplirá con los requisitos de carga al comparar la carga actuante con la que soporte el elemento.

1.2.3 Análisis por cargas laterales (sismo). Método simplificado

Las Normas Técnicas emplea diferentes tipos de análisis para cargas laterales, sin embargo se optó por emplear el análisis por método simplificado, así mismo se consideraron los siguientes requisitos que debe cumplir el edificio (Gobierno del D.F., 2004):

- “En cada planta, al menos el 75% de las cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre sí mediante losas u otros sistemas de piso. Dichos muros tendrán distribución sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales. Para que la distribución de muros pueda considerarse sensiblemente simétrica, se deberá cumplir en dos direcciones ortogonales, que la excentricidad torsional calculada estáticamente, es, no exceda del diez por ciento de la dimensión en planta del edificio medida

paralelamente a dicha excentricidad, b. La excentricidad torsional es podrá estimarse como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de las áreas efectivas de los muros, con respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área total de los muros orientados en la dirección de análisis.

$$F_{AE}=1.0 \quad \text{si } \frac{H}{L} \leq 1.33$$

$$F_{AE} = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2 \quad \text{si } \frac{H}{L} > 1.33$$

- La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excederá de 2.0, a menos que para fines de análisis sísmico se pueda suponer dividida dicha planta en tramos independientes cuya relación entre longitud y ancho satisfaga esta restricción y las que se fijan en el punto anterior.
- La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excederá de 1.5 y la altura del edificio no será mayor de 13.0 m".

1.2.3.1 Obtención de fuerzas laterales

En este apartado se describe de manera simplificada la obtención de las fuerzas laterales que actúan en cada entrepiso, mismas que están relacionadas con la masa actuante y el factor de comportamiento dinámico. A través de la siguiente ecuación se simplifica la obtención de las fuerzas laterales del entrepiso *i*.

$$F_i = \frac{C}{Q} \cdot W_i \cdot h_i \cdot \frac{\sum W_i}{\sum W_i \cdot h_i} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

- Fi= Fuerza lateral en cada entrepiso.
- C= Coeficiente sísmico.
- Q= Factor de comportamiento dinámico, independiente de T.

W_i = Peso de la i -ésima masa.

h_i = Altura de la i -ésima masa sobre el desplante.

1.2.3.2 Coeficiente sísmico

El código municipal de Aguascalientes define al coeficiente sísmico C , como: "el cociente de la fuerza cortante horizontal debida a sismo que actúa en la base de una estructura entre el peso de la construcción que se tiene por encima de dicho nivel" (Aguascalientes, 2013).

Tabla 6. Coeficientes sísmicos para Aguascalientes (Aguascalientes, 2013).

Zonas del Valle	Tipo de Terreno	
	I	II
Zonas de mediano y bajo riesgo	0.105	0.240

1.2.3.3 Factor de comportamiento dinámico

También llamado factor de comportamiento sísmico, puede tener los valores de 4.0, 3.0, 2.0, 1.5, 1.0, para diferentes requisitos tanto de construcción y/o materiales constructivos, como de su comportamiento dúctil ante cargas laterales.

Para el caso de este documento se empleó $Q=1.5$, que de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias, se utilizará cuando la resistencia a las fuerzas laterales es suministrada en todos los entrepisos por algunos de los siguientes elementos: a) muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior, b) por combinaciones de dichos muros, c) por marcos y armaduras de madera, d) por algunas estructuras de acero (Gobierno del D.F., 2004).

1.2.3.4 Centro de torsión

La excentricidad torsional de rigideces calculada en cada entrepiso, e_s , se toma como la distancia entre el centro de torsión del nivel correspondiente y el punto de aplicación de la fuerza cortante en dicho nivel.

Para ello se requiere conocer la rigidez de los muros de carga, la distancia del punto de aplicación de la torsión en los ejes ortogonales de los entrepisos y la excentricidad.

La obtención de la rigidez de los elementos estructurales actuantes se obtiene mediante la ecuación:

$$R_j = \frac{1}{\left(\frac{H^3}{3EI} + \frac{H}{GA}\right)} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

- H= Altura del entrepiso.
- E= Módulo de elasticidad de la mampostería.
- I= Momento de Inercia del i-ésimo muro.
- G= Módulo de rigidez medio.
- A= Área de la sección transversal del i-ésimo muro.

La distancia del punto de aplicación se obtuvo con las siguientes ecuaciones:

$$X_t = \frac{\sum (R_{jy} \cdot X_j)}{\sum R_{jy}} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$Y_t = \frac{\sum (R_{jx} \cdot Y_i)}{\sum R_{jx}} \quad \text{Ecuación 26}$$

Para la obtención del punto de aplicación de las fuerzas cortantes en cada nivel, se emplearon las siguientes fórmulas:

$$X_v = \frac{\sum (F_i \cdot X_i)}{V_i} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$Y_v = \frac{\sum (F_i \cdot Y_i)}{V_i} \quad \text{Ecuación 28}$$

Una vez obtenido tanto el punto de aplicación de la fuerza cortante, como el punto de aplicación torsionante, se calcula mediante las siguientes formulas la excentricidad:

$$e_s = Y_t - Y_v \quad \text{Direccion X} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$e_s = X_t - X_v \quad \text{Direccion Y} \quad \text{Ecuación 30}$$

Para fines de diseño, el momento torsionante se tomará por lo menos igual a la fuerza cortante de entrepiso multiplicada por la excentricidad que para cada marco o muro resulte más desfavorable.

$$e_1 = 1.5e_s + 0.1b \quad \text{Ecuación 31}$$

$$e_2 = e_s - 0.1b \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

e_s = Excentricidad en ambos sentidos.

b = Longitud total de la planta en el sentido X o Y.

Por tanto, los momentos se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$M_{t1} = V \cdot e_1 \quad \text{Ecuación 33}$$

$$M_{t2} = V \cdot e_2 \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

V = Cortante del piso inferior.

Una vez obtenido los valores anteriores, tomamos los efectos de cortante en cada muro; directo, torsional y la suma de ambos. Para ello se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$Y_{jt} = Y_j - Y_t \quad \text{Ecuación 35}$$

$$x_{jt} = x_j - x_t \quad \text{Ecuación 36}$$

$$\text{Directo} = \frac{V_x \cdot R_{jx}}{\sum R_{jx}} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\text{Torsión} = \frac{M_t \cdot R_{jx} \cdot Y_{jt}}{\sum R_{jx} Y_{jt}^2 + \sum R_{jy} X_{jt}^2} \quad \text{Ecuación 38}$$

$$\text{Total} = \text{Torsión} + \text{Directo} \quad \text{Ecuación 39}$$

Tanto el cortante directo como el torsional se manejó en números absolutos.

1.2.4 Análisis por cortante

Para la revisión por cortante, las Normas Técnicas Complementarias, define analizar el cortante en mampostería, castillos y cadenas, así como por la resistida por la malla colocada sobre el mortero.

Para el caso de la vivienda revisada en este documento, los muros no cuentan con malla de recubrimiento, por lo cual se despreció dicho análisis. De igual manera se desconoce la cantidad y capacidad del acero, por lo que tampoco se revisaron las cadenas y castillos.

Para la revisión de mampostería confinada la norma maneja la siguiente ecuación:

$$V_{mR} = F_{AE} \cdot F_R \cdot (0.5 \cdot V_m^* A_T + 0.3P) \leq 1.5 \cdot F_R \cdot V_m^* A_T \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

F_R = Factor de resistencia.

$F_R = 0.7$ De sección 3.1.4.3 de NTC-DF 2004.

F_{AE} = Factor de área efectiva de muros de carga.

$$F_{AE} = 1.0 \quad \text{si } \frac{H}{L} \leq 1.33$$

$$F_{AE} = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2 \quad \text{si } \frac{H}{L} > 1.33$$

H = Altura del entrapiso.

A_T = Área bruta de la sección transversal del muro o segmento de muro, que incluye a los castillos.

P = Carga axial total que obra sobre el muro, sin multiplicar por el factor de carga.

V_m^* = Resistencia de diseño a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga.

Tabla 7. Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería (Gobierno del D.F., 2004)

Pieza	Tipo de mortero	V_m^* MPa (kg/cm ²)
Tabique de barro recocido ($f_p \geq 6$ MPa. 60 kg/cm ²)	I	0.35 (3.5)
	II y III	0.30 (3.0)
Tabique de barro con huecos verticales ($f_p \geq 12$ MPa. 120 kg/cm ²)	I	0.30 (3.0)
	II y III	0.20 (2.0)
Bloque de concreto (pesado) ($f_p \geq 10$ MPa. 100 kg/cm ²)	I	0.35 (3.5)
	II y III	0.25 (2.5)
Tabique de concreto (tabicón) ($f_p \geq 10$ MPa. 100 kg/cm ²)	I	0.30 (3.0)
	II y III	0.20 (2.0)

La carga vertical P que actúa sobre el muro tiene cargas permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor, sin multiplicar por el factor de carga (Gobierno del D.F., 2004).

2. METODOLOGÍA

2.1 MONITORIZACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DE LA FALLA GEOLÓGICA

En este capítulo se describirá brevemente en qué consistió el control de las deformaciones relacionado a la falla geológica. En el tema 8.1.2.5, se describe a la falla con desplazamientos horizontales y verticales.

Para medir la deformación se emplearon fisurómetros, los cuales se definen como dos placas parcialmente superpuestas una sobre la otra formadas de resina acrílica. La placa superior está grabada con ejes ortogonales, mientras que la inferior está calibrada en milímetros en sistema cartesiano. El movimiento de la grieta se muestra en milímetros o fracciones y lo marca el movimiento de la cuadrícula respecto a la placa inferior, empezando a partir del valor inicial que resulta después de colocar las dos placas.

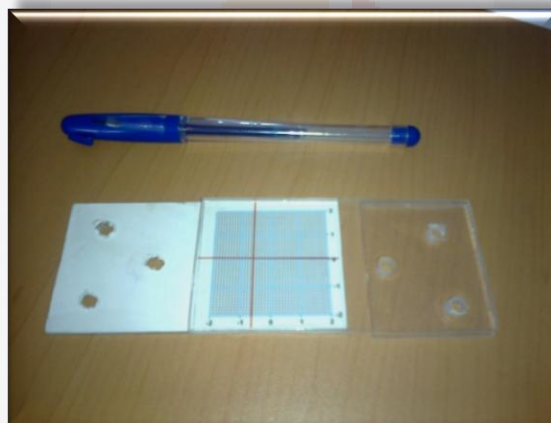


Figura 11. Fisurómetro

Los fisurómetros se colocan de manera horizontal, considerando desplazamientos horizontales y verticales. Se colocan un total de 17 piezas a lo largo de la falla geológica.

Son puestos con pijas y adhesivo sellador sobre elementos estructurales que previamente presentan agrietamiento producto de la discontinuidad. Esto con la finalidad de asegurar un desplazamiento a futuro.



Figura 12. Colocación del fisurómetro

2.2 PATOLOGÍA DE DAÑOS

2.2.1 Inspección del inmueble

La inspección del inmueble es la parte inicial para determinar los daños de la edificación. En el caso particular de este documento, se verificó que la vivienda estuviera afectada directamente por la falla geológica, y cumpliera con las frecuencias máximas en el proceso constructivo tomado en el censo.

Para una inspección del inmueble se tomaron los siguientes datos:

- Localización del inmueble.
- Número de niveles en la edificación.
- Determinar el proceso constructivo en muros, losas y marcos principalmente.
- De ser posible determinar el año de su construcción.
- Revisar los elementos como losas, muros y marcos y determinar si existe daño relacionado a la falla geológica.
- Tomar evidencia mediante un álbum fotográfico.

La información recabada se agrego a un registro general de las edificaciones dañadas, con la finalidad de determinar las frecuencias de los datos y establecer una potencial relación entre los mismos.

2.2.2 Control del fisuramiento en muros

Existen diversos criterios para monitorizar los daños en los elementos constructivos, principalmente de destaca por topografía, es decir determinación de los niveles de las deformaciones del piso, desplazamientos y plomadas de muros y deflexiones en la losa. Para el caso de esta tesis, se maneja el control del agrietamiento en muros de mampostería por medio de medición con láminas de control, vernier o pie de rey y flexómetro.

Las láminas de control, son láminas calibradas con diferentes espesores, las cuales presentan aproximación de diezmilésimos de centímetro (figura 13), son empleadas para determinar el ancho máximo de las grietas. Se pueden usar por separado o unir dos o más laminas para un ancho de grieta mayor.



Figura 13. Láminas de control

Sin embargo, las láminas de control solo son empleadas para anchos de grietas pequeños, ya que tienen la limitante de solo poder abarcar hasta un ancho de grieta máximo de 0.7455 cm. Para aberturas mayores, se empleó el vernier o pie de Rey. La diferencia de emplear el vernier, es que su aproximación es menor, llegando a las centésimas de centímetros, así como la limitación para acceder a algunos lugares (esquinas o filos).

Con la ayuda del flexómetro, se determinaron las longitudes de grieta, ubicación de la grieta dentro del mismo muro, así como dimensiones para obtener los ángulos de inclinación con respecto a la horizontal. Teniendo una aproximación de 1.0 milímetro. Las longitudes de grieta siguieron la línea de la fisura, es decir incluye la inclinación o curvaturas de las mismas.

Para medir los ángulos de la fisura se determinara a base de alturas y distancias a fin de determinar el ángulo por medio de funciones trigonométricas (figura 14).

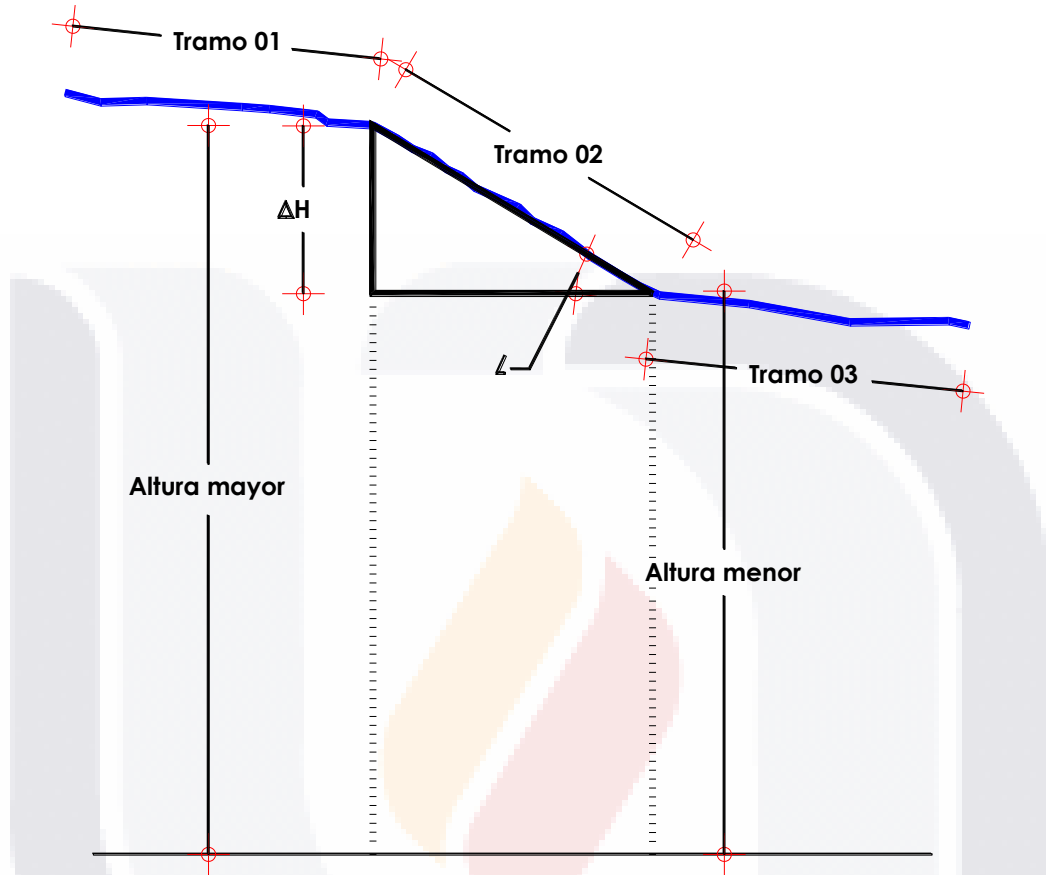


Figura 14. Determinación del ángulo de inclinación de la grieta de los muros

Por tanto obtenemos el ángulo de la grieta con las siguientes aseveraciones:

- Obtenemos la diferencia de alturas ΔH :

$$\Delta H = \text{Altura mayor} - \text{Altura menor} \quad \text{Ecuación 41}$$

- Obtenemos la dimensión de la hipotenusa, es decir la longitud donde permanece la misma inclinación de la grieta. En el caso de la figura 14, la dimensión del tramo 2.
- Se obtiene el ángulo α del tramo 2 con la siguiente expresión trigonométrica:

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta H}{\text{Longitud Tramo } 2} \right)$$

Ecuación 42

- Para obtener el ángulo de la fisura total, es ponderado según la longitud de cada tramo, es decir:

$$\alpha_{\text{Total}} = \left[\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot \text{Longitud tramo } i) \right] \div \text{Longitud Total de la grieta}$$

Con ello se obtendrá el ángulo promedio de grieta para cada una de ellas.

2.2.3 Criterio de evaluación de daños

Dentro de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, se maneja como pasos preliminares para la evaluación de las estructuras de mampostería dañadas los siguientes procesos (Gobierno del D.F., 2004).

- “Investigación y documentación de la estructura, incluyendo daños causados por sismos u otras acciones.
- Si es aplicable, clasificación del daño en cada elemento de la edificación (estructural y no estructural) según su severidad y modo de comportamiento.
- Si aplica, estudio de los efectos del daño en los elementos estructurales en el desempeño futuro de la edificación.
- Determinación de la necesidad de rehabilitar.”

Simultáneamente, las NTC, maneja magnitudes de daño en los elementos estructurales, dividiéndolo en 5 niveles (Gobierno del D.F., 2004):

- **Insignificante:** no afecta de manera notable la capacidad estructural (resistencia y deformación). La reparación será de superficial.
- **Ligero:** daña ligeramente la capacidad estructural. Se requieren reparación sencilla para la mayor parte de elementos.

- **Moderado:** afecta medianamente la capacidad estructural. La reparación de los elementos dañados depende del tipo de elemento y modo de comportamiento.
- **Severo:** el daño afecta significativamente la capacidad estructural. La reparación implica una amplia intervención, reemplazando el refuerzo en elementos.
- **Muy grave:** el daño ha deteriorado a la estructura, en este punto ya no es confiable, por lo que la rehabilitación y reparación consiste en el refuerzo de elementos, remplazo de otros elementos o la pérdida total de la estructura.

Es necesaria la evaluación de la capacidad estructural empleando el análisis estructural considerando deformaciones y la irregularidad de la estructura.

2.2.3.1 Clasificación de daños (Burland)

Para la clasificación de daños, se manejan principalmente 3 categorías según diversos autores (Universidad Politecnica de Catalunya, 2009):

- Daños que afectan la estética del edificio.
- Daños que afectan la funcionalidad y estado de servicio.
- Daños que afectan y amenazan la estabilidad estructural del edificio.

Burland (1977) presentó una clasificación de daños producidos en un edificio definiendo la severidad de los daños por medio del ancho de grietas. Se muestra el resumen de la información proporcionada en la tabla siguiente:

**Tabla 8 Clasificación de Burlan de los daños en edificaciones
(Universidad Politecnica de Catalunya, 2009)**

Categoría de daño	Clases de daños	Descripción de los daños	Anchura aproximada de grietas (mm) ¹
0	Inapreciable	Fisuras casi imperceptibles	< 0.1
1	Muy ligeros	Grietas Finas fácilmente reparables con pintura y decoración normal, ocasionalmente grietas mayores	< 1.0
2	Ligeros	Grietas que se pueden rellenar sin problemas. Fisuras ligeras en el interior de los edificios y visibles en el exterior.	< 5.0
3	Moderados	La reparación de las grietas supone trabajos importantes, se debe picar y rellenar con mortero, se presentan tanto en el interior como en el exterior.	5.0 a 15.0
4	Severos	Intensa reparación en tabiques, distorsión en marcos de puertas y ventanas, los suelos tienen apreciables inclinaciones. El edificio debe desalojarse.	15.0 a 25.0
5	Muy severos	La reparación puede suponer la reconstrucción parcial o completa del edificio. Las grietas afectan la estructura, pérdida de carga en vigas. Riesgo de inestabilidad y peligro de colapso.	> 25.0

¹ El ancho de grieta es únicamente un factor para asignar la categoría de daño, no es una medida directa del daño del edificio.

Sin embargo no solo serán empleados estos criterios en el análisis de la vivienda de estudio, sino que además se verificara la estabilidad estructural del inmueble haciendo uso de los desplazamientos obtenidos y a futuro para su control y refuerzo del mismo.



3. RESULTADOS

3.1 RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN DE AFECTACIONES POR FALLA GEOLÓGICA

Dentro de este capítulo se darán a conocer los datos obtenidos de las monitorizaciones a través de fisurómetros de acrílico transparente, separados y con marcas milimétricas, por lo que los resultados se basaran en ello y tendrán aproximación al 0.5 mm.

3.1.1 Datos obtenidos

A continuación se resumen en las tablas 9, 10, 11, 12 y 13 los resultados de la monitorización de la falla mediante los fisurómetros colocados a lo largo de los daños en las viviendas asociados a la actividad de la falla. La figura 15 muestra la localización de cada fisurómetro en la comunidad de Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes.

Tabla 9. Lecturas de monitorización

Punto	Localización	Elemento	Lectura	Fecha	Coordenadas	
					X	Y
PL-1	C. Francisco Zarco #505-A	Muro de tabique rojo recocido	0	07/02/2013	-0.50	-0.50
			1	20/02/2013	-0.50	-0.50
			2	16/03/2013	-0.50	-0.50
			3	12/04/2013	-0.50	0.00
			4	04/05/2013	-0.50	1.00
			5	28/06/2013	0.00	1.00
			6	24/07/2013	0.00	1.00
			7	29/08/2013	0.00	1.00
PL-2	C. Enrique Zúñiga #108 (Planta alta)	Muro de tabique rojo recocido con aplanado de mortero cemento-cal-arena	0	09/02/2013	0.50	-0.50
			1	23/03/2013	0.50	-0.50
			2	13/04/2013	0.00	0.00
			3	28/06/2013	-1.00	1.00
			4	24/07/2013	-1.00	1.00
			5	29/08/2013	-1.50	1.00

Tabla 10. Lecturas de monitorización (continuación)

Punto	Localización	Elemento	Lectura	Fecha	Coordenadas	
					X	Y
PL-3	C. Enrique Zúñiga #108 (Planta alta)	Muro de tabique rojo recocido con aplanado de mortero cemento-cal-arena	0	09/02/2013	-1.00	0.50
			1	23/03/2013	-1.00	1.00
			2	13/04/2013	-0.50	1.00
			3	28/06/2013	0.00	1.00
			4	24/07/2013	0.50	1.00
			5	29/08/2013	0.50	1.00
PL-4	C. Enrique Zúñiga #108 (Planta alta)	Muro de tabique rojo recocido con aplanado de mortero cemento-cal-arena	0	09/02/2013	1.00	1.50
			1	23/03/2013	1.00	1.50
			2	13/04/2013	0.50	1.50
			3	28/06/2013	0.50	2.00
			4	24/07/2013	0.50	2.00
			5	29/08/2013	0.50	2.00
PL-5	C. Enrique Zúñiga #108 (Planta alta)	Muro de tabique rojo recocido con aplanado de mortero cemento-cal-arena	0	09/02/2013	2.00	0.00
			1	23/03/2013	2.00	0.00
			2	13/04/2013	2.00	0.00
			3	28/06/2013	2.00	0.00
			4	24/07/2013	2.00	0.00
			5	29/08/2013	2.50	0.00
PL-6	C. Enrique Zúñiga #108 (Planta alta)	Muro de tabique rojo recocido con aplanado de mortero cemento-cal-arena	0	09/02/2013	-1.00	-1.00
			1	23/03/2013	-1.00	-1.00
			2	13/04/2013	-1.00	-1.00
			3	28/06/2013	-1.00	-2.00
			4	24/07/2013	-0.50	-2.00
			5	29/08/2013	0.00	-3.00
PL-7	C. Enrique Zúñiga #108 (Planta baja)	Muro de tabique rojo recocido con aplanado de mortero cemento-cal-arena	0	09/02/2013	-1.00	-1.00
			1	23/03/2013	-1.00	-1.00
			2	13/04/2013	-1.00	-1.00
			3	28/06/2013	-1.00	-2.00
			4	24/07/2013	-0.50	-2.00
			5	29/08/2013	0.00	-3.00

Tabla 11. Lecturas de monitorización (continuación)

Punto	Localización	Elemento	Lectura	Fecha	Coordenadas	
					X	Y
PL-8	C. Enrique Zuñiga #108 (Planta baja)	Muro de tabique rojo con aplanado de mortero cemento-cal- arena	0	09/02/2013	-0.50	0.00
			1	23/03/2013	0.00	0.50
			2	13/04/2013	0.00	1.00
			3	24/07/2013	0.50	1.00
			4	29/08/2013	0.50	1.50
PL-9	C. José Santos Villa #205	Muro de tabique rojo con aplanado de mortero cemento-cal- arena	0	18/03/2013	0.00	0.00
			1	12/04/2013	1.00	0.00
			2	04/05/2013	1.50	0.50
			3	24/07/2013	6.00	3.00
			4	29/08/2013	7.50	4.00
PL-10	C. José María Chico	Muro block de concreto pesado de 15x20x40	0	18/03/2013	0.00	-3.00
			1	13/04/2013	0.00	-3.00
			2	04/05/2013	0.00	-3.00
			3	28/06/2013	0.00	-3.00
			4	24/07/2013	0.00	-3.00
			5	29/08/2013	0.00	-3.00
PL-11	C. José María Chico	Muro block de concreto pesado de 15x20x40	0	18/03/2013	0.00	0.00
			1	13/04/2013	0.00	0.00
			2	04/05/2013	0.00	0.00
			3	28/06/2013	0.00	0.00
			4	24/07/2013	0.00	0.00
			5	29/08/2013	0.00	0.00
PL-12	C. 24 de Enero #125	Cimentación de mampostería a base de piedra braza con aplanado de mortero	0	09/02/2013	2.00	-1.50
			1	20/02/2013	3.00	-1.50
			2	06/03/2013	4.00	-1.00
			3	16/03/2013	4.00	0.00
			4	13/04/2013	4.00	0.50
			5	04/05/2013	4.00	1.50
			6	28/06/2013	4.00	5.00
			7	24/07/2013	5.00	5.00
			8	29/08/2013	5.00	5.00

Tabla 12. Lecturas de monitorización (continuación)

Punto	Localización	Elemento	Lectura	Fecha	Coordenadas	
					X	Y
PL-13	Museo de la Insurgencia (patio arco norte)	Cimentación de mampostería a base de piedra brasa con aplanado de mortero	0	09/02/2013	0.50	-3.00
			1	20/02/2013	1.00	-3.00
			2	06/03/2013	1.00	-3.00
			3	16/03/2013	2.00	-3.50
			4	12/04/2013	2.00	-3.50
			5	04/05/2013	2.00	-4.50
			6	28/06/2013	2.00	-9.00
			7	24/07/2013	2.00	-9.00
			8	29/08/2013	2.00	-10.00
PL-14	Museo de la Insurgencia (patio arco sur)	Cimentación de mampostería a base de piedra brasa con aplanado de mortero	0	09/02/2013	2.00	-1.00
			1	20/02/2013	2.00	0.50
			2	06/03/2013	2.50	1.50
			3	16/03/2013	2.50	1.50
			4	12/04/2013	2.50	2.00
			5	04/05/2013	2.50	2.50
			6	28/06/2013	2.50	6.00
			7	24/07/2013	3.00	8.00
			8	29/08/2013	3.00	9.00
PL-15	Museo de la Insurgencia (sala exposiciones norte)	Muro de adobe de sección de ancho de muro de 30 cm con aplanado de mortero de cal apagada	0	09/02/2013	2.00	0.00
			1	20/02/2013	2.00	0.00
			2	06/03/2013	3.00	-1.50
			3	16/03/2013	3.00	-1.50
			4	12/04/2013	3.00	-2.00
			5	04/05/2013	4.00	-2.00
			6	28/06/2013	4.00	-5.00
			7	24/07/2013	5.00	-9.00
			8	29/08/2013	5.00	-9.00

Tabla 13. Lecturas de monitorización (continuación)

Punto	Localización	Elemento	Lectura	Fecha	Coordenadas	
					X	Y
PL-16	Museo de la Insurgencia (sala exposiciones sur)	Muro de adobe de sección de ancho de muro de 30 cm con aplanado de mortero de cal apagada	0	09/02/2013	-0.50	-1.00
			1	20/02/2013	0.50	3.50
			2	06/03/2013	2.00	5.00
			3	16/03/2013	2.00	5.00
			4	12/04/2013	2.00	5.00
			5	04/05/2013	3.50	6.00
			6	28/06/2013	4.00	6.00
			7	24/07/2013	4.00	6.00
			8	29/08/2013	4.00	7.00
PL-17	Seminario Diocesano de Ags.	Guarnición de concreto simple	0	07/02/2013	-1.00	2.00
			1	16/03/2013	-1.00	3.00
			2	12/04/2013	-1.00	3.00
			3	28/06/2013	0.00	3.00
			4	24/07/2013	0.00	4.00
			5	29/08/2013	0.00	4.00

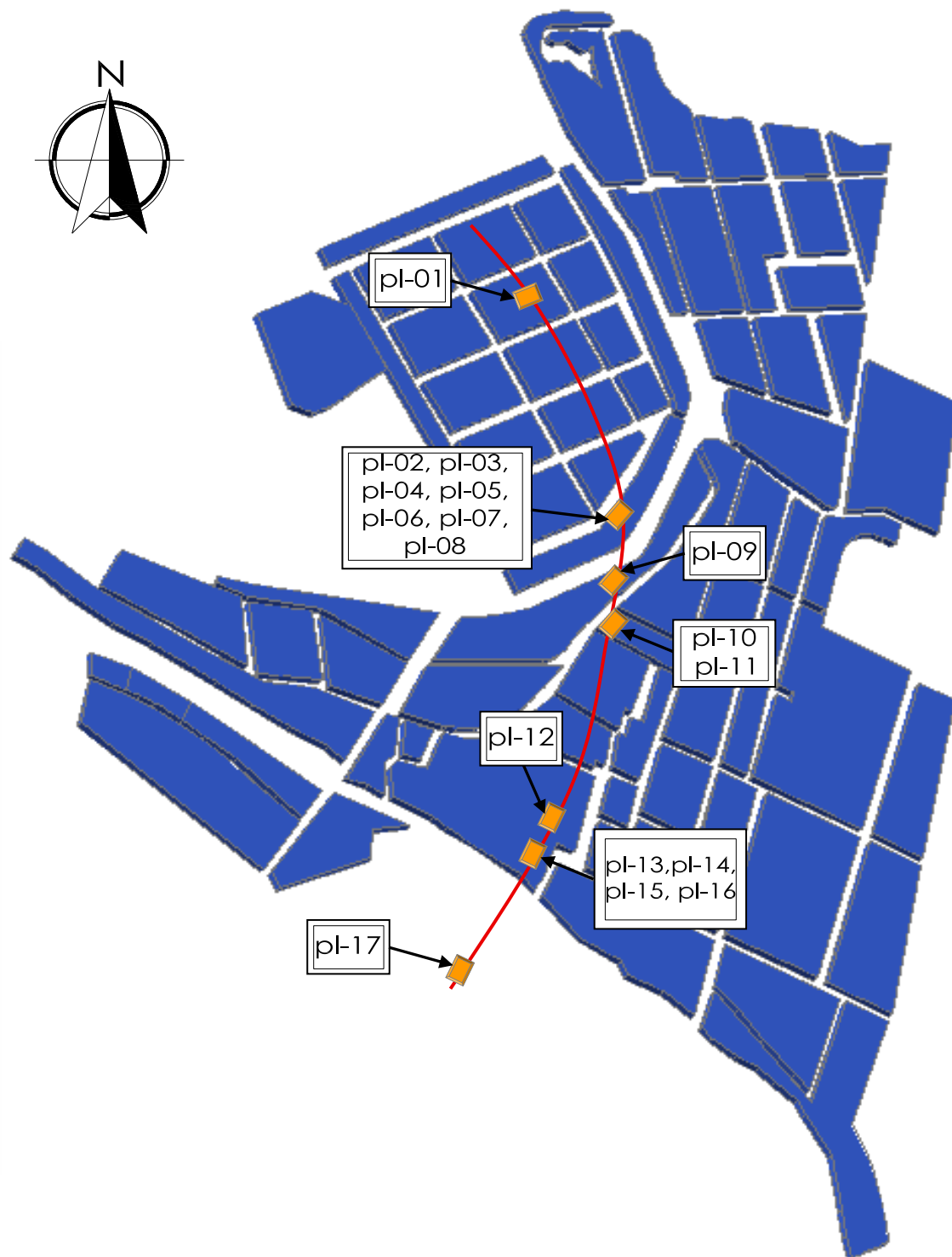


Figura 15. Localización de los fisurómetros en la comunidad de Pabellón de Hidalgo, Rincón de Romos, Aguascalientes

3.1.2 Análisis estadístico de los datos de desplazamientos

3.1.2.1 Fisurómetro PL-01

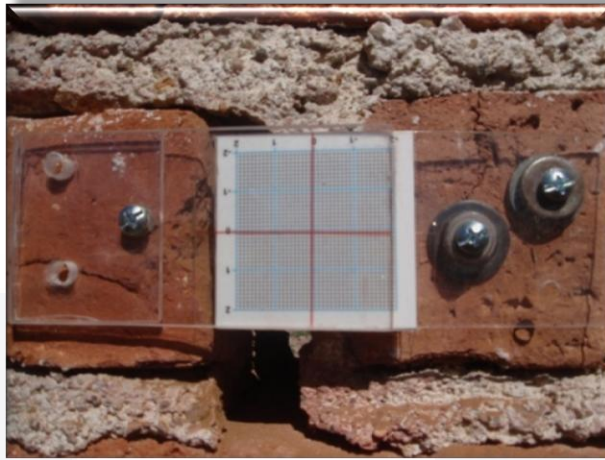
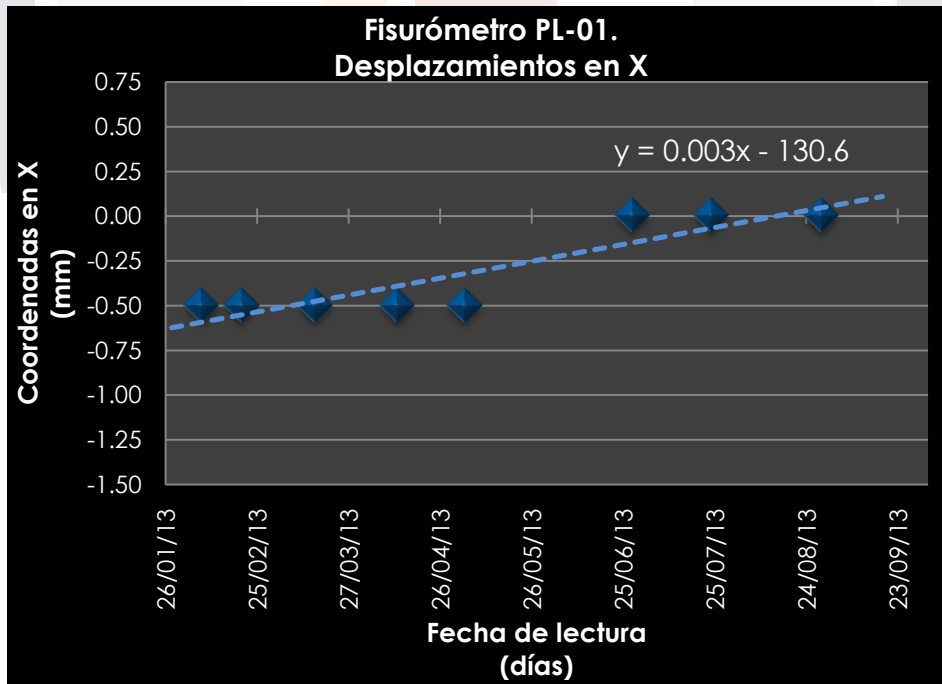


Figura 16. Fisurómetro PL-01

Fisurómetro localizado en el patio trasero de la finca ubicada en la calle Francisco Zarco # 505-A, con coordenadas UTM 2,455,244.35 m Norte, 774179.65 m Este, 1,949.14 m.s.n.m., a una altura del nivel de piso de 2.14 m, a centro de ejes. Colocada sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 14 cm de espesor, sin aplanado en ambas caras. Tomando una lectura inicial de (-0.5, -0.5) milímetros.



Grafica 9. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-01

Tabla 14. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-01

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.90580
Coefficiente de determinación R ² =	0.82048
Observaciones =	8

Dado un coeficiente de correlación lineal de 0.9058, se dice que el modelo tiene una fuerte correlación positiva de 90%. Ya que el coeficiente de determinación es de 0.8204, podemos decir que la recta de mínimos cuadrados se ajusta en un 82% al modelo.

Tabla 15. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-01

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.38460	0.38460	27.42293	1.94459E-03	0.00151
Residuos	6	0.08415	0.01402			
Total	7	0.46875				

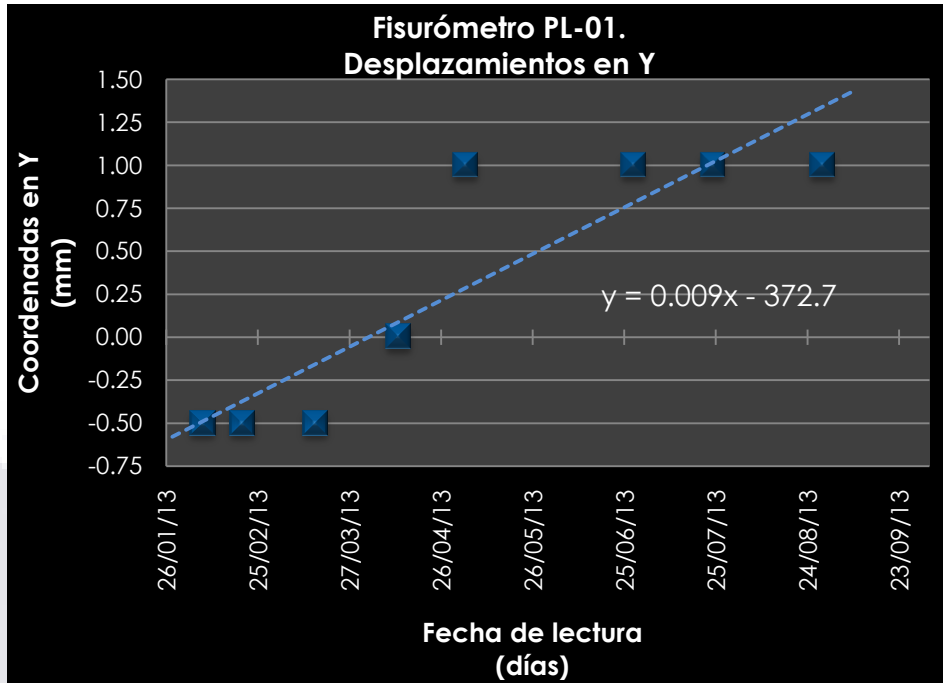
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2=8$ grados de libertad.

Debido a que $F_0 = 27.423 > F_c = 0.00194$, se rechaza la hipótesis H_0 , es decir que la variable fecha está relacionado linealmente con la variable desplazamiento horizontal, esta decisión es afirmada por el valor tan pequeño de la probabilidad p de 0.0015.



Gráfica 10. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-01

Tabla 16. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-01

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.89122
Coefficiente de determinación R ² =	0.79428
Observaciones =	8

Se dice que tiene una fuerte correlación positiva, debido al valor obtenido de 89% para el coeficiente de correlación. La recta de mínimos cuadrados se ajusta al modelo en un 79%, concluyendo que representa adecuadamente los datos.

Tabla 17. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-01

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	3.15230	3.15230	23.16594	2.96084E-03	0.00213
Residuos	6	0.81645	0.13607			
Total	7	3.96875				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2=8$ grados de libertad.

Debido a que $F_0 = 23.166 > F_c = 0.0029$, se rechaza la hipótesis H_0 , concluyendo que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y, el valor de $p = 0.00213$ al ser tan pequeño respaldan la decisión.

3.1.2.2 Fisurómetro PL-02

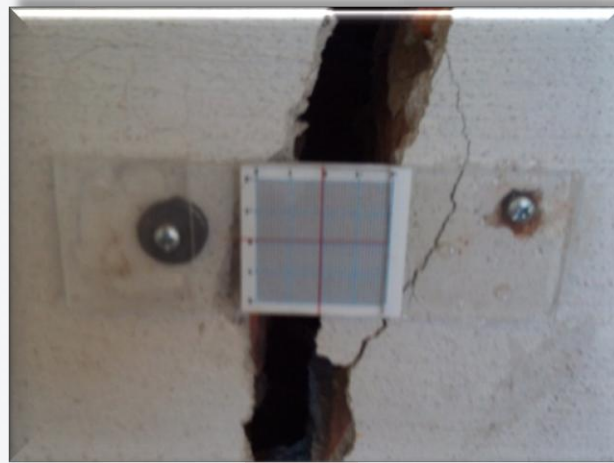
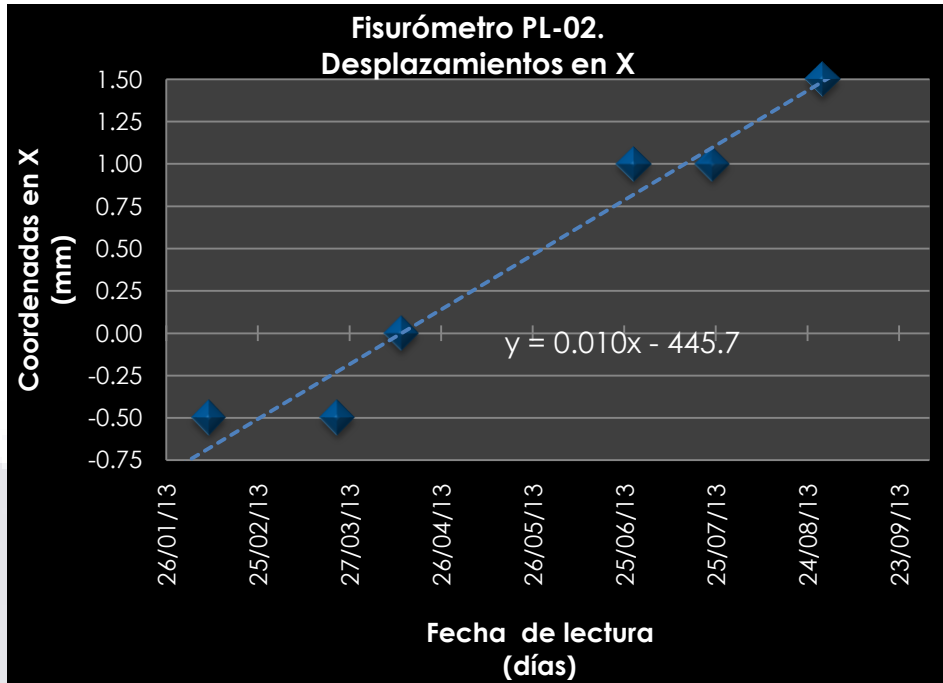


Figura 17. Fisurómetro PL-02

El fisurómetro se encuentra ubicado en el interior de la vivienda localizada en la calle Enrique Zúñiga # 108, con coordenadas UTM 2,455,013.27 m Norte, 774,275.03 m Este, 1,942.38 m.s.n.m., en planta alta, a una altura del nivel de piso de planta baja de 3.38 m, a centro de ejes. Colocada sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 14 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en ambas caras. Tomando una lectura inicial de (-0.5, -0.5) milímetros.



Grafica 11. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-02

Tabla 18. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-02

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.97961
Coefficiente de determinación R ² =	0.95964
Observaciones =	6

Se dice que tiene una correlación fuerte positiva o directa, debido al valor obtenido de 98% para r. El ajuste de la recta de mínimos cuadrados hacia el modelo es de 96%, concluyendo que se ajusta fuertemente a los valores.

Tabla 19. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-02

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	3.55865	3.55865	95.09896	6.19372E-04	0.00075
Residuos	4	0.14968	0.03742			
Total	5	3.70833				

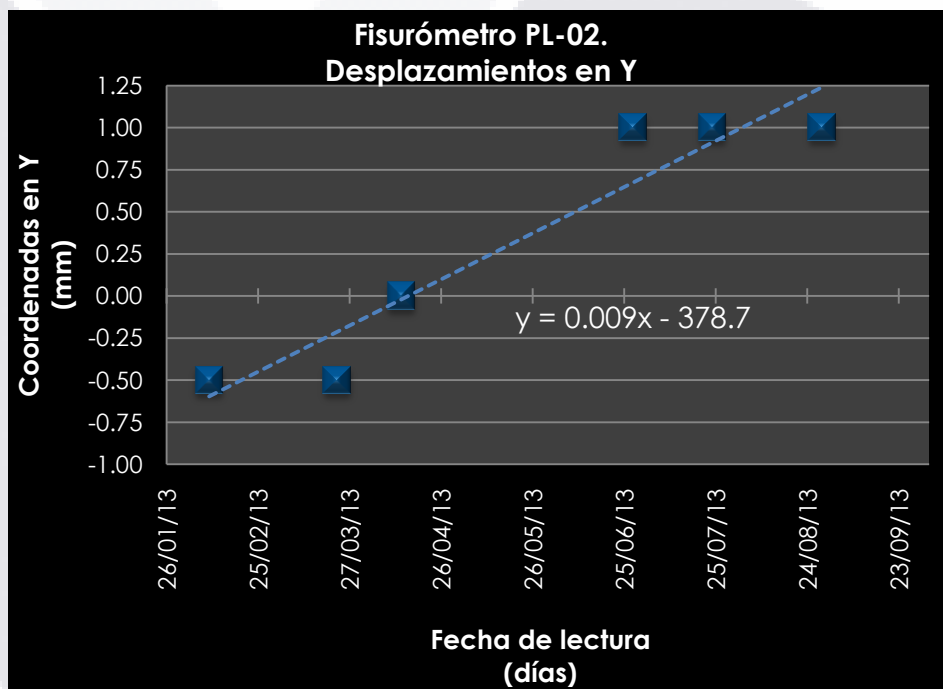
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

Ya que $F_0= 95.099 > F_c = 0.0006$, se rechaza la hipótesis H_0 , se afirma que la variable de fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en X para el fisurómetro PL-02, con el valor de $p = 0.00075$ se favorece la linealidad al ser pequeño.



Grafica 12. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-02

Tabla 20. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-02

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.95221
Coefficiente de determinación R^2 =	0.90670
Observaciones =	6

Al tener una correlación de 0.95, podemos decir que los datos se encuentran cerca de la linealidad en un 95%.

La recta se ajusta el modelo de mínimos cuadrados en un 90% representando un valor aceptable en el modelo.

Tabla 21. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-02

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	2.56899	2.56899	38.87344	3.37138E-03	0.00586
Residuos	4	0.26434	0.06609			
Total	5	2.83333				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1$, $v_2= 4$ grados de libertad.

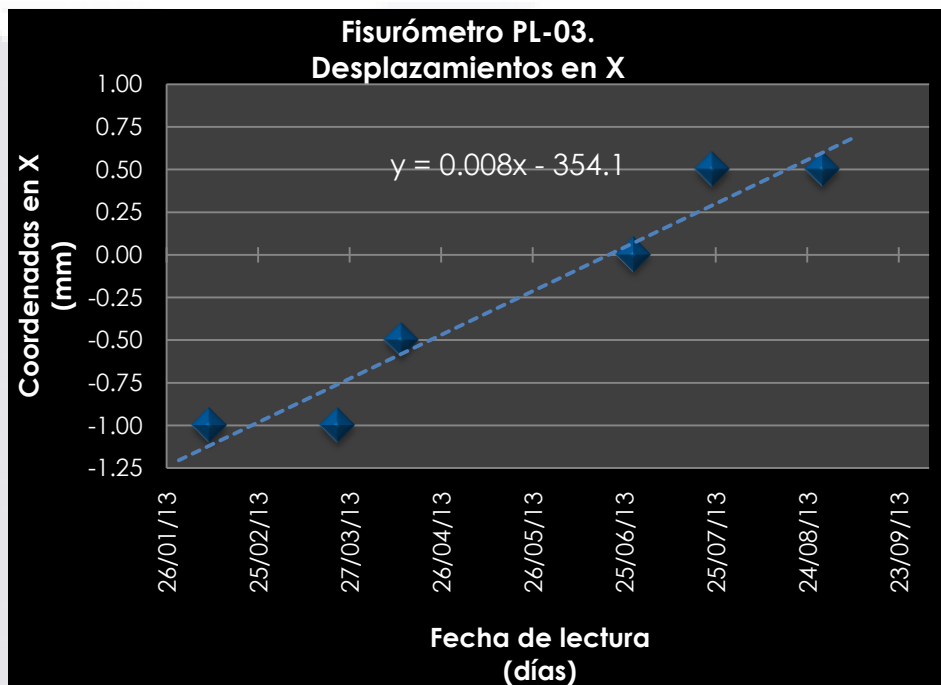
Ya que $F_0= 38.87 > F_c = 0.00337$, por lo tanto rechazamos la hipótesis H_0 , es decir, se asevera que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y para el fisurómetro PL-02, dado un valor de $p = 0.0058$, tan cercano a cero favorece el rechazo de la hipótesis H_0 .

3.1.2.3 Fisurómetro PL-03



Figura 18. Fisurómetro PL-03

El fisurómetro PL-03 se encuentra localizada en el interior de la vivienda de la calle Enrique Zúñiga # 108, cuyas coordenadas UTM son 2,455,010.00 m Norte, 774,276.53 m Este, 1,944.02 m.s.n.m., en planta alta, a una altura del nivel de piso de planta baja de 5.02 m, a centro de ejes de el fisurómetro. Colocada sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 14 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en la cara interior y sin aplanado en la cara exterior. La lectura inicial fue de (-1.0, 0.5) milímetros.



Grafica 13. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-03

Tabla 22 Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-03

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.97087
Coefficiente de determinación R ² =	0.94258
Observaciones =	6

En base a los resultados obtenidos del coeficiente de correlación igual a 0.97, podemos decir que los datos se aproximan a la linealidad en un 97%. La

recta de mínimos cuadrados se ajusta un 94% al modelo, teniendo la certeza de que se ajusta a los datos representativos.

Tabla 23. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-03

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	2.23863	2.23863	65.66578	0.00126	0.00139
Residuos	4	0.13637	0.03409			
Total	5	2.37500				

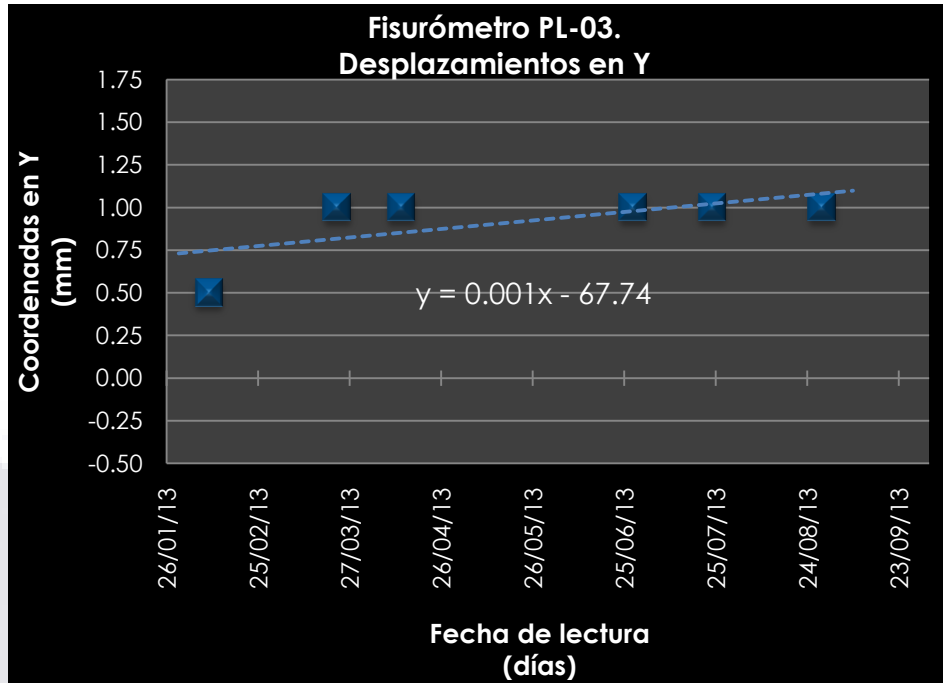
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

Debido a los valores de $F_0= 65.66 > F_c = 0.00126$, se rechaza la hipótesis nula H_0 , dicho de otra forma se prueba que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos X para el fisurómetro PL-03, así mismo al tener como valor de $p = 0.0014$, tan cercano a cero favorece el rechazo de la hipótesis H_0 .



Grafica 14. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-03

Tabla 24. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-03

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.63600
Coefficiente de determinación R ² =	0.40450
Observaciones =	6

Los valores obtenidos de la correlación nos da el indicio que la relación lineal es media con certeza del 63%. La recta se ajusta el modelo de mínimos cuadrados en un 40% siendo un valor de tipo medio-bajo para ser aceptado por el modelo.

Tabla 25 Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-03

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	0.08427	0.08427	2.71705	1.74627E-01	0.26580
Residuos	4	0.12406	0.03102			
Total	5	0.20833				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

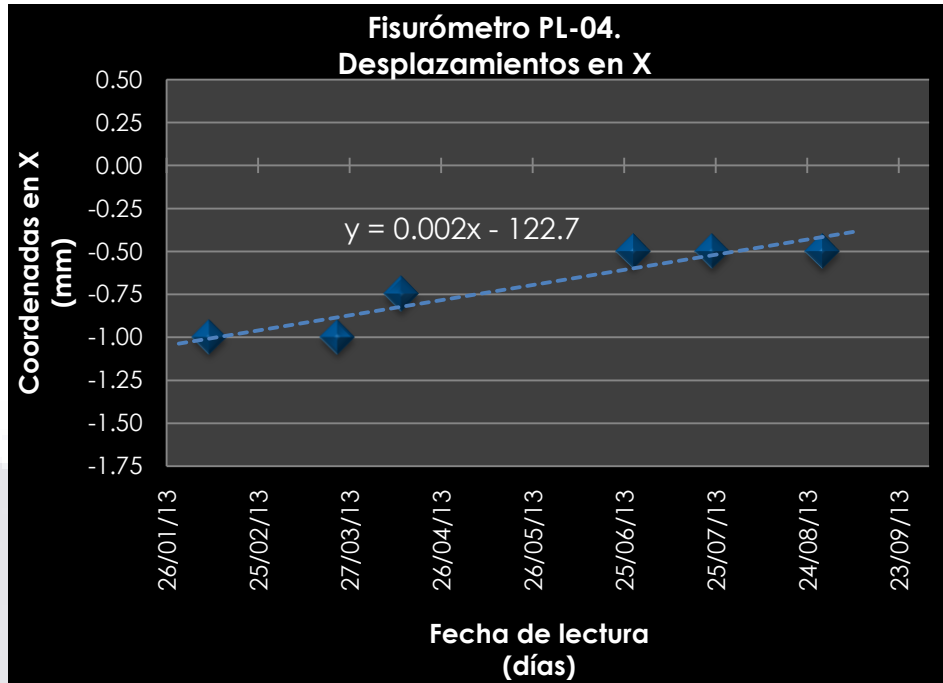
Debido a que $F_0= 2.71 > F_c = 0.0017$, por lo tanto rechazamos la hipótesis nula H_0 , es decir, se confirma que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y para el fisurómetro PL-03, para el valor de $p = 0.266$, no tan cercano a cero, la linealidad no coincide en un 26.58% para las variables X y Y.

3.1.2.4 Fisurómetro PL-04



Figura 19. Fisurómetro PL-04

El fisurómetro PL-04 se localiza en el interior de la vivienda en la calle Enrique Zúñiga # 108 en la planta alta, con coordenadas UTM 2,455,010.90 m Norte, 774,276.00 m Este, 1,944.01 m.s.n.m., a una altura del nivel de piso de planta baja de 5.01 m, a centro de ejes. Colocada sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 14 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en ambas caras. Su lectura inicial es de (1.00, 1.5) milímetros.



Grafica 15. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-04

Tabla 26. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-04

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.93859
Coefficiente de determinación R ² =	0.88095
Observaciones =	6

El coeficiente de correlación representa el 93.85 de linealidad en los datos muestreados, siendo favorable para el ajuste a través de una recta. La recta de mínimos cuadrados se ajusta el modelo en un 88.09% representando un valor aceptable en el modelo.

Tabla 27. Tabla ANOVA del desplazamiento Horizontal del Fisurómetro PL-04

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	0.26612	0.26612	29.59857	5.54135E-03	0.00517
Residuos	4	0.03596	0.00899			
Total	5	0.30208				

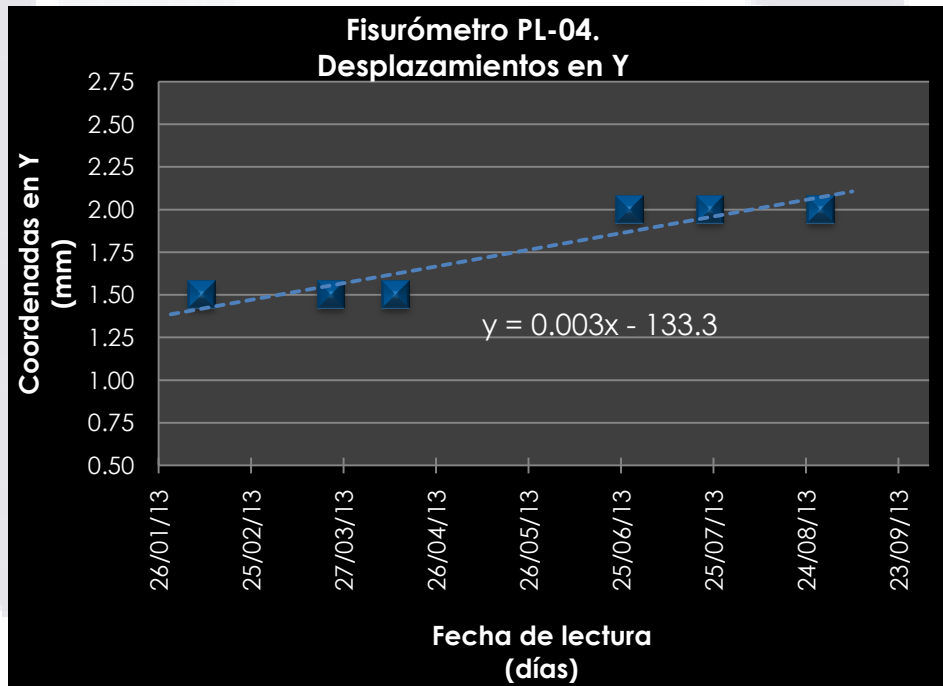
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

Con los datos obtenemos de prueba F el valor $F_0= 29.6$ siendo mayor al $F_c = 0.0055$, debido a esto rechazamos la hipótesis nula H_0 , por lo cual la variable de fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en X para el fisurómetro PL-04, con un valor $p = 0.0051$ cercano a cero favorece el rechazo de la hipótesis H_0 .



Grafica 16. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-04

Tabla 28. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-04

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.93256
Coefficiente de determinación R^2 =	0.86966
Observaciones =	6

El coeficiente de correlación obtenido, representa el 93% de que los datos se encuentran en linealidad. La recta de mínimos cuadrados se ajusta en un 87% aproximadamente a los valores de la muestra.

Tabla 29. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-04

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.32612	0.32612	26.68891	6.66975E-03	0.00613
Residuos	4	0.04888	0.01222			
Total	5	0.37500				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

Al obtener el estadístico $F_0= 26.69 > F_c = 0.0066$, por lo tanto rechazamos la hipótesis H_0 , con un nivel de significancia del 98%, es decir, se asevera que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y para el fisurómetro PL-04, comprobando con el valor $p = 0.0061$ próximo a cero sostiene el rechazo de la hipótesis H_0 .

3.1.2.5 Fisurómetro PL-05

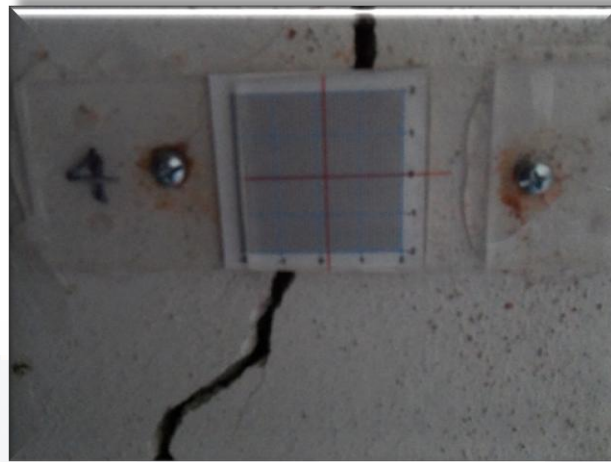
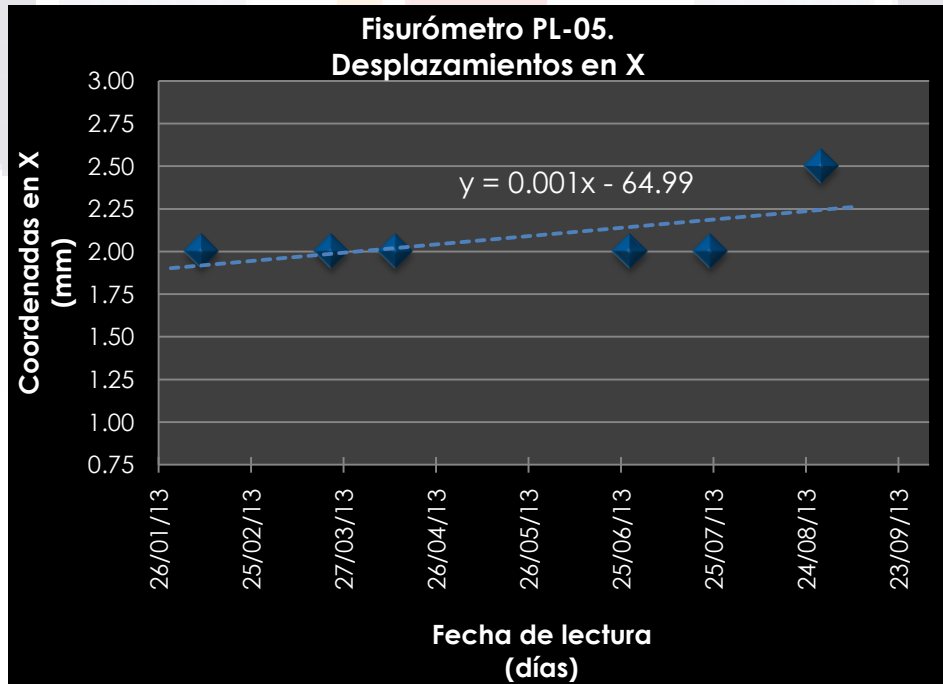


Figura 20. Fisurómetro PL-05

La localización del fisurómetro PL-05 es en el interior de la vivienda de la calle Enrique Zúñiga # 108, en la planta alta, con coordenadas UTM 2,455,017.07 m Norte, 774,274.52 m Este, 1,943.23 m.s.n.m., a una altura del nivel de piso de planta baja de 4.23 m, a centro de ejes. Colocada sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 14 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en ambas caras. La lectura inicial tomada es de (2.0, 0.0) milímetros.



Grafica 17. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-05

Tabla 30. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-05

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación =	0.62141
Coeficiente de determinación R ² =	0.38615
Observaciones =	6

El valor del coeficiente de correlación es media positiva con 0.621, por lo que la linealidad es del 62% de los datos de la muestra. La recta de mínimos cuadrados se ajusta el modelo en un 38% representando un valor bajo.

Tabla 31. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-05

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.08045	0.08045	2.51621	0.18787	0.30171
Residuos	4	0.12789	0.03197			
Total	5	0.20833				

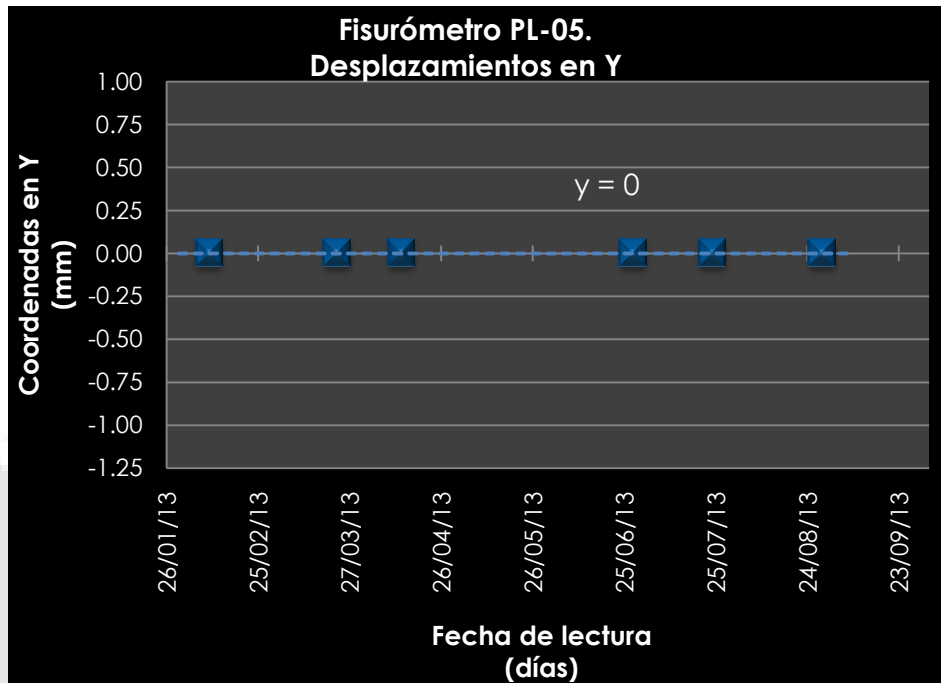
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

La obtención del estadístico $F_0= 2.51 > F_c = 0.187$, nos hace rechazar la hipótesis H_0 , la cual se prueba que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en X para el fisurómetro PL-05, dado de $p = 0.30$, cercano a cero favorece el rechazo de la hipótesis H_0 .



Gráfica 18. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-05

Tabla 32. Resultados Estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-05

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	1.00000
Coefficiente de determinación R ² =	1.00000
Observaciones =	6

Al tener un coeficiente de correlación y de determinación de 100%, nos indica que tanto la recta de mínimos cuadrados como el ajuste al modelo es en adecuado.

Tabla 33. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-05

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	0.00000	0.00000	-	-	0.00000
Residuos	4	0.00000	0.00000			
Total	5	0.00000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

No se puede determinar la certeza de la prueba de linealidad, ya que al no presentar desplazamientos en el sentido vertical, el ajuste de la recta es total, con el valor de p o probabilidad de cero.

3.1.2.6 Fisurómetro PL-06

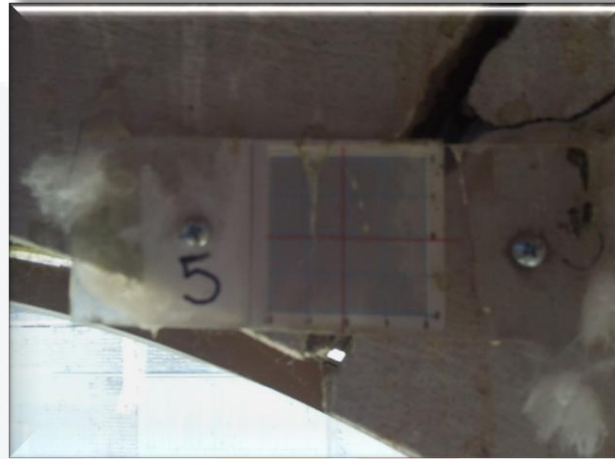
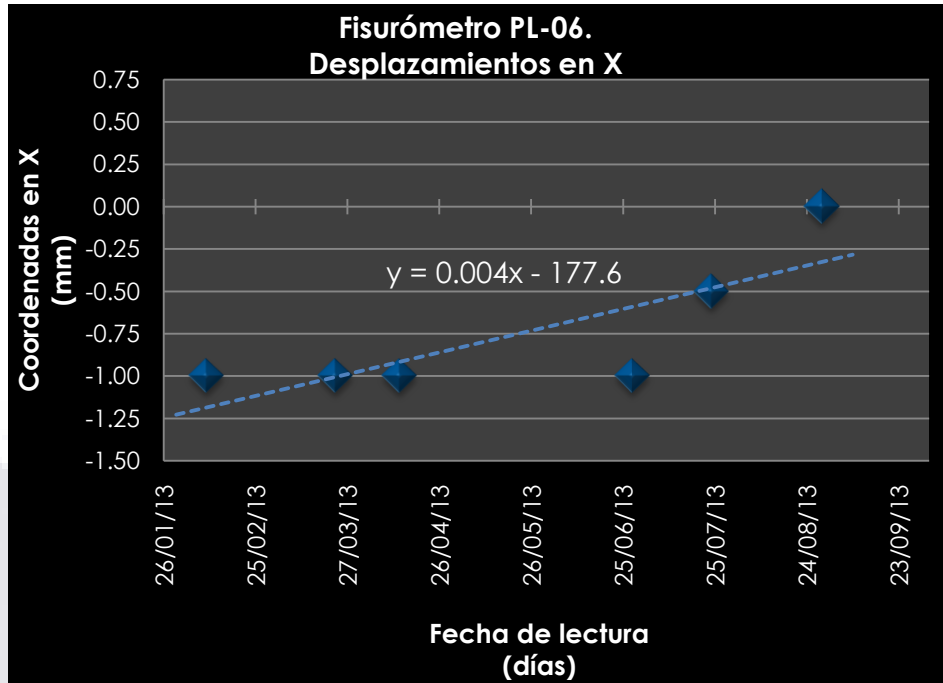


Figura 21. Fisurómetro PL-06

Se localiza el fisurómetro PL-06 en el interior de la vivienda de la calle Enrique Zúñiga # 108, con coordenadas del fisurómetro UTM 2,455,027.02 m Norte, 774,276.71 m Este, 1,944.12 m.s.n.m., en planta alta, a una altura del nivel de piso de planta baja de 5.12 m, a ejes. Esta posicionada sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 30 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en ambas caras. Tomando una lectura inicial de (-1.0, -1.0) milímetros.



Grafica 19. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-06

Tabla 34. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-06

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.79976
Coefficiente de determinación R ² =	0.63961
Observaciones =	6

El valor de la correlación refleja que los datos de la muestra tienen un 80% de linealidad positiva, con fuerte dependencia. La recta de mínimos cuadrados se ajusta al modelo en un 64%, siendo bajo pero aceptable para su finalidad.

Tabla 35. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-06

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	0.55966	0.55966	7.09908	0.05613	0.05449
Residuos	4	0.31534	0.07884			
Total	5	0.87500				

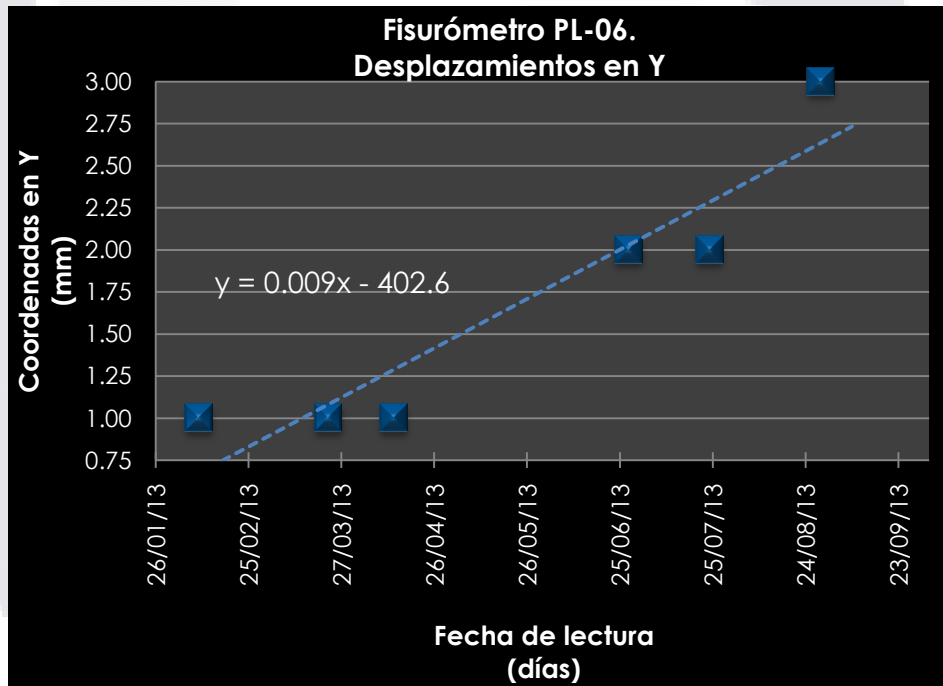
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

Obteniendo el valor del estadístico $F_0= 38.87$ y $F_c = 0.00337$, se rechaza la hipótesis nula H_0 , es decir, $F_0 > F_c$, por lo tanto la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en X para el fisurómetro PL-06, con el valor de $p= 0.05$ cercano a cero favorece el rechazo de la hipótesis H_0 .



Grafica 20. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-06

Tabla 36. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-06

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.93628
Coefficiente de determinación R ² =	0.87662
Observaciones =	6

Con el coeficiente de correlación de 0.93, se dice que existe una favorable linealidad de los datos muestreados de un 93%. La recta de mínimos se ajusta el modelo en un 88% representando un valor aceptable en el modelo.

Tabla 37. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-06

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	2.92207	2.92207	28.42053	5.96089E-03	0.00552
Residuos	4	0.41126	0.10282			
Total	5	3.33333				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

Obtenido el valor de $F_0= 28.42 > F_c = 0.00596$, se rechaza la hipótesis H_0 , por lo que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en desplazamientos en Y para el fisurómetro PL-06, adicionalmente teniendo el valor de $p = 0.0055$ próximo a cero favorece el rechazo de la hipótesis nula o H_0 .

3.1.2.7 Fisurómetro PL-07

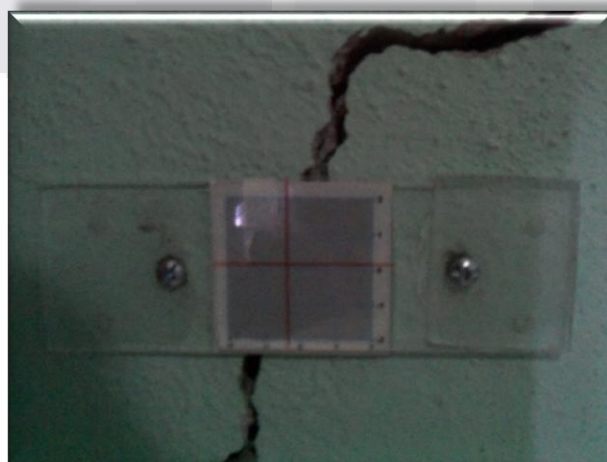
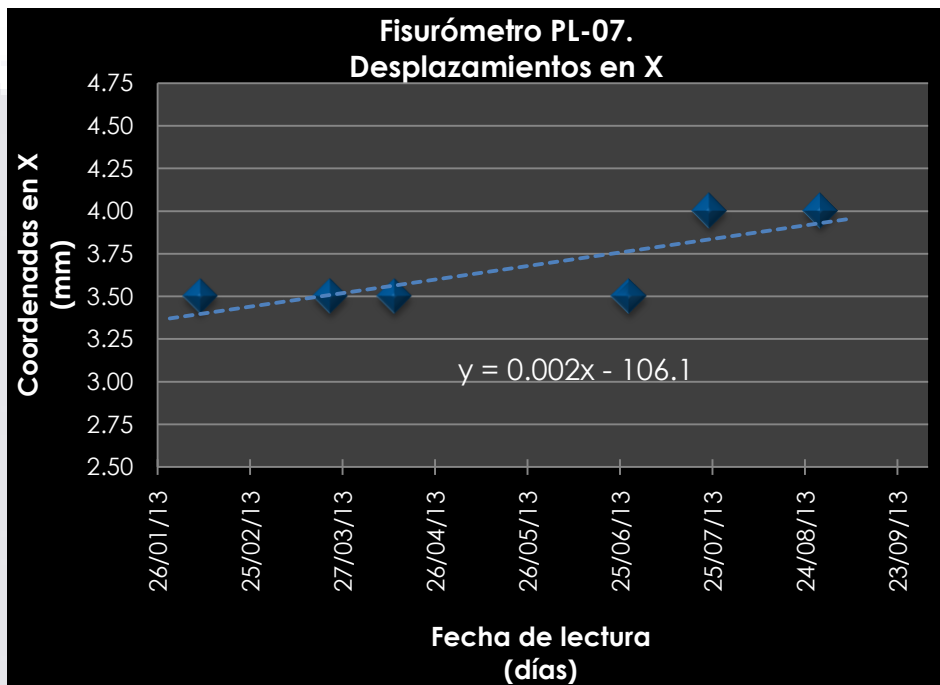


Figura 22. Fisurómetro PL-07

El fisurómetro PL-07 se encuentra ubicada en el interior de la vivienda de la calle Enrique Zúñiga # 108 en la primera habitación de la planta baja, con coordenadas UTM 2,455,024.52 m Norte, 774,274.52 m Este, 1,939.90 m.s.n.m., a una altura de 0.90 m, a ejes. Colocada sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 14 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en ambas caras. Tomando una lectura inicial de (3.50, 1.5) milímetros.



Grafica 21. Desplazamientos en el sentido horizontal de la fisurómetro PL-07

Tabla 38. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-07

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.80449
Coefficiente de determinación R ² =	0.64720
Observaciones =	6

La resultante de la correlación lineal en este punto es de 0.80, siendo un valor fuerte en la dependencia de las 2 variables que intervienen en la prueba.

La recta de mínimos se ajusta el modelo en un 64%, siendo un valor aceptable, sin embargo no es muy favorable para la proyección del modelo.

Tabla 39. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-07

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.21573	0.21573	7.33789	0.05360	0.05160
Residuos	4	0.11760	0.02940			
Total	5	0.33333				

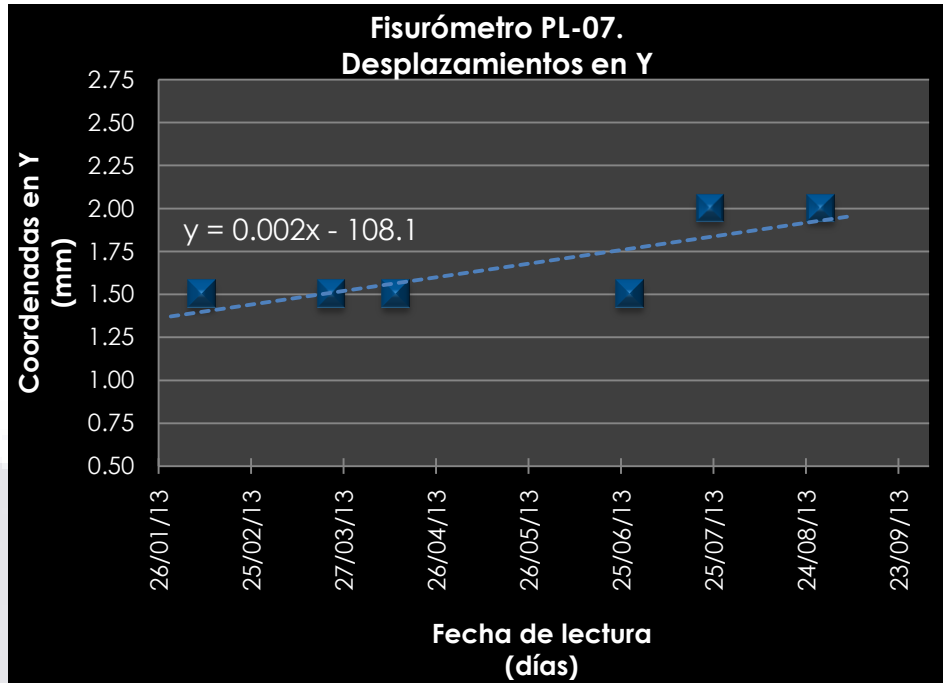
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

Con un nivel de significancia del 98% obtenemos el estadístico $F_0= 7.33 > F_c = 0.053$, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula H_0 , es decir, la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en X para el fisurómetro PL-07, así mismo, el valor de $p = 0.051$, afirma lo anterior.



Grafica 22. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-07

Tabla 40. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-07

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación =	0.80449
Coeficiente de determinación R ² =	0.64720
Observaciones =	6

El modelo de regresión se ajusta linealmente en un 80% con los datos de la muestra. Así mismo, la recta de mínimos cuadrados se ajusta al modelo en un 65%, siendo favorable mas no el idóneo para su análisis.

Tabla 41. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-07

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.21573	0.21573	7.33789	0.05360	0.05160
Residuos	4	0.11760	0.02940			
Total	5	0.33333				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

Dada la tabla 41 ANOVA el estadístico $F_0= 7.33 > F_c = 0.053$, nos hace rechazar la hipótesis H_0 o hipótesis nula, por lo tanto, la variable de Fecha o X está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y para el fisurómetro PL-07, con el valor de $p = 0.051$ no permite afirmar el rechazo de la hipótesis nula.

3.1.2.8 Fisurómetro PL-08

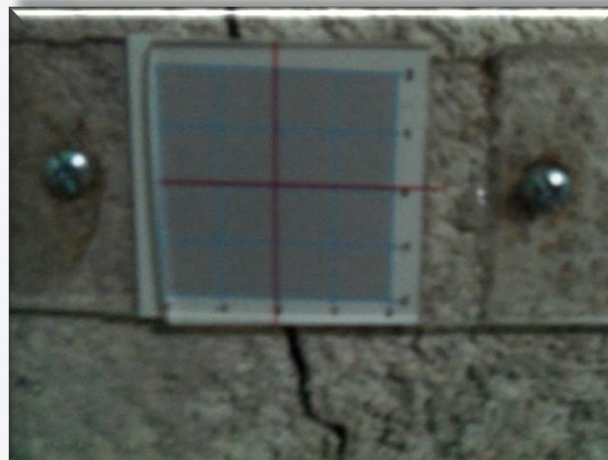
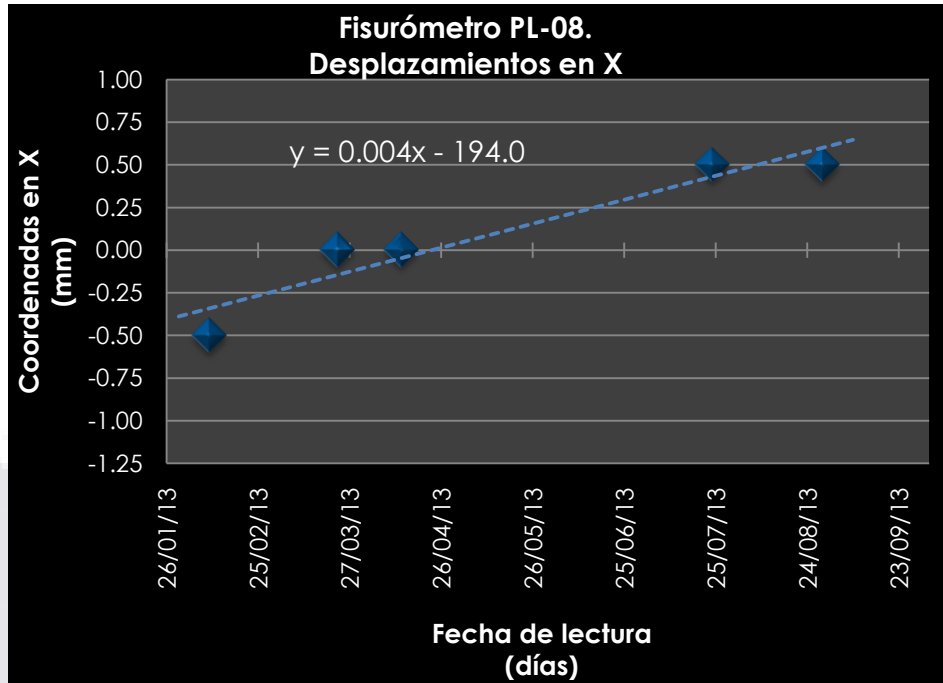


Figura 23. Fisurómetro PL-08

Es el séptimo fisurómetro colocada en la vivienda de la calle Enrique Zúñiga # 108, posicionada en la planta baja, con coordenadas UTM 2,455,013.50 m Norte, 774,272.41 m Este, y 1,940.06 m.s.n.m., colocada a una altura del nivel de piso de 1.06 m, a centro de ejes. Se ubico sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 14 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en la cara interior y sin aplanado en la cara exterior. Tomando una lectura inicial de (-0.5, 0.0) milímetros.



Grafica 23. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-08

Tabla 42. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-08

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación =	0.95398
Coeficiente de determinación R ² =	0.91008
Observaciones =	5

Al tener una correlación de 0.95, podemos decir que los datos se encuentran cerca de la linealidad en un 95%. Además la recta de mínimos se ajusta favorablemente al modelo en un 91% de los datos.

Tabla 43. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-08

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	0.63706	0.63706	30.36385	0.01177	0.01107
Residuos	3	0.06294	0.02098			
Total	4	0.70000				

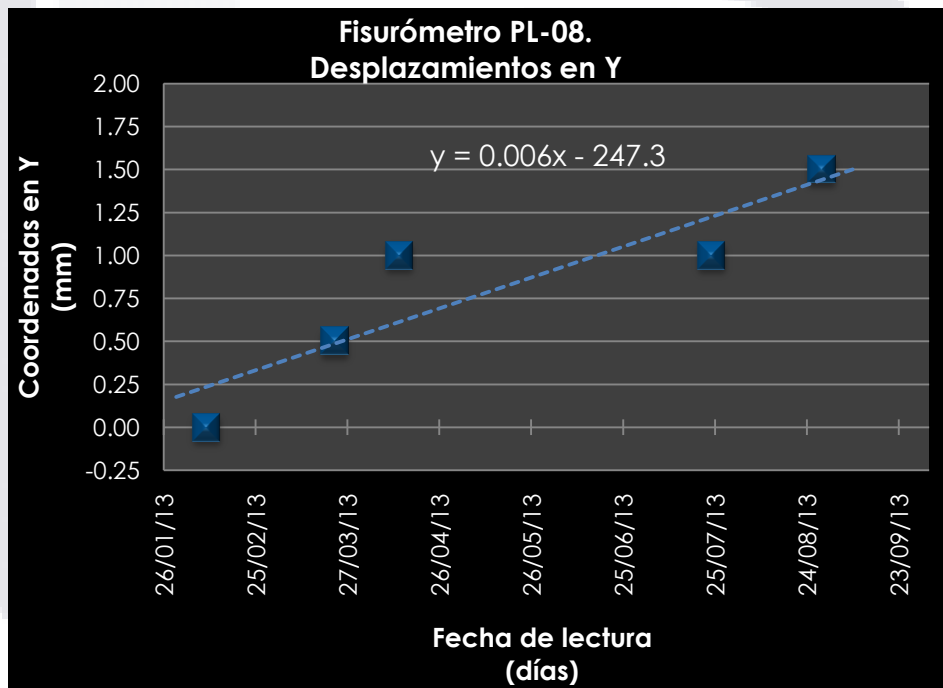
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 3$ grados de libertad.

El estadístico F para esta muestra es de $F_0= 30.36 > F_c = 0.0117$, para un nivel de significancia del 98%, por lo tanto rechazamos la hipótesis H_0 , es decir, la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en X para el fisurómetro PL-08, además dado un valor de $p = 0.011$, tan pequeño o cercano a cero acierta en el rechazo de la hipótesis H_0 .



Grafica 24. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-08

Tabla 44. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-08

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.89474
Coefficiente de determinación R ² =	0.80056
Observaciones =	5

La linealidad entre las variables X y Y es de un 89% dado en el coeficiente de correlación, así mismo, con el coeficiente de determinación se determina que existe un fuerte ajuste en la línea de mínimos cuadrados al modelo en un 80%.

Tabla 45. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-08

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	1.04073	1.04073	12.04242	4.03399E-02	0.03858
Residuos	3	0.25927	0.08642			
Total	4	1.30000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 3$ grados de libertad.

Ya que $F_0 = 12.04 > F_c = 0.0403$, se rechaza la hipótesis nula H_0 , afirmando que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y para el fisurómetro PL-08, además, dado un valor de $p = 0.038$, nota la afirmación del rechazo de la hipótesis nula.

3.1.2.9 Fisurómetro PL-09

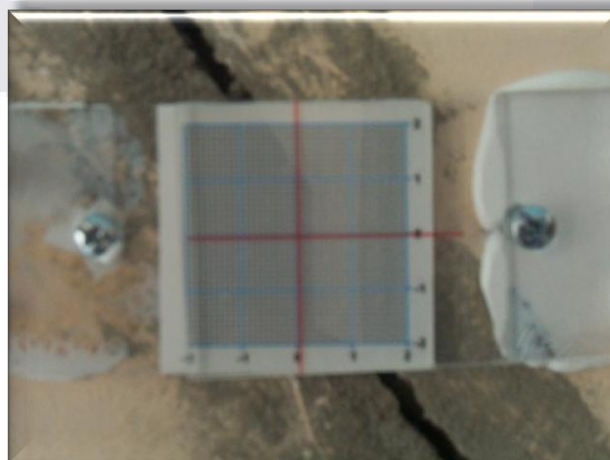
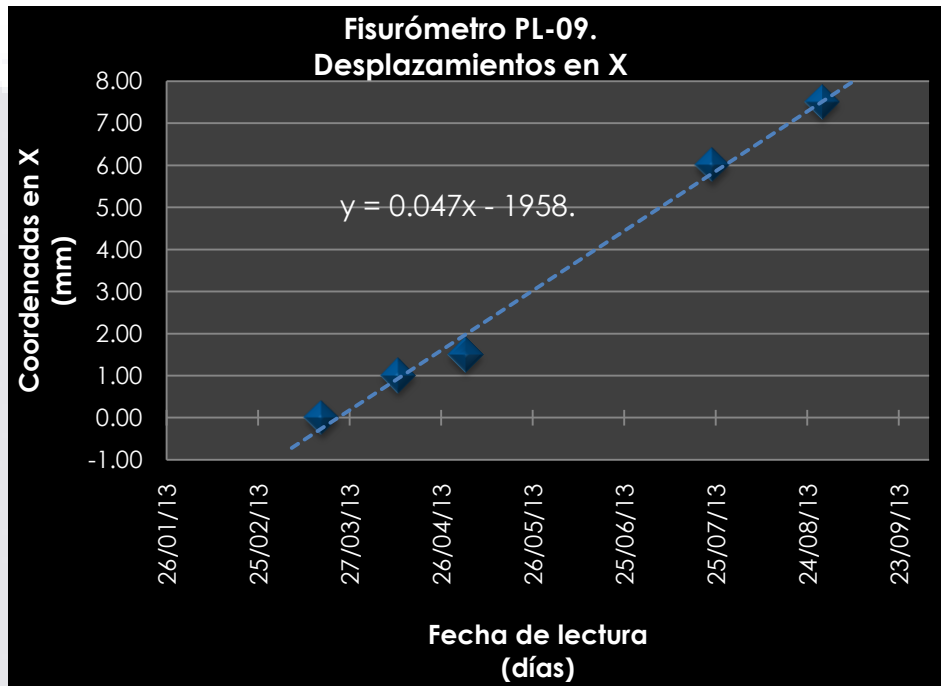


Figura 24. Fisurómetro PL-09

En el interior de la vivienda localizada en la Calle José Santos Villa # 205 se encuentra posicionada el fisurómetro PL-09 con coordenadas UTM 2,454,894.54 m Norte, 774,250.37 m Este, 1,936.62 m.s.n.m., a una altura del nivel de piso de 1.62 m, a centro de ejes. Fue colocada sobre muro de tabique rojo recocido 7x14x28 cm de 14 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en ambas caras. Fue tomada la lectura inicial de (0.0, 0.0) milímetros.



Grafica 25. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-09

Tabla 46. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-09

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.99628
Coefficiente de determinación R ² =	0.99257
Observaciones =	5

Los cinco datos tomados de las lecturas proyectaron un coeficiente de correlación de 99%, siendo un alto valor para determinar la linealidad de los

datos. Al igual el tener el coeficiente de determinación mayor al 99%, nos indica que la recta de mínimos se ajusta fuertemente a los datos del modelo.

Tabla 47. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-09

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	43.97107	43.97107	401.03396	0.00027	0.00034
Residuos	3	0.32893	0.10964			
Total	4	44.30000				

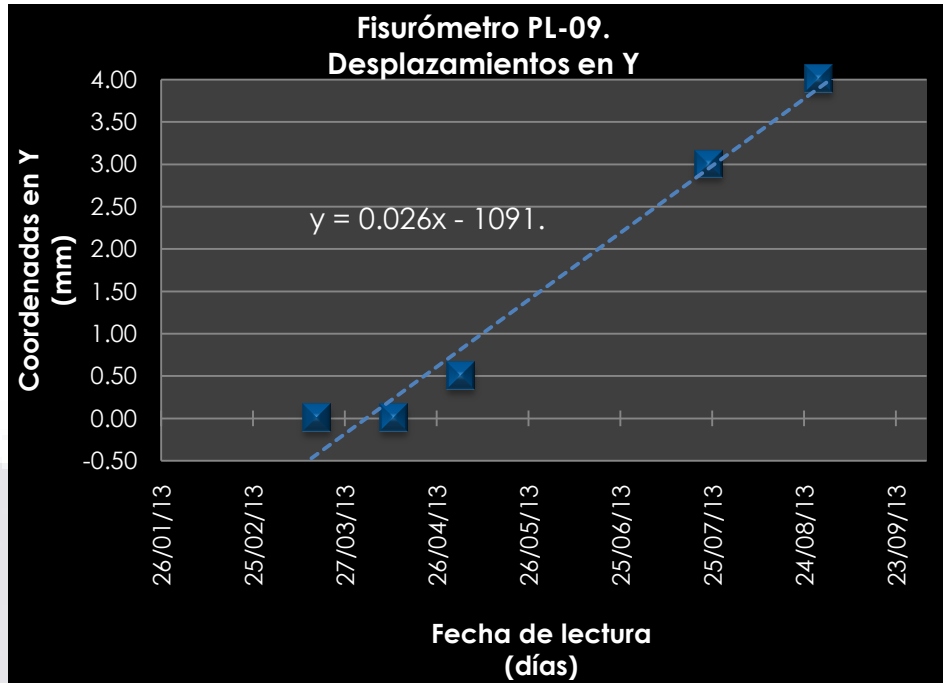
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 3$ grados de libertad.

Para el valor estadístico de $F_0= 401.03 > F_c = 0.0002$, se rechaza la hipótesis nula H_0 , dicho entonces la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en X para el fisurómetro PL-09, además al tener el valor de $p = 0.0003$ con proximidad a cero muestra que es correcto el rechazo de la hipótesis H_0 .



Grafica 26. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-09

Tabla 48. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-09

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación =	0.98754
Coeficiente de determinación R ² =	0.97523
Observaciones =	5

En este modelo se obtuvo un valor alto para el coeficiente de correlación y de determinación, 0.987 y 0.975 respectivamente, dado esto podemos decir que los datos obtenidos son lineales en un 99%, así mismo la recta elaborada de mínimos cuadrados se ajusta al modelo en un 98%

Tabla 49. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-09

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	13.65327	13.65327	118.13331	1.66661E-03	0.00177
Residuos	3	0.34673	0.11558			
Total	4	14.00000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 3$ grados de libertad.

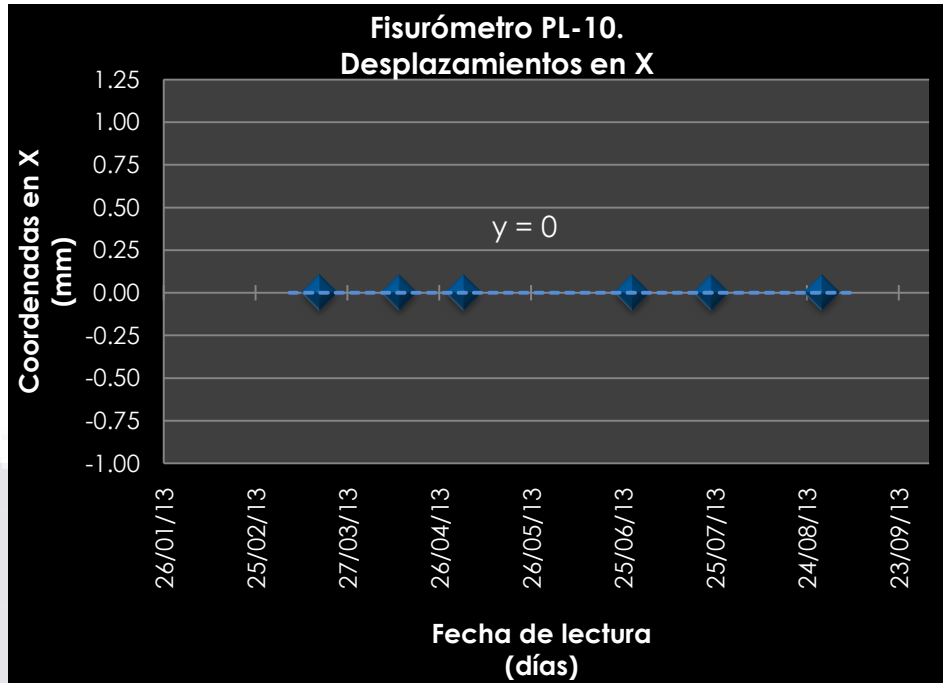
Con los valores $F_0= 118.13 > F_c = 0.00166$, rechazamos la hipótesis nula H_0 , es decir que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y para el fisurómetro PL-09, además dado un valor de $p = 0.0017$ próximo a cero afirma esta decisión.

3.1.2.10 Fisurómetro PL-10



Figura 25. Fisurómetro PL-10

El fisurómetro PL-10 se encuentra al exterior en una huerta localizada en la Calle José María Chico # 108, sus coordenadas UTM son: 2,454,861.85 m Norte, 774,233.01 m Este, 1,934.43 m.s.n.m., a una altura del nivel de piso de jardín de 0.43 m, a ejes. Colocada sobre muro de block de concreto pesado de 20x40x60 cm de 20 cm de espesor, sin aplanado en la cara interior y con aplanado de mortero cemento-cal-arena en la cara exterior. La lectura inicial es de (0.0, -3.0) milímetros.



Gráfica 27. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-10

Tabla 50. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-10

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	1.00000
Coefficiente de determinación R ² =	1.00000
Observaciones =	6

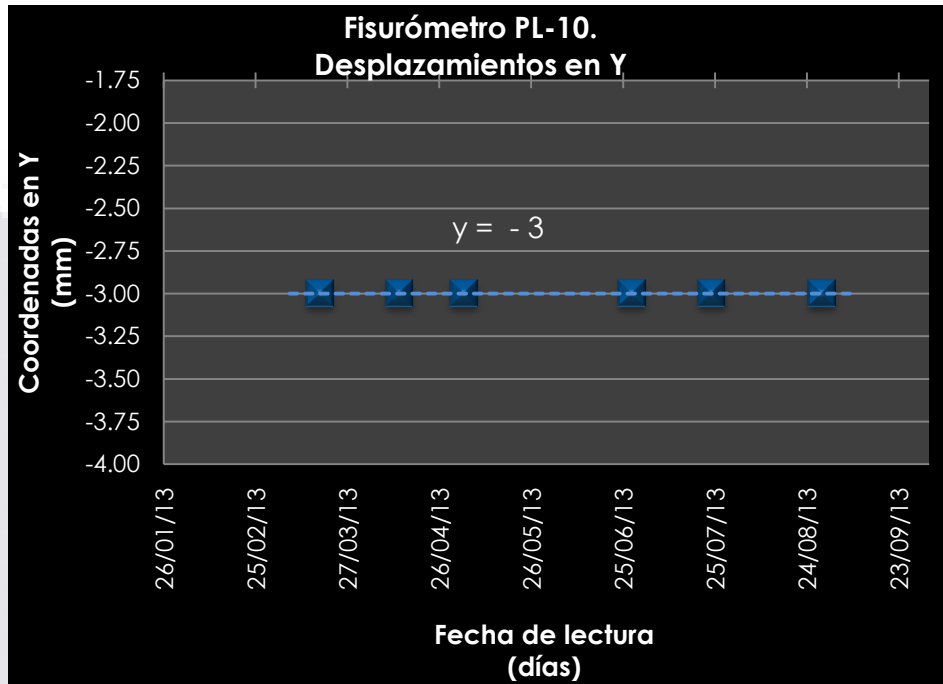
Tanto el coeficiente de correlación como el coeficiente de determinación son igual a la unidad, lo que indica que tanto los datos son lineales, así como la recta está ajustada en un 100% al modelo.

Tabla 51. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-10

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	0.00000	0.00000	-	-	0.00000
Residuos	4	0.00000	0.00000			
Total	5	0.00000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

No es posible realizar la prueba de hipótesis para la pendiente, ya que la recta es uniforme y su pendiente no varía con la variable de fecha (en días), arrojando datos erróneos para el estadístico F.



Grafica 28. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-10

Tabla 52. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-10

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación =	1.00000
Coeficiente de determinación R ² =	1.00000
Observaciones =	6

Los 6 datos obtenidos durante la monitorización nos arrojaron una linealidad al 100%, así como una línea de regresión múltiple que se ajusta al modelo en un 100%, dicho de otra forma, la variable Y no es afectada por la variable X, sino que permanece constante para Y=3.0 milímetros.

Tabla 53. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-10

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.00000	0.00000	-	-	0.00000
Residuos	4	0.00000	0.00000			
Total	5	0.00000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

Para los desplazamientos verticales de este fisurómetro, no es posible la realización de la prueba de hipótesis para la pendiente de la recta de mínimos cuadrados, ya que al permanecer constante no tiene inclinación y es erróneo el empleo del estadístico F.

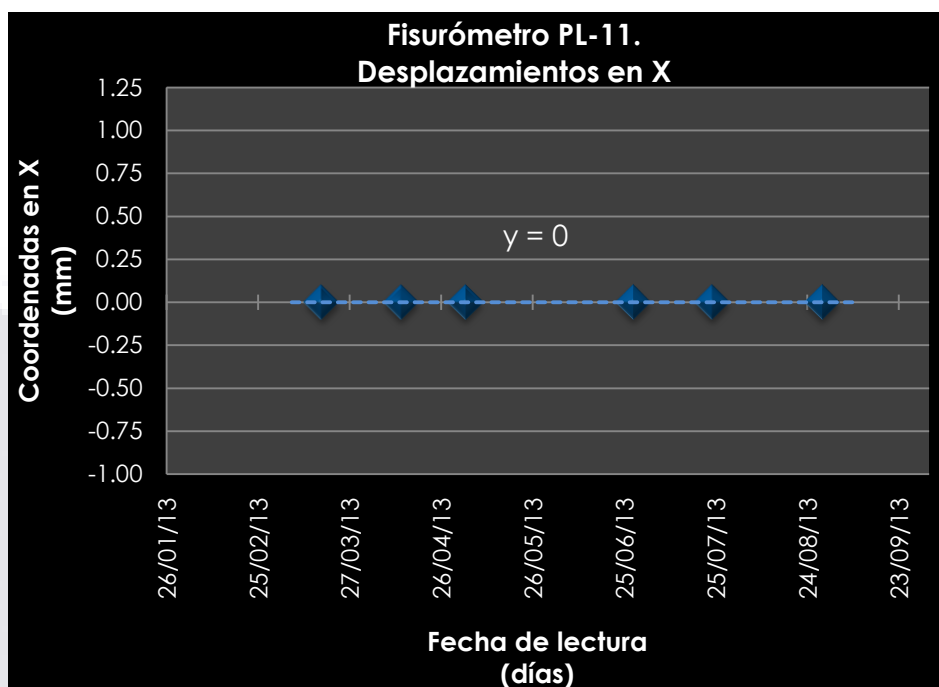
3.1.2.11 Fisurómetro PL-11



Figura 26. Fisurómetro PL-11

El fisurómetro PL-11 se encuentra al exterior dentro del inmueble localizado en una huerta de la Calle José María Chico, con coordenadas UTM 2,454,861.31 m Norte, 774,230.75 m Este, 1,935.40 m.s.n.m., a una altura del nivel de piso de 1.40 m, medido del piso interior al centro de ejes del fisurómetro. Posicionada sobre muro de block de concreto pesado 15X20X40 cm de 15 cm de espesor, con aplanado de mortero cemento-cal-arena en la cara externa y

son aplanado en la cara interna o donde se posiciona el fisurómetro. Tomando una lectura inicial de (0.0, 0.0) milímetros.



Grafica 29. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-11

Tabla 54. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-11

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	1.00000
Coefficiente de determinación R ² =	1.00000
Observaciones =	6

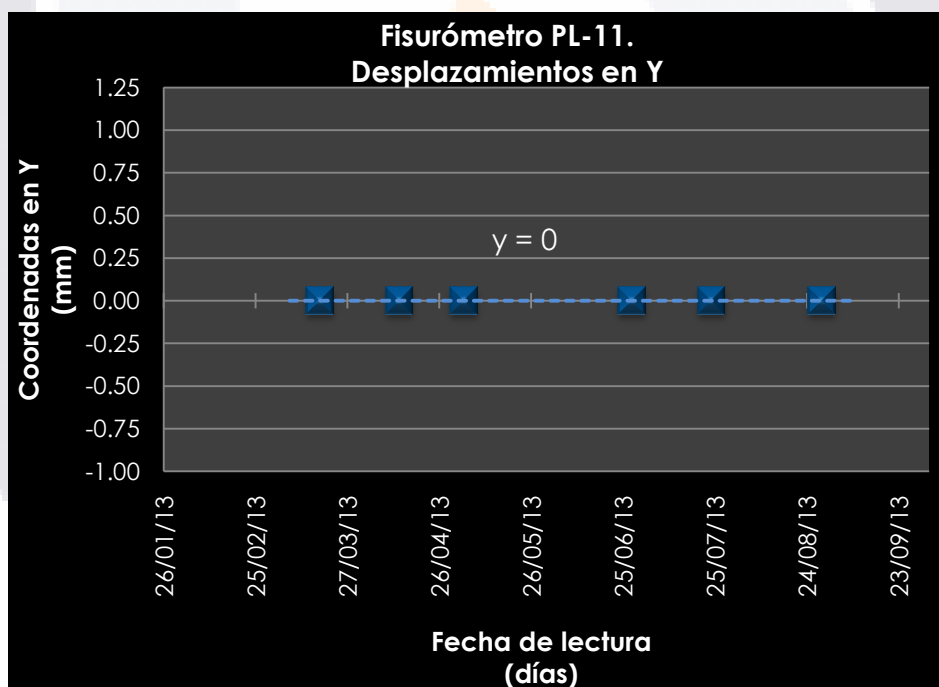
Para el fisurómetro PL-11 en el sentido horizontal no reporto desplazamientos, mismos que se ven reflejados en el coeficiente de correlación, así como en el coeficiente de determinación al ajustarse el modelo a la linealidad al 100%

Tabla 55. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-11

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.00000	0.00000	-	-	0.00000
Residuos	4	0.00000	0.00000			
Total	5	0.00000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

No se puede realizar la prueba estadística F para el comportamiento de la pendiente, esto debido a que no presento el fisurómetro desplazamientos horizontales y la línea de regresión se mantiene constante a $Y=0.0$



Gráfica 30. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-11

Tabla 56. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-11

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación =	1.00000
Coeficiente de determinación R ² =	1.00000
Observaciones =	6

De igual manera que en el sentido horizontal, el fisurómetro no presento desplazamientos en el sentido vertical, y tanto el coeficiente de correlación como el de determinación presentan linealidad en los datos y ajuste de 100% en la línea de regresión con el modelo.

Tabla 57. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-11

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.00000	0.00000	-	-	0.00000
Residuos	4	0.00000	0.00000			
Total	5	0.00000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

La prueba de hipótesis para el fisurómetro PL-11 para los desplazamientos verticales no se puede llevar a cabo, esto debido a que la pendiente de la recta es cero, por lo que sería inexacto considerarla para el modelo.

3.1.2.12 Fisurómetro PL-12

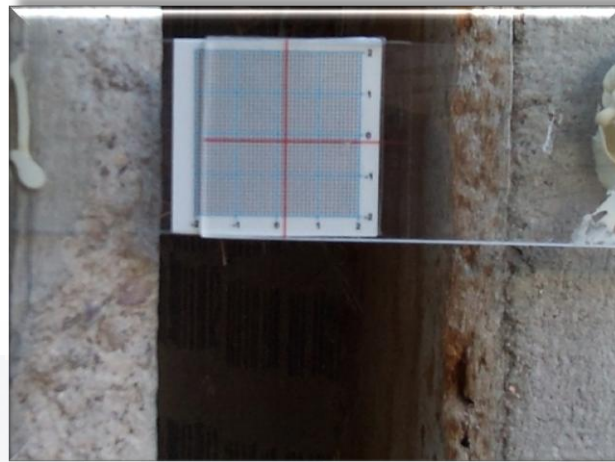
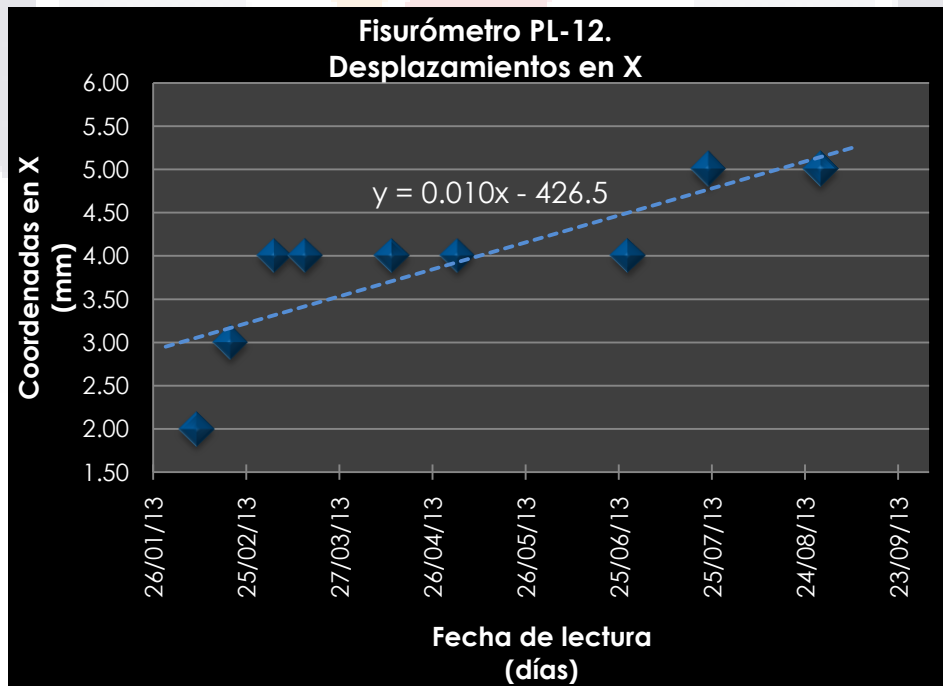


Figura 27. Fisurómetro PL-12

En el patio trasero de la vivienda localizada en la Calle 24 de Enero#125, se encuentra posicionada el fisurómetro PL-12, que tiene como coordenadas UTM 2,454,624.46 m Norte, 774,133.07 m Este, 1,929.65m.s.n.m., situada sobre dos castillos de concreto armado se 15x15 cm de sección a una altura de 1.65 con relación al piso existente. Presenta una lectura inicial de (2.00, -1.50) milímetros.



Grafica 31. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-12

Tabla 58. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-12

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.81066
Coefficiente de determinación R ² =	0.65717
Observaciones =	9

Con el coeficiente de correlación obtenido para este modelo, representa datos con una linealidad del 81%. Además el coeficiente de determinación presenta un mediano ajuste de la recta de mínimos cuadrados con los datos de la muestra, ajustándose solo el 66%.

Tabla 59. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-12

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	4.52714	4.52714	13.41801	0.00804	0.00662
Residuos	7	2.36175	0.33739			
Total	8	6.88889				

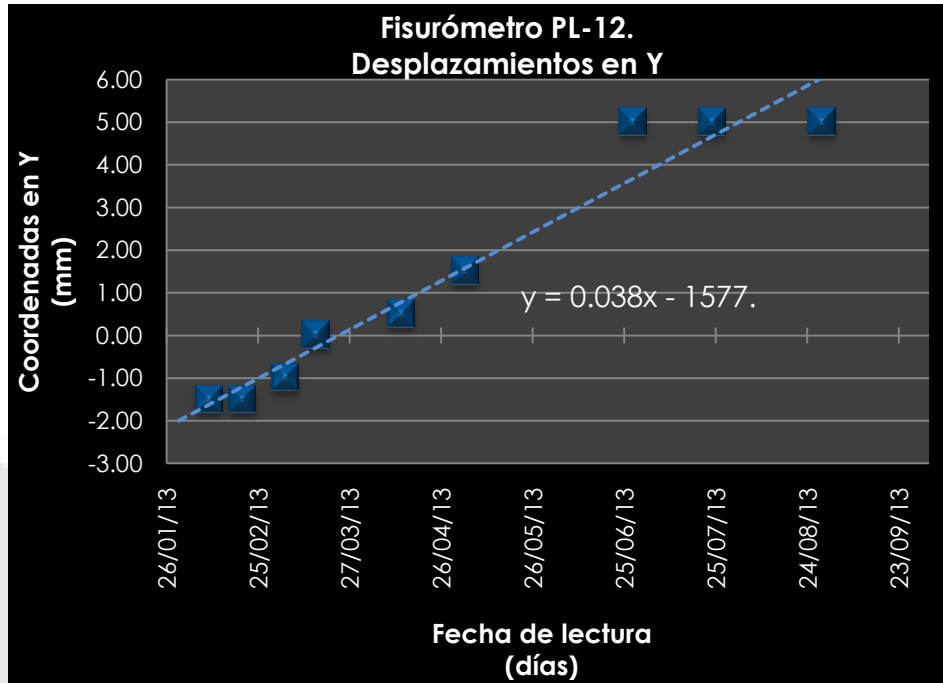
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2=7$ grados de libertad.

Para este modelo, $F_0 = 13.418 > F_c = 0.00804$, se rechaza la hipótesis nula H_0 , por lo cual podemos decir que la variable X (Fechas) se relaciona linealmente con la Variable Y (Coordenadas en Y) a un nivel de significancia del 98%. Así mismo, la proximidad de p a cero nos contribuye a la toma de esta decisión.



Gráfica 32. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-12

Tabla 60. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-12

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.97378
Coefficiente de determinación R ² =	0.94825
Observaciones =	9

La correlación indica una linealidad en los datos de la muestra del 97%, así mismo la determinación de la recta de mínimos cuadrados se ajusta al modelo en un 94%, representando niveles altos para la recta.

Tabla 61. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-12

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	60.89877	60.89877	128.26778	9.36549E-06	0.00005
Residuos	7	3.32345	0.47478			
Total	8	64.22222				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 7$ grados de libertad.

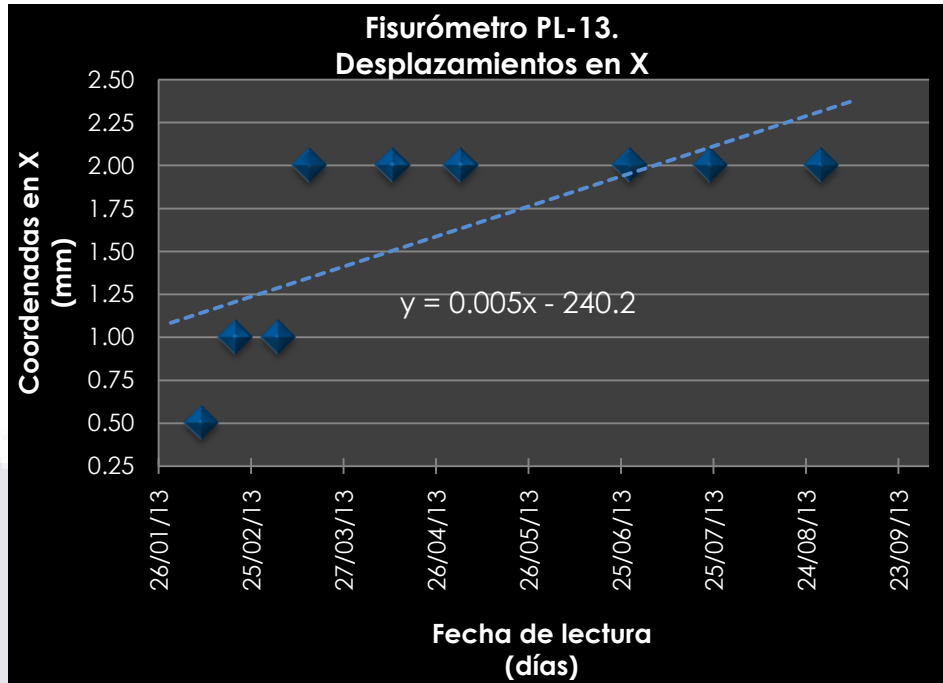
Con los nueve datos del modelo, se realiza la prueba estadística de F, teniendo como resultado que $F_0= 128.26 > F_c = 0.000009$, por lo tanto rechazamos la hipótesis H_0 , dicho de otra forma la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y para el fisurómetro, con un valor tan cercano a cero de p, afirma el rechazo de la hipótesis nula H_0 .

3.1.2.13 Fisurómetro PL-13



Figura 28. Fisurómetro PL-13

El fisurómetro PL-13 se encuentra colocada en el patio central del museo de la Insurgencia (batiente inferior de arco norte), mismo que tiene coordenadas UTM 2,454,620.34 m Norte, 774,131.28 m Este, 1,928.15 m.s.n.m., posicionado a una altura del piso del patio de 15 cm, se desconoce el material donde fue atornillada, debido a la antigüedad de la edificación, así como el grosor de la misma, sin embargo se aprecia el aplanado de mortero cemento-cal-arena frontal. La lectura inicial del fisurómetro es de (0.50, 3.00) milímetros.



Grafica 33. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-13

Tabla 62. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-13

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación =	0.70358
Coeficiente de determinación R ² =	0.49502
Observaciones =	9

Con la correlación de 0.70, podemos afirmar que la linealidad de los datos es media positiva. La recta del modelo de mínimos cuadrados se ajusta en un 49% a los datos del modelo, no siendo favorable para el pronóstico del comportamiento de los datos.

Tabla 63. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-13

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	1.43006	1.43006	6.86199	0.03443	0.02894
Residuos	7	1.45883	0.20840			
Total	8	2.88889				

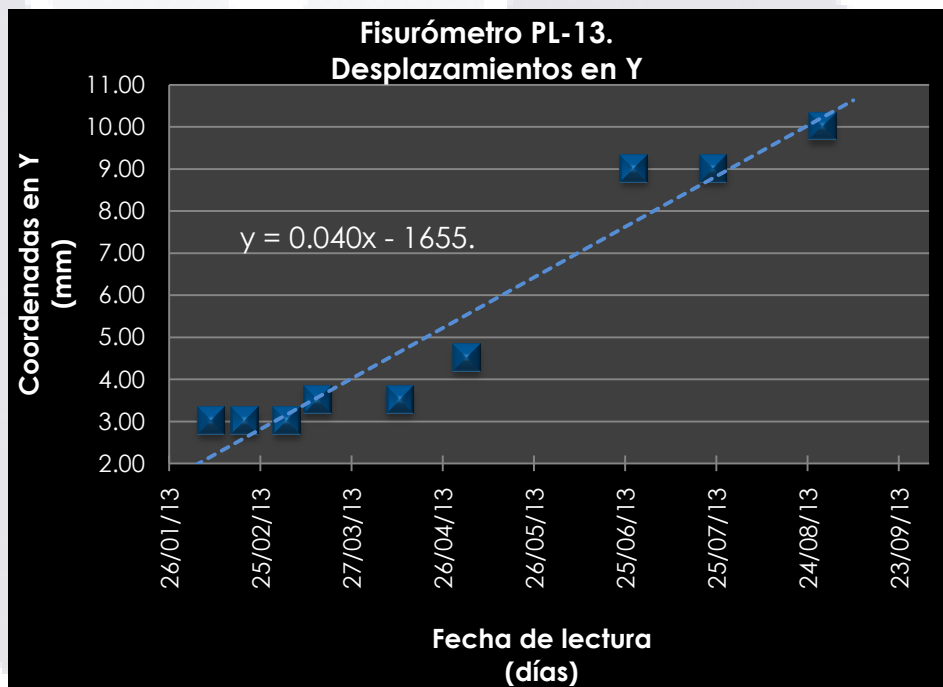
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 7$ grados de libertad.

Puesto que $F_0= 6.862 > F_c = 0.0344$, rechazamos la hipótesis nula H_0 , se prueba que la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en X, teniendo el valor de $p = 0.0289$, cercano a cero, se comprueba el rechazo de la hipótesis H_0 .



Grafica 34. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-13

Tabla 64. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-13

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.96509
Coefficiente de determinación R ² =	0.93139
Observaciones =	9

Al tener una correlación de 0.96 para los 9 datos de la muestra, podemos señalar que los datos se encuentran cerca de la linealidad en un 96%. Así mismo, la recta de mínimos cuadrados se ajusta al modelo en un 93% representando un valor aceptable para el análisis de los datos.

Tabla 65. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-13

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	67.42224	67.42224	95.02504	2.53068E-05	0.00009
Residuos	7	4.96665	0.70952			
Total	8	72.38889				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 7$ grados de libertad.

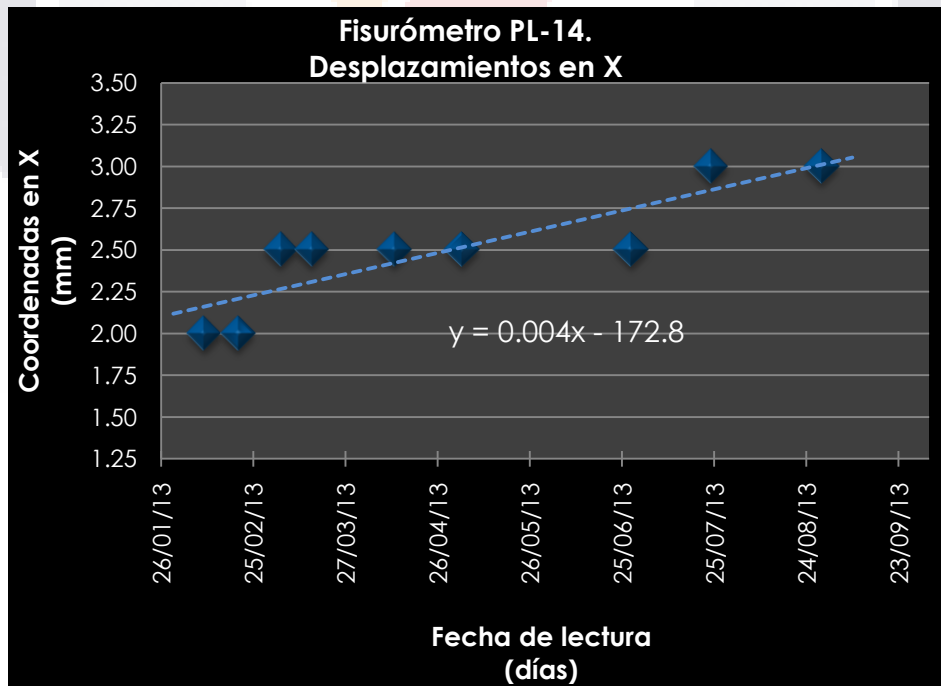
Para la prueba estadística F, el comportamiento de los 9 dotso arrojan lo siguiente el valor de $F_0= 95.02 > F_c = 0.00002$, por lo tanto rechazamos la hipótesis H_0 , es decir, la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable desplazamientos en Y para el fisurómetro, comprobando con el valor de $p = 0.00009$ próximo a cero confirma el rechazo de la hipótesis nula.

3.1.2.14 Fisurómetro PL-14



Figura 29. Fisurómetro PL-14

En el patio central del Museo de la Insurgencia, arco sur, se encuentra colocada el fisurómetro PL-14, a una altura del piso del museo de 0.13 m, con coordenadas UTM 2,454,584.00 m Norte, 774,118.61 m Este, 1,926.13 m.s.n.m. Está fijada al batiente inferior, del cual se desconoce el espesor y el material con que se encuentra conformado. Tomando una lectura inicial de (2.0, -1.0) milímetros.



Grafica 35. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-14

Tabla 66. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-14

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.86717
Coefficiente de determinación R ² =	0.75198
Observaciones =	9

La linealidad de los datos del modelo, son definido debido a la correlación obtenida de 0.86, representando una fuerte linealidad positiva, con el 86%. La línea de la regresión se ajusta, según el coeficiente de determinación, en un 75% de los datos muestreados, siendo aceptable para su descripción y pronóstico.

Tabla 67. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-14

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	0.75198	0.75198	21.22387	0.00246	0.00241
Residuos	7	0.24802	0.03543			
Total	8	1.00000				

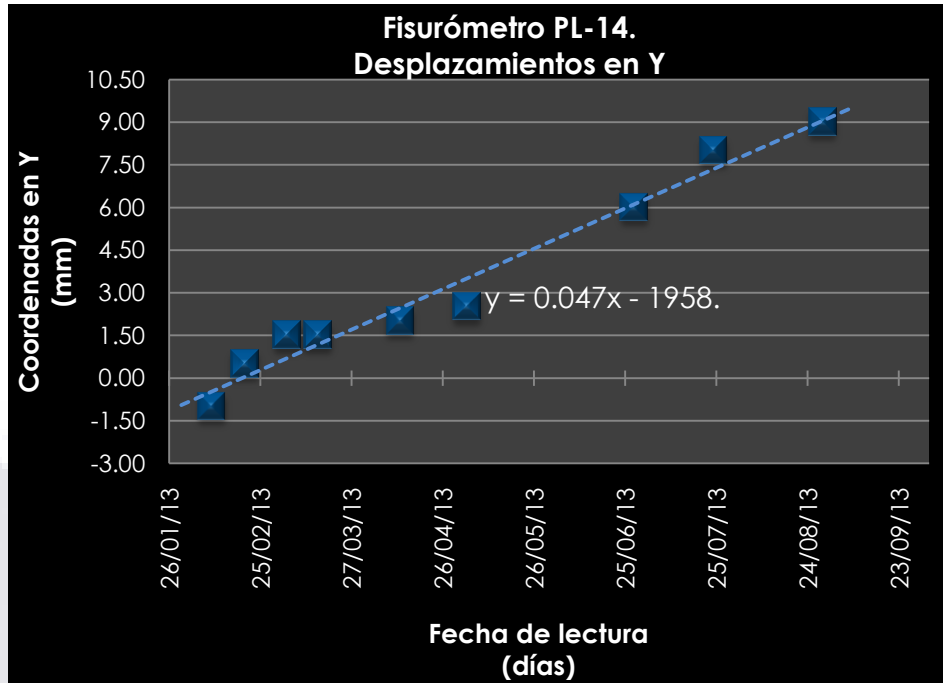
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 7$ grados de libertad.

A un nivel de significancia del 98%, obtenemos el estadístico F, $F_0= 21.22 > F_c = 0.0024$, lo que nos lleva al rechazo de la hipótesis nula, por lo tanto la variable X (fecha), se relaciona linealmente con la variable Y (coordenadas X) para este modelo, comprobado a través del valor tan próximo a cero de p.



Grafica 36. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-14

Tabla 68. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-14

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.98506
Coefficiente de determinación R ² =	0.97034
Observaciones =	9

La correlación de las nueve observaciones nos indica una fuerte correlación lineal positiva o directa de 0.98, esto es, existe linealidad en la nube de puntos de un 98%. La recta de mínimos cuadrados se ajusta al modelo, según el coeficiente de determinación en un 97%.

Tabla 69. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-14

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	94.12325	94.12325	229.03011	1.32270E-06	0.00001
Residuos	7	2.87675	0.41096			
Total	8	97.00000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 7$ grados de libertad.

Ya que $F_0= 229.03 > F_c = 0.000001$, rechazamos la hipótesis H_0 a un nivel de significancia del 98%, es decir, variable de Fecha y la variable coordenadas en Y relacionada linealmente para el fisurómetro PL-14, con un valor de $p = 0.00001$, tan próximo a cero favorece el rechazo de la hipótesis H_0 .

3.1.2.15 Fisurómetro PL-15

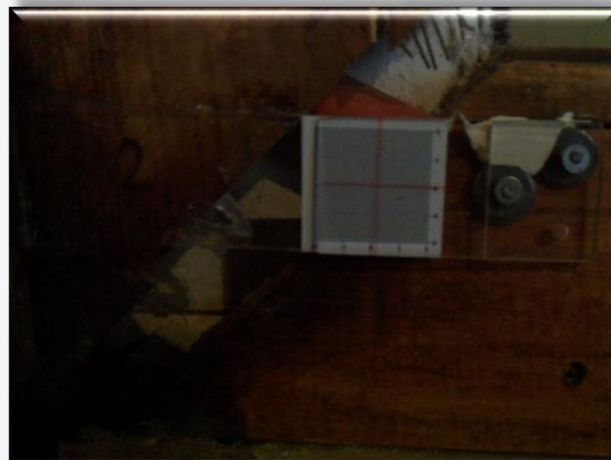
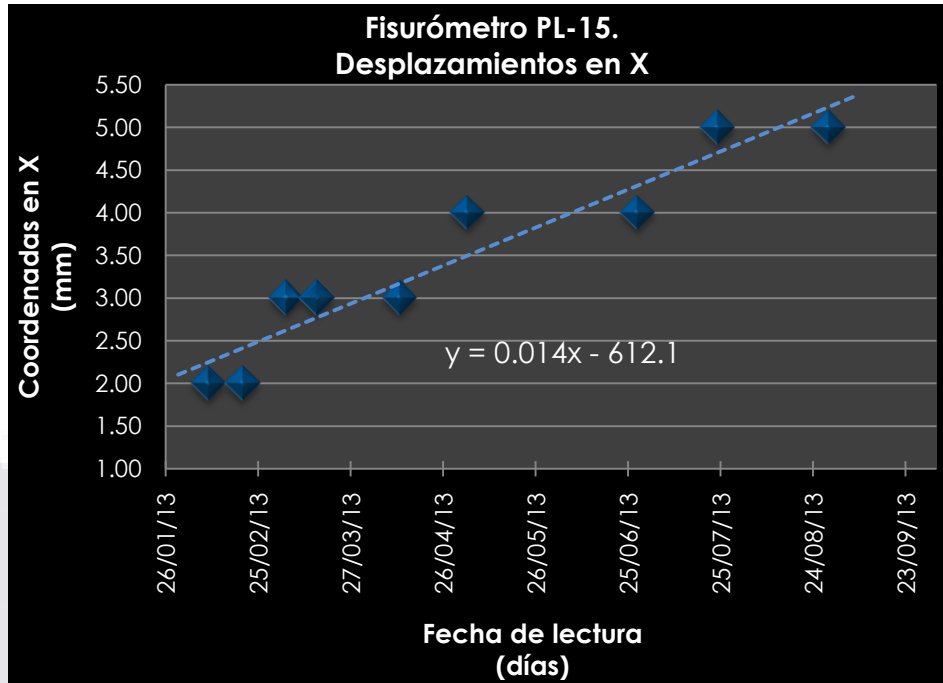


Figura 30. Fisurómetro PL-15

El fisurómetro PL-15 se encuentra posicionada en el interior de la sala de exposiciones (muro norte) del Museo de la Insurgencia, con coordenadas UTM 2,454,581.22 m Norte, 774,117.36 m Este, 774,117.36 m.s.n.m., a una altura del nivel de piso de 0.57 m, a centro de ejes. Situada sobre el rodapié de madera de espesor de 1", ubicado en muro de adobe de dimensión aproximada de 10x30x40 cm de 30 cm de espesor, con aplanado de mortero a base de cal apagada en ambas caras. La lectura inicial es de (2.0, 0.00) milímetros.



Grafica 37. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-15

Tabla 70. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-15

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.95213
Coefficiente de determinación R ² =	0.90656
Observaciones =	9

Teniendo 9 datos observados en el modelo tenemos un coeficiente de correlación y de determinación de 0.95 y 0.91 respectivamente, esto es que los datos tiene una linealidad de 95% y la recta de mínimos se ajusta al modelo en un 91%

Tabla 71. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-15

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	9.26707	9.26707	67.91511	0.00008	0.00019
Residuos	7	0.95516	0.13645			
Total	8	10.22222				

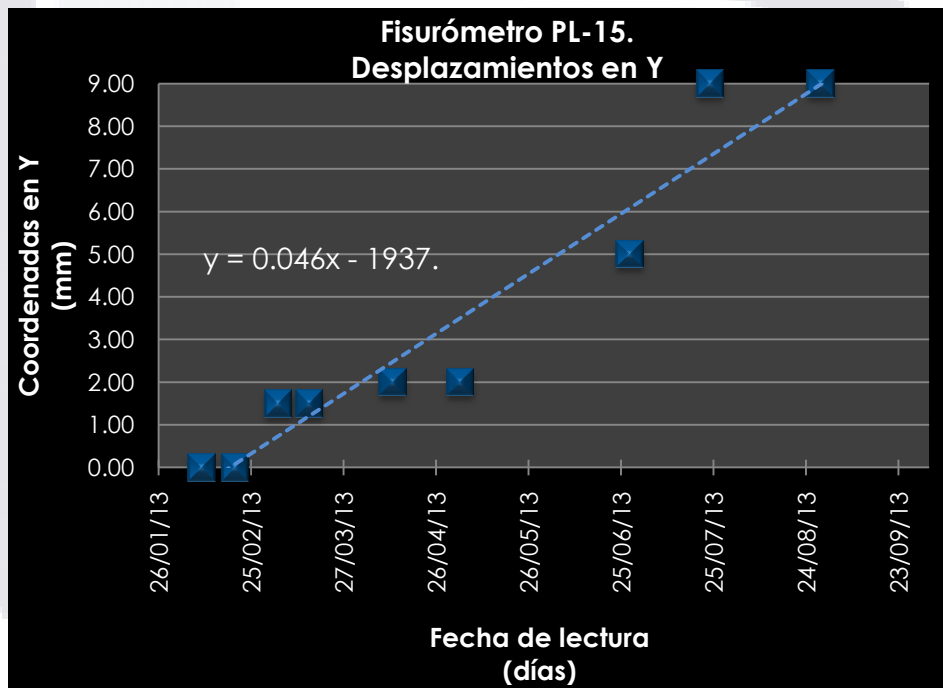
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 7$ grados de libertad.

Para la prueba de la linealidad entre las variables X y Y la prueba estadística F obtuvo los siguientes resultados: $F_0= 67.91 > F_c = 0.00008$, rechazando la hipótesis H_0 , esto es, las variables se relacionan linealmente a un nivel de significancia del 98%, contribuyendo a lo anterior el valor tan cercano a cero de p, confirma el rechazo de la hipótesis H_0 .



Grafica 38. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-15

Tabla 72. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-15

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.96208
Coefficiente de determinación R ² =	0.92559
Observaciones =	9

El valor de correlación, para este modelo es de 0.96, lo cual nos indica que existe linealidad en la nube de puntos de alrededor de 96%. Por otro lado, el coeficiente de determinación nos da la relación lineal existente entre la recta de mínimos cuadrados con los datos del modelo, representando en este caso el 92%, considerado como una fuerte relación.

Tabla 73. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-15

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	92.09619	92.09619	87.07325	3.36993E-05	0.00011
Residuos	7	7.40381	1.05769			
Total	8	99.50000				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2=7$ grados de libertad.

Debido que $F_0 = 87.07 > F_c = 0.00337$, rechazamos la hipótesis nula H_0 , se cumple, que la variable de Fecha (días) está relacionada linealmente con la variable Coordenadas en Y (mm) para el fisurómetro PL-15, el valor de $p = 0.0001$, contribuye al rechazo de la hipótesis H_0 al tener un valor tan próximo a cero.

3.1.2.16 Fisurómetro PL-16

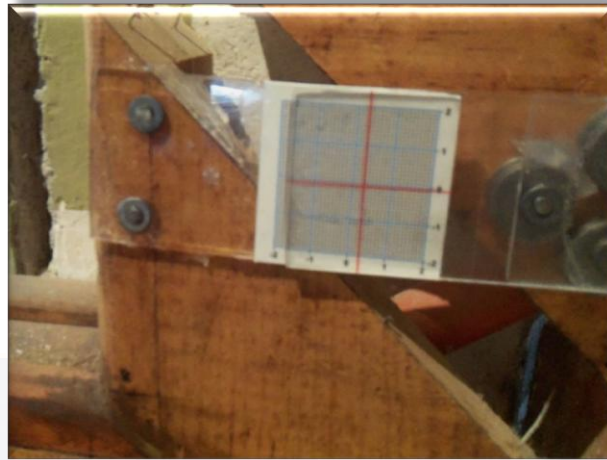
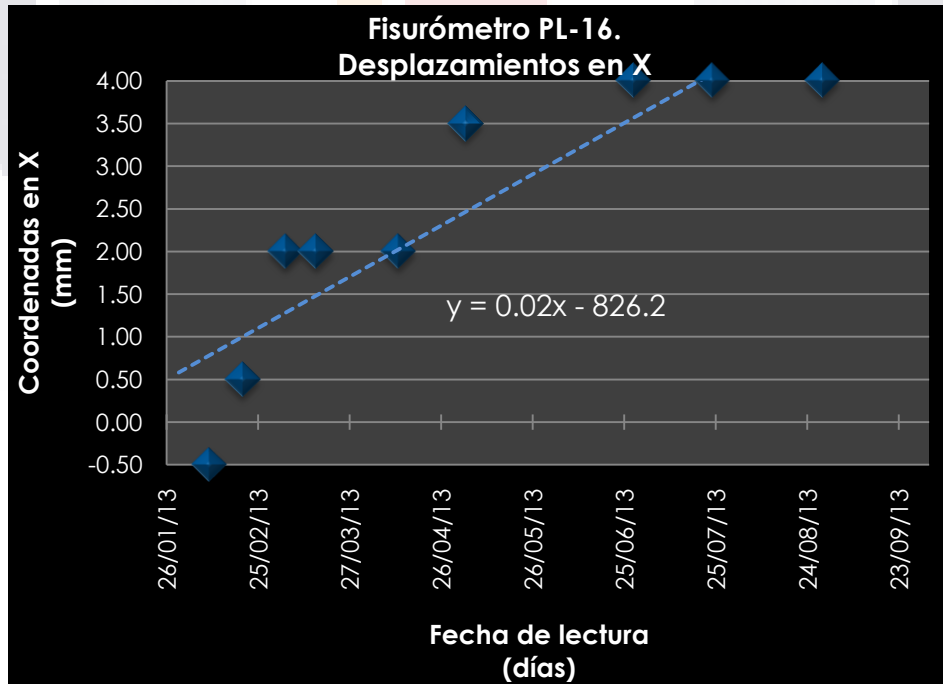


Figura 31. Fisurómetro PL-16

Es el 4to fisurómetro colocada en el museo de la Insurgencia, posicionada a una altura del piso existente de 0.57 (en relación al patio central) dentro de la sala de exposiciones en el muro sur. Sus coordenadas UTM son: 2,454,568.17 m Norte, 774,115.15 m Este, 1,925.57 m.s.n.m. Instalada sobre el rodapié de madera de espesor de 1", en muro de adobe con dimensión aproximada de 10x30x40 cm de 30 cm de espesor, y aplanado de mortero a base de cal apagada en ambas caras. La lectura inicial es de (-0.5, -1.0) milímetros.



Grafica 39. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-16

Tabla 74. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-16

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.88599
Coefficiente de determinación R ² =	0.78498
Observaciones =	9

Para la medición horizontal del fisurómetro PL-16, fue obtenida la correlación de 0.88, esto es, la linealidad de la nube de puntos se aproxima al 88%. Adicional, el coeficiente de determinación obtenido nos indica que la recta de mínimos cuadrados se ajusta el modelo en un 78% representando un valor aceptable en el modelo.

Tabla 75. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-16

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	16.78988	16.78988	25.55533	0.00147	0.00160
Residuos	7	4.59901	0.65700			
Total	8	21.38889				

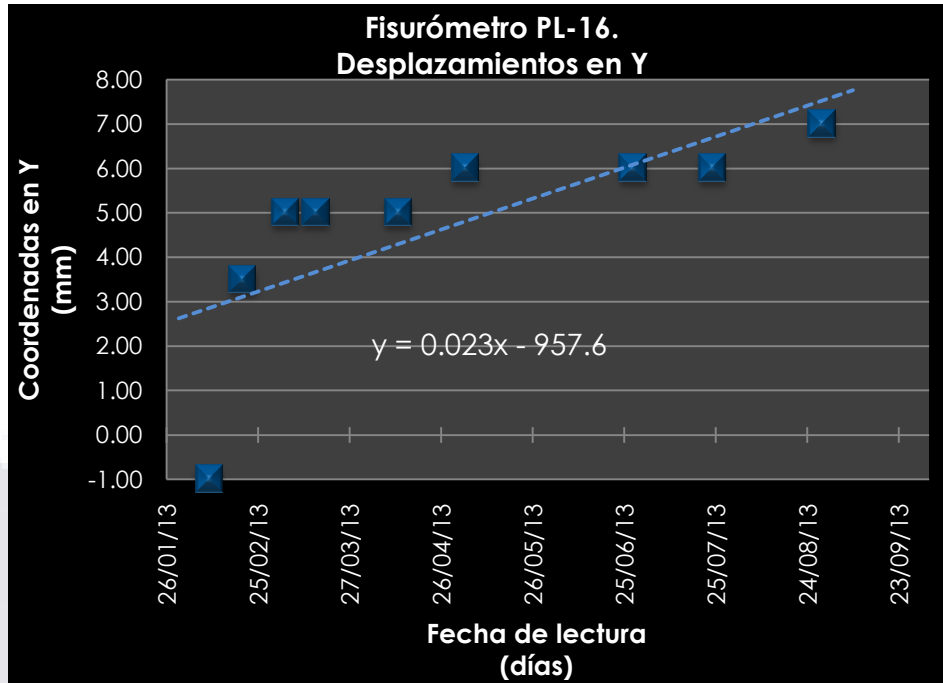
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

H₀: β₁ = 0 → para un nivel de significancia de 1- α= 98%; ∴ α =0.02

H₁: β₁ ≠ 0

Con v₁=1, v₂= 7 grados de libertad.

Para el nivel de significancia del 98%, decimos que F₀= 25.55 > F_c = 0.0014, por lo tanto rechazamos la hipótesis H₀, esto es, la variable de Fecha está relacionada linealmente con la variable coordenadas horizontales para el fisurómetro, y el valor de p = 0.0016, al aproximarse a cero corrobora el rechazo de la hipótesis H₀.



Gráfica 40. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-16

Tabla 76. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-16

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.71292
Coefficiente de determinación R ² =	0.50825
Observaciones =	9

Para el fisurómetro PL-16, los desplazamientos verticales arrojaron un 71% de linealidad con relación a la variable fecha, además la línea de regresión tiene un 50% de ajuste con el modelo, siendo significativamente escaso para un análisis certero.

Tabla 77. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-16

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	22.64534	22.64534	7.23486	3.10961E-02	0.02576
Residuos	7	21.91022	3.13003			
Total	8	44.55556				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 7$ grados de libertad.

Puesto que $F_0= 7.23 > F_c = 0.031$, rechazamos la hipótesis H_0 , concluyendo que la variable fecha (días) se relaciona linealmente con la variable coordenadas en Y (milímetros) a un nivel significativo del 98%. El valor de p confirma la linealidad al aproximarse a cero.

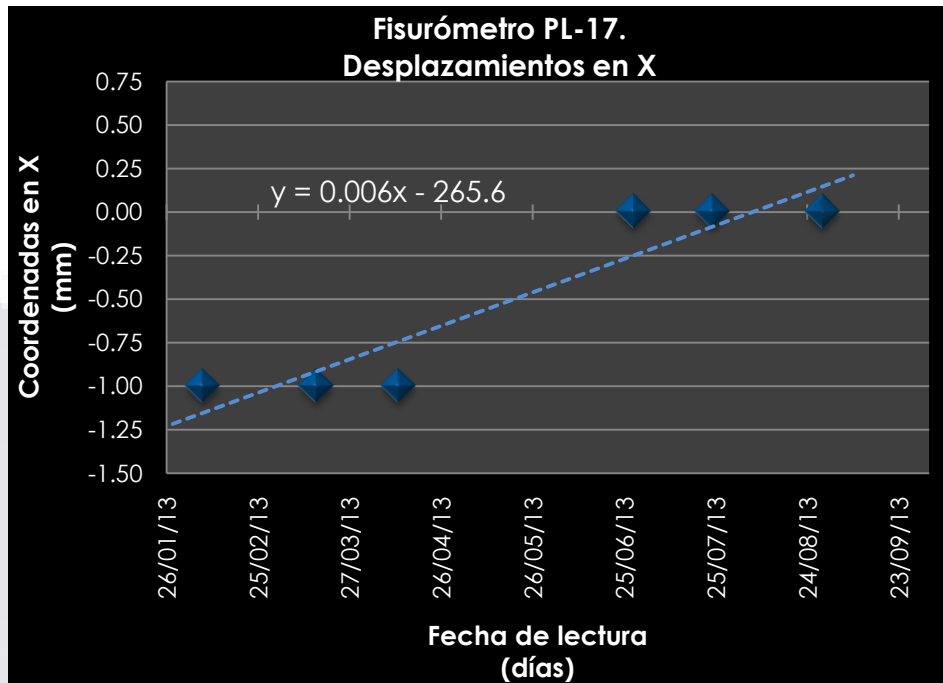
3.1.2.17 Fisurómetro PL-17



Figura 32 Fisurómetro. PL-17

El último fisurómetro analizada PL-17, se encuentra colocada en la guarnición sur del estacionamiento del Seminario Diocesano, al sur de la comunidad. Con coordenadas UTM 2,454,420.04 m Norte, 774,053.50 m Este, 1,924.08 m.s.n.m., a una altura de la calzada de 8 cm, siendo situada en una

guarnición de concreto simple. Tomando una lectura inicial de (-1.0, 2.0) milímetros.



Grafica 41. Desplazamientos en el sentido horizontal del fisurómetro PL-17

Tabla 78. Resultados estadísticos del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-17

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación =	0.93540
Coefficiente de determinación R ² =	0.87497
Observaciones =	6

El coeficiente de correlación para el fisurómetro PL-17, en el sentido horizontal, nos proporciona la linealidad fuerte de la nube de puntos, del 93%. La recta se de mínimos cuadrados representa el 87% de ajuste al modelo para los 6 valores muestreados.

Tabla 79. Tabla ANOVA del desplazamiento horizontal del fisurómetro PL-17

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	p-calculada
Regresión	1	1.31246	1.31246	27.99334	0.00612	0.00566
Residuos	4	0.18754	0.04688			
Total	5	1.50000				

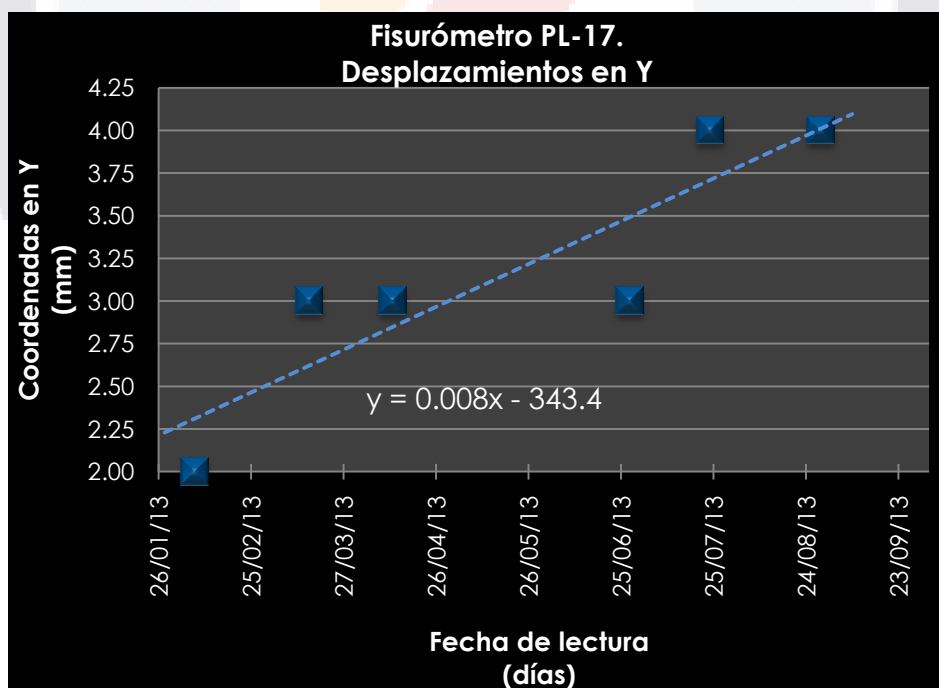
Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1 = 1, v_2 = 4$ grados de libertad.

A un nivel de significancia del 98%, el estadístico F, registra los siguientes valores: $F_0 = 27.99$ y $F_c = 0.00612$, puesto $F_0 > F_c$ rechazamos la hipótesis H_0 , por lo que las variables X y Y están relacionadas linealmente, contribuyendo al rechazo de la hipótesis H_0 , es debido al valor de $p = 0.0056$ al aproximarse a cero.



Gráfica 42. Desplazamientos en el sentido vertical del fisurómetro PL-17

Tabla 80. Resultados estadísticos del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-17

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación =	0.88976
Coefficiente de determinación R ² =	0.79168
Observaciones =	6

Las 6 observaciones del modelo establecen una correlación de 0.88, podemos decir entonces, que los datos se encuentran con la linealidad fuerte positiva en un 88%. La recta se ajusta el modelo 79% 90% representando un valor admisible en el modelo.

Tabla 81. Tabla ANOVA del desplazamiento vertical del fisurómetro PL-17

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>	<i>p-calculada</i>
Regresión	1	2.24310	2.24310	15.20138	1.75579E-02	0.01551
Residuos	4	0.59024	0.14756			
Total	5	2.83333				

Prueba de hipótesis para la pendiente del modelo de regresión lineal.

$H_0: \beta_1 = 0 \rightarrow$ para un nivel de significancia de $1 - \alpha = 98\%$; $\therefore \alpha = 0.02$

$H_1: \beta_1 \neq 0$

Con $v_1=1, v_2= 4$ grados de libertad.

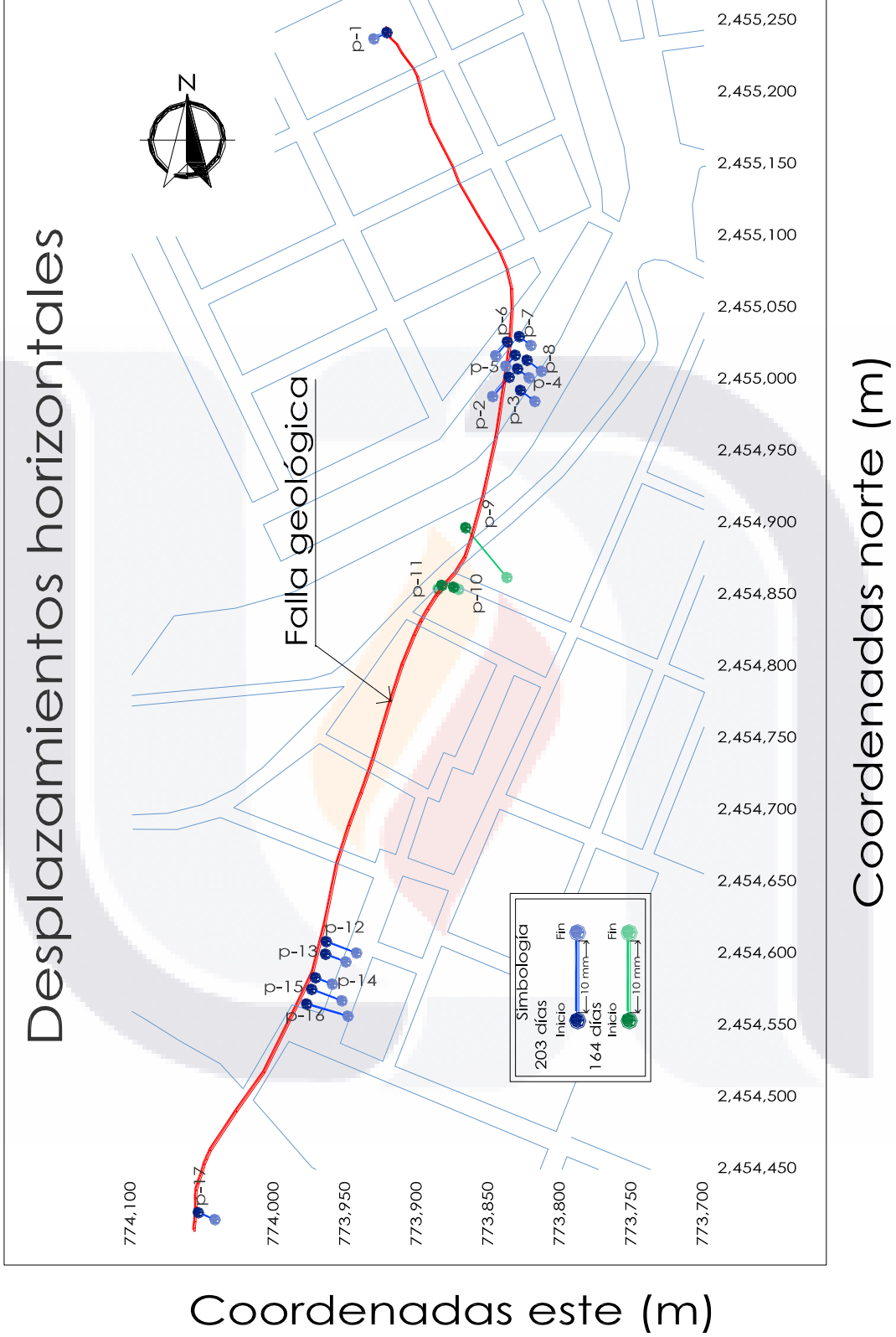
Para la prueba de hipótesis, las 6 observaciones obtuvieron $F_0 = 15.20 > F_c = 0.015$, rechazando la hipótesis H_0 , concluyendo que las variables X y Y están relacionadas linealmente a un nivel de significancia del 98%. El valor obtenido de $p = 0.015$, con proximidad a cero contribuye a la decisión.

3.1.3 Resultados Gráficos

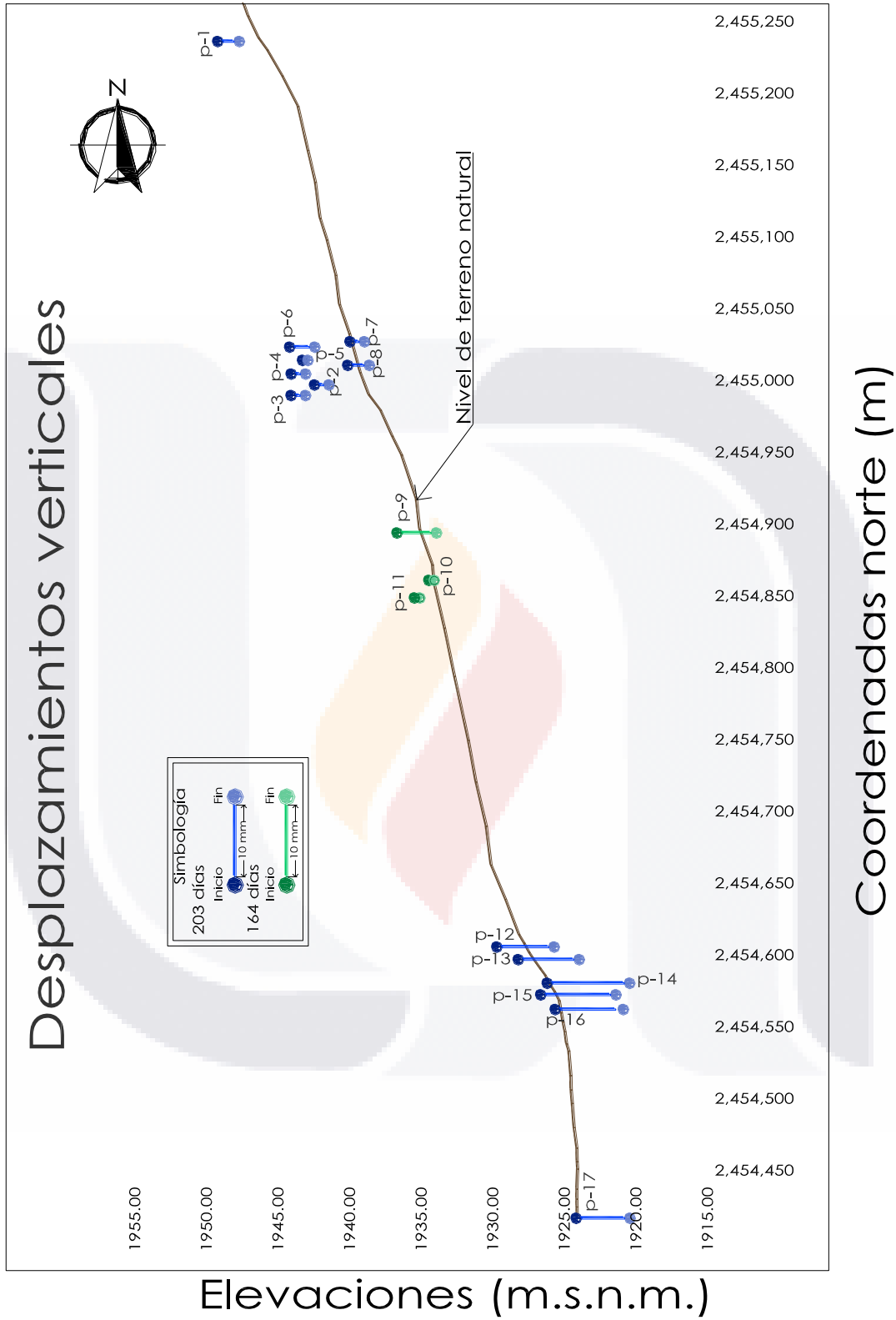
Dados los resultados del subtema anterior, podemos hacer la representación grafica de los mismos, a fin de visualizar los desplazamientos originados a lo largo de la falla geológica.

Para ello la grafica 43 muestra los desplazamientos horizontales, los cuales siguen el patrón de su colocación, es decir, siguen la trayectoria de los muros elementos estructurales donde fueron posicionados. Con ello se observa que el mayor desplazamiento fue en el fisurómetro PL-09, localizado en la vivienda de la calle José Santos Villa # 205.





Grafica 43. Desplazamientos horizontales



Grafica 44. Desplazamientos verticales

De igual modo, se tiene la grafica 44, que representa los desplazamientos verticales, para ello se tomó la altura a la que se encuentran de nivel de piso o cota reportada para cada punto. Así se obtiene que el mayor desplazamiento observado en el fisurómetro PL-14. Sin embargo, existen desplazamientos similares en los fisurómetros PL-12, PL-13, PL-15, y PL-16 que pertenecen a la zona del Museo de la Insurgencia.

3.1.4 Comportamiento futuro de la fractura

Una vez obtenido el comportamiento de los puntos en apartado anterior, es preciso conocer los desplazamientos a futuro, para ello se presentan las siguientes tablas (tabla 82 y 83), en ellas se describen el desplazamiento horizontal y vertical de cada fisurómetro a 5 y 10 años, usando las rectas de mínimos cuadrados de los diagramas de dispersión que fueron presentados en el capítulo anterior.

Para la tabla 82 se determinan las coordenadas que tendrían los fisurómetros en ese lapso de tiempo, indicando las fechas para 5 y 10 años.

Dentro de la tabla 83 se obtienen las dimensiones de las aberturas en el mismo lapso de tiempo, determinando en milímetros los desplazamientos. Es sombreado los valores máximos a los que llegara cada fisurómetro. Se visualiza que en el sentido horizontal (desplazamiento X) el máximo a 5 años es de 86 mm y a 10 años de 172 mm, de igual manera en sentido vertical (desplazamiento Y), a 5 años es 87 mm y para 10 años es 173 mm.

Tabla 82. Comportamiento de los fisurómetros a 5 y 10 años

Fisurómetro	Fecha Inicial	Coordenadas (mm)		Fecha a 5 Años	Coordenadas (mm)		Fecha a 10 Años	Coordenadas (mm)	
		X	Y		X	Y		X	Y
PL-01	07/02/2013	-0.5	-0.5	07/02/2018	5.16	15.97	07/02/2023	10.9	32.4
PL-02	09/02/2013	-0.5	1.0	09/02/2018	18.99	16.12	09/02/2023	38.7	32.8
PL-03	09/02/2013	-1.0	0.5	09/02/2018	14.48	3.78	09/02/2023	30.1	6.8
PL-04	09/02/2013	-1.0	1.5	09/02/2018	4.37	7.37	09/02/2023	9.8	13.3
PL-05	09/02/2013	2.0	0.0	09/02/2018	4.88	0.00	09/02/2023	7.8	0.0
PL-06	09/02/2013	-1.0	1.0	09/02/2018	6.62	18.50	09/02/2023	14.4	36.3
PL-07	09/02/2013	3.5	1.5	09/02/2018	8.24	6.24	09/02/2023	13.1	11.1
PL-08	09/02/2013	-0.5	0.0	09/02/2018	8.22	11.18	09/02/2023	16.8	22.1
PL-09	18/03/2013	0.0	0.0	18/03/2018	86.21	47.75	18/03/2023	172.7	95.9
PL-10	18/03/2013	0.0	-3.0	18/03/2018	0.00	-3.00	18/03/2023	0.0	-3.0
PL-11	18/03/2013	0.0	0.0	18/03/2018	0.00	0.00	18/03/2023	0.0	0.0
PL-12	09/02/2013	2.0	-1.5	09/02/2018	22.04	68.03	09/02/2023	41.0	137.7
PL-13	09/02/2013	0.5	3.0	09/02/2018	11.81	75.42	09/02/2023	22.5	148.7
PL-14	09/02/2013	2.0	-1.0	09/02/2018	9.90	86.08	09/02/2023	17.6	172.6
PL-15	09/02/2013	2.0	0.0	09/02/2018	29.41	85.18	09/02/2023	56.6	170.8
PL-16	09/02/2013	-0.5	-1.0	09/02/2018	37.34	45.31	09/02/2023	73.9	87.8
PL-17	07/02/2013	-1.0	2.0	07/02/2018	10.54	17.60	07/02/2023	22.2	32.9

Tabla 83. Desplazamientos de los fisurómetros a 5 y 10 años

Fisurómetro	Fecha Inicial	Fecha a 5 Años		Desplazamientos (mm)		Fecha a 10 Años		Desplazamientos (mm)	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
PL-01	07/02/2013	07/02/2018	16.47	5.66	11.4	32.9	07/02/2023	11.4	32.9
PL-02	09/02/2013	09/02/2018	15.12	19.49	39.2	31.8	09/02/2023	39.2	31.8
PL-03	09/02/2013	09/02/2018	3.28	15.48	31.1	6.3	09/02/2023	31.1	6.3
PL-04	09/02/2013	09/02/2018	5.87	5.37	10.8	11.8	09/02/2023	10.8	11.8
PL-05	09/02/2013	09/02/2018	0.00	2.88	5.8	0.0	09/02/2023	5.8	0.0
PL-06	09/02/2013	09/02/2018	17.50	7.62	15.4	35.3	09/02/2023	15.4	35.3
PL-07	09/02/2013	09/02/2018	4.74	4.74	9.6	9.6	09/02/2023	9.6	9.6
PL-08	09/02/2013	09/02/2018	11.18	8.72	17.3	22.1	09/02/2023	17.3	22.1
PL-09	18/03/2013	18/03/2018	47.75	86.21	172.7	95.9	18/03/2023	172.7	95.9
PL-10	18/03/2013	18/03/2018	0.00	0.00	0.0	0.0	18/03/2023	0.0	0.0
PL-11	18/03/2013	18/03/2018	0.00	0.00	0.0	0.0	18/03/2023	0.0	0.0
PL-12	09/02/2013	09/02/2018	69.53	20.04	39.0	139.2	09/02/2023	39.0	139.2
PL-13	09/02/2013	09/02/2018	72.42	11.31	22.0	145.7	09/02/2023	22.0	145.7
PL-14	09/02/2013	09/02/2018	87.08	7.90	15.6	173.6	09/02/2023	15.6	173.6
PL-15	09/02/2013	09/02/2018	85.18	27.41	54.6	170.8	09/02/2023	54.6	170.8
PL-16	09/02/2013	09/02/2018	46.31	37.84	74.4	88.8	09/02/2023	74.4	88.8
PL-17	07/02/2013	07/02/2018	15.60	11.54	23.2	30.9	07/02/2023	23.2	30.9

3.2 AFECTACIONES MEDIANTE DATOS DINÁMICOS

3.2.1 Vivienda estudiada

3.2.1.1 Descripción del inmueble



Figura 33. Vivienda estudiada para el análisis

La vivienda se encuentra localizada en la calle Enrique Zúñiga #108, en el lado norte de la comunidad de Pabellón de Hidalgo. Con una superficie construida de 164.46 m².

Constructivamente cuenta con 2 niveles, elaborados a base de muros de tabique rojo recocido 7x14x28 cm, de 14 cm de espesor, junteado con mortero cemento-cal-arena, contando con losa de entrepiso y azotea elaborada a base de vigueta de alma abierta, formada por 2 ángulos metálicos acuatados de 1 ½ x 1 ½ x ¾ pulgadas, tabique rojo recocido de 4x14x28 cm (cuña), y una capa de compresión de concreto de 5 cm de espesor.

La vivienda se analizó a través de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, a fin de descartar el agrietamiento y los desplazamientos por un mal diseño estructural.

3.2.1.2 Análisis estructural, comportamiento por cargas de servicio

3.2.1.2.1 DESCRIPCIÓN DE PLANTAS ARQUITECTÓNICAS Y CARGAS ACTUANTES EN CADA NIVEL

El análisis estructural se basó en las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, 2004. Se revisó las cargas actuantes y su capacidad de carga de los muros. El cálculo inició por la geometría de la vivienda, para este caso, las figuras 34, 36 y 38 representan las plantas arquitectónicas en los dos niveles de la vivienda analizada.

Además, para el cálculo fue necesario los datos de bajadas de cargas, para ello las figuras 35, 37 y 39 muestran gráficamente las cargas actuantes, mientras que de la tabla 84 a la tabla 89 presentan numéricamente los cálculos de la sumatoria de las cargas muertas y vivas que son empleadas en la revisión estructural.

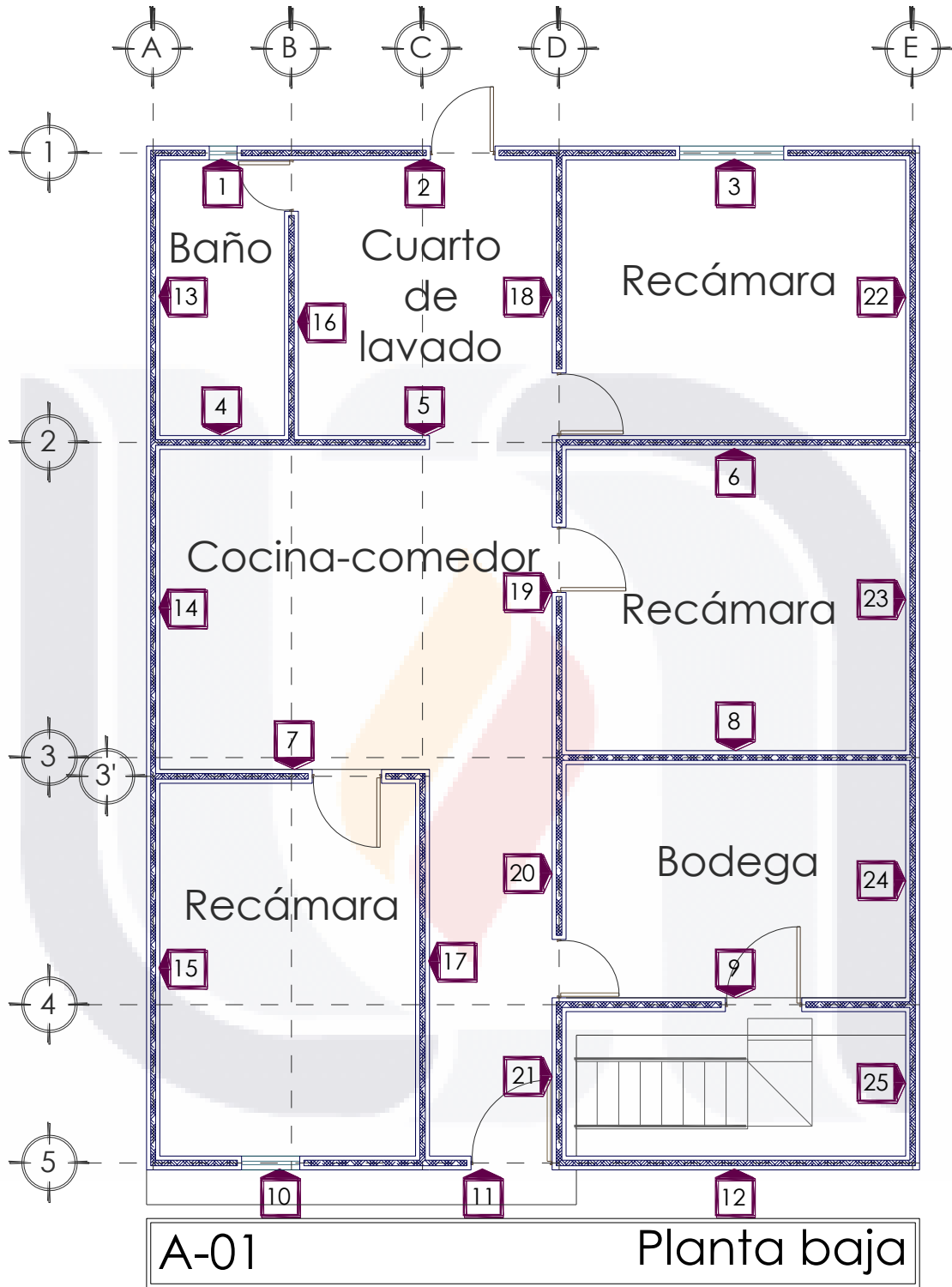


Figura 34. Plano arquitectónico de vivienda. Planta baja

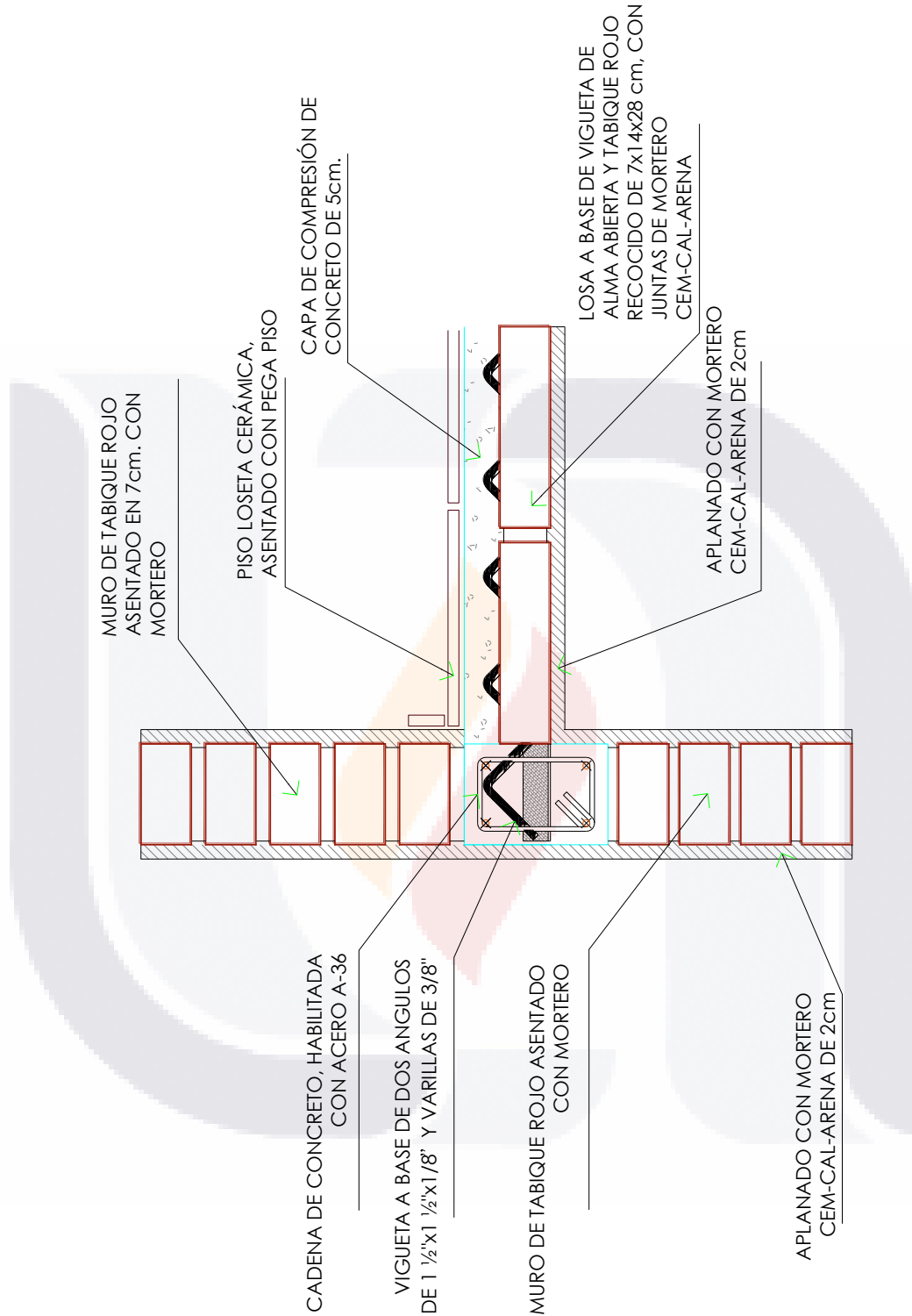


Figura 35. Detalle arquitectónico de la estructura de la losa de entrepiso

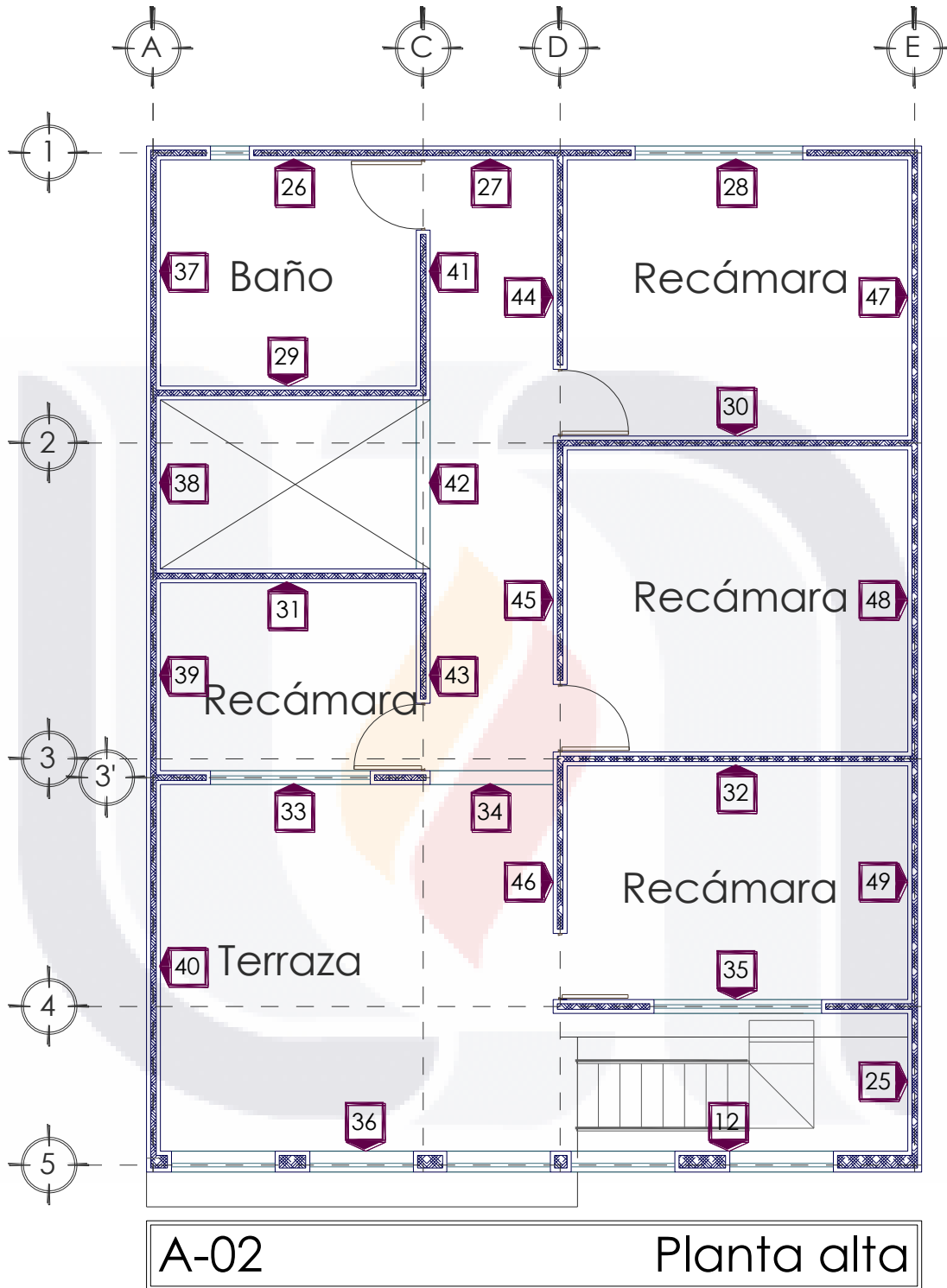


Figura 36. Plano arquitectónico de vivienda. Planta alta

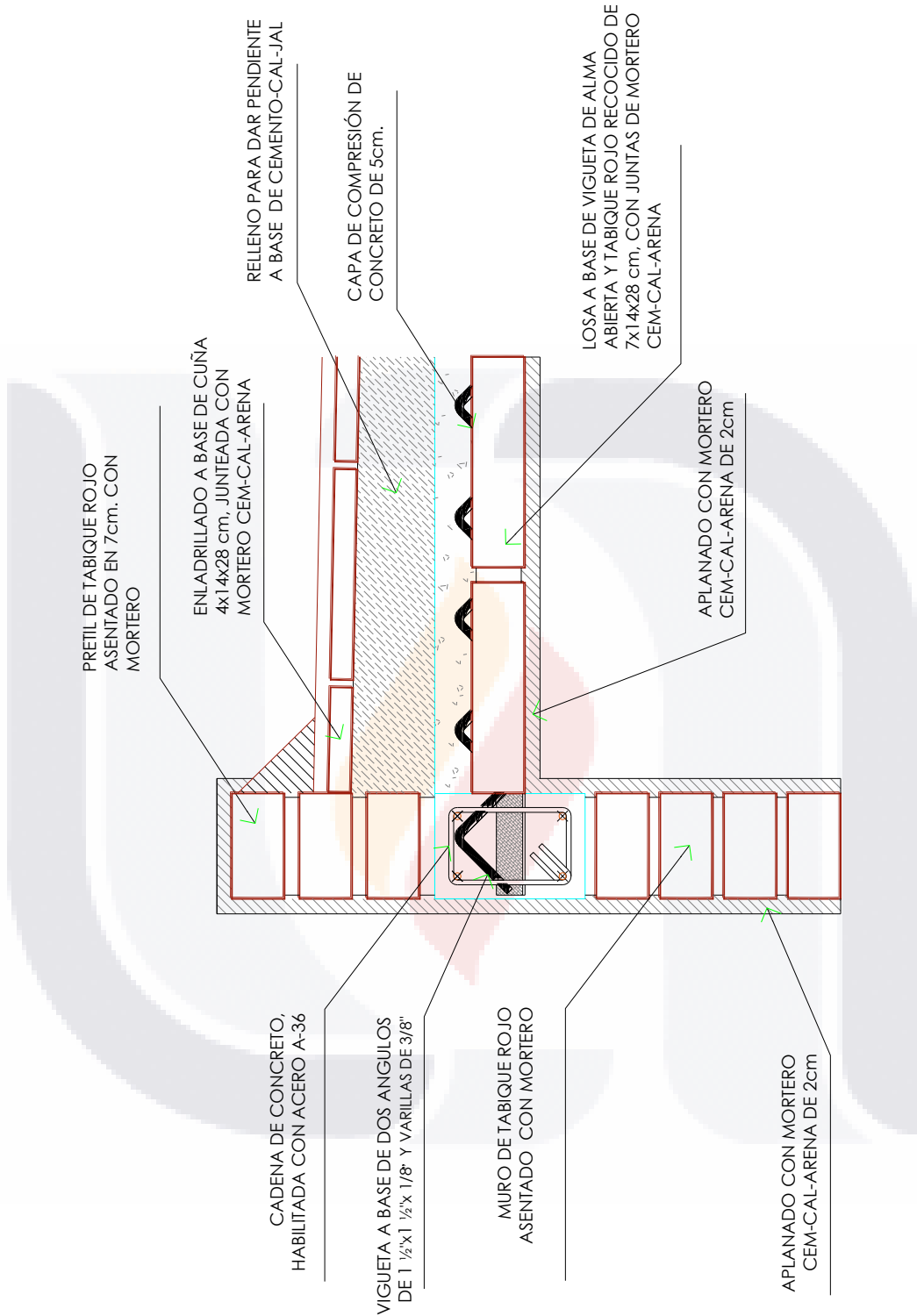


Figura 37. Detalle arquitectónico de la estructura de la losa de azotea

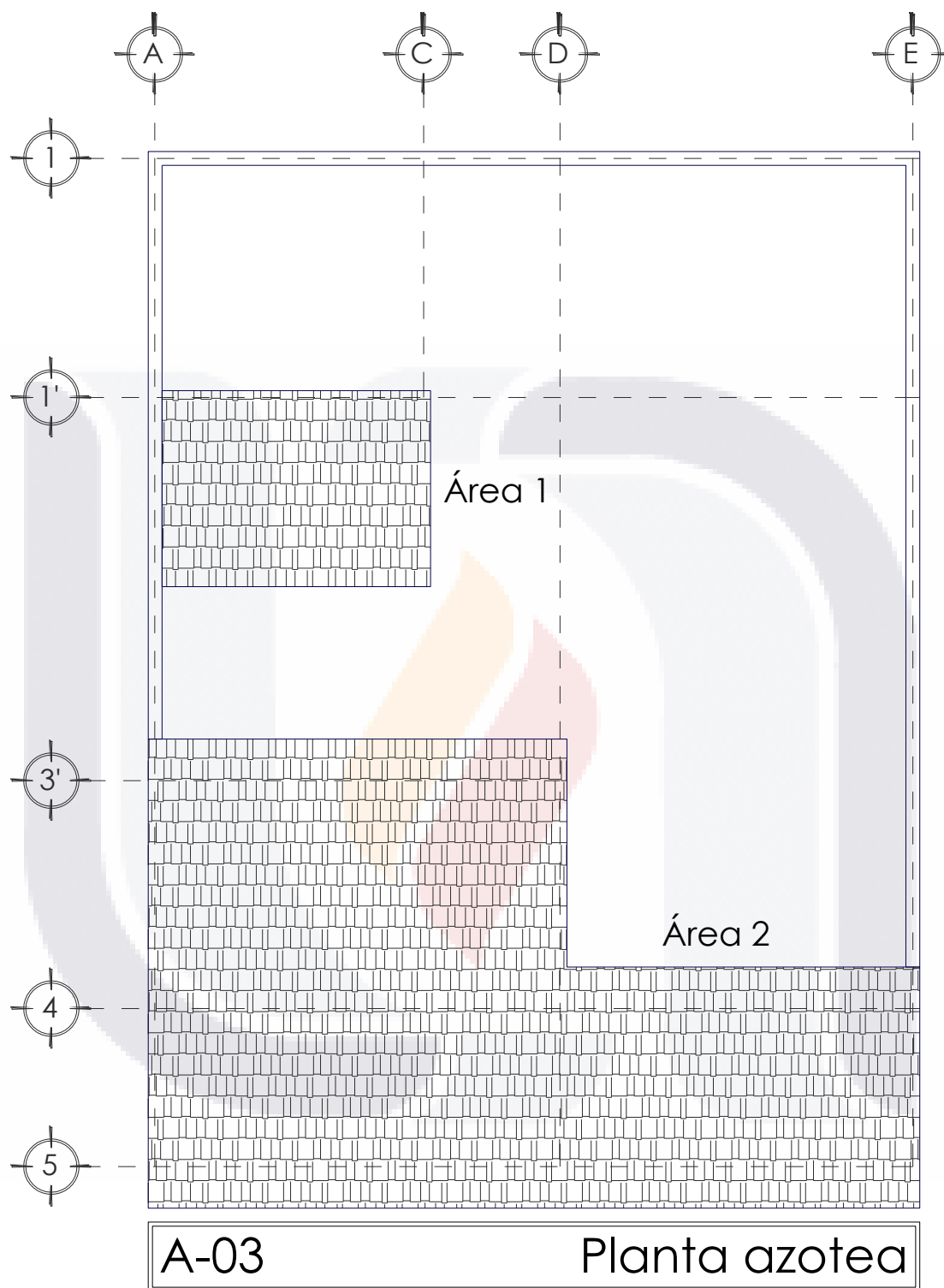


Figura 38. Plano arquitectónico de vivienda. Planta de azotea

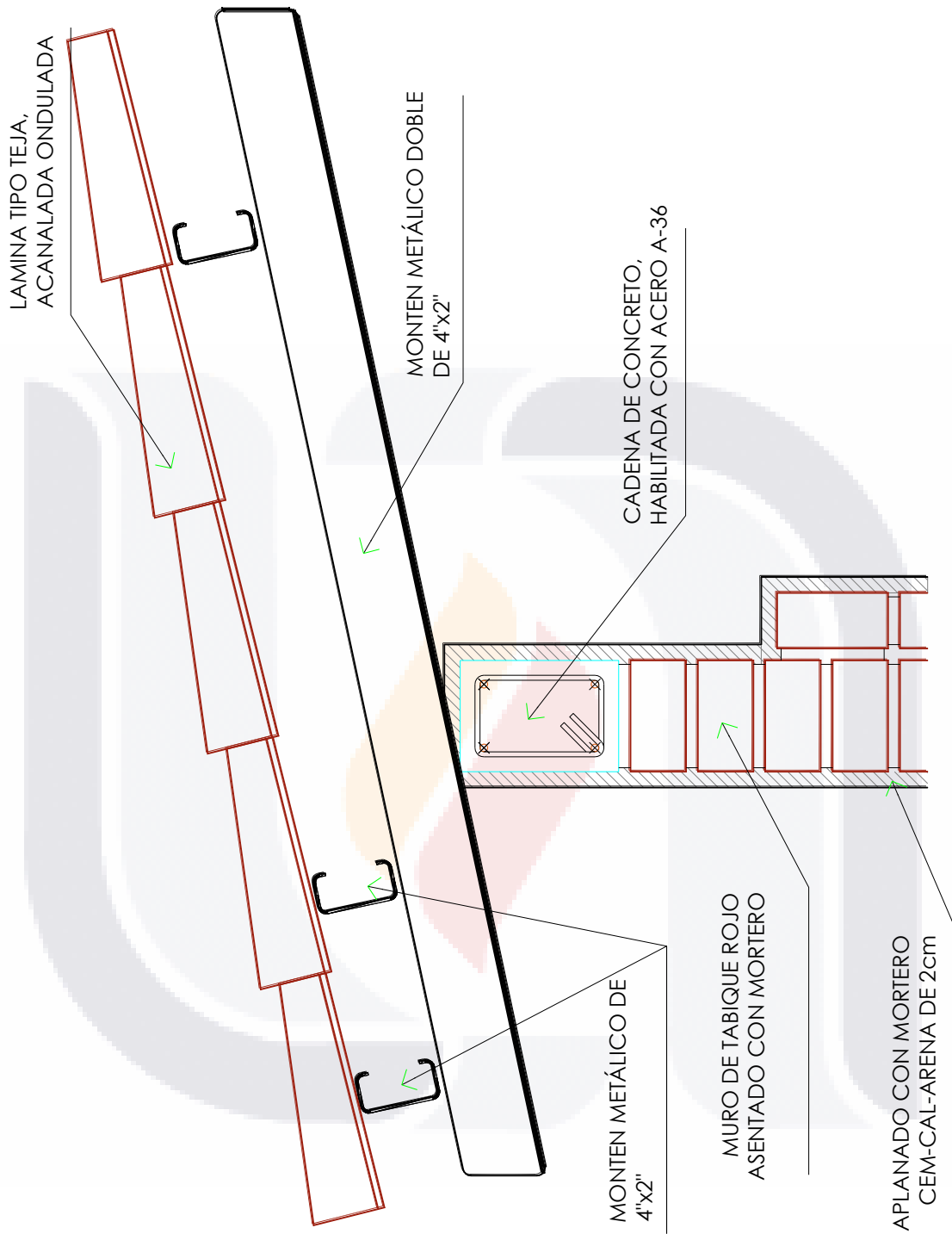


Figura 39. Detalle arquitectónico de la estructura de la cubierta metálica de terraza y habitación central.

Tabla 84. Bajada de cargas para la losa de entrapiso

Bajada de cargas losa de entrapiso		
Loseta cerámica =	1.90	Ton/m ³
Concreto reforzado =	2.40	Ton/m ³
Tabique de barro con mortero =	1.50	Ton/m ³
Mortero cem-cal-arena =	2.10	Ton/m ³
Loseta cerámica =	38.000	kg/m ²
Concreto reforzado =	120.000	kg/m ²
Tabique de barro con mortero =	105.000	kg/m ²
Mortero cem-cal-arena =	42.000	kg/m ²
Σ	305.000	kg/m ²

Tabla 85. Cargas actuantes en la losa de entrapiso

Losa de Vigueta y Tabique en Entrapiso		
Altura libre de entrapiso=	2.70	m
Espesor nominal de los muros=	14.0	cm
Área de losa=	157.96	m ²
Carga Viva (NTC DF 2004, Tabla 6.1)=	170.00	kg/m ²
Carga Muerta (Bajada de Cargas)=	305.000	kg/m ²
Factor de Carga, FC (NTC DF 2004)=	1.40	
FC x Carga viva =	238.00	kg/m ²
FC x Carga muerta =	427.00	kg/m ²
Σ	665.00	kg/m ²
Peso propio del muro=	1600.00	kg/m ²
Factor de carga FC=	1.40	
FC x carga viva =	2240.00	kg/m ²

Tabla 86. Bajada de cargas para la losa de azotea

Bajada de cargas de losa de azotea		
Enladrillado con cuña =	1.50	Ton/m ³
Relleno de cem-cal-jal =	1.20	Ton/m ³
Concreto reforzado =	2.40	Ton/m ³
Tabique de barro con mortero =	1.50	Ton/m ³
Mortero cem-cal-arena =	2.10	Ton/m ³
Enladrillado con cuña =	60.000	kg/m ²
Relleno de cem-cal-jal =	84.000	kg/m ²
Concreto reforzado =	120.000	kg/m ²
Tabique de barro con mortero =	105.000	kg/m ²
Mortero cem-cal-arena =	42.000	kg/m ²
Σ	411.000	kg/m ²

Tabla 87. Cargas actuantes en la losa de azotea

Losa de vigueta y tabique en azotea		
Altura libre de entrepiso=	2.50	m
Espesor nominal de los muros=	14.00	cm
Área de losa=	110.37	m ²
Carga viva (NTC DF 2004, Tabla 6.1)=	100.00	kg/m ²
Carga muerta (Bajada de Cargas)=	411.000	kg/m ²
Factor de carga, FC (NTC DF 2004)=	1.40	
FC x Carga Viva =	140.00	kg/m ²
FC x Carga Muerta =	575.40	kg/m ²
Σ	715.40	kg/m ²
Peso Propio del Muro=	1600.00	kg/m ²
FC x Carga Viva =	2240.00	kg/m ²

Tabla 88. Bajada de cargas para la cubierta en terraza.

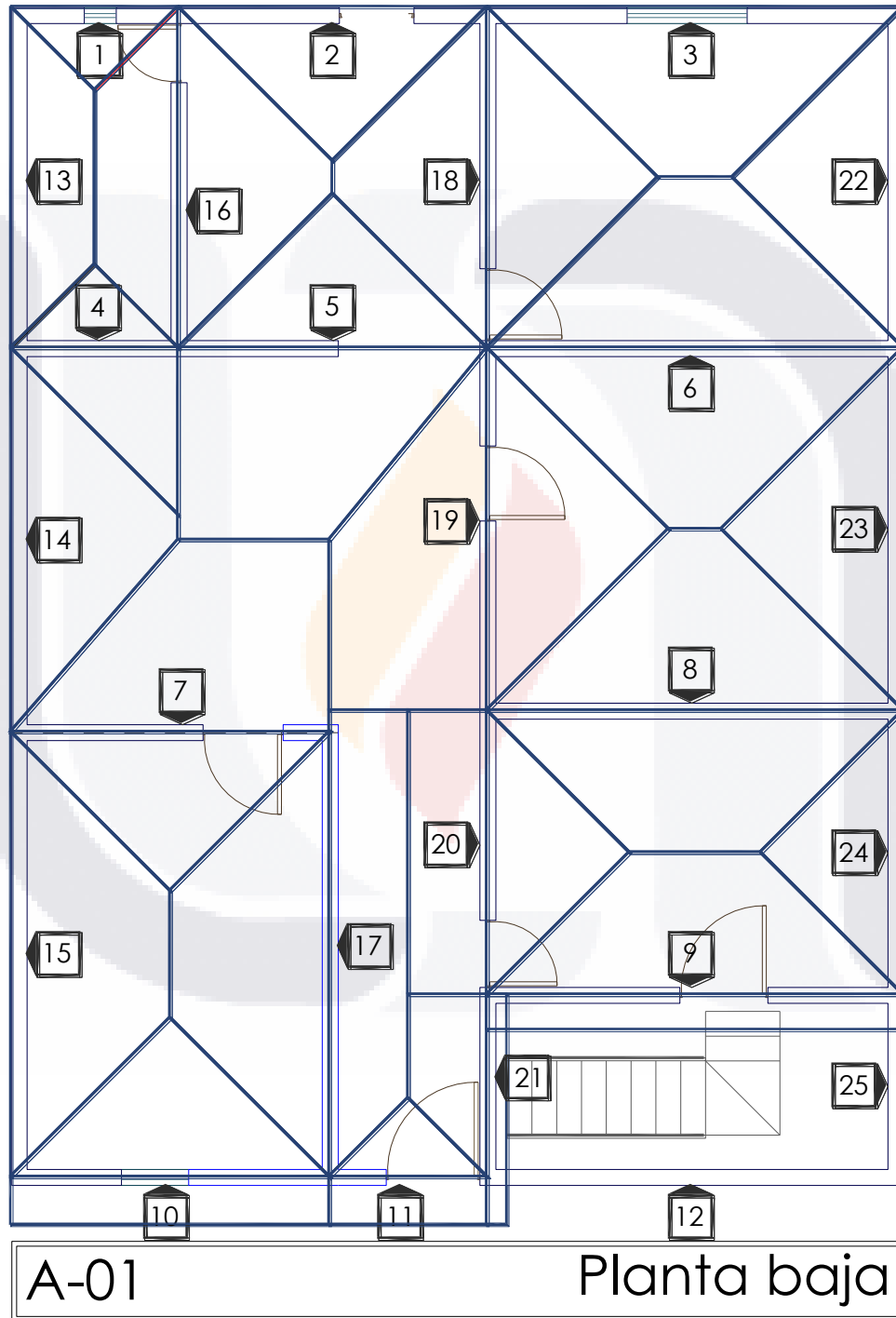
Bajada de cargas en cubierta			
Lamina tipo teja =	5.00	kg/m ²	Sección crítica en fachada Sección crítica al centro
Monten metálico de 4"x2" cal 10=	5.78	kg/m	
Lamina tipo teja =	5.000	kg/m ²	
Monten metálico de 4"x2" paralelo a la fachada=	17.340	kg/m ²	
Monten metálico de 4"x2" perpendicular a la fachada=	11.560	kg/m ²	
Σ	33.900	kg/m ²	

Tabla 89. Cargas actuantes en la cubierta de azotea

Cubierta de lamina tipo teja		
Altura mínima libre de entrepiso=	2.73	m
Altura máxima libre de entrepiso=	3.37	m
Pendiente máxima=	12.14%	
Espesor nominal de los muros=	14.00	cm
Área 1 de cubierta=	11.55	m ²
Área 2 de cubierta=	58.70	m ²
Carga viva (NTC DF 2004)=	40.00	kg/m ²
Carga accidental (NTC DF 2004, Tabla 6.1)=	30.00	kg/m ²
Carga muerta (bajada de cargas)=	33.900	kg/m ²
Factor de Carga, FC (NTC DF 2004)=	1.40	
FC x Carga Viva =	98.00	kg/m ²
FC x Carga Muerta =	47.46	kg/m ²
Σ	145.46	kg/m ²

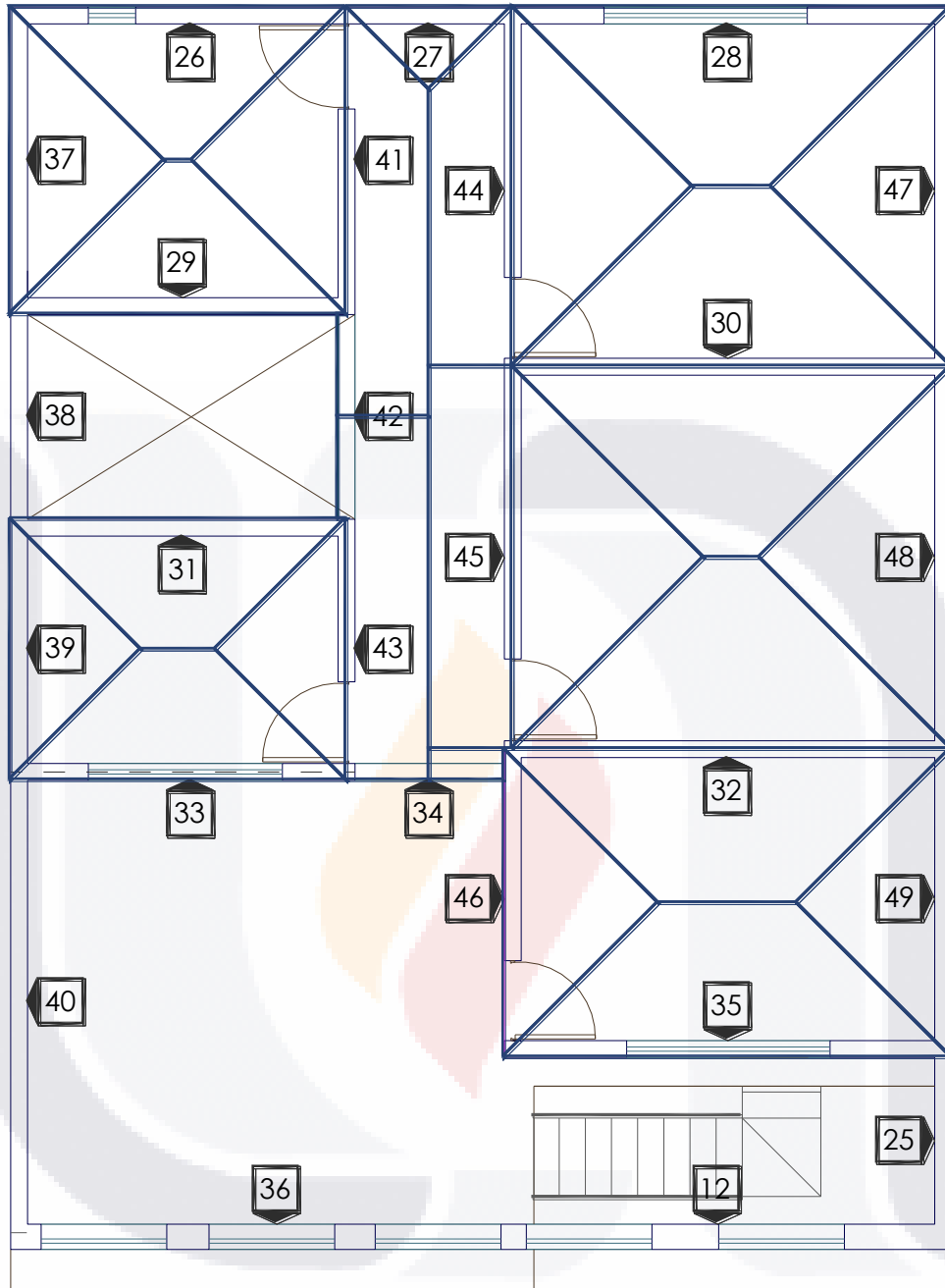
3.2.1.2.2 ÁREAS TRIBUTARIAS EN CADA NIVEL DE LA VIVIENDA ESTUDIADA

En este subcapítulo es subdividida la vivienda a fin de la determinación de áreas tributarias que fue empleado en los capítulos siguientes para la revisión estructural.



A-01 Planta baja

Figura 40. Plano arquitectónico definiendo áreas tributarias. Planta baja



A-02

Planta alta

Figura 41. Plano arquitectónico definiendo áreas tributarias. Planta alta

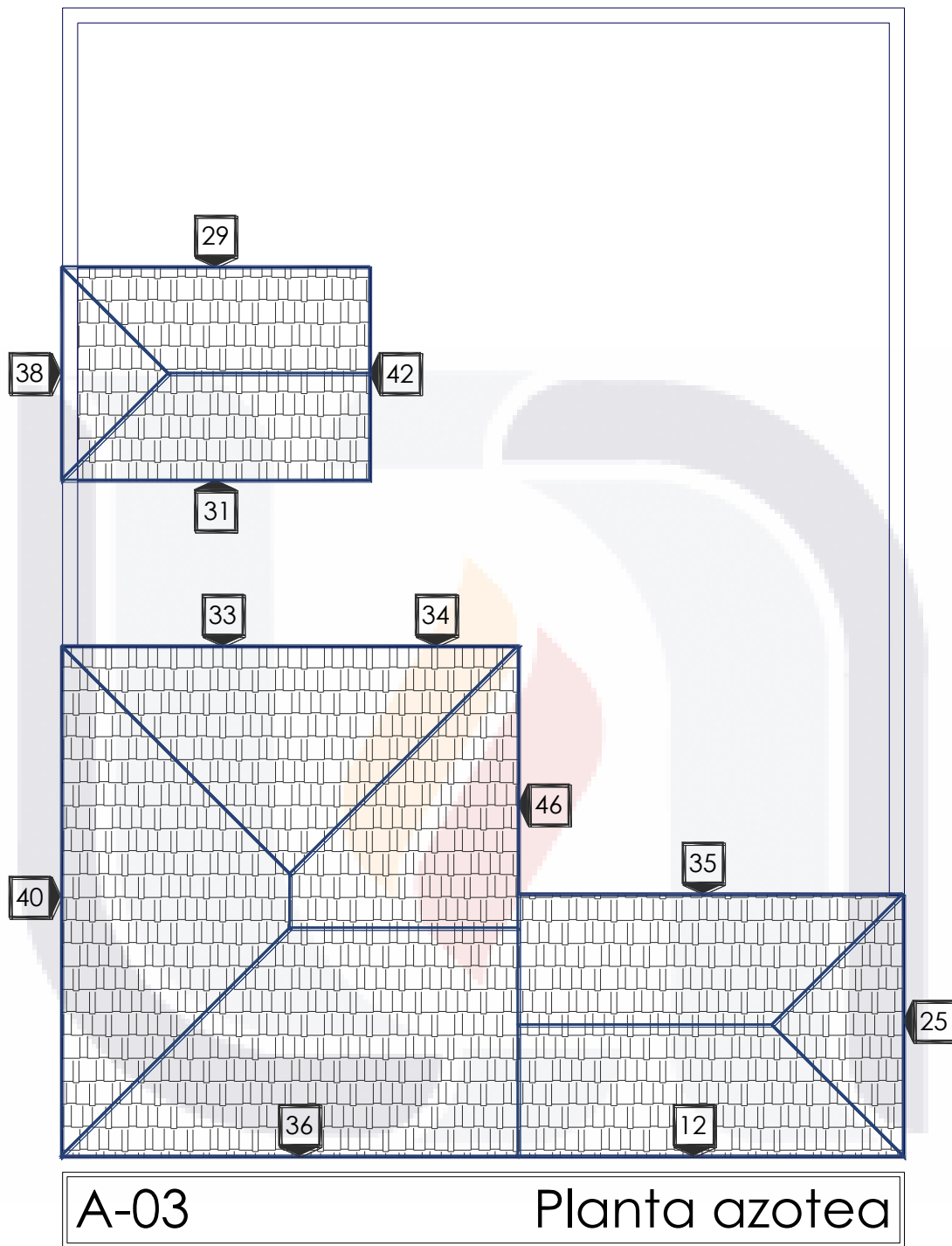


Figura 42. Plano arquitectónico definiendo áreas tributarias. Planta azotea

Tabla 90. Áreas tributarias en planta baja

Muro	Área tributaria m ²	Longitud m
1	1.087	1.595
2	3.720	2.930
3	6.539	3.600
4	3.271	1.995
5	10.634	1.990
6	13.190	5.100
7	11.014	2.885
8	12.734	5.100
9	8.371	4.000
10	6.343	3.045
11	2.147	0.692
12	0.000	5.100
13	3.365	4.170
14	5.351	4.810
15	7.119	5.570
16	7.881	3.330
17	12.387	5.570
18	9.069	3.170
19	11.723	3.590
20	6.670	2.620
21	2.476	2.280
22	4.553	4.170
23	5.148	4.540
24	3.168	3.560
25	0.000	2.280
Σ	157.960 (medida a eje)	87.692

Tabla 91. Áreas tributarias en planta alta

Muro	Área Tributaria m ²	Longitud m
26	3.933	3.325
27	0.970	1.970
28	6.544	2.690
29	3.933	3.885
30	13.195	5.100
31	3.767	3.885
32	13.001	5.100
33	3.767	1.685
34	0.000	0.000
35	6.350	2.790
36	0.000	0.000
37	3.331	3.450
39	2.403	2.900
41	7.759	2.440
43	6.774	1.930
44	8.279	3.110
45	9.625	3.470
46	3.676	2.510
47	4.558	4.170
48	5.153	4.540
49	3.349	3.560
Σ	110.366 (medida a eje)	62.510

Tabla 92. Áreas tributarias en cubierta metálica

Muro	Área tributaria m ²	Longitud m
12	7.359	5.100
25	3.026	2.280
29	4.772	3.885
31	4.772	3.885
33	9.151	1.685
34	0.000	0.000
35	7.359	5.100
36	13.725	5.855
38	2.002	2.630
40	11.329	5.570
42	0.000	0.000
46	6.753	2.510
Σ	70.248 (medida a eje)	38.500

**3.2.1.2.3 REVISIÓN POR CARGAS VERTICALES SEGÚN NORMAS TÉCNICAS
COMPLEMENTARIAS DEL DISTRITO FEDERAL, 2004**

La revisión de cargas verticales o revisión a compresión de los muros de tabique confinado, se basó en ecuaciones y parámetros que establecen las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, 2004. En este contexto debe satisfacer la siguiente ecuación:

$$P_R = F_R \cdot F_E \cdot (f_m^* + 4) \cdot A_T \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

P_R = Resistencia de diseño del muro a carga vertical.

F_R = Factor de resistencia.

F_R =

0.6

 para muros confinados o reforzados interiormente.

F_R =

0.3

 para muros no confinados ni reforzados interiormente.

F_E = Factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez.

F_E =

0.7

 Para muros interiores que soportan claros que no difieran en más del 50%.

F_E =

0.6

 Para muros extremos ó con claros que difieran en más del 50%.

Siempre y cuando:

ec	$< \text{ó} =$	$t/6$
H/t	$< \text{ó} =$	20

f_m^* = Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, referida al área bruta.

A_T = Área bruta de la sección transversal del muro o segmento de muro, que incluye a los castillos.

Se simplifica la revisión por cargas verticales mediante las siguientes tablas (tabla 93, 94 y 95) para la vivienda estudiada, las cargas fueron afectadas por el factor de carga establecido dentro de las mismas normas.

Cargas actuantes planta alta													
Muro	Área tributaria cm ²	Longitud cm	A _t cm ²	P _r kg	Azotea		Peso de cubierta metálica		Peso de muro entropiso		Carga total actuante		
					kg/m ²	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²	kg	kg	revisión	
12	73,589.0	510.0	7,140.0	56,977.2	715.4	0.0	145.5	1,070.4	313.6	627.2	8,732.5	9,802.9	CUMPLE
25	30,264.0	228.0	3,192.0	25,472.2	715.4	0.0	145.5	440.2	313.6	627.2	1,998.6	2,438.8	CUMPLE
26	39,329.0	332.5	4,655.0	37,146.9	715.4	2,813.6	145.5	0.0	313.6	627.2	3,041.9	5,855.5	CUMPLE
27	9,702.0	197.0	2,758.0	22,008.8	715.4	694.1	145.5	0.0	313.6	627.2	2,328.5	3,022.6	CUMPLE
28	65,438.0	269.0	3,766.0	30,052.7	715.4	4,681.4	145.5	0.0	313.6	627.2	3,998.4	8,679.8	CUMPLE
29	87,052.0	388.5	5,439.0	43,403.2	715.4	2,813.6	145.5	694.2	313.6	627.2	3,385.0	6,892.8	CUMPLE
30	131,949.0	510.0	7,140.0	56,977.2	715.4	9,439.6	145.5	0.0	313.6	627.2	3,998.4	13,438.0	CUMPLE
31	85,388.0	388.5	5,439.0	43,403.2	715.4	2,694.6	145.5	694.2	313.6	627.2	3,385.0	6,773.7	CUMPLE
32	130,012.0	510.0	7,140.0	56,977.2	715.4	9,301.1	145.5	0.0	313.6	627.2	3,998.4	13,299.5	CUMPLE
33	129,171.0	168.5	2,359.0	18,824.8	715.4	2,694.6	145.5	1,331.0	313.6	627.2	4,211.6	8,237.3	CUMPLE
34	0.0	0.0	0.0	0.0	715.4	0.0	145.5	0.0	313.6	627.2	0.0	0.0	CUMPLE
35	137,090.0	279.0	3,906.0	31,169.9	715.4	4,542.9	145.5	1,070.4	313.6	627.2	4,526.2	10,139.5	CUMPLE
36	137,246.0	585.5	8,197.0	65,412.1	715.4	0.0	145.5	1,996.4	313.6	627.2	11,941.9	13,938.3	CUMPLE
37	33,306.0	345.0	4,830.0	38,543.4	715.4	2,382.7	145.5	0.0	313.6	627.2	2,708.9	5,091.6	CUMPLE
38	20,023.0	263.0	3,682.0	29,382.4	715.4	0.0	145.5	291.3	313.6	627.2	2,300.6	2,591.8	CUMPLE
39	24,025.0	290.0	4,060.0	32,398.8	715.4	1,718.7	145.5	0.0	313.6	627.2	2,277.7	3,996.4	CUMPLE
40	113,286.0	557.0	7,798.0	62,228.0	715.4	0.0	145.5	1,647.9	313.6	627.2	5,303.9	6,951.8	CUMPLE
41	77,590.0	244.0	3,416.0	27,259.7	715.4	5,550.8	145.5	0.0	313.6	627.2	2,783.2	8,334.0	CUMPLE
42	0.0	0.0	0.0	0.0	715.4	0.0	145.5	0.0	313.6	627.2	0.0	0.0	CUMPLE

Tabla 93. Resumen del análisis de cargas verticales en muros de planta alta

Muro	Área tributaria cm ²	Longitud cm	A ₁ cm ²	P _r Kg	Azotea Kg	Entrepiso		Peso De cubierta metálica		Peso de muro planta baja		Peso de muro planta alta Kg	Carga total actuante		
						Kg	Kg	Kg/M ²	Kg	Kg/M	Kg		Kg	Kg	Revisión
1	10,870.0	159.5	2,233.0	17,819.3	781.2	722.9	145.5	0.0	846.7	1,350.5	1,560.2	4,414.8	CUMPLE		
2	37,199.0	293.0	4,102.0	32,734.0	2,664.8	2,473.7	145.5	0.0	846.7	2,480.9	4,429.6	12,049.0	CUMPLE		
3	65,388.0	360.0	5,040.0	40,219.2	4,681.4	4,348.3	145.5	0.0	846.7	3,048.2	3,998.4	16,076.3	CUMPLE		
4	32,710.0	199.5	2,793.0	22,288.1	157.2	2,175.2	145.5	468.7	846.7	1,689.2	570.8	5,061.1	CUMPLE		
5	106,343.0	199.0	2,786.0	22,232.3	4,637.1	7,071.8	145.5	770.3	846.7	1,685.0	1,673.4	15,837.5	CUMPLE		
6	131,899.0	510.0	7,140.0	56,977.2	9,439.6	8,771.3	145.5	0.0	846.7	4,318.3	3,998.4	26,527.6	CUMPLE		
7	110,138.0	288.5	4,039.0	32,231.2	5,327.5	7,324.2	145.5	900.6	846.7	2,442.8	4,931.4	20,926.5	CUMPLE		
8	127,337.0	510.0	7,140.0	56,977.2	9,113.3	8,467.9	145.5	1.5	846.7	4,318.3	3,998.4	25,899.3	CUMPLE		
9	83,706.0	400.0	5,600.0	44,688.0	4,727.1	5,566.4	145.5	1,188.9	846.7	3,386.9	4,558.2	19,427.5	CUMPLE		
10	63,431.0	304.5	4,263.0	34,018.7	0.0	4,218.2	145.5	923.4	846.7	2,578.3	6,652.1	14,371.9	CUMPLE		
11	21,472.0	69.2	969.1	7,733.3	0.0	1,427.9	145.5	339.0	846.7	586.1	2,118.7	4,471.7	CUMPLE		
12	0.0	510.0	7,140.0	56,977.2	0.0	0.0	145.5	787.5	846.7	4,318.3	8,732.5	13,838.2	CUMPLE		
13	33,651.0	417.0	5,838.0	46,587.2	2,273.5	2,237.8	145.5	48.9	846.7	3,530.8	3,341.1	11,432.1	CUMPLE		
14	53,506.0	481.0	6,734.0	53,737.3	2,659.6	3,558.1	145.5	316.6	846.7	4,072.7	5,544.4	16,151.5	CUMPLE		
15	71,192.0	557.0	7,798.0	62,228.0	3.4	4,734.3	145.5	1,036.3	846.7	4,716.2	5,328.1	15,818.2	CUMPLE		
16	78,813.0	333.0	4,662.0	37,202.8	5,366.9	5,241.1	145.5	97.8	846.7	2,819.6	1,648.6	15,173.9	CUMPLE		

Tabla 94. Resumen del análisis de cargas verticales en muros de planta baja

Cargas actuantes planta baja																
Muro	Área tributaria cm ²	Longitud cm	A _t cm ²	P _r Kg	Azotea		Entrepiso		Peso De cubierta metálica		Peso de muro planta baja		Peso de muro planta alta		Carga total actuante	
					Kg	Kg	Kg	Kg	Kg/M ²	Kg	Kg/M	Kg	Kg	Kg	Kg	Revisión
17	123,865.0	557.0	7,798.0	62,228.0	264.3	8,237.0	1,802.5	846.7	4,716.2	263.4	15,283.5	CUMPLE				
18	90,694.0	317.0	4,438.0	35,415.2	6,491.8	6,031.2	0.0	846.7	2,684.1	3,269.3	18,476.4	CUMPLE				
19	117,228.0	359.0	5,026.0	40,107.5	8,390.1	7,795.7	98.6	846.7	3,039.7	3,559.4	22,883.5	CUMPLE				
20	66,700.0	262.0	3,668.0	29,270.6	2,755.6	4,435.6	578.6	846.7	2,218.4	3,308.5	13,296.7	CUMPLE				
21	24,757.0	228.0	3,192.0	25,472.2	7.2	1,646.3	531.5	846.7	1,930.5	0.0	4,115.5	CUMPLE				
22	45,532.0	417.0	5,838.0	46,587.2	3,260.9	3,027.9	0.0	846.7	3,530.8	3,269.3	13,088.9	CUMPLE				
23	51,480.0	454.0	6,356.0	50,720.9	3,686.4	3,423.4	0.0	846.7	3,844.1	3,637.8	14,591.7	CUMPLE				
24	31,684.0	356.0	4,984.0	39,772.3	2,266.7	2,107.0	26.2	846.7	3,014.3	2,791.0	10,205.2	CUMPLE				
25	0.0	228.0	3,192.0	25,472.2	0.0	0.0	301.5	846.7	1,930.5	1,997.6	4,229.7	CUMPLE				

Tabla 95. Resumen del análisis de cargas verticales en muros de planta baja (continuación)

3.2.1.2.4 REVISIÓN POR CARGAS LATERALES SEGÚN NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL DISTRITO FEDERAL, 2004

En este capítulo se revisó la vivienda estudiada por cargas laterales o sismo mediante el método simplificado de las Normas Técnicas del Distrito federal, 2004. El análisis se describió previamente en capítulos anteriores.

Definiendo cargas actuantes

Las cargas actuantes, son las cargas muertas o permanentes aplicadas a cada entrepiso, como lo muestra la figura siguiente (figura 43).

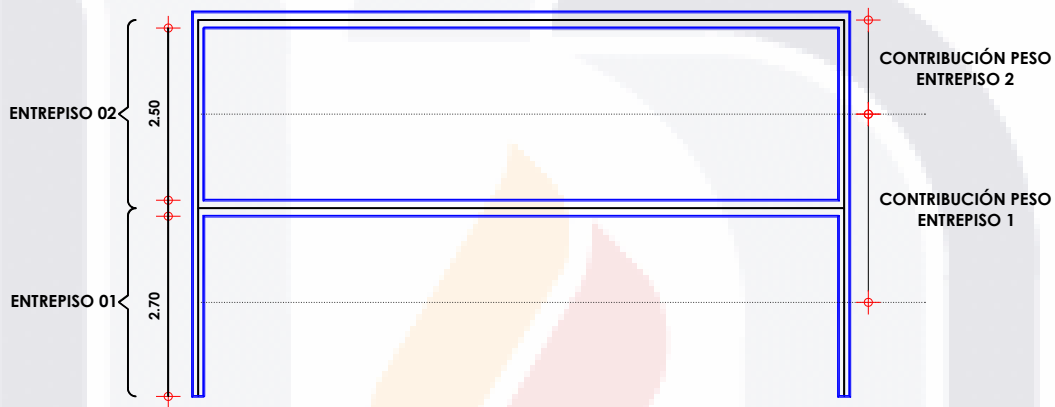


Figura 43. Contribución de peso en entrepiso 1 y 2

A continuación se presenta un resumen de las cargas actuantes que se encuentran en cada entrepiso (losa, muro, cubierta), sin embargo se maneja el valor según la contribución especificada del lado derecho de la figura 43.

Cargas

	ENTREPISO 2		ENTREPISO 1	
C_T Azotea y cubierta=	63,695.62	kg	C_T Losa de entrepiso =	75,030.76 kg

Contribución de muros

Longitud de muros planta alta=	101.010	m	h planta alta.=	Variable	m
Longitud de muros planta baja=	87.692	m	h planta baja=	2.70	m

Carga total

ENTREPISO 2

W muros=	38,343.8	kg
W ₂ =	102,039.4	kg

ENTREPISO 1

W muros=	83,962.0	kg
W ₁ =	158,992.7	kg

Obtención de fuerza lateral de cada entrepiso

La fuerza lateral de cada entrepiso se obtiene con la ecuación 44, misma que se presenta a continuación:

$$F_i = \frac{C}{Q} \cdot W_i \cdot h_i \cdot \frac{\sum W_i}{\sum W_i \cdot h_i}$$

Ecuación 44

Donde:

- Fi= Fuerza lateral en cada entrepiso.
- C= Coeficiente sísmico.
- Q= Factor de comportamiento dinámico, independiente de T.
- Wi= Peso de la i-ésima masa.
- hi= Altura de la i-ésima masa sobre el desplante.

Obtención de fuerza cortante

$$V_i = \sum F_i$$

Ecuación 45

Donde:

- Vi= Fuerza cortante en cada entrepiso.

Se resume en la tabla 96 la fuerza lateral y fuerza cortante de cada entrepiso para la vivienda estudiada.

Tabla 96. Calculo de cortante en entrepisos de vivienda

Entrepiso	Wi kg	Hi m	Wi hi kg*m	C	Q	Fi kg	Vi kg
2	102,039.4	2.5	255,098.45	0.105	1.5	6,893.80	6,893.80
1	83,962.0	2.7	226,697.28	0.105	1.5	6,126.29	13,020.09
Σ	186,001.3		481,795.73				

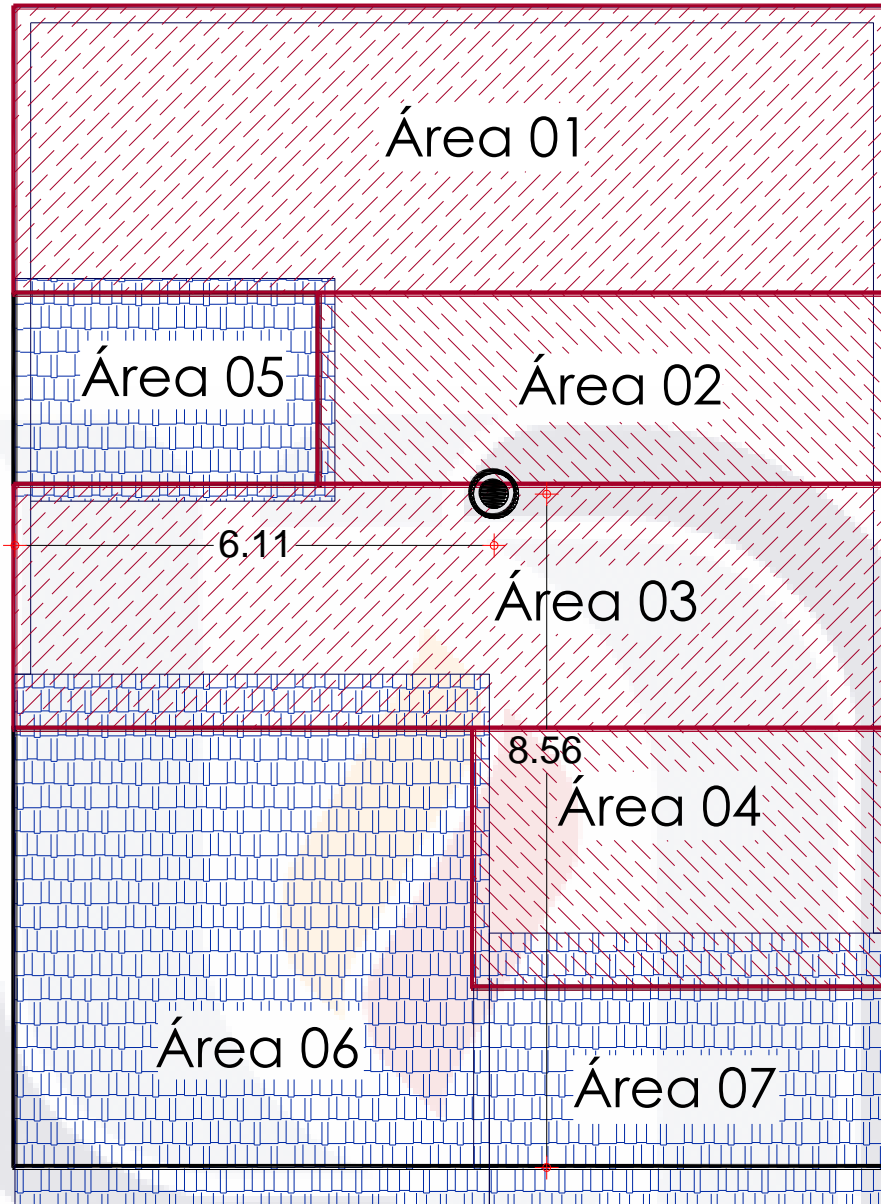
Obtención de centros de masa

En este apartado se determina el punto donde se localiza el centro de masa de cada entrepiso.

Se inicio obteniendo el centro de masa de la planta alta o entrepiso 2, se resume el cálculo en la tabla 97 y se representa los valores obtenidos en la figura 44.

Tabla 97. Centro de masa en entrepiso 02

Elemento	Área	Peso	X_i	$W_i X_i$	Y_i	$W_i Y_i$
	m ²	kg	m	kg*m	m	kg*m
Área 01	40.70	20,796.42	5.58	115,940.06	12.93	268,793.76
Área 02	17.67	9,027.38	7.52	67,840.74	9.89	89,235.62
Área 03	34.57	17,662.72	5.58	98,469.64	7.12	125,758.53
Área 04	17.44	8,910.31	8.50	75,737.61	3.93	34,972.95
Área 05	11.55	1,199.70	2.14	2,567.36	9.89	11,859.06
Área 06	40.96	4,255.49	3.03	12,872.87	2.89	12,277.10
Área 07	17.74	1,843.65	8.60	15,855.42	1.24	2,286.87
Σ		63,695.67		389,283.69		545,183.89
X_m=	6.112	m		Y_m=	8.559	m



A-03 Planta azotea

Figura 44. Localización del centro de masa en entrapiso 02

Se presenta a continuación la tabla resumen para posicionar el centro de masa del entrapiso 01, así como la se muestra en la figura 45 la localización del centro de masa.

Tabla 98. Centro de masa en entreciso 01

Elemento	Área	Peso	X_i	$W_i X_i$	Y_i	$W_i Y_i$
	m ²	kg	m	kg*m	m	kg*m
Área 01	142.83	67,844.96	5.575	378,235.67	8.345	566,166.21
Área 02	15.13	7,185.80	3.100	22,275.98	0.720	5,173.78
Muro 12	0.71	6,237.50	9.238	57,623.30	0.150	935.63
Muro 25	0.32	1,427.55	11.050	15,774.45	1.240	1,770.16
Muro 26	0.47	2,172.80	2.179	4,733.56	14.650	31,831.52
Muro 27	0.28	1,663.20	4.965	8,257.79	14.650	24,365.88
Muro 28	0.38	2,856.00	8.767	25,039.53	14.650	41,840.40
Muro 29	0.54	2,417.86	2.140	5,174.21	11.200	27,079.99
Muro 30	0.71	2,856.00	8.500	24,276.00	10.480	29,930.88
Muro 31	0.54	2,417.86	2.038	4,926.38	8.570	20,721.03
Muro 32	0.71	2,856.00	8.500	24,276.00	5.940	16,964.64
Muro 33	0.24	3,008.32	2.137	6,429.06	5.670	17,057.17
Muro 34	0.00	0.00	4.965	0.00	5.670	0.00
Muro 35	0.39	3,232.99	8.402	27,165.19	2.380	7,694.52
Muro 36	0.82	8,529.92	2.810	23,969.31	0.150	1,279.49
Muro 37	0.48	1,934.91	0.100	193.49	12.925	25,008.74
Muro 38	0.37	1,643.26	0.100	164.33	9.885	16,243.66
Muro 39	0.41	1,626.91	0.100	162.69	7.375	11,998.48
Muro 40	0.78	3,788.51	0.100	378.85	2.885	10,929.86
Muro 41	0.34	1,988.00	3.980	7,912.24	12.320	24,492.16
Muro 42	0.00	0.00	3.980	0.00	9.885	0.00
Muro 43	0.27	1,736.00	3.980	6,909.28	7.705	13,375.88
Muro 44	0.44	2,335.20	5.950	13,894.44	13.095	30,579.44
Muro 45	0.49	2,542.40	5.950	15,127.28	8.695	22,106.17
Muro 46	0.35	2,484.16	5.950	14,780.75	4.635	11,514.08
Muro 47	0.58	2,335.20	11.050	25,803.96	12.565	29,341.79
Muro 48	0.64	2,542.40	11.050	28,093.52	8.210	20,873.10
Muro 49	0.50	1,993.60	11.050	22,029.28	4.160	8,293.38
Σ		141,657.32		763,606.52		1,017,568.03
X_m=	5.391	m		Y_m=	7.183	m

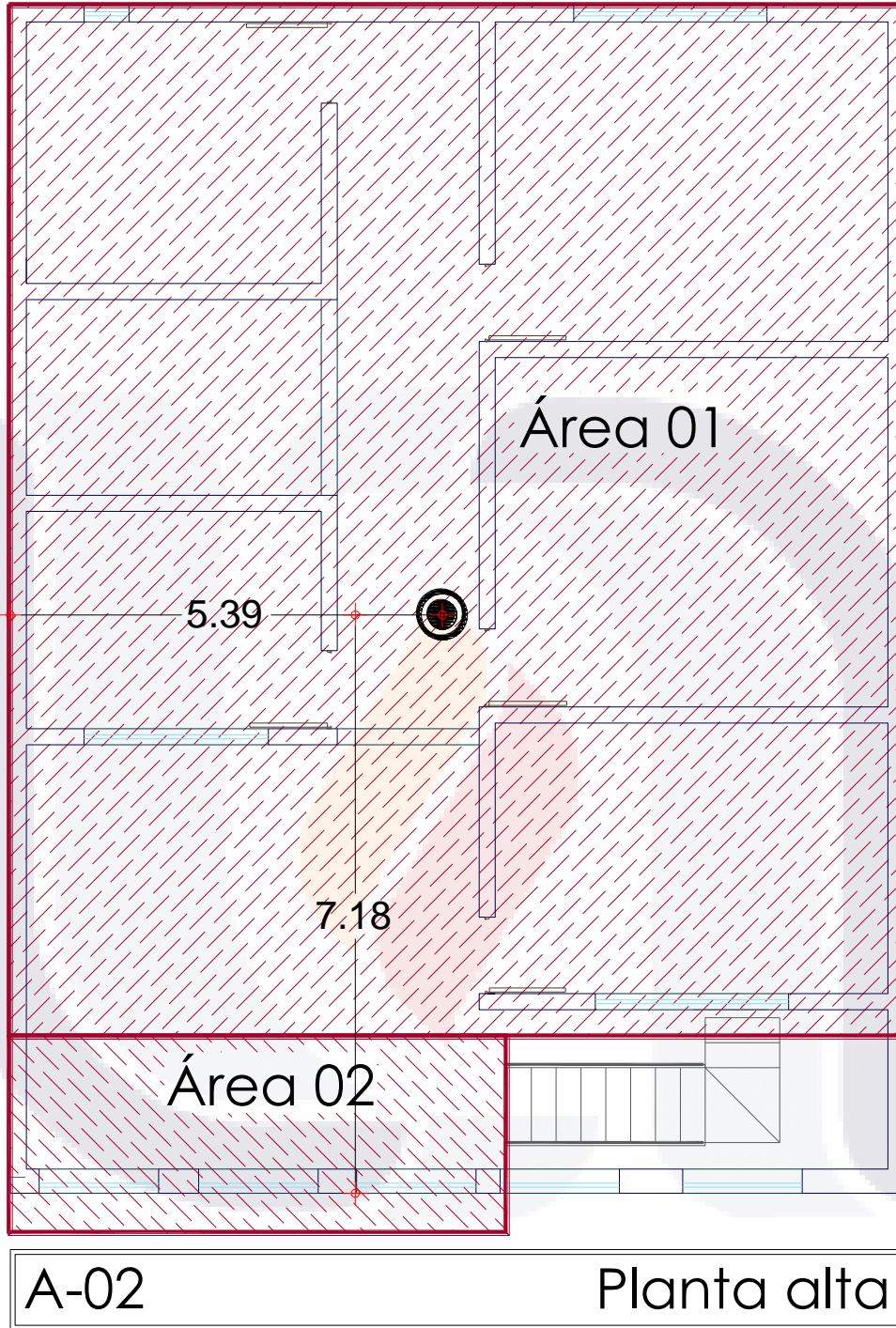


Figura 45. Localización del centro de masa en entrepiso 01.

Cálculo de rigideces

El cálculo de rigidez de la vivienda de estudio se calculó con la siguiente expresión:

$$R_j = \frac{1}{\left(\frac{H^3}{3EI} + \frac{H}{GA} \right)}$$

Ecuación 46

Donde:

- H= Altura del entrepiso.
- E= Modulo de elasticidad de la mampostería.
- I= Momento de Inercia del i-ésimo muro.
- G= Módulo de rigidez medio.
- A= Área de la sección transversal del i-ésimo muro.

La tabla 99 resume el cálculo de rigidez de los muros en la dirección X, y la tabla 100, en la dirección Y:

W _{azotea} =	63,695.6	kg	V _{azotea} =	6,893.80	kg
W _{entrepiso} =	75,030.8	kg	V _{entrepiso} =	13,020.09	kg
C=	0.105		G=	1.60E+07	Kg/m ²
Q=	1.5		t=	0.14	m
H=	2.5	m	t muro 36 y 12=	0.30	m
E=	4.00E+07	Kg/m ²			

Tabla 99. Cálculo de rigidez en muros de planta alta. Dirección X

Muro	L m	I m ⁴	A m ²	R _j kg/m	Y _i m	R _{ij} *Y _i kg
12	5.100	1.548	0.714	3,300,619.16	0.150	495,092.87
26	3.325	0.429	0.466	1,564,281.18	14.650	22,916,719.34
27	1.970	0.089	0.276	493,502.17	14.650	7,229,806.72
28	2.690	0.227	0.377	1,011,872.62	14.650	14,823,933.88
29	3.885	0.684	0.544	2,093,748.91	11.200	23,449,987.79
30	5.100	1.548	0.714	3,300,619.16	10.480	34,590,488.81
31	3.885	0.684	0.544	2,093,748.91	8.570	17,943,428.16
32	5.100	1.548	0.714	3,300,619.16	5.940	19,605,677.82
33	1.685	0.056	0.236	333,863.48	5.670	1,893,005.93
34	0.000	0.000	0.000	0.00	5.670	0.00
35	2.790	0.253	0.391	1,094,179.89	2.380	2,604,148.13
36	5.855	2.342	0.820	4,061,355.84	0.150	609,203.37
Σ				22,648,410.48		146,161,492.84

Tabla 100. Cálculo de rigidez en muros de planta alta. Dirección Y

Muro	L m	I m ⁴	A m ²	R _j kg/m	X _j m	R _{ij} *X _j kg
25	2.280	0.138	0.319	698,738.51	11.050	7,721,060.55
37	3.450	0.479	0.483	1,679,854.26	0.100	167,985.43
38	2.630	0.212	0.368	963,506.11	0.100	96,350.61
39	2.900	0.285	0.406	1,186,993.16	0.100	118,699.32
40	5.570	2.016	0.780	3,774,210.03	0.100	377,421.00
41	2.440	0.169	0.342	815,865.92	3.980	3,247,146.34
42	0.000	0.000	0.000	0.00	3.980	0.00
43	1.930	0.084	0.270	469,321.82	3.980	1,867,900.85
44	3.110	0.351	0.435	1,370,056.42	5.950	8,151,835.72
45	3.470	0.487	0.486	1,698,506.10	5.950	10,106,111.27
46	2.510	0.184	0.351	869,238.40	5.950	5,171,968.50
47	4.170	0.846	0.584	2,372,146.92	11.050	26,212,223.49
48	4.540	1.092	0.636	2,738,984.27	11.050	30,265,776.21
49	3.560	0.526	0.498	1,782,943.26	11.050	19,701,523.04
Σ				20,420,365.18		113,206,002.33

Cálculo de centro de torsión

El punto de aplicación del centro de torsión se obtiene con las siguientes expresiones:

$$X_t = \frac{\sum (R_{jy} \cdot X_j)}{\sum R_{jy}} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$Y_t = \frac{\sum (R_{jx} \cdot Y_i)}{\sum R_{jx}} \quad \text{Ecuación 48}$$

Para el caso de la vivienda de estudio se obtuvo los siguientes valores:

$$X_t = 6.453 \text{ m}$$

X_t = Centro de torsión en la dirección X.

$$Y_t = 5.544 \text{ m}$$

Y_t = Centro de torsión en la dirección Y.

Cálculo de punto de aplicación de fuerzas cortantes

El punto de aplicación de las fuerzas cortantes se obtiene con la ecuación 49 y 50, presentadas a continuación:

$$X_v = \frac{\sum (F_i \cdot X_i)}{V_i} \quad \text{Ecuación 49}$$

$$Y_v = \frac{\sum (F_i \cdot Y_i)}{V_i} \quad \text{Ecuación 50}$$

Tabla 101. Cálculo de fuerza cortante en entrepiso 1 y 2

Dirección X

Nivel	F _i kg	V _i kg	Y _i m	F _i *Y _i kg*m	Σ(F _i *Y _i) kg*m	Y _v m
Entrepiso 2	6,893.80	6,893.80	8.559	59,005.44	59,005.44	8.56
Entrepiso 1	6,126.29	13,020.09	7.183	44,007.01	103,012.46	3.38

Dirección Y

Nivel	F _i kg	V _i kg	X _i m	F _i *X _i kg*m	Σ(F _i *X _i) kg*m	X _v m
Entrepiso 2	6,893.80	6,893.80	6.112	42,132.31	42,132.31	6.11
Entrepiso 1	6,126.29	13,020.09	5.391	33,023.88	75,156.19	2.54

Distribución de fuerzas cortantes en planta baja

Una vez obtenidos los puntos de aplicación del efecto cortante y el punto de torsión se obtuvo la excentricidad:

$$e_s = Y_t - Y_v \quad \text{Direccion X} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$e_s = X_t - X_v \quad \text{Direccion Y} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$e_1 = 1.5e_s + 0.1b \quad \text{Ecuación 53}$$

$$e_2 = e_s - 0.1b \quad \text{Ecuación 54}$$

X _v =	2.536	m
Y _v =	3.380	m
X _i =	6.558	m
Y _i =	5.545	m
V=	13,020.09	kg

e _s =	2.165	m	Dirección X
b=	11.150	m	

e _s =	4.022	m	Dirección Y
b=	14.750	m	

Así mismo, se determinan los momentos de torsión con las siguientes ecuaciones:

$$M_{t1} = V \cdot e_1 \quad \text{Ecuación 55}$$

$$M_{t2} = V \cdot e_2 \quad \text{Ecuación 56}$$

Dirección X

e ₁ =	4.362	m
e ₂ =	1.050	m
M _{t1} =	56,797.71	kg*m
M _{t2} =	13,669.47	kg*m

Dirección Y

e ₁ =	7.508	m
e ₂ =	2.547	m
M _{t1} =	97,751.86	kg*m
M _{t2} =	33,160.18	kg*m

Para los cálculos posteriores se empleó el momento máximo para las direcciones X y Y.

Efecto cortante

$$Y_{jt} = Y_j - Y_t \quad \text{Ecuación 57}$$

$$x_{jt} = x_j - x_t \quad \text{Ecuación 58}$$

$$Directo = \frac{V_x \cdot R_{jx}}{\sum R_{jx}} \quad \text{Ecuación 59}$$

$$Torsión = \frac{M_t \cdot R_{jx} \cdot Y_{jt}}{\sum R_{jx} Y_{jt}^2 + \sum R_{jy} X_{jt}^2} \quad \text{Ecuación 60}$$

$$Total = Torsión + Directo \quad \text{Ecuación 61}$$

Los resultados se resumen a continuación, igualmente las tablas 102 y 103 presentan el resumen para los muros de la dirección X y Y.

Y_t =	5.545	m	X_t =	6.558	m	M_{tx} =	56,797.71	kg*m
V_x =	13,020.09	kg	V_y =	13,020.09	kg	M_{ty} =	97,751.86	kg*m

Muro	R _{yx} kg/m		Y _j m		Y _{jt} m		R _{yx} * Y _{jt} ²	Efecto v _x			Efecto v _y		(v _x +0.3v _y)	(v _y +0.3v _x)
								Directo	Torsión	Total	Torsión	Total		
12	2,992,663.6		0.2		-5.4		87,098,255.9	1,858.8	867.9	2,726.7	1,493.7		3,174.8	2,311.7
26	1,497,687.3		14.7		9.1		124,165,123.4	930.2	733.0	1,663.3	1,261.6		2,041.8	1,760.6
27	507,859.8		14.7		9.1		42,103,900.8	315.4	248.6	564.0	427.8		692.4	597.0
28	998,610.4		14.7		9.1		82,789,363.3	620.3	488.8	1,109.0	841.2		1,361.4	1,173.9
29	1,962,079.7		11.2		5.7		62,749,713.9	1,218.7	596.5	1,815.2	1,026.5		2,123.1	1,571.1
30	2,992,663.6		10.5		4.9		72,889,750.8	1,858.8	793.9	2,652.7	1,366.4		3,062.7	2,162.2
31	1,962,079.7		8.6		3.0		17,956,565.7	1,218.7	319.1	1,537.8	549.1		1,702.5	1,010.5
32	2,992,663.6		5.9		0.4		467,390.6	1,858.8	63.6	1,922.4	109.4		1,955.2	686.1
33	349,811.1		5.7		0.1		5,482.8	217.3	2.4	219.6	4.1		220.8	69.9
34	0.0		5.7		0.1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0
35	1,074,223.2		2.4		-3.2		10,759,412.3	667.2	182.8	850.0	314.5		944.3	569.5
36	3,631,812.4		0.2		-5.4		105,699,994.8	2,255.8	1,053.2	3,309.0	1,812.7		3,852.8	2,805.4
Σ	20,962,154.2						606,684,954.2							

Tabla 102. Efecto cortante en dirección X

Muro	R_{ij} kg/m		X_j	X_{jf}	$R_{ij} * X_{jf}^2$	Efecto v_y			Efecto v_x		$(v_y + 0.3v_x)$	$(v_x + 0.3v_y)$
	Directo	Torsión				Total	Directo	Torsión	Total			
25	705,630.0		11.1	4.5	14,236,835.0	475.4	293.2	768.6	170.4	819.7	401.0	401.0
37	1,600,005.2		0.1	-6.5	66,734,075.0	1,077.9	956.0	2,033.9	555.5	2,200.5	1,165.6	1,165.6
38	953,931.4		0.1	-6.5	39,787,203.0	642.6	570.0	1,212.6	331.2	1,312.0	695.0	695.0
39	1,158,899.1		0.1	-6.5	48,336,129.0	780.7	692.4	1,473.1	402.3	1,593.8	844.3	844.3
40	3,391,141.1		0.1	-6.5	141,439,957.0	2,284.5	2,026.2	4,310.7	1,177.3	4,663.9	2,470.5	2,470.5
41	816,305.6		4.0	-2.6	5,426,180.0	549.9	194.7	744.6	113.1	778.6	336.5	336.5
42	0.0		4.0	-2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
43	484,184.9		4.0	-2.6	3,218,494.0	326.2	115.5	441.7	67.1	461.8	199.6	199.6
44	1,324,279.2		6.0	-0.6	489,900.0	892.1	74.5	966.7	43.3	979.6	333.3	333.3
45	1,616,462.6		6.0	-0.6	597,989.0	1,089.0	91.0	1,179.9	52.9	1,195.8	406.8	406.8
46	866,284.9		6.0	-0.6	320,471.0	583.6	48.7	632.3	28.3	640.8	218.0	218.0
47	2,202,542.3		11.1	4.5	44,438,600.0	1,483.8	915.3	2,399.1	531.8	2,558.6	1,251.5	1,251.5
48	2,516,539.7		11.1	4.5	50,773,827.0	1,695.3	1,045.8	2,741.1	607.6	2,923.4	1,430.0	1,430.0
49	1,690,785.0		11.1	4.5	34,113,360.0	1,139.0	702.6	1,841.7	408.3	1,964.1	960.7	960.7
Σ	19,326,991.4				449,913,019.1							

Tabla 103. Efecto cortante en dirección Y

**3.2.1.2.5 REVISIÓN POR CORTANTE SEGÚN NORMAS TÉCNICAS
COMPLEMENTARIAS DEL DISTRITO FEDERAL, 2004**

La última revisión que se realizó a los muros de tabique confinado fue a cortante basado en los criterios de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, publicadas en el año 2004.

A continuación la ecuación 62 muestra el criterio necesario para verificar que los muros tengan la capacidad a cortante:

$$V_{mR} = FAE \cdot F_R \cdot (0.5 \cdot V_m^* \cdot A_T + 0.3P) \leq 1.5 \cdot F_R \cdot V_m^* \cdot A_T \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

F_R = Factor de resistencia.

F_R =

0.7

 De sección 3.1.4.3 de NTC-DF 2004.

FAE = Factor de área efectiva de muros de carga.

H = Altura del entrepiso.

A_T = Área bruta de la sección transversal del muro o segmento de muro, que incluye a los castillos.

P = Carga axial total que obra sobre el muro, sin multiplicar por el factor de carga.

V_m^* = Resistencia de diseño a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga.

Para el caso de la vivienda estudiada se simplifica la revisión por medio de las siguientes tablas (tabla 104 y 105).

H =	2.70	m		V_u =	14,322.10	kg
V_m^* =	30,000.00	kg/m ²	Factor de carga=	1.10		

Tabla 104. Revisión de cortante en la dirección X

Muro	L m	H/L	FAE	A _T m ²	Área tributaria m ²	C _T kg	W muro kg	P kg	Vm _R kg
1	1.595	1.69	0.617	0.223	1.087	1,074.3	964.656	2,039.0	1,711.68
2	2.930	0.92	1.0000	0.410	3.720	3,670.4	1772.064	5,442.4	5,450.01
3	3.600	0.75	1.000	0.504	6.539	6,449.8	2177.28	8,627.1	7,103.69
4	1.995	1.35	0.966	0.279	3.271	2,000.8	1206.576	3,207.4	3,482.67
5	1.990	1.36	0.961	0.279	10.634	8,913.7	1203.552	10,117.3	4,852.52
6	5.100	0.53	1.000	0.714	13.190	13,007.8	3084.48	16,092.3	10,876.38
7	2.885	0.94	1.000	0.404	11.014	9,680.2	1744.848	11,425.1	6,640.22
8	5.100	0.53	1.000	0.714	12.734	12,559.0	3084.48	15,643.5	10,782.14
9	4.000	0.68	1.000	0.560	8.371	8,201.7	2419.2	10,620.9	8,110.40
10	3.045	0.89	1.000	0.426	6.343	3,672.5	1841.616	5,514.2	5,634.12
11	0.692	3.90	0.116	0.097	2.147	1,262.1	418.64256	1,680.7	159.34
12	5.100	0.53	1.000	0.714	0.000	562.5	3084.48	3,647.0	8,262.86
Σ				5.325					73,066.01

CUMPLE

$$Vm_R \leq 1.5 \cdot F_R \cdot Vm^* A_T = 167,722.0 \text{ kg}$$

CUMPLE

Tabla 105. Revisión de cortante en la dirección Y

Muro	L m	H/L	FAE	A _T m ²	Área tributaria m ²	C _T kg	Wmuro kg	P kg	Vm _R kg
13	4.170	0.65	1.000	0.584	3.365	3,257.3	2522.016	5,779.3	7,343.55
14	4.810	0.56	1.000	0.673	5.351	4,667.4	2909.088	7,576.5	8,661.76
15	5.570	0.48	1.000	0.780	7.119	4,124.2	3368.736	7,493.0	9,761.42
16	3.330	0.81	1.000	0.466	7.881	7,647.0	2013.984	9,660.9	6,923.90
17	5.570	0.48	1.000	0.780	12.387	7,359.9	3368.736	10,728.6	10,440.91
18	3.170	0.85	1.000	0.444	9.069	8,945.0	1917.216	10,862.2	6,940.96
19	3.590	0.75	1.000	0.503	11.723	11,631.7	2171.232	13,802.9	8,175.91
20	2.620	1.03	1.000	0.367	6.670	5,549.8	1584.576	7,134.4	5,349.63
21	2.280	1.18	1.000	0.319	2.476	1,560.7	1378.944	2,939.6	3,968.92
22	4.170	0.65	1.000	0.584	4.553	4,492.0	2522.016	7,014.0	7,602.85
23	4.540	0.59	1.000	0.636	5.148	5,078.4	2745.792	7,824.2	8,316.89
24	3.560	0.76	1.000	0.498	3.168	3,142.8	2153.088	5,295.8	6,345.33
25	2.280	1.18	1.000	0.319	0.000	215.4	1378.944	1,594.3	3,686.40
Σ				6.952					93,518.42
									CUMPLE

$$Vm_R \leq 1.5 \cdot F_R \cdot Vm^* A_T = 219,000.6 \text{ kg}$$

CUMPLE

3.2.1.3 Inspección de patologías

Las siguientes tablas muestran los muros que se encuentran dañados con grietas significativas en los muros tanto de planta baja como de planta alta.

Tabla 106. Inspección de grietas en muros de planta baja y en muros de planta alta

Muro	Nivel	Grietas	No. de grietas	Muro	Nivel	Grietas	No. de grietas
1	pb	no	0.0	12	pa	si	4.0
2	pb	no	0.0	25	pa	si	1.0
3	pb	no	0.0	26	pa	no	0.0
4	pb	no	0.0	27	pa	no	0.0
5	pb	si	1.0	28	pa	no	0.0
6	pb	si	1.0	29	pa	no	0.0
7	pb	no	0.0	30	pa	si	6.0
8	pb	si	4.0	31	pa	si	3.0
9	pb	si	7.0	32	pa	si	2.0
10	pb	si	9.0	33	pa	si	2.0
11	pb	no	0.0	34	pa	si	2.0
12	pb	si	2.0	35	pa	si	2.0
13	pb	no	0.0	36	pa	si	9.0
14	pb	no	0.0	37	pa	no	0.0
15	pb	si	2.0	38	pa	no	0.0
16	pb	no	0.0	39	pa	no	0.0
17	pb	no	0.0	40	pa	no	0.0
18	pb	no	0.0	41	pa	si	1.0
19	pb	no	0.0	42	pa	si	2.0
20	pb	no	0.0	43	pa	si	1.0
21	pb	si	2.0	44	pa	no	0.0
22	pb	si	4.0	45	pa	si	5.0
23	pb	si	1.0	46	pa	si	1.0
24	pb	si	6.0	47	pa	si	6.0
25	pb	si	6.0	48	pa	si	8.0
				49	pa	si	1.0

Para la toma de mediciones así como para la representación de las mismas en el modelo, se optó por revisar los muros en la cara que tenga mayor

accesibilidad tanto para mediciones. A continuación de muestra en la figura 46 y 47 las caras que fueron consideradas:

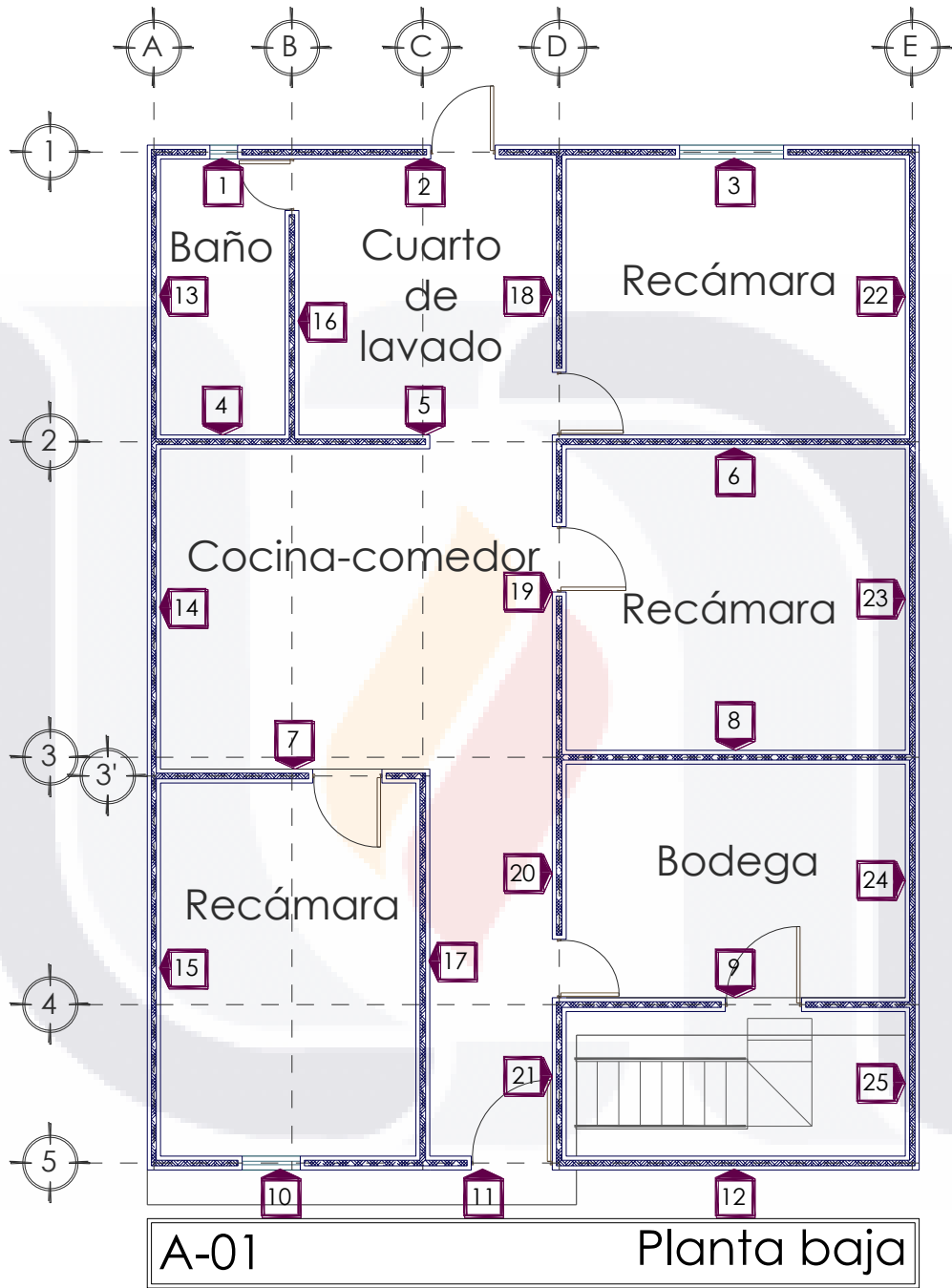


Figura 46. Caras de muros consideradas en el análisis. Planta baja

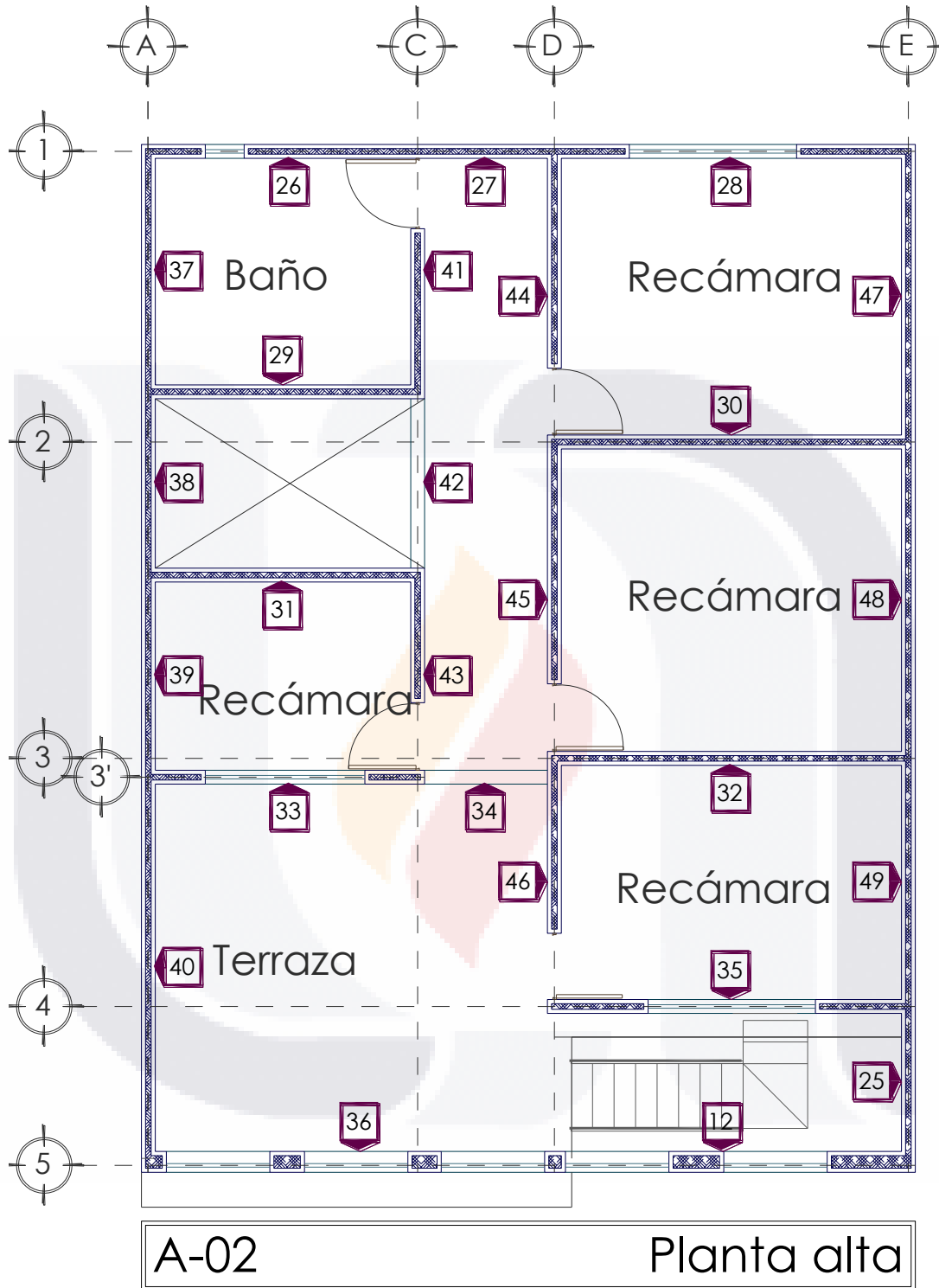


Figura 47. Caras de muros consideradas en el análisis. Planta Alta

Durante la inspección se recabó un álbum fotográfico, del que se presentan algunas de las grietas en muros a fin de mostrar algunos de los daños más significativos de la vivienda:



Figura 48. Muro 10 de planta baja. Vista interna



Figura 49. Muro 20 de planta baja. Desplazamiento vertical inicial



Figura 50. Muro 30 de planta alta



Figura 51. Muro 47 de planta alta

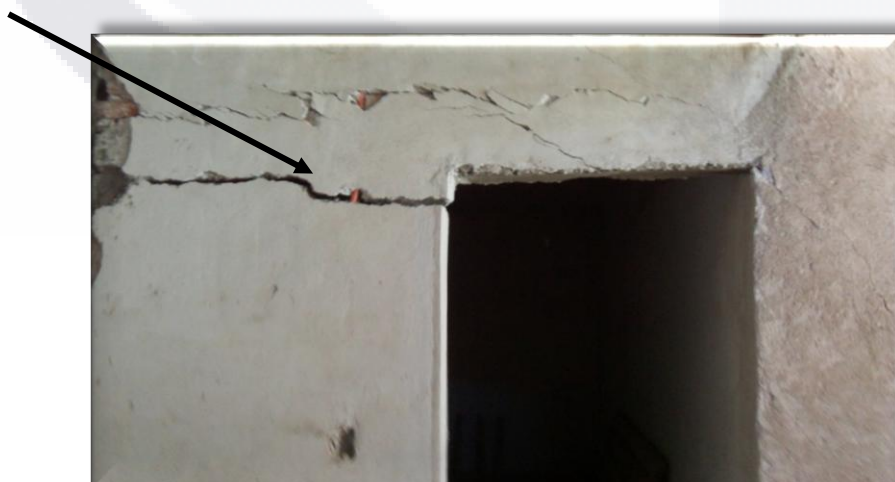
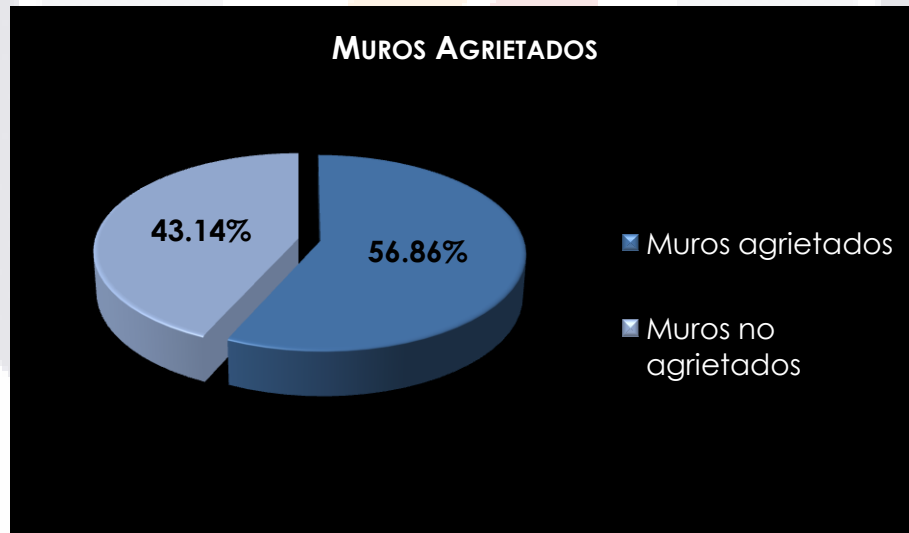


Figura 52. Muro 45 de planta alta



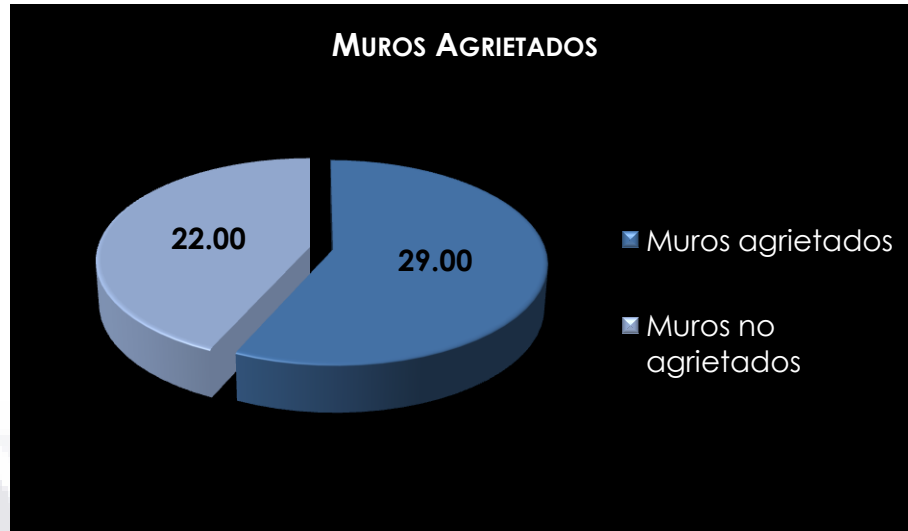
Figura 53. Muro 12 de planta alta. Vista exterior

Los resultados de la inspección visual del inmueble fue el numero de muros agrietados, para ello se presenta la grafica 45 misma que visualiza el grado de daño, ya que se presentan el porcentaje de muros dañados producido por el agrietamiento.



Grafica 45. Porcentaje de muros de la vivienda de estudio dañados

De igual manera la grafica 46 representa de manera numérica el número de muros que presentan afectaciones visibles.



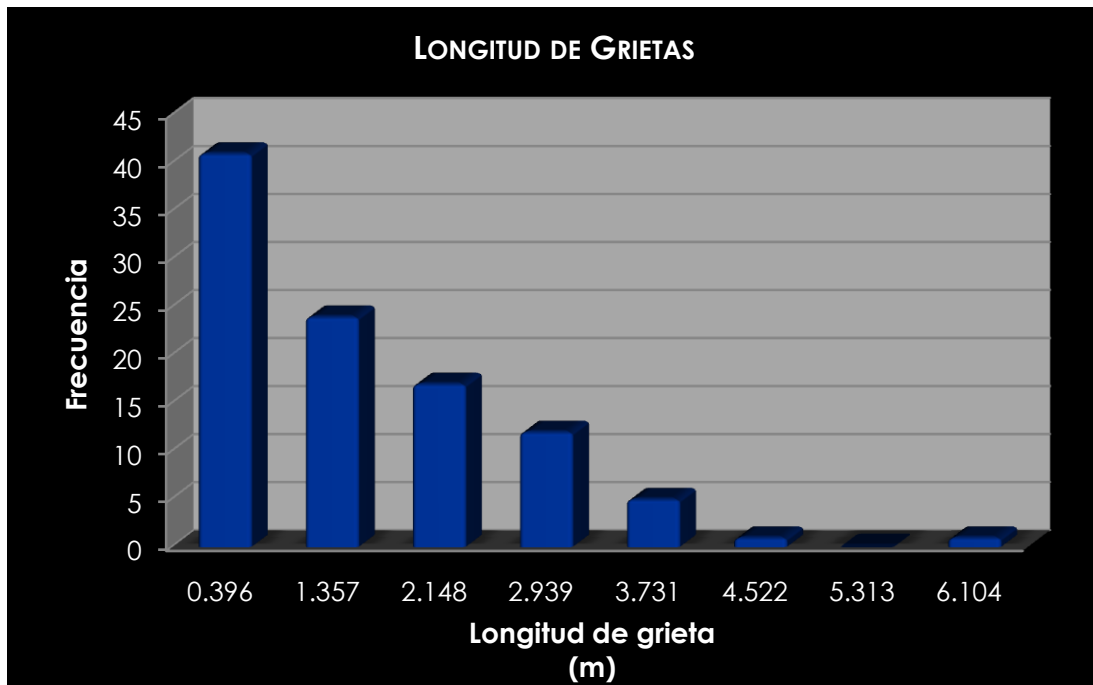
Grafica 46. Valor numérico de muros de la vivienda de estudio dañados

Una vez revisado el número de muros dañados, se observaron las grietas o fisuras de los mismos, para ello fueron contabilizadas algunas de sus características, es decir se tomaron longitudes de grieta, aberturas máximas y ángulo promedio de grieta.

Se contabilizaron un total de 101 grietas en los 29 muros que se encuentran dañados, se reportaron una longitud máxima de grieta de 6.50 m y una mínima de 0.17. A continuación la tabla 107, refleja las frecuencias máximas en cuanto a la longitud de las grietas, mostrando que el mayor número de fisuras se encuentra entre la longitud de 0.170 a 0.961 m. Adicional se presenta la grafica 47, representa la misma información de manera más esquemática.

Tabla 107. Resumen de frecuencia de longitudes de grietas

k	R _i	R _s	f _i	f _R	f _A	f _{RA}	Marca de Clase
1	0.170	0.961	41	0.406	41	0.406	0.396
2	0.961	1.753	24	0.238	65	0.644	1.357
3	1.753	2.544	17	0.168	82	0.812	2.148
4	2.544	3.335	12	0.119	94	0.931	2.939
5	3.335	4.126	5	0.050	99	0.980	3.731
6	4.126	4.918	1	0.010	100	0.990	4.522
7	4.918	5.709	0	0.000	100	0.990	5.313
8	5.709	6.500	1	0.010	101	1.000	6.104



Grafica 47. Histograma de frecuencias de longitudes de grietas en muros de vivienda de estudio

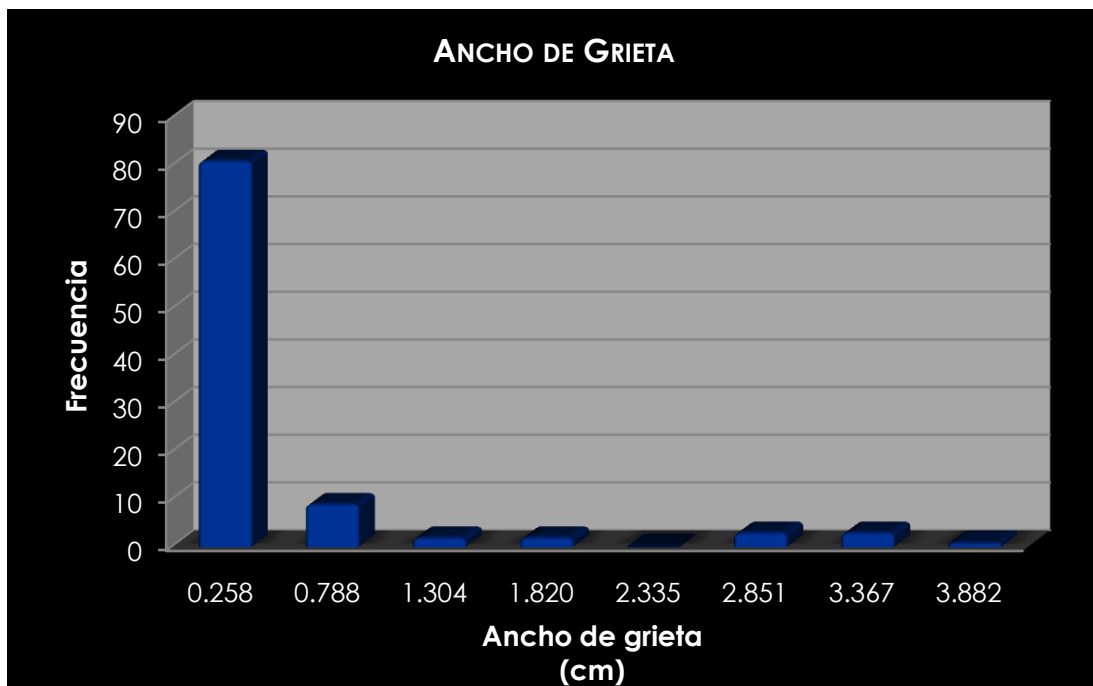
Otra característica importante que fue recabada durante la toma de datos es el ancho máximo de grieta, esta información fue empleada en la simulación numérica para determinar los esfuerzos máximos que tienen en la actualidad los muros.

Tabla 108. Resumen de frecuencia de ancho de grietas

k	Ri	Rs	fi	f _R	f _A	f _{RA}	Marca de Clase
1	0.015	0.531	81	0.802	81	0.802	0.258
2	0.531	1.046	9	0.089	90	0.891	0.788
3	1.046	1.562	2	0.020	92	0.911	1.304
4	1.562	2.078	2	0.020	94	0.931	1.820
5	2.078	2.593	0	0.000	94	0.931	2.335
6	2.593	3.109	3	0.030	97	0.960	2.851
7	3.109	3.624	3	0.030	100	0.990	3.367
8	3.624	4.140	1	0.010	101	1.000	3.882

Se presenta los anchos de grieta máximo de las 101 fisuras de los muros en la tabla 108 y presentado representativamente se manejan en la grafica 48.

De acuerdo a las mediciones realizadas, existe un mínimo de 0.015 cm y un máximo de 4.14 cm en el ancho de las grietas, teniendo una frecuencia máxima entre 0.015 y 0.531 cm.

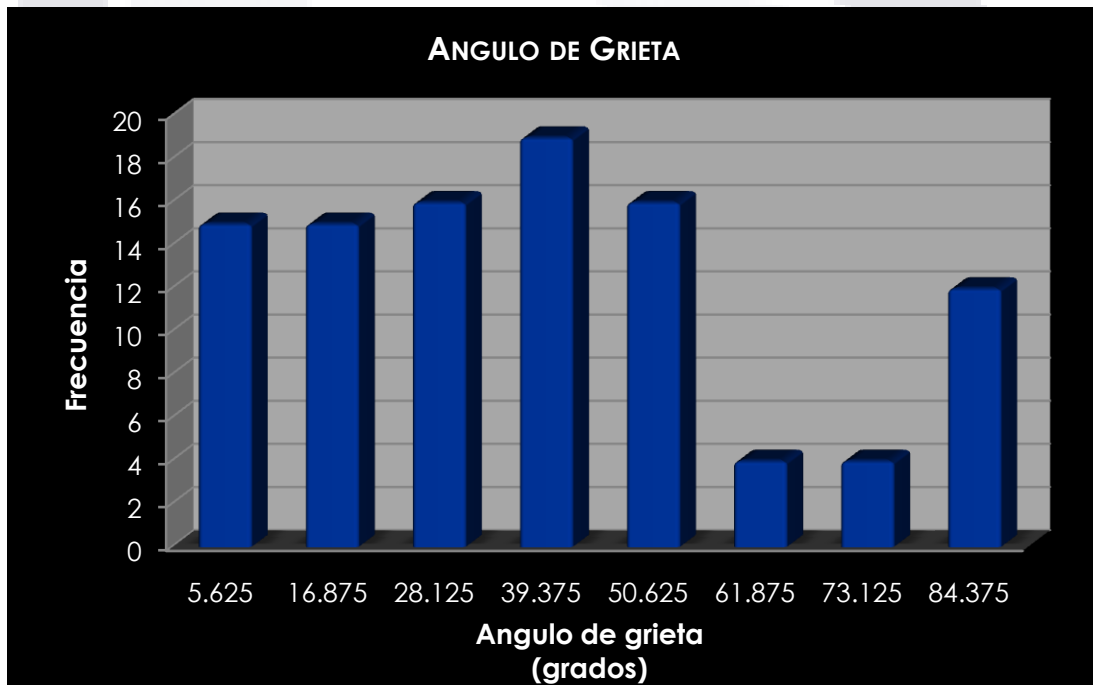


Grafica 48. Histograma de frecuencias de ancho de grieta máxima en muros de vivienda de estudio

La característica de ángulos promedios de grieta mostrados en la tabla 109 y representada en la grafica 49, presenta datos homogéneos con frecuencias similares destacándose el máximo entre 33.75 y 45.0 grados.

Tabla 109. Resumen de frecuencia de ángulos promedios de grietas

k	Ri	Rs	fi	f _R	f _A	f _{RA}	Marca de clase
1	0.000	11.250	15	0.149	15	0.149	5.625
2	11.250	22.500	15	0.149	30	0.297	16.875
3	22.500	33.750	16	0.158	46	0.455	28.125
4	33.750	45.000	19	0.188	65	0.644	39.375
5	45.000	56.250	16	0.158	81	0.802	50.625
6	56.250	67.500	4	0.040	85	0.842	61.875
7	67.500	78.750	4	0.040	89	0.881	73.125
8	78.750	90.000	12	0.119	101	1.000	84.375



Grafica 49. Histograma de frecuencias de ángulo promedio de grieta en muros de vivienda de estudio

3.2.1.4 Correlación con falla geológica

Un aspecto que fue observado durante la inspección y la toma de datos fue la franja donde influye la falla geológica. Al comparar esta franja con las aberturas máximas de grieta (ver figura 54 y 55) se observó que el patrón de aberturas máximas seguían la zona de falla. Sin embargo, para la planta baja es difícil visualizar la relación mencionada en el párrafo anterior, debido a que

9 de los muros se encuentran con reparaciones en sus aplanados que alteran los resultados.

Para la planta alta es más claro el daño que se ha presentado, esto porque únicamente se han hecho reparaciones en la parte externa de la fachada. Se muestran la mayor abertura de los muros centrales (marca roja).



Abertura máxima de grietas.
Planta alta












Descripción		Zona de influencia por falla geológica		Ancho de grieta máx de 1.415 a 2.097 cm
		Muro sin grietas		Ancho de grieta máx de 2.097 a 2.778 cm
		Muro reparado		Ancho de grieta máx de 2.778 a 3.459 cm
		Ancho de grieta máx de 0.053 a 0.734 cm		Ancho de grieta máx de 3.459 a 4.140 cm
		Ancho de grieta máx de 0.734 a 1.415 cm		

Figura 54. Abertura máxima de grietas en planta alta

Abertura máxima de grietas.
Planta baja



Figura 55. Abertura máxima de grietas en planta baja

3.3 ANÁLISIS MEDIANTE SIMULACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA LA ESTIMACIÓN DE ESFUERZOS

Este análisis tiene la finalidad de estimar los esfuerzos máximos de tensión y compresión al que están sometidos algunos de los elementos constructivos más afectados por una discontinuidad superficial, y podrá ser tomado en cuenta para una revisión estructural.

A continuación se muestran los resultados de estos análisis numéricos en algunos de los muros con mayor afectación en la vivienda analizada, para ello se mostrarán figuras que representen las grietas o fisuras en cada uno de ellos. Las figuras presentan colores diferentes para la asignación de cada fisura en los muros facilitando la descripción y localización de cada una de ellas.

Para las simulaciones se utilizó, como se menciona en capítulos anteriores, el programa SAP2000 V14. Se emplearon 3 combinaciones de carga en afectaciones estáticas (sin tomar en cuenta el efecto del tiempo en las deformaciones por la falla):

- a) Carga muerta mas carga viva.
- b) Referida a los desplazamientos, mismos que están asignados en el modelo como la sumatoria de vectores en el sentido horizontal X más la sumatoria de vectores en el sentido vertical Y.
- c) La suma de los incisos anteriores.

Los resultados obtenidos de la modelación son mediante esfuerzos máximos de trabajo de las fibras internas del muro. El programa de cómputo devuelve diagramas con variedad de colores, mismos que reflejan la transición valores de esfuerzos, pudiendo identificar zonas de máximo esfuerzo tensional o compresivo, siendo los datos que proyecta son con signos positivos para cuando se refiere a esfuerzos a tensión, y sentido negativo cuando son esfuerzos a compresión.

La asignación de las propiedades de los muros son las siguientes:

- Shell thin (placa delgada), de 14 cm de espesor y dimensiones particulares para cada muro según lo obtenido en la toma de información.

- Módulo de elasticidad de la mampostería de 40,000,000 kg/m² (ecuación 2.8 de Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería).
- Coeficiente de Poisson de 0.25. (Ortiz-Lozano et al, 2010)
- Módulo de rigidez o cortante G de 16,000,000 kg/m², (ecuación 2.9 de Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería).
- Carga viva y muerta obtenidas en los capítulos anteriores.

3.3.1 Muros

3.3.1.1 Muro 30



Figura 56. Muro 30 planta alta

Las características principales de este muro son las siguientes:

- La grieta con mayor longitud, teniendo 6.50 m.
- Se encuentra en la planta alta de la vivienda.
- Esta construido a base de tabique rojo recocido de 7x14x28 cm de 14 cm de espesor.
- Tiene 6 grietas de diferentes proporciones, representando su dirección y ubicación en la figura 57.
- Visualmente es uno de los muros que presentan mayor grado de daño.

- Se colocó sobre este muro el fisurómetro PL-02 a una altura de 68 cm en relación al nivel del piso de la habitación.
- Las componentes resultantes producto de los vectores de desplazamiento en el agrietamiento observado resultaron de $X= 5.429$ cm y $Y=4.370$ cm. Siendo éste el producto principal de la falla geológica.

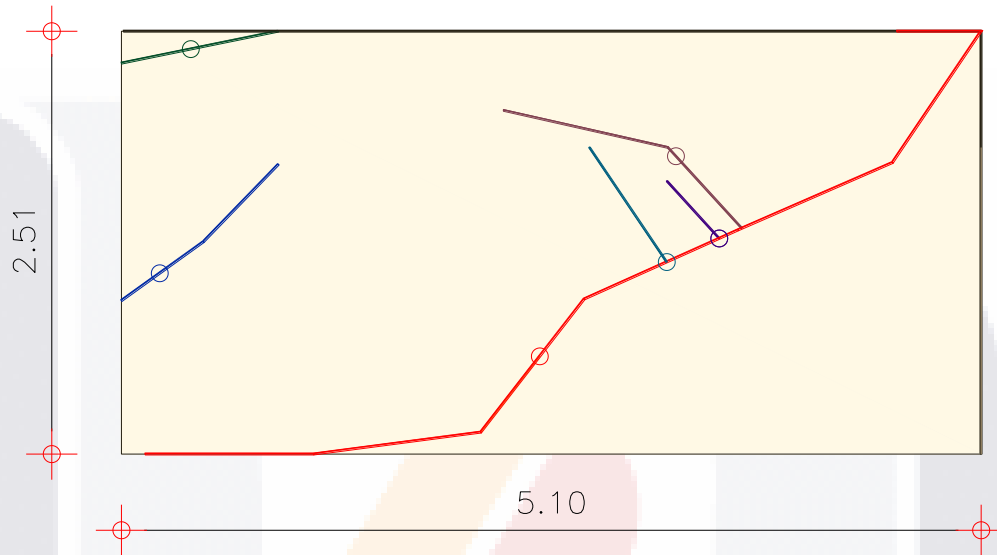


Figura 57. Representación de grietas en muro 30. La ubicación del punto donde está la abertura máxima está representada mediante un círculo.

La tabla 110 muestra los detalles de las grietas del muro 30 (visualmente reflejado en la figura 57). Los valores de la tercera columna fueron empleadas en la simulación.

Tabla 110. Datos registrados de grietas de muro 30.

Grieta	Longitud (m)	Abertura de la grieta (cm)			Ángulo promedio de grieta (grados)	Color representativo en figura
		X	Y	Máxima		
1	6.50	2.66	2.07	3.3700	24.42	Rojo
2	0.95	0.07	0.32	0.3277	11.54	Verde
3	1.65	0.308	0.281	0.4166	26.45	Rosa
4	0.46	0.082	0.074	0.1105	73.04	Morado
5	0.82	2.214	1.492	2.6700	56.02	Azul claro
6	1.24	0.095	0.133	0.1633	40.98	Azul marino
Σ		5.429	4.37			

3.3.1.1.1 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR COMBINACIÓN DE CARGA MUERTA Y VIVA

El muro fue analizado aplicando carga viva y muerta, mostrado en la figura 58, para lo cual el muro se comporta de manera simétrica, presentando un esfuerzo máximo a la compresión de 7,788.41 kg/m² y a tensión de 1,044.56 kg/m². Para ello la figura muestra cambios de colores según la distribución de esfuerzos en el muro.

A partir de este punto, las figuras que se presenten respecto a la distribución de esfuerzos simulados incluirán una coloración rosa representando el máximo esfuerzo (positivos) a compresión mientras que la coloración azul marino representará los esfuerzos (negativos) a tensión máximos en las fibras superiores. La transición de esfuerzos o fibras con esfuerzos nulos se indicará con diferentes colores intermedios dependiendo de los resultados de la simulación.

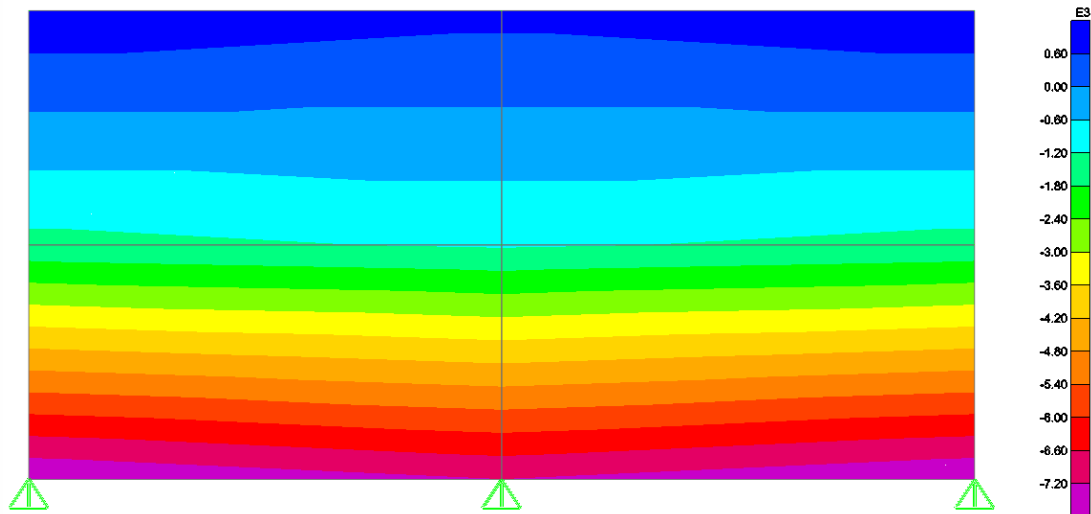


Figura 58. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por carga muerta y carga viva en el muro 30.

3.3.1.1.2 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR LOS DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS POR LA FALLA GEOLÓGICA

Las deformaciones originadas por la falla geológica (ver tabla 110) se descompusieron en desplazamientos verticales y horizontales, asignadas al modelo conceptual, produjeron esfuerzos máximos representados visualmente

en la figura 59. Se tiene un esfuerzo a compresión máximo de 120,080.79 kg/m² (signo negativo) y a tensión reflejado en la esquina inferior izquierda de 957,627.76 kg/m², (signo positivo).

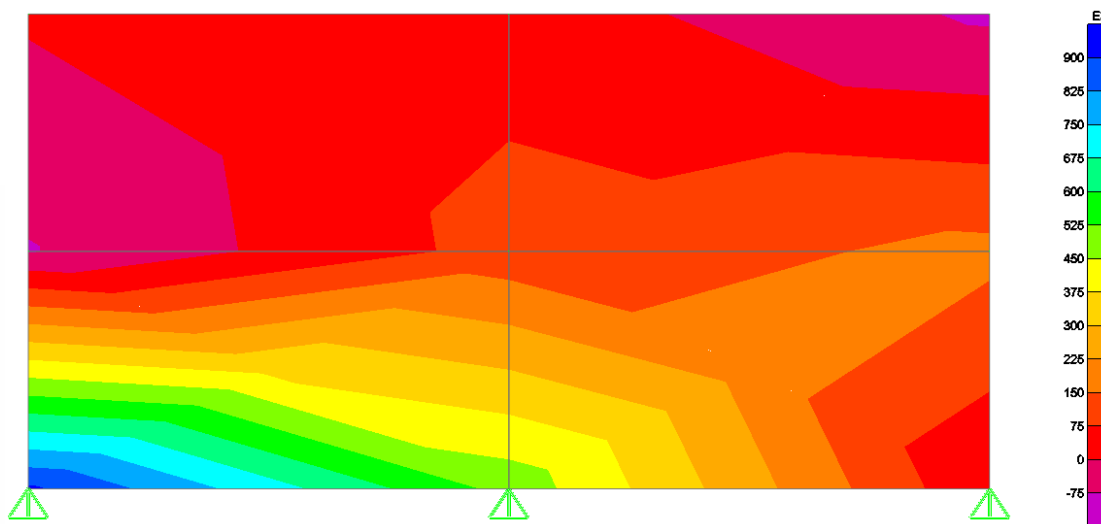


Figura 59. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por desplazamientos de las grietas en dirección X y Y del muro 30.

3.3.1.1.3 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR LA COMBINACIÓN DE CARGA MUERTA, CARGA VIVA Y LOS DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS POR LA FALLA GEOLÓGICA

La figura 60 muestra la combinación de cargas actuantes en el muro, carga muerta, carga viva y desplazamientos obtenidos durante la medición de las aberturas de las grietas.

Se muestran esfuerzos máximos a compresión de 129,606.11 kg/m² (signo negativo), manifestados en la figura 60 de color morado. Y esfuerzos máximos a tensión de 950,238.60 kg/m² (signo positivo) representados con el color azul oscuro en la esquina inferior izquierda. Como puede observarse son ligeramente diferentes con respecto a los resultados de la figura 59 en cuanto a las áreas de las magnitudes máximas. Lo patrones de deformación son muy similares.

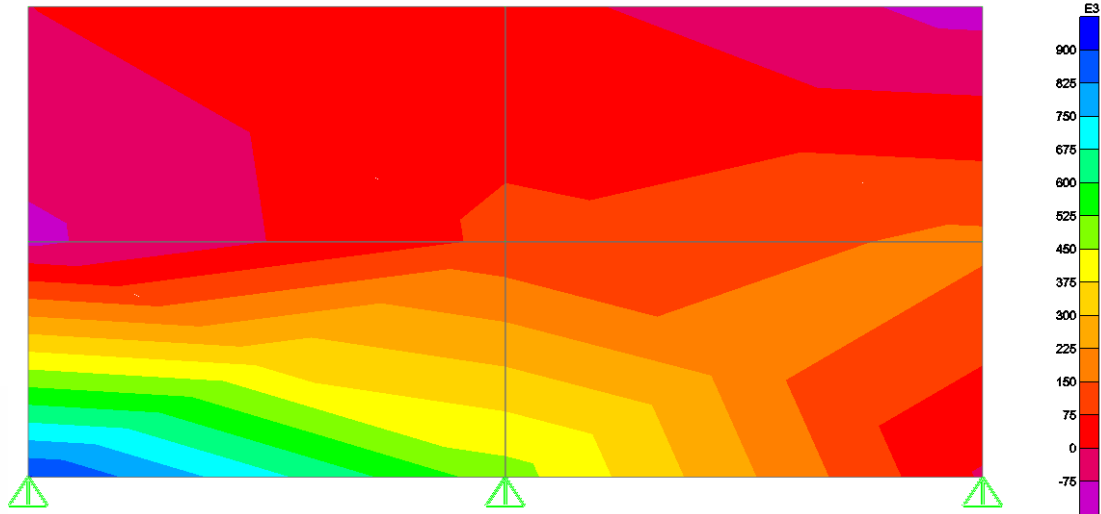


Figura 60. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por carga muerta, carga viva y desplazamientos de las grietas en dirección X y Y del muro 30.

3.3.1.1.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el caso de la figura 61, se muestran los valores de esfuerzos máximos obtenidos en SAP2000 con combinación de carga muerta, carga viva y desplazamientos por las grietas medidas en campo.

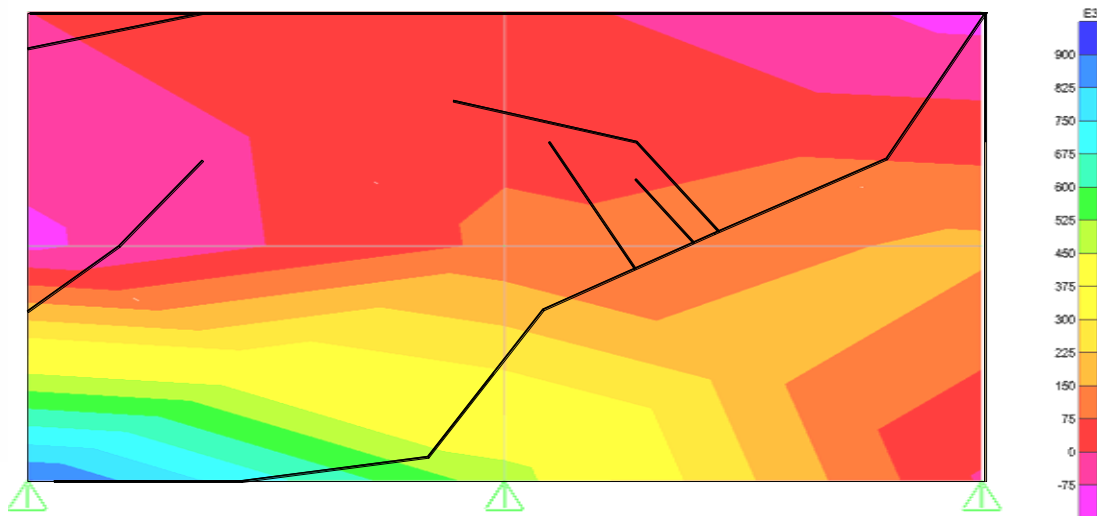


Figura 61. Esfuerzos máximos (en kg/m²) y representación de grietas del muro 30.

En la imagen se visualiza que las grietas en el muro originadas por la falla, al combinarse con la carga muerta y la carga viva forman un patrón de

esfuerzos generando una disimilitud en los esfuerzos producidos únicamente por la combinación de carga muerta y viva.

Para la revisión de estados límites de falla se maneja la siguiente tabla 111, empleando las 3 combinaciones de carga en afectaciones estáticas.

Tabla 111. Revisión de estados límite de falla de muro 30. Los datos de valor límite de falla se obtuvieron de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal para el caso de mampostería.

Estado	Dirección	Carga muerta + carga viva (kg/m ²)	Desplazamientos por la falla (kg/cm)	Carga muerta + carga viva + desplazamientos (kg/m ²)	Valor del límite de falla (kg/m ²)
Esfuerzo a tensión	X	1,004.21	950,138.30	957,479.15	20,000.00
	Y	0.00	211,533.61	240,897.00	
Esfuerzo a compresión	X	8,117.36	234,071.13	235,075.34	200,000.00
	Y	32,469.43	251,375.31	220,107.98	

La tabla anterior visualiza claramente que los esfuerzos producidos por la combinación de carga muerta y carga viva no representan un estado de falla al muro. Sin embargo, incluyendo el efecto de los desplazamientos por la falla geológica se obtienen esfuerzos altos que sobrepasan el límite de esfuerzos para el material para el estado a tensión.

3.3.1.2 Muros 33 y 34



Figura 62. Muro 33 y 34 planta alta.

A continuación se enlistan las características de los muros 33 y 34:

- Se unieron el análisis de ambos muros por estar colindantes y tener una grieta en común.
- En estos muros se localiza la grieta con mayor abertura, teniendo 3.51 cm después de la abertura del muro 12 en planta alta que reporta 4.14 cm.
- Se encuentran en la planta alta de la vivienda.
- Esta construido a base de tabique rojo recocido de 7x14x28 cm de 14 cm de espesor y aplanados por ambas caras con mortero cemento-cal-arena.
- En conjunto tiene 3 grietas de diferentes proporciones, se muestran en la figura 63.
- La grieta que tienen ambos muros suma una longitud total de 5.09 metros. Y se encuentra ubicada en el límite de la losa con el pretil existente.
- Las componentes resultantes producto de los vectores de desplazamiento en el agrietamiento observado en los muros resultaron de $X= 0.00$ cm y $Y=4.1425$ cm, considerando aberturas de grietas verticales debido al perfil formado por las fisuras. Siendo éste el producto principal de la falla geológica.

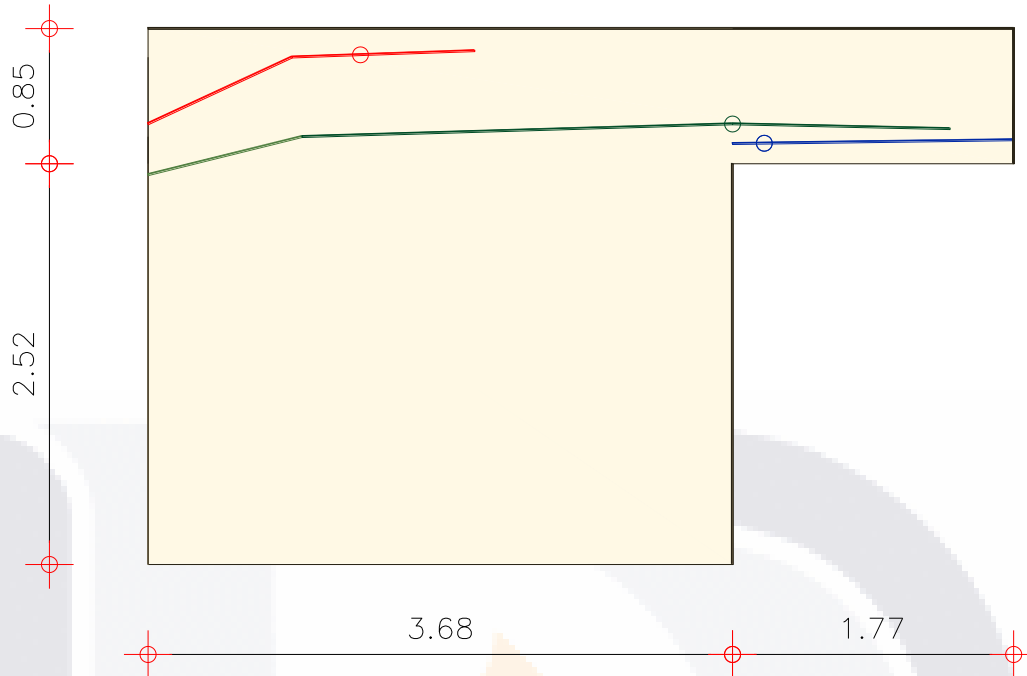


Figura 63. Representación de grietas en muro 33 y muro 34. La ubicación del punto donde está la abertura máxima está representada mediante un círculo.

La tabla 112 muestra los detalles de las grietas de los muros 33 y 32. De igual forma se empleo la tercera columna para la modelación en SAP2000.

Tabla 112. Datos registrados de grietas de los muros 33 y 34.

Grieta	Longitud (m)	Abertura de la grieta (cm)			Ángulo promedio de grieta (grados)	Color representativo en figura
		X	Y	Máxima		
1	2.17	0.00	0.1753	0.1753	12.50	Rojo
2	5.09	0.00	3.5100	3.5100	3.97	Verde
3	1.77	0.00	0.4572	0.4572	0.00	Azul
Σ		0.00	4.1425			

3.3.1.2.1 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR COMBINACIÓN DE CARGA MUERTA Y VIVA

Para el análisis de estos dos muros (33 y 34), se decidió unirlos, esto porque trabajan como un bloque completo. Para la asignación de cargas vivas y

muertas se obtuvieron esfuerzos máximos a compresión de 3,797.79 kg/m² (signo negativo) y a tensión de 3,590.90 kg/m² (signo positivo), se muestra en la figura 64, la distribución de los mismos.

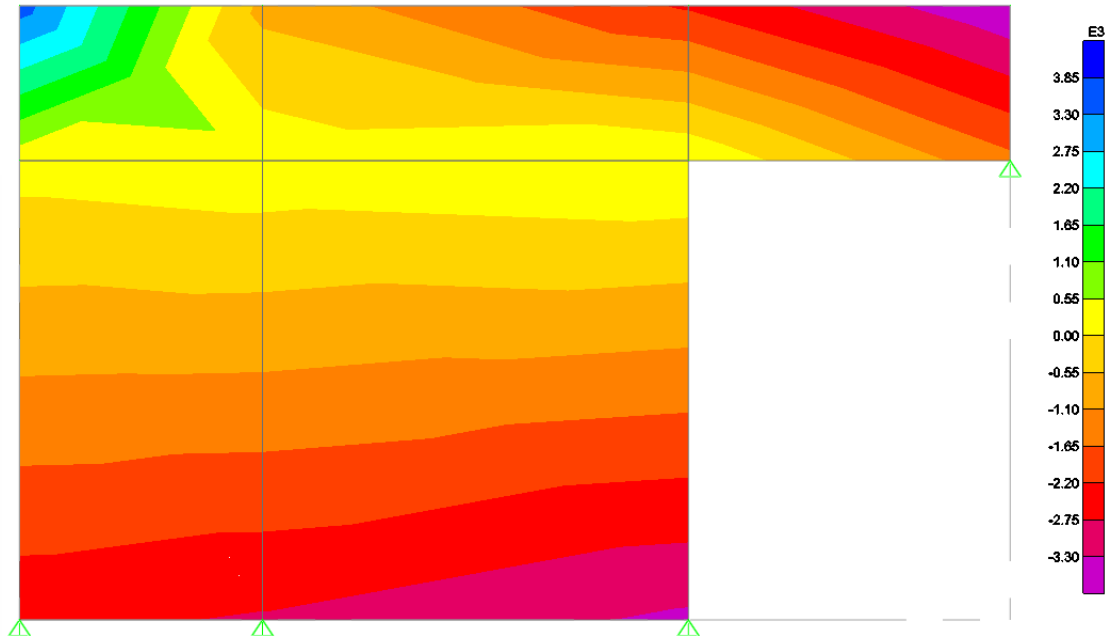


Figura 64. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por carga muerta y carga viva. Muros 33 y 34.

3.3.1.2.2 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR LOS DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS POR LA FALLA GEOLÓGICA

Se aplicaron los desplazamientos correspondientes a los muros 33 y 34, para ello, las aberturas distribuyeron esfuerzos en el muro, dados por el programa SAP2000, visualizados en la figura 65. Tras su análisis, se obtuvieron esfuerzos máximos a compresión de 952.62 kg/m² (signo negativo), previsto en las fibras inferiores del muro y representado con color rosa. Y esfuerzos máximo a tensión de 1,006.46 kg/m² (signo positivo), posicionado en la esquina superior izquierda y representado con color azul fuerte. El punto donde los esfuerzos son nulos o con valor cero son representados en la figura con color amarillo.

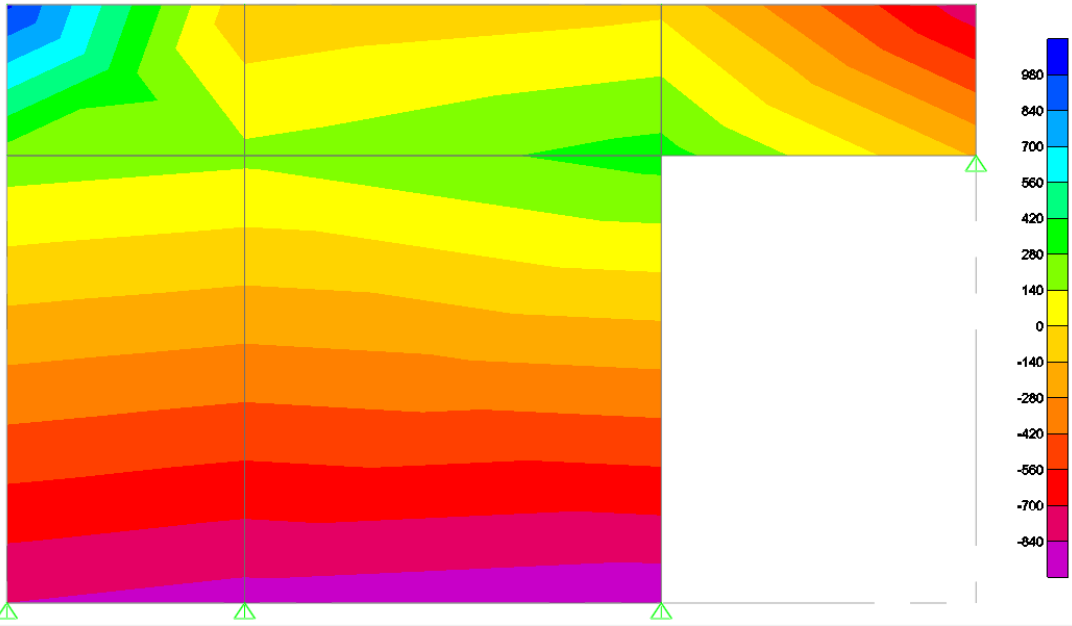


Figura 65. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muros 33 y 34.

3.3.1.2.3 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR LA COMBINACIÓN DE CARGA MUERTA, CARGA VIVA Y LOS DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS POR LA FALLA GEOLÓGICA

Para la suma total de la carga muerta, carga viva y desplazamientos de la falla visualizados en la figura 66, se obtuvo del análisis mediante SAP2000, esfuerzos máximos a compresión de 4,629.26 kg/m² (signo negativo) y a tensión de 4,556.93 kg/m² (signo positivo). El primero localizado en la esquina superior derecha representado por el color rosa, y el segundo en la esquina superior izquierda descrito con el color azul fuerte. Se muestra en la franja central amarilla, el cambio de sentido de los esfuerzos, o esfuerzos nulo, produciéndose con ello las fisuras reales en el muro.

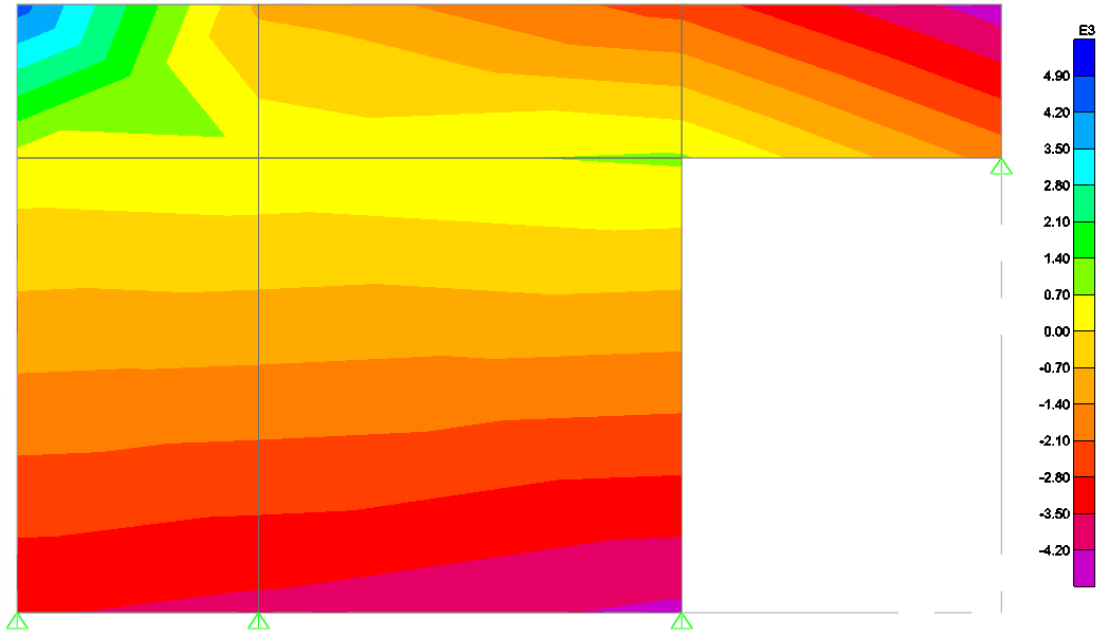


Figura 66. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por carga muerta, carga viva y desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muros 33 y 34.

3.3.1.2.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, la figura 67 representa el traslape de los resultados obtenidos en SAP2000 con los datos obtenidos en campo.

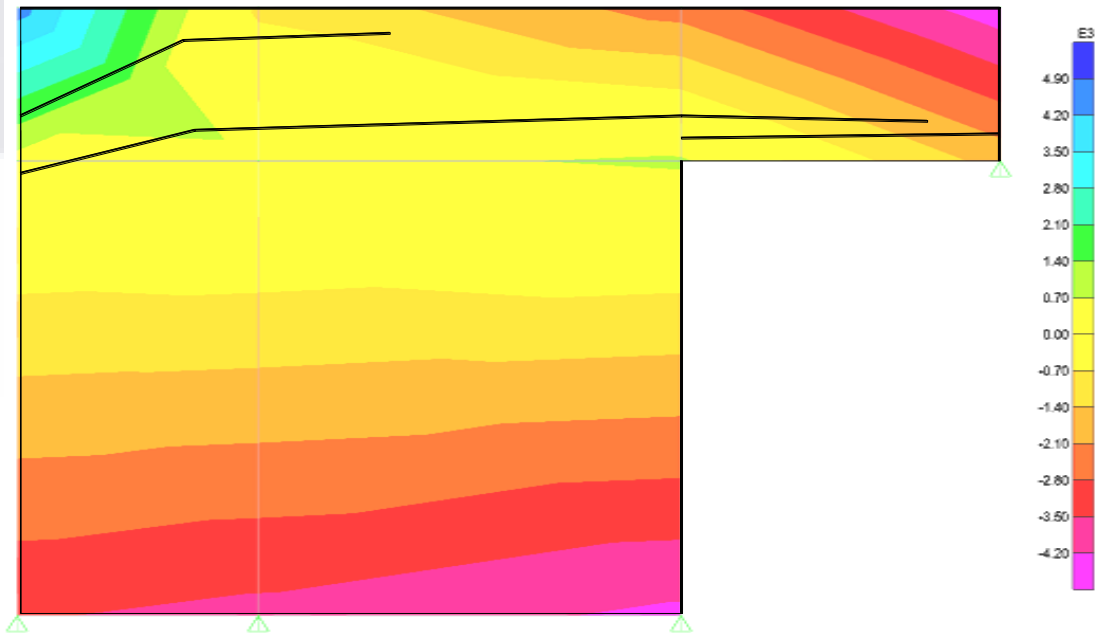


Figura 67. Esfuerzos máximos (en kg/m²) y representación de grietas de los muros 33 y 34.

Se observa que las grietas se originaron en la zona donde cambia los esfuerzos de tensión a compresión.

Tabla 113. Revisión de estados límite de falla de los muros 33 y 34. Los datos de valor límite de falla se obtuvieron de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal para el caso de mampostería.

Estado	Dirección	Carga muerta + carga viva (kg/m ²)	Desplazamientos por la falla (kg/cm)	Carga muerta + carga viva + desplazamientos (kg/m ²)	Valor del límite de falla (kg/m ²)
Esfuerzo a tensión	X	2,708.16	881.23	3,374.13	20,000.00
	Y	0.00	173.51	0.00	
Esfuerzo a compresión	X	4,950.65	1,188.92	6,139.57	200,000.00
	Y	13,643.93	3,810.52	17,454.45	

Sin embargo, se visualiza en la tabla 113 que los valores resultantes no sobrepasan el estado límite de falla de los materiales, por lo que, para este modelo, el análisis requiere incluir los desplazamientos vectoriales de los elementos constructivos colindantes a estos muros para determinar los esfuerzos totales, en este caso son la losa de entrepiso y la losa de azotea principalmente.

3.3.1.3 Muro 45



Figura 68. Muro 45 planta alta

El muro 45 presenta las características enlistadas a continuación:

- En la figura 54, el muro 45 presenta de las mayores aberturas registradas, con 3.96 cm.
- Se halla en la planta alta de la vivienda
- Esta construido a base de tabique rojo recocido de 7x14x28 cm de 14 cm de espesor y aplanados por ambas caras con mortero cemento-cal-arena.
- Tiene un total de 5 grietas, la mayor de ellas tiene una longitud de 3.52 metros. Se muestra la distribución en la figura 69.
- Tras la inspección visual, es uno de los muros con mayor grado de daño observado.
- Las componentes resultantes producto de los vectores de desplazamiento en el agrietamiento observado en los muros resultaron de $X= 1.2975$ cm y $Y=3.7729$ cm, considerando aberturas de grietas verticales debido al perfil formado por las fisuras. Siendo éste el producto principal de la falla geológica

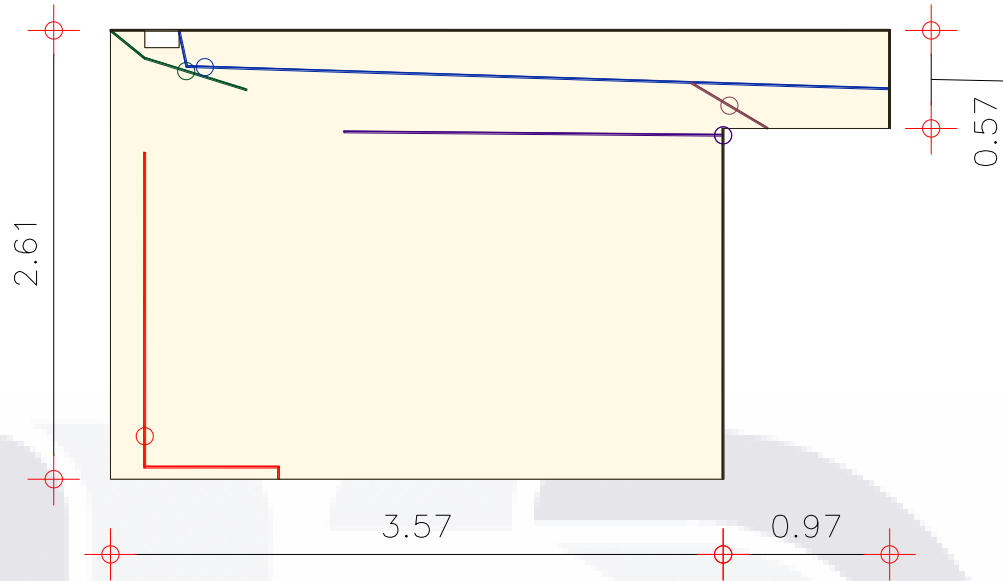


Figura 69. Representación de grietas en muro 45. La ubicación del punto donde está la abertura máxima está representada mediante un círculo.

La tabla 114 muestra los detalles de las grietas del muro 45 mostrada a continuación.

Tabla 114. Datos registrados de grietas del muro 45.

Grieta	Longitud (m)	Abertura de la grieta (cm)			Ángulo promedio de grieta (grados)	Color representativo en figura
		X	Y	Máxima		
1	2.67	0.8331	0.00	0.8331	63.71	Rojo
2	0.88	0.3530	0.1141	0.1194	16.50	Verde
3	3.53	0.00	0.5410	0.5410	4.39	Azul
4	0.52	0.1114	0.1878	0.2184	21.43	Rosa
5	2.21	0.00	2.9300	2.9300	2.60	Morado
Σ		1.2975	3.7729			

3.3.1.3.1 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR COMBINACIÓN DE CARGA MUERTA Y VIVA

Este muro presenta una distribución similar a la establecida en los muros 33 y 34, de igual modo se asignaron cargas muertas y vivas para ver el comportamiento del muro reflejados en esfuerzos.

La figura 70 refleja los esfuerzos actuantes debido a carga viva y muerta, mostrando esfuerzos máximos a compresión de 5,441.19 kg/m² y a tensión 14,209.70 kg/m². Los valores negativos presentados en la figura son debido a los esfuerzos a compresión y los valores positivos representan los esfuerzos a tensión.

Los esfuerzos a compresión se visualizan en el lecho superior derecho del muro, representado con el color morado. Los esfuerzos a tensión se visualizan del lado izquierdo, caracterizado con el color verde azul.

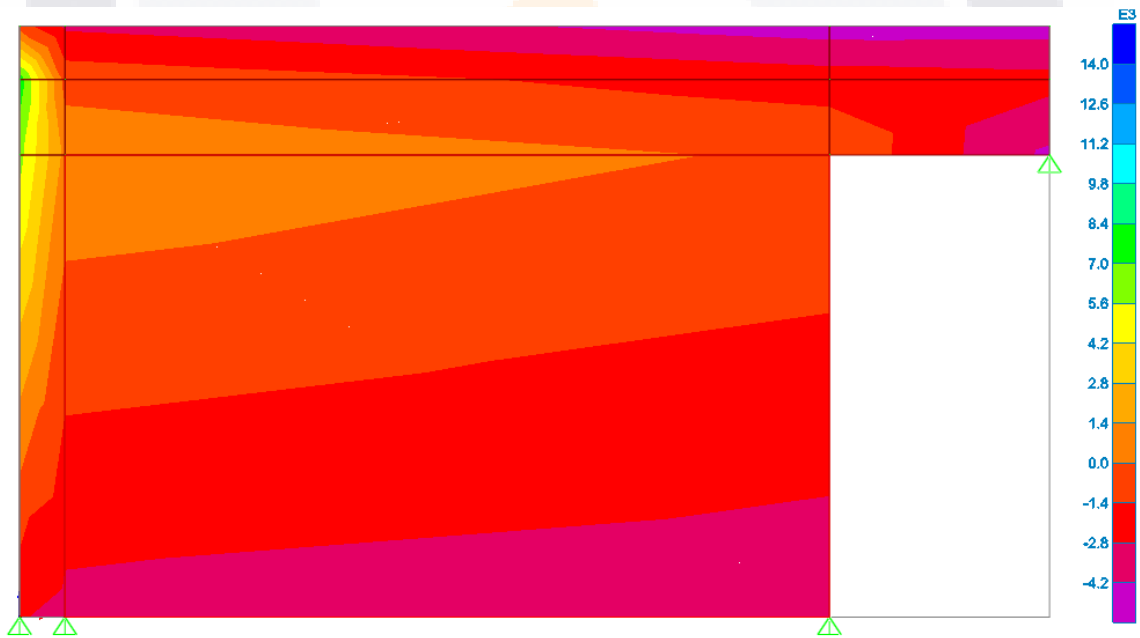


Figura 70. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por carga muerta y carga viva. Muro 45

3.3.1.3.2 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR LOS DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS POR LA FALLA GEOLÓGICA

La figura 71, por otro lado muestra los esfuerzos que son ocasionados por las deformaciones de las fallas localizadas en este muro, produciendo esfuerzos máximos a compresión de 679.42 kg/m² y a tensión de 3,098.19 kg/m² (valores negativos y valores positivos respectivamente), presenta la mayor compresión en la esquina superior derecha mostrado en la figura con color rosa y la máxima tensión en la esquina superior izquierda, representado con el color verde azul.

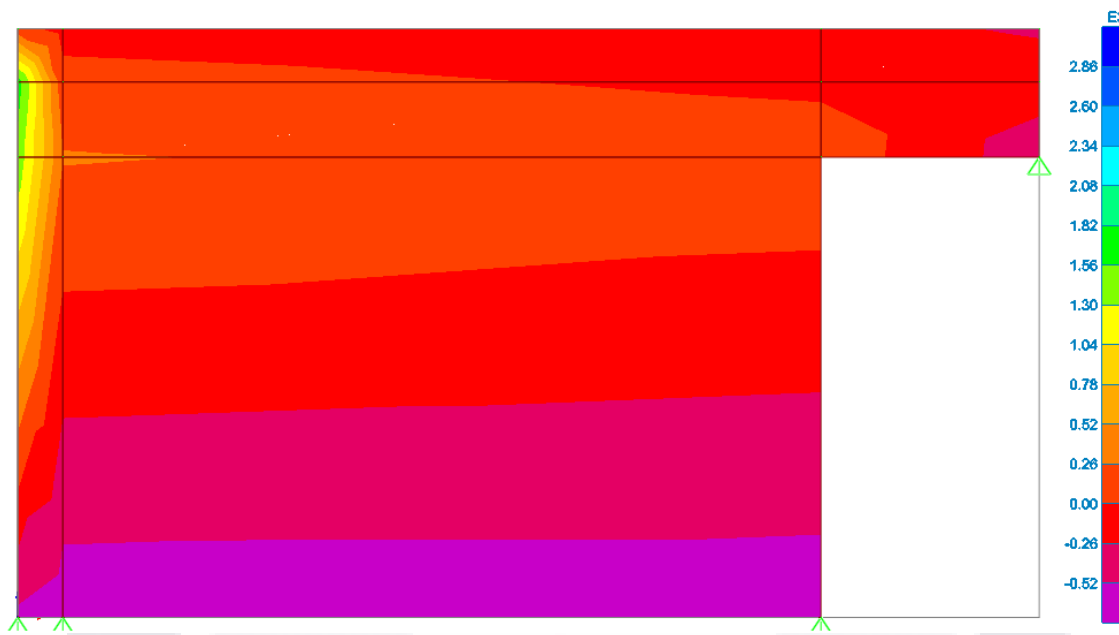


Figura 71. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muro 45

3.3.1.3.3 ESFUERZOS MÁXIMOS PRODUCIDOS POR LA COMBINACIÓN DE CARGA MUERTA, CARGA VIVA Y LOS DESPLAZAMIENTOS PRODUCIDOS POR LA FALLA GEOLÓGICA

Una vez combinando las cargas muertas, cargas vivas y desplazamientos producidos por las fallas en el muro obtenemos la resultante mostrada en la 72.

La resultante da como esfuerzos máximos a compresión de 6,131.41 kg/m² (esfuerzos negativos), y a tensión 17,246.32 kg/m² (esfuerzos positivos). Esto

refleja que la tensión supera casi 3 veces a la compresión. Por tanto se muestra en la figura que el cambio de esfuerzos positivos y negativos una zona que produce fisuras en los muros o cercanía a ellas (color naranja).

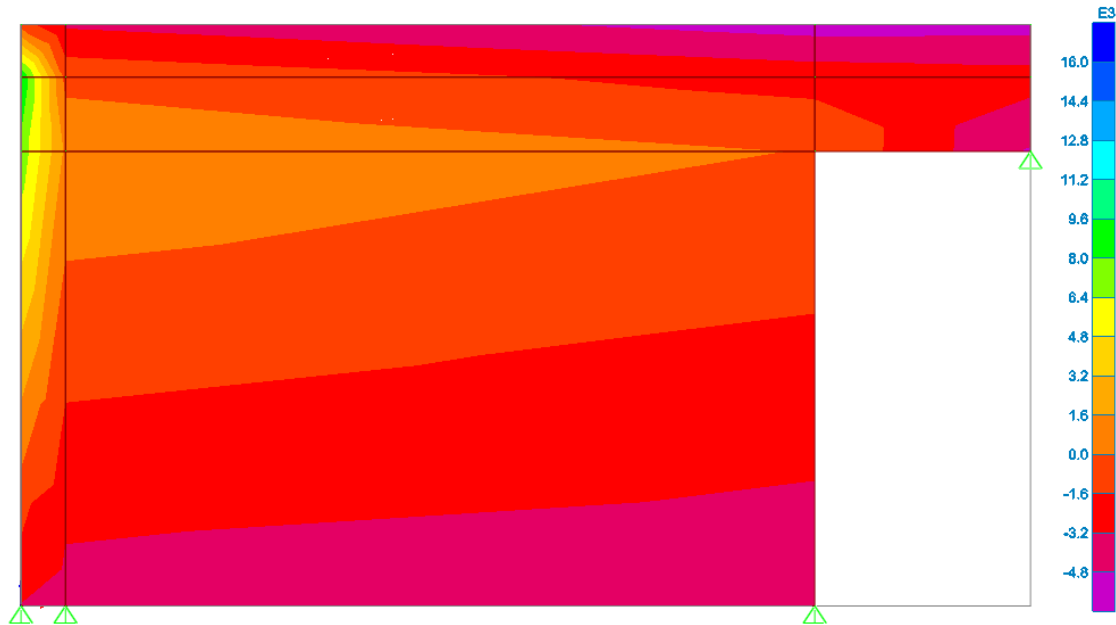


Figura 72. Esfuerzos máximos (en kg/m²) originados por carga muerta, carga viva y desplazamientos de las grietas en dirección X y Y. Muro 45

3.3.1.3.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la figura 73 se muestra la representación de los esfuerzos obtenidos del programa SAP2000, bajo la combinación de carga muerta, carga viva y desplazamientos producidos por la falla, adicionando las fisuras observadas en el muro.

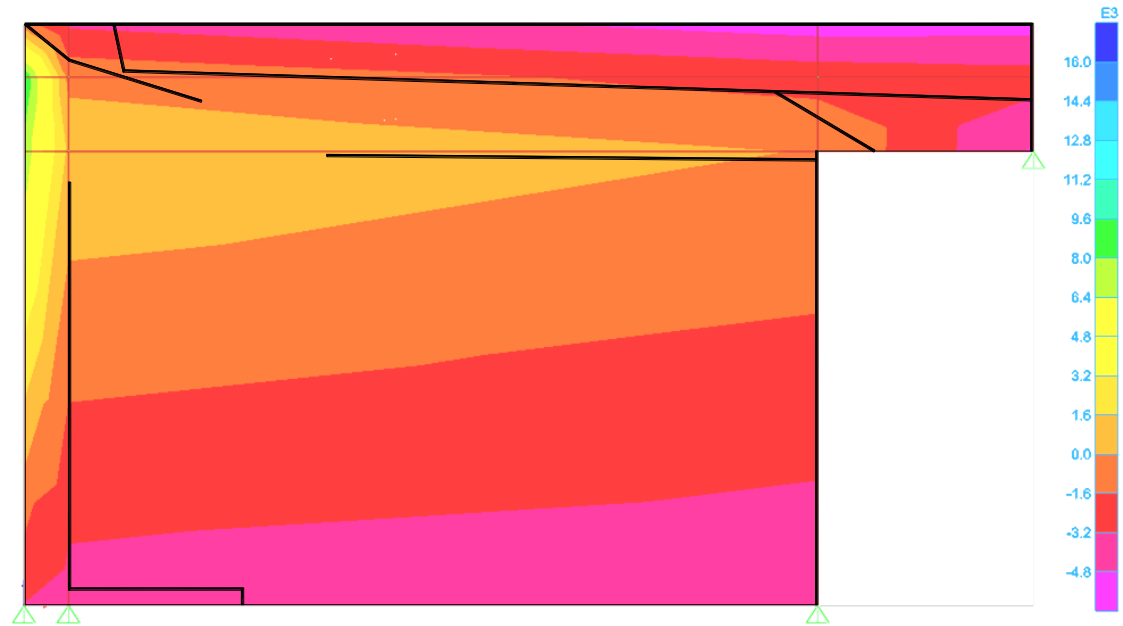


Figura 73. Esfuerzos máximos (en kg/m²) y representación de grietas del muro 45

Semejante a los muros revisados previamente se obtienen un claro ejemplo que las grietas están posicionadas en las zonas donde existe el cambio de polaridad o sentido de los esfuerzos de tensión a compresión.

Se muestra la tabla 115 donde se revisó los estados límites de falla del muro 45, obteniendo lo siguiente:

Tabla 115. Revisión de estados límite de falla del muro 45. Los datos de valor límite de falla se obtuvieron de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal para el caso de mampostería.

Estado	Dirección	Carga muerta + carga viva (kg/m ²)	Desplazamientos por la falla (kg/cm)	Carga muerta + carga viva + desplazamientos (kg/m ²)	Valor del límite de falla (kg/m ²)
Esfuerzo a tensión	X	4,596.82	1,131.70	5,600.12	20,000.00
	Y	4,872.72	1,904.22	6,744.83	
Esfuerzo a compresión	X	8,028.66	1,112.45	9,141.12	200,000.00
	Y	14,958.82	2,763.45	17,651.34	

Dados los valores de la tabla 115, se visualiza similitudes con los muros 33 y 34, presentando valores inferiores a los estados limite de falla, sin embargo se requiere tomar dimensiones de elementos constructivos colindantes, siendo insuficiente el análisis particular de un solo elemento constructivo para determinar todos los esfuerzos actuantes.



CONCLUSIONES

Las fallas geológicas son manifestadas por deformaciones en la superficie terrestre, verticales y horizontales. Estas manifestaciones son observadas en la comunidad de Pabellón de Hidalgo. Sin embargo las deformaciones no son uniformes a lo largo de la zona de falla.

Los datos arrojados por los 17 fisurómetros arrojan desplazamientos máximos horizontales de 7.50 milímetros en el fisurómetro PL-09, en un lapso de 164 días así mismo, para los desplazamientos verticales el fisurómetro PL-14 presento el máximo desplazamiento, reportando 10.0 milímetros en un lapso de 201 días.

Fueron hechas predicciones en base a elementos estadísticos empleando la recta de mínimos cuadrados para un comportamiento a futuro a 5 y 10 años. Arrojando valores muy certeros que fueron comprobado mediante correlación, determinación y estadístico F.

Se analizó estructuralmente una vivienda que contaba con el mayor número de frecuencias de afectaciones de acuerdo al censo realizado, la vivienda fue revisada por Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, 2004, por compresión, cortante y cargas laterales. Con base a esta revisión, la vivienda no presentó problemas estructurales por la combinación de carga muerta mas carga viva, concluyendo que los daños de fisuramiento en los muros son producto de los desplazamientos propios de la falla geológica.

Durante el análisis numérico de los muros en el programa SAP2000, se observó que el punto más crítico en donde se forman las grietas en los muros es en el cambio de esfuerzo a compresión y el esfuerzo a tensión. Así mismo, de acuerdo a las simulaciones que se realizaron, desde la asignación de cargas muertas y vivas, los esfuerzos son distribuidos y producen zonas críticas o zonas de transición de esfuerzos, por lo que se podría predecir la ubicación de fallas futuras con base en el comportamiento de las cargas.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que aquí se mencionan son de carácter global y sin el uso de un solo elemento o una sola edificación.

Principalmente para convivir con una falla geológica, si es detectada a tiempo lo preferible es no construir para minimizar tanto el peligro por un potencial colapso como la pérdida monetaria del propietario.

Sin embargo, al ya estar presente la construcción posterior a la detección de la falla geológica, lo más sano para la estructura es separarla, colocando elementos independientes en ambos extremos para que al seguir con el movimiento de la fractura se evite el daño en la edificación.

Para el caso particular de la vivienda en estudio, se recomienda separar la vivienda, tanto en la estructura como en la subestructura, evitando voladizos, es decir, colocando tanto vigas como columnas en los muros críticos. Para el caso de la terraza, misma que cuenta con una losa a base de lámina tipo teja, será conveniente cambiar el anclaje, empleando anclas con resina tipo epóxica expandible, y con placas base que faciliten el desplazamiento horizontal y vertical.

REFERENCIAS

- Aguascalientes, G. d. (2013). *Código Municipal de Aguascalientes*. Aguascalientes, México: El H. Ayuntamiento de la Cd. de Aguascalientes.
- Aranda Gómez, J. M., y Aranda Gómez, J. J. (1985). *Análisis del agrietamiento en la ciudad de Aguascalientes*. Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Bermúdez Ardila, F. (2007). *El Fin del Fin*. Bogotá, Colombia: Ediciones Panamericana Formas e Impreso S.A.
- Burbey, T. J. (2002). The influence of faults in basin-fill deposits on land subsidence, Las Vegas Valley, Nevada, USA. *Hydrogeology Journal* 10 , 525–538.
- Carrasco Covarrubias, P., y Zúñiga Zeballos, M. (2007). *Material de Apoyo didáctico de la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Probabilidad y Estadística* . Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Carrillo, N. (1947). Influence of artesian wells in the sinking of Mexico City; El hundimiento de la Ciudad de México y Proyecto Texcoco. *Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica* , Anuario 1969.
- Cording, E. J. (2008). Examples of building response to excavation and tunneling. *University of Illinois at Urbana University of Illinois at Urbana--Champaign* .
- Cubillos, A. (2007). *Introducción al Método de los elementos finitos*. Ibagué, Colombia: Universidad de Ibagué – Prog. Ingeniería Mecánica.
- Da Fonseca Lopes, Z. A. (2011). *El Método de los Elementos Finitos: Una Introducción*. Vereda del Lago, Maracaibo, Venezuela: Universidad Rafael Urdaneta.
- Doornhof, D., Golder Krintiansen, T., Nagel, N. B., Patillo, P. D., y Sayers, C. (2006). Compactación y Subsistencia. *Oilfield Review* , 50-69.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Garzón Rodríguez, J. C. (2011). *Tesis: Evaluación de Asentamientos por Consolidación Generada por descenso del nivel freático*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
 - Gayol, R. (1925). Estudio de las perturbaciones que en el fondo de la Ciudad de México ha producido el drenaje de las aguas del subsuelo, por las obras del desagüe y rectificación de los errores a que ha dado lugar una incorrecta interpretación de los efectos producidos. *Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura*, III , 96–132.
 - Gobierno del D.F. (2004). *Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal*. México, D.F.: Gaseta Oficial del Distrito federal.
 - Hernández Albañil, H., y Espejo Mora, É. (2002). *Mecánica de Fractura y Análisis de Falla*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.
 - Holzer, T. L. (1984). Ground failure induced by ground-water withdrawal from unconsolidated sediment. *Geological Society of America Reviews in Engineering Geology* , v. VI, p. 67-105.
 - INIFAG. (09 de Octubre de 2013). Recuperado el 09 de Octubre de 2013, de Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas: <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/clima/default.aspx?estado=1>
 - Juárez Badillo, E., y Rico Rodríguez, A. (1969). *Mecánica de Suelos*. *Revista de Ingeniería* .
 - Lahura, E. (2003). *El Coeficiente de Correlación y Correlaciones Espúreas*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
 - Lee, C. F., Zhang, J. M., y Zhang, Y. X. (1996). Evolution and Origin of the Ground Fissures in Xian China. *Engineering Geology* , 45-55.
 - Linares Faustinos, M. A. (25 de Octubre de 2010). *ArtículoZ*. Recuperado el Julio de 2013, de <http://www.articuloz.com/empleos-articulos/la-clasificacion-de-las-obras-de-infraestructura-de-ingenieria-civil-2728968.html>
 - Murcia Vela, J., Aguado de Cea, A., y Marí Bernat, A. R. (1993). *Hormigón armado y pretensado I*. Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- *Nuestro México.com*. (2013). Recuperado el Agosto de 2013, de <http://www.nuestro-mexico.com/Aguascalientes/Rincon-de-Romos/Pabellon-de-Hidalgo/>
 - Ortiz Lozano, J. A., Pacheco Martínez, J., Alonso Farrera, F. A., Zermeño de León, M. E., Araiza Garaygordóbil, G., Mendoza Otero, E., y otros. (2010). Estudio de Patologías Estructurales y Determinación del Estado de Condición de Viviendas Afectadas por Agrietamientos Asociadas al Fenómeno de Subsistencia en la Ciudad de Aguascalientes. *PROMEP* .
 - Pacheco Martínez, J., Hernández Marín, M., Burbey, T. J., González Cervantes, N., Ortíz Lozano, J. Á., Zermeño de León, M. E., y otros. (2013). Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Engineering Geology* , 172-186.
 - Poland, J. F. (1984). Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal. *Unesco, Studies and reports in Hydrology* .
 - Portillo Willians, Y., Rodríguez Martínez, J. M., y Martínez Soto, C. M. (2011). *Introducción al Diseño de Marcos de Concreto Reforzados, por el Método de Análisis Estático no Lineal (Push-Over) utilizando un Software Especializado*. El Salvador: Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental.
 - Quevedo Urías, H. (2006). *Métodos Estadísticos para la Ingeniería ambiental y la ciencia*. Chihuahua, México: Biblioteca Virtual de la Universidad Autónoma de Cd Juárez.
 - Rodríguez Castillo, R., y Rodríguez Velázquez, I. (2006). Consecuencias Sociales de un Desastre Inducido, Subsistencia. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* , 265-269.
 - Rodríguez M., D. (18 de Septiembre de 2013). *Civilgeeks.com*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2013, de Análisis estático No Lineal: <http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2013/09/M%C3%A9todo-Pushover-An%C3%A1lisis-Est%C3%A1tico-No-Lineal-AENL.pdf>

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Rodríguez Ojeda, L. (2007). *Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros*. Guayaquil, Ecuador: Instituto Superior Politécnico del Litoral, ESPOL.
 - Sarria Molina, A. (1999). *Introducción a la ingeniería civil*. Colombia: MacGraw-Hill Interamericana.
 - Secretaría de Obras Públicas, G. d. (Agosto de 2010). *Portal del Estado de Aguascalientes*. Recuperado el Noviembre de 2012, de <http://www.aguascalientes.gob.mx/sop/sifagg/web/Documentos/Introduccion.pdf>
 - Sillerico, E., Marchamalo, M., Rejas, J. G., y Martínez Marín, R. (2010). La técnica DInSAR: bases y aplicación a la medición de subsidencias del terreno en la construcción. *Informes de la Construcción* , 47-53.
 - Skemton, A. W., Schuster, R. L., y Petley, D. J. (1969). Joints and fissures in the London Clay at Wraysbury and Edgware. *Géotechnique* 19 , 205-217.
 - Terzaghi, K. V. (1925). Principals of Soil Mechanics IV: Settlement and consolidation of clay. *Engineering News-Record* , -.
 - Universidad Politecnica de Catalunya. (2009). *Treballs academics UPC*. Recuperado el Enero de 2013, de [http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12324/9/04_Estimaci%C3%B3n%20Da%C3%B1os\(Burland-Boscardin%26Cording\).pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12324/9/04_Estimaci%C3%B3n%20Da%C3%B1os(Burland-Boscardin%26Cording).pdf)
 - *Universidad Técnica de Loja*. (04 de Diciembre de 2008). Recuperado el Septiembre de 2013, de Un blog Sobre Metodología de la Investigación: <http://blogs.utpl.edu.ec/metodologiainvestigacion/2008/12/04/fallas-geológicas/>

GLOSARIO

Discontinuidad Geológica:

También conocida como falla geológica. "Es una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad por fractura), cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano" (Universidad Técnica de Loja, 2008).

Esfuerzos:

Esfuerzo es la resistencia que ofrece un área unitaria (A) del material del que está hecho un miembro para una fuerza aplicada externa (F):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

En algunos casos, como en el esfuerzo normal directo, la fuerza aplicada se reparte uniformemente en la totalidad de la sección transversal del miembro; en estos casos el esfuerzo puede calcularse con la simple división de la fuerza total por el área de la parte que resiste la fuerza, y el nivel del esfuerzo será el mismo en un punto cualquiera de una sección transversal cualquiera. En otros casos, como en el esfuerzo debido a flexión, el esfuerzo variará en los distintos lugares de la misma sección transversal, entonces el nivel de fuerza se considera en un punto.

Dependiendo de la forma cómo actúen las fuerzas externas, los esfuerzos y deformaciones producidos pueden ser axiales, biaxiales, triaxiales, por flexión, por torsión, o combinados.

Estado límite de falla:

Se considerará como estado límite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que

ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

Fisurómetro:

Se define como dos placas parcialmente superpuestas una sobre la otra formadas de resina acrílica. La placa superior está grabada con ejes ortogonales, mientras que la inferior está calibrada en milímetros en sistema cartesiano. El movimiento de la grieta se muestra en milímetros o fracciones y lo marca el movimiento de la cuadrícula respecto a la placa inferior, empezando a partir del valor inicial que resulta después de colocar las dos placas

Láminas de Control:

Son láminas calibradas con diferentes espesores, las cuales presentan aproximación de diezmilésimos de centímetro, son empleadas para determinar el ancho máximo de las grietas. Se pueden usar por separado o unir dos o más laminas para un ancho de grieta mayor.