

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

GRIETAS EN CONSTRUCCIONES OCASIONADAS POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

POR: JUAN CAMILO VIVIESCAS RESTREPO

ASESOR: ING. RODRIGO IVÁN OSORIO MORA

UNIVERSIDAD  **EAFIT**

Abierta al mundo

GRIETAS EN CONSTRUCCIONES OCASIONADAS POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

JUAN CAMILO VIVIESCAS RESTREPO

UNIVERSIDAD EAFIT

2010

GRIETAS EN CONSTRUCCIONES OCASIONADAS POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

JUAN CAMILO VIVIESCAS RESTREPO

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
ingeniero civil

ASESOR: ING. RODRIGO OSORIO MORA

MEDELLÍN

UNIVERSIDAD EAFIT

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

2010

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, 2010

*A mi madre y mi abuela, por la indescriptible lucha y sacrificio para darme el
mejor regalo de todos: la educación.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad EAFIT, por el excelente servicio brindado durante mi permanencia.

Al Departamento de Ingeniería Civil, por inculcarme a ser un buen profesional, tanto en lo académico como en lo personal.

Al Ingeniero Rodrigo Iván Osorio, Asesor del proyecto, por el constante acompañamiento e intachable ética para la elaboración del proyecto.

A mi familia y amigos, por su apoyo y acompañamiento en la elaboración del proyecto.

A Esteban Cadavid, por brindarme los espacios necesarios para la toma de las fotos del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	18
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo general	19
2.2 Objetivos específicos	19
3. DEFINICIONES	20
3.1 Alcance	21
3.2 Grietas y fisuras	21
3.2.1 Clasificación de grietas según Audell, 1996	23
3.3 METODOLOGÍA Y ZONAS DE ESTUDIO	26
3.3.1 Metodología para el proyecto de grado	26
3.3.2 Metodología adecuada para evitar futuros daños	27
3.3.3 Metodología para analizar daños existentes	28
3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS	32
3.4.1 Daños arquitectónicos, funcionales y estructurales	32
3.4.2 Daños según abertura de las grietas	33
3.4.3 Daños según velocidad de movimiento	34
3.4.4 Daños según el porcentaje de vivienda afectado	36
4. MOVIMIENTOS EN EL SUELO	39
4.1 ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA DEBIDOS A MOVIMIENTOS EN EL SUELO	40
4.1.1 Movimientos laterales u horizontales (eje x)	40
4.1.1.1 Movimientos horizontales en un punto del pórtico	40
4.1.1.2 Movimientos horizontales en un eje del pórtico	41
4.1.2 Movimientos verticales (eje y)	41
4.1.2.1 Movimientos verticales en un punto del pórtico	42
4.1.2.2 Movimientos verticales en dos o más puntos del pórtico	42
4.1.2.3 Movimientos verticales en un eje del pórtico	43
4.1.3 Giros	44
4.2 GRIETAS INFLUENCIADAS POR LA ANISOTROPÍA DEL MATERIAL	45
4.2.1 Influencia de los vanos en la aparición de grietas	46
4.2.2 Influencia de los morteros de pega pobres	48

4.2.1 Influencia de las uniones débiles entre pórticos, muros y losas	48
4.3 ASENTAMIENTO	50
4.3.1 Asentamientos diferenciales y totales	51
4.3.1.1 Asentamientos diferenciales	51
4.3.1.2 Asentamientos totales	51
4.3.2 Distorsión angular y los daños que produce	52
4.3.3 Componente del movimiento lateral	55
4.3.3.1 Taludes	55
4.3.3.2 Llenos	57
4.3.3.3 Excavaciones Vecinas	58
4.3.4 Túneles	61
4.3.4.1 influencia de la extracción del agua en los asentamientos	63
4.3.5 Suelos colapsables	64
4.3.5.1 Identificación de los suelos colapsables	65
4.3.6 Vibraciones por cambios en el tráfico y construcciones vecinas	66
4.2.6.1 Construcciones vecinas	66
4.3.6.2 Cambios en el tráfico	67
4.3.7 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996	69
4.3.7.1 Muros	69
4.3.7.2 Losas de piso	78
4.4 EXPANSIÓN	81
4.4.1 Características de los suelos expansivos	82
4.4.1.1 Ensayos de laboratorio para suelos expansivos	83
4.4.1.2 Presiones de sobrecarga	83
4.4.2 Movimientos en los suelos expansivos	83
4.4.2.1 Expansión y encogimiento cíclico	83
4.4.2.2 Expansión progresiva debajo del centro de la estructura	84
4.4.3 Componente horizontal de la expansión	85
4.4.4 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996	87
4.4.4.1 Muros	87
4.4.4.2 Losas de piso	92

4.5 MOVIMIENTO LATERAL O JALÓN	95
4.5.1 Movimientos dados en taludes	95
4.5.1.1 Desconfinamiento por fallas rotacionales	95
4.5.1.2 Desconfinamiento por caídos de rocas	97
4.5.1.3 Deslizamientos traslacionales	98
4.5.1.4 Reptación	100
4.5.2 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996	101
4.5.2.1 Muros	101
4.5.2.2 Losas de piso	102
4.6 SISMOS	104
4.6.1 Movimientos provocados por sismos	104
4.6.1.1 Ondas Longitudinales, primarias o P	104
4.6.1.2 Ondas transversales, secundarias o S	105
4.6.1.3 Ondas superficiales	105
4.6.2 Esfuerzos y grietas presentados por los sismos	105
4.6.2.1 Daños por ondas P	106
4.6.2.2 Daños por ondas S	106
4.6.3 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996	108
4.6.3.1 Muros	108
4.6.3.2 Losas de piso	111
5. OTRO TIPOS DE PROBLEMAS Y GRIETAS NO GEOTÉCNICAS	114
5.1 OTROS TIPOS DE PROBLEMAS GEOTÉCNICOS	115
5.1.1 Erosión	115
5.1.2 Cambios en las propiedades del suelo	116
5.2 GRIETAS NO GEOTÉCNICAS	117
5.2.1 Grietas o fisuras ocasionadas por raíces de arboles	118
5.2.2 Grietas o fisuras sobre instalaciones eléctricas o de acueducto	120
5.2.3 Problemas de capacidad portante en las construcciones	121
5.2.4 Deterioro o envejecimiento	124
5.2.5 Malas dosificaciones de morteros y concretos	124

6. OBTENCIÓN DEL FOCO O ZONA EN MOVIMIENTO	126
6.1 Recomendaciones previas a las visitas	127
6.1.1 Cámara fotográfica	127
6.1.2 Elementos de medida	128
6.1.2.1 Flexómetro o metro convencional	128
6.1.2.2 Pie de rey	129
6.1.3 Elementos para la anotación y apuntes	129
6.1.4 Formatos y planos	130
6.1.4.1 Formatos	130
6.1.4.2 Planos	130
6.2 Metodología para la obtención de la zona o foco de movimiento	131
6.2.1 Análisis del comportamiento externo	132
6.2.1.1 Metodología para el análisis del comportamiento externo	133
6.2.2 Análisis del conjunto de grietas	135
6.2.2.1 Metodología para el análisis del conjunto de grietas	135
7. ANEXOS	141
7.1 TABLAS DE AYUDA PARA TOMAS DE DATOS EN VIVIENDAS AGRIETADAS	142
7.1.1 TOMA DE DATOS PRELIMINARES EN VIVIENDAS CON DISCONTINUIDADES	142
7.1.2 TABLA DE DESCRIPCION DE DISCONTINUIDADES DETALLADA	144
7.2 EJEMPLOS DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DISCONTINUIDADES	145
7.2.2 Ejemplo de daños por asentamientos (Caso 1)	145
7.2.4 Ejemplo de daños por asentamiento (caso 2)	155
8. CONCLUSIONES, SUGERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	171
8.1 CONCLUSIONES	172
8.2 SUGERENCIAS	175
8.3 BIBLIOGRAFÍA	177

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1: Ejemplo de grietas	25
Figura 2: Ejemplo de fisuras	22
Figura 3: Foto con objeto escalado	29
Figura 4: Indicador dejado en vivienda	34
Figura 5: Ejemplo de aparición de grietas en zonas de morteros de pega pobres	48
Figura 6: Ejemplo de grietas a cortante	49
Figura 7: Ejemplo de grietas presentadas por cortes vecinos	60
Figura 8: Grietas presentadas por vibración del suelo debido a cambios en el tráfico	68
Figura 9: Ejemplo Grieta NVTC-1	69
Figura 10: Ejemplo Grieta NVTC-2	70
Figura 11: Ejemplo Grieta NDTC	71
Figura 12: Ejemplo Grieta NHTC	72
Figura 13: Ejemplo Grieta NVSC	73
Figura 14: Ejemplo Grieta NHSC	74
Figura 15: Ejemplo Grieta NVCC	75
Figura 16: Ejemplo Grieta NDCC	76
Figura 17: Ejemplo Grieta NHCC	77
Figura 18: Ejemplo Grieta NOTC	78
Figura 19: Ejemplo Grieta NPTC	79
Figura 20: Característica típica de un suelo expansivo en ausencia de agua	81
Figura 21: Ejemplo de la grieta RVTC-2	88
Figura 22: Ejemplo de grieta RDTC	89
Figura 23: Ejemplo Grieta RVSC	90
Figura 24: Ejemplo Grieta RHSC	91
Figura 25: Ejemplo Grieta RPTC	93
Figura 26: Ejemplo Grieta RRTC	94
Figura 27: Ejemplo construcción afectada por caídos de roca	97
Figura 28: Grietas presentadas en losas por el jalón causado por los caídos de roca	98
Figura 29: Ejemplo de grieta PPTC	102
Figura 30: Ejemplo de grieta SDTC (sismo de armenia)	109
Figura 31: Ejemplo de fisura sobre instalación eléctrica	120
Figura 32: Ejemplo de fisura geotécnica (NVTC-2) con influencia de instalaciones eléctricas	121
Figura 33: Ejemplo de daños en edificaciones debido a problemas de capacidad en la estructura.	123

Figura 34: fisuras en revoques mal elaborados	125
Figura 35: Flexómetro útil a la hora de la toma de datos en las viviendas	129
Figura 36: Grietas con mismos rasgos pero provocadas por patologías diferentes	132
Figura 37: Grietas de desecación en el suelo	134
Figura 38: Desprendimiento de zócalo debido al levantamiento del muro	134
Figura 39: Discontinuidad 1-NVTG-1 caso 1	155
Figura 40: Discontinuidad 2-NDTG caso 1	147
Figura 41: Discontinuidad 3-NDTG caso 1	155
Figura 42: Discontinuidad 4-NVTG caso 1	147
Figura 43: Discontinuidad 5-NHSG caso 1	155
Figura 44: Discontinuidad 6-NDTG caso 1	148
Figura 45: Discontinuidad 7-NVSV caso 1	156
Figura 46: Discontinuidad 8-NVSC Y 9-NDTG caso 1	148
Figura 47: Discontinuidad 10-NPTG caso 1	157
Figura 48: Discontinuidad 11-PPTG caso 1	149
Figura 49: Discontinuidad 12-NDTC caso	157
Figura 50: Discontinuidad 13-NPTC losa caso 1	149
Figura 51: Discontinuidad 1-PPTC losa caso 1	150
Figura 52: Discontinuidad 01-NVTG-1 caso 2	157
Figura 53: Discontinuidad 02-NVTG-1 caso 2	165
Figura 54: Discontinuidad 03-NVSG caso 2	157
Figura 55: Discontinuidad 04-NDTG caso 2	166
Figura 56: Discontinuidad 05-NDTG caso 2	158
Figura 57: Discontinuidad – NHTC caso 2	158
Figura 58: Discontinuidad 10 - NDTC caso 2	159
Figura 59: Discontinuidad – NDTG caso 2	159
Figura 60: Discontinuidad 12 - NDTG caso 2	159
Figura 61: Discontinuidad 13 – NHSG caso 2	160
Figura 62: Discontinuidad 14 – NHSG caso 2	160
Figura 63: Discontinuidad 15 – NDTG caso 2	168
Figura 64: Discontinuidad 16 - NVTG-1 caso 2	160
Figura 65: Discontinuidad 17 – NHSG caso 2	161
Figura 66: Discontinuidad 18 – NDTC caso 2	161
Figura 67: Discontinuidad 19- NDTG caso 2	161
Figura 68: Discontinuidad 21 – PPTC caso 2	162

Figura 69: Discontinuidad 22 – NPTC caso 2	162
Figura 70: Discontinuidad 23 – PPTC caso 2	162
Figura 71: Discontinuidad 24 – PPTC caso 2	163
Figura 72: Discontinuidad 25 – NPTC caso 2	163
Figura 73: Discontinuidad 27 – NPTC caso 2	163
Figura 74: Discontinuidad 28 – NPTC caso 2	164
Figura 75: Discontinuidad 29 – NPTC caso 2	164
Figura 76: Discontinuidad 30 – NPTC caso 2	164
Figura 77: Discontinuidad 31 – NPTC caso 2	165
Figura 78: Discontinuidad 32 – NPTC caso 2	165
Figura 79: Discontinuidad 33 - NPTC caso 2	165

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Procedimiento para estimar el daño debido a movimientos del suelo	28
Gráfico 2: Ayudas graficas para la ubicación de grietas en planos	29
Gráfico 3: Ejemplo de ubicación de grietas por medio de las ayudas graficas	30
Gráfico 4: Especificación del indicador	34
Gráfico 5: Calculo de área afectada en muros	37
Gráfico 6: Calculo de área afectada en losas de piso	37
Gráfico 7: Grietas debido a movimientos horizontales en un punto	40
Gráfico 8: Grietas debidas a movimientos horizontales a través de un eje	41
Gráfico 9: Grietas debido a movimientos verticales en un punto	42
Gráfico 10: Grietas debido a movimientos verticales en dos o más puntos	43
Gráfico 11: Grietas debido a movimientos verticales en un eje del pórtico	44
Gráfico 12: Grietas debido giros	45
Gráfico 13: Distribución de las fuerzas al existir un asentamiento	46
Gráfico 14: (a) Isostáticas de compresión y tensión (b) deformación debido a estos esfuerzos	47
Gráfico 15: Aparición de grietas cuando existen vanos de puertas o ventanas	47
Gráfico 16: Aparición de grietas en zonas de morteros de mala calidad o de bajas resistencias comparados con el adobe	48
Gráfico 17: a) Fisuras a 45° y b) Grietas con fisuras (grietas a cortante)	49
Gráfico 18. Perfil de asentamientos	51
Gráfico 19: asentamientos para el cálculo de la distorsión angular	52
Gráfico 20: Fuerzas presentadas en un movimiento rotacional	55

Gráfico 21: Influencias del movimiento de taludes en los daños en estructuras	56
Gráfico 22: Zonas de lleno en una edificación	57
Gráfico 23: Fuerzas presentadas en las zonas de lleno	58
Gráfico 24: Fuerzas ocasionadas en el suelo debido a una excavación	59
Gráfico 25: Agrietamientos y zonas de falla del corte	59
Gráfico 26: Trayectoria de los movimientos del suelo debido a la construcción de un túnel	61
Gráfico 27: Ejemplo de daños en construcciones debido a excavaciones de túneles	62
Gráfico 28: Identificación de cambios en un suelo colapsable	64
Gráfico 29: Influencias de las vibraciones ocasionadas por construcciones vecinas	67
Gráfico 30: Influencias de las vibraciones ocasionadas por los vehículos en las construcciones	68
Gráfico 31: Descripción de la grieta NVTC-1	69
Gráfico 32: Descripción de la grieta NVTC-2	70
Gráfico 33: Descripción de la grieta NVTC-2	71
Gráfico 34: Descripción de la grieta NHTC	72
Gráfico 35: Descripción de la grieta NVSC	73
Gráfico 36: Descripción de la grieta NHSC	74
Gráfico 37: Descripción de la grieta NVCC	75
Gráfico 38: Descripción de la grieta NDCC	76
Gráfico 39: Descripción de la grieta NHCC	77
Gráfico 40: Descripción de la grieta NOTC	78
Gráfico 41: Descripción de la grieta NPTC	79
Gráfico 42: Expansión progresiva debajo del centro de la estructura	85
Gráfico 43: Descripción de la grieta RVTC	87
Gráfico 44: Descripción de la grieta RVTC-2	88
Gráfico 45: Descripción de la grieta RDTC	89
Gráfico 46: Descripción de la grieta RVSC	90
Gráfico 47: Descripción de la grieta RHSC	91
Gráfico 48: Descripción de la grieta ROTC	92
Gráfico 49: Descripción de la grieta RPTC	93
Gráfico 50: Descripción de la grieta RRTC	94
Gráfico 51: Descripción de las zonas a tensión provocadas por el deslizamiento	96
Gráfico 52: Efecto del movimiento en esa zona en las construcciones	96
Gráfico 53: Característica morfológica de los deslizamientos traslacionales	98
Gráfico 54: Daños en estructuras debido al componente horizontal en deslizamientos traslacionales	99
Gráfico 55: Ejemplo de zona con un movimiento tipo reptación	100

Gráfico 56: Grietas debido a movimientos totalmente horizontales en un punto	101
Gráfico 57: Descripción de la grieta PPTC	102
Gráfico 58: Descripción de ondas P	105
Gráfico 59: Descripción de ondas S	105
Gráfico 60: Fuerzas aplicadas por una Onda S en una estructura	106
Gráfico 61: Fuerzas aplicadas por una Onda P en una estructura	107
Gráfico 62: Descripción grieta SVTC	108
Gráfico 63: Descripción grieta SDTC	109
Gráfico 64: Descripción grieta SHSC	110
Gráfico 65: Descripción grieta SOTC	111
Gráfico 66: Descripción grieta SPTC	112
Gráfico 67: Tipos de raíz	118
Gráfico 68: Ejemplo de daños causados por raíces	119
Gráfico 69: Ejemplo de daños causados por problemas de capacidad de la estructura	122
Gráfico 70: Ilustración de pie de rey con sus partes	129
Gráfico 71: Dibujo de grietas en muros para la identificación del movimiento	136
Gráfico 72: Identificación de movimientos en muros con múltiples grietas	137
Gráfico 73: análisis de grieta con asentamientos diferenciales iguales	137
Gráfico 74: análisis de grieta con asentamientos diferenciales diferentes	138
Gráfico 75: Identificación de intensidades de movimientos en las cimentaciones	139
Gráfico 76: Dirección del movimiento dado por las discontinuidades en losas y cubiertas	140
Gráfico 77: Ubicación de grietas asentamiento caso 1	146
Gráfico 78: Ubicación de grietas e intensidad del movimiento caso 1	154
Gráfico 79: Ubicación grietas caso 2	156
Gráfico 80: Dirección del movimiento e intensidad de movimiento caso 2	170

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de discontinuidades según su separación	22
Tabla 2: Clasificación de discontinuidades según su textura	23
Tabla 3: Dirección de propagación en muros	24
Tabla 4: Dirección de propagación pisos	24
Tabla 5: Tendencia de la discontinuidad	25
Tabla 6: Probabilidad de aparición.	26
Tabla 7: Grado de discontinuidad.	26
Tabla 8: Ejemplo de tabla de descripción de discontinuidades	31
Tabla 9: Clasificación de los daños según la abertura de la grieta o fisura	33
Tabla 10: Categoría del riesgo según la velocidad de abertura de las grietas	35
Tabla 11: Categoría del riesgo el porcentaje de daños en losas y muros	38
Tabla 12: Clasificación de los daños según la abertura de la grieta o fisura, asentamiento y distorsión angular	54
Tabla 13: Propiedades típicas del suelo versus el potencial expansivo	82
Tabla 14: Niveles de erosión en taludes	115
Tabla 15: Toma de datos preliminar para visitas a viviendas con problemas de discontinuidades	142
Tabla 16: Tabla de descripción de discontinuidades detallada	144
Tabla 17: Discontinuidades detalladas asentamiento caso 1	151
Tabla 18: Discontinuidades detalladas asentamiento caso 2	166

1. INTRODUCCIÓN

En la ingeniería se ven diariamente problemas de daños en estructuras, siendo uno de los factores más relevantes al evaluar la calidad de las obras en cuanto al diseño y la construcción. Pero el problema no radica en la aparición de daños, sino en las razones que llevaron al afloramiento de grietas o fisuras. Al momento de la aparición se divulgan generalmente comentarios sobre la culpabilidad de este hecho sin certeza alguna; es ahí donde entra a jugar de forma importante el análisis de grietas en las construcciones. Al momento del diagnóstico se puede entender en primera instancia los movimientos que provocaron los daños, dando un primer paso importante en la búsqueda de soluciones.

Para poder entender la aparición de grietas primero se debe entender cómo funciona la estructura. Según estudios de modelación y de daños en estructuras hechos por diferentes autores (Son y Cording, 2005) sobre muros cargueros en mampostería, se ha visto que, con el solo hecho de existir vanos de puertas y ventanas en los muros, la resistencia de la estructura comparada con la estructura sin estos disminuye aproximadamente en un 30%; desde el momento de la aparición de discontinuidades, las estructuras sufren una disminución de la resistencia al corte, debilitando las construcciones según la cantidad de grietas y aberturas de las mismas.

Las interpretaciones de las grietas se pueden ver distorsionadas, debido a la anisotropía de los materiales utilizados en la construcción, dado que las resistencias de los morteros, concretos y unidades de mampostería, sufren variaciones, creando planos débiles donde eventualmente se puede dar la aparición de grietas.

La labor del trabajo es interpretar, lo que algunos llaman el lenguaje de las grietas; las discontinuidades tienen características únicas, que describen las razones del afloramiento en los diferentes elementos de la estructura, otorgando herramientas valiosas a la hora de mitigar los movimientos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

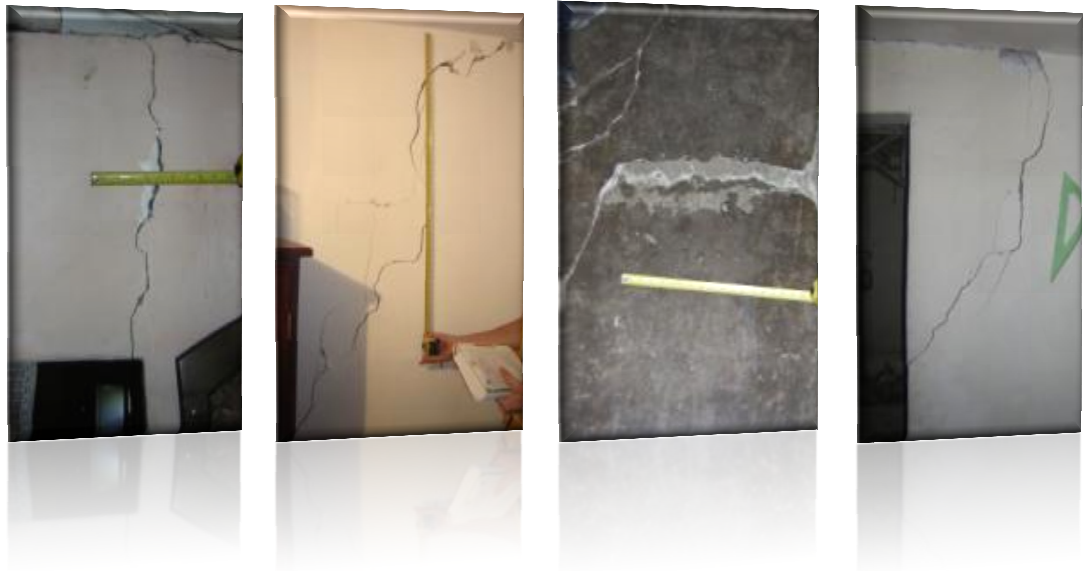
- Reconocer los diferentes tipos de grietas y fisuras que se presenten en losas de pisos y en muros de construcciones e identificar las causas de las apariciones desde un punto de vista geotécnico.

2.2 Objetivos específicos

- Presentar clasificaciones realizadas por diversos autores sobre la patología de las grietas.
- Reconocer las causas geotécnicas que llevan a que se presenten daños en los muros ó losas de piso.
- Identificar que ocurrencia tienden a presentar las grietas en los elementos de mampostería y losas de piso.
- Identificar que tipos de movimientos pueden aparecer en la estructura que provoquen la aparición de grietas.
- Observar el tipo de orientación de las grietas y que elementos puede afectar.
- Establecer metodologías para el análisis de grietas y el encuentro del foco o zona de movimiento en la edificación.

CAPÍTULO 3

3. DEFINICIONES



3.1 Alcance

El trabajo se basa en la identificación de los problemas geotécnicos que provocan la aparición de grietas en las construcciones, especialmente en los muros y losas de pisos, contemplando que tipo de movimiento en el suelo ocasionó la grieta, que tipo de tendencias tienen y mirar la severidad según su abertura.

Con base en la información recolectada y estudios hechos sobre el tema, se quiere alcanzar una metodología adecuada para identificar la patología de la aparición de las grietas en cualquier tipo de vivienda. Además de evidenciar estos estudios por medio de fotografías tomadas en nuestro entorno.

3.2 Grietas y fisuras

Las grietas y fisuras son discontinuidades o interrupciones presentadas en cualquier obra de ingeniería sean muros, losas, vigas, columnas o taludes y cada una de las ellas representan algún suceso anormal en la estabilidad o consistencia de los elementos. Estas anomalías son una alarma y dan a entender que algo no anda bien y que hay que buscar la forma de mitigar o controlar las razones de la aparición de éstas.

La aparición de grietas y fisuras se dan en cualquier elemento estructural debido a muchos factores como movimientos inesperados del tipo asentamientos, expansiones, movimientos laterales debido al desconfinamiento de taludes o a sismos; pero también se deben a propiedades intrínsecas de los materiales que son alteradas debido a sobrecargas o vibraciones ocasionadas por cambios en el tráfico de la zona o trabajos con maquinaria vibratoria en lugares vecinos.

Además, la aparición de grietas y fisuras afecta el desempeño o función de la edificación, dado a que hay pérdida de impermeabilidad y desarrolla corrosión, descomposición y deterioro progresivo.

Las fisuras son aquellas que se asemejan al cabello humano y su abertura es menor o igual a 5 mm; las grietas son las que exceden esta medida, y exigen un mayor tratamiento para arreglarlas.

Fisuras $5\text{ mm} \leq e < 5\text{ mm}$ Grietas

Donde e es el espesor de la grieta.

A continuación se ve la diferencia visual entre las grietas y fisuras, ver Figura 1 y 2.



Figura 1: Ejemplo de grietas



Figura 2: Ejemplo de fisuras

También existe una metodología para la identificación de discontinuidades que permite dar nociones sobre la abertura y textura. Las tablas 1 y 2 son adaptaciones Audell, 1996.

Tabla 1: Clasificación de discontinuidades según su separación

<i>Separación de discontinuidades</i>	
<i>Clasificación</i>	<i>Separación (mm)</i>
Cerrado	0
Muy estrecho	0 – 0,5
Estrecho	0,5 – 1,0
Amplio	1,0 – 5,0
Muy amplio	>5,0

Tabla 2: Clasificación de discontinuidades según su textura

<i>Textura Superficial</i>	
<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
Muy Suave	No se detectan asperezas ni a la vista ni al tacto
Suave	Visiblemente suave y poco áspero al tacto
Rugoso	Las asperezas son claramente visibles y se siente abrasivo
Muy rugoso	Asperezas angulares y largas

3.2.1 Clasificación de grietas según Audell, 1996

Este estudio no solo consta en identificar que es una grieta o fisura, sino que también nos permite entender las razones de la aparición, la ocurrencia, tendencia y la textura provocadas por un movimiento, visto desde el punto de vista geotécnico, lo cual nos da a entender la gravedad de este tipo de problemas.

Para este análisis, Audell establece un sistema para la clasificación de grietas de la siguiente forma:

3.2.1.1 Nomenclatura

Para facilitar la clasificación y dar la mejor descripción posible, se utiliza un código de secuencia para clasificar las grietas de tal forma, que sea fácil y rápida la identificación de los movimientos.

NOMENCLATURA

CÓDIGO DE SECUENCIA

¹N ²D ³T ⁴C

- 1. Sentido del movimiento del suelo

La aparición de grietas es definido por las causas más probables que provoquen movimientos superficiales como son: el movimiento normal descendente o asentamiento (**N**), el movimiento inverso o expansivo (**R**), el movimiento causado por el deslizamiento de

tierras, por reptaciones o flujos, otorgando la componente lateral u horizontal (**P**) y los movimientos dados en los tres sentidos (Normal, inverso y lateral) por un sismo (**S**).

- 2. Orientación de la grieta

Muros: la orientación en el plano vertical o muros, se define por medio de grietas verticales perpendiculares a la cimentación (**V**), a grietas diagonales encontradas en los rincones de los muros con algún ángulo respecto a la cimentación (**D**), y las grietas horizontales paralelas a la cimentación (**H**)

Losas de piso: las siguientes son características de grietas en losas de piso; Las grietas paralelas se encuentran comúnmente en los bordes de las losas de piso y son paralelas al nivel de cimentación (**P**). Las grietas presentadas en los bordes de la losa con cualquier ángulo son llamadas grietas oblicuas (**O**) y las grietas que normalmente se encuentran en la zona central donde las grietas tienden a alejarse formando un domo, son llamadas grietas radiales (**R**).

En las tablas 3,4 y 5 (Audell, 1996), se podrá entender de mejor manera la orientación de las grietas.

Tabla 3: Dirección de propagación en muros

Dirección de Propagación para Muros	
<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
Descendente	Hacia el piso
Ascendente	Hacia el techo
Lateral	Recorre todo el muro de forma vertical
Paralela	Recorre todo el muro de forma horizontal

Tabla 4: Dirección de propagación pisos

Dirección de Propagación para Pisos	
<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
Interno	Propagación hacia el interior del piso
Externo	Propagación hacia el exterior del piso
Paralelo	Propagación que recorre toda la extensión del piso

- 3. Tipo de esfuerzo

Según la carga o presión aplicada a los distintos objetos, se encuentran esfuerzos de tensión (**T**), que se identifican por tener separaciones comúnmente abiertas; esfuerzos a cortante (**S**) las cuales son de separaciones muy estrechas o cerradas, acompañadas por desplazamientos laterales; y las grietas a compresión (**C**), de separación cerrada y con presencia de abultamientos

- 4. Tipo de rasgo o discontinuidad

La diferencia entre grietas y fisuras radica en la dimensión de los espesores, si este es menor o igual a 5 mm es una fisura (**G**), y si es mayor es grieta (**C**).

En el transcurso del trabajo podremos ver este tipo de clasificaciones según los movimientos provocados en los suelos

3.2.1.5 Otros tipos de clasificaciones

Las tablas 5, 6 y 7 son adaptaciones según Audell, 1996.

3.2.1.5.1 Tendencia de la discontinuidad

Las grietas tienen una tendencia que permite identificar qué tipo de esfuerzo provocó este tipo de discontinuidad. En la siguiente tabla se describen los diferentes tipos de tendencias.

Tabla 5: Tendencia de la discontinuidad

<i>Tendencia de la Discontinuidad</i>	
<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
Lineal	Tendencia con ausencia de curvas
Moderadamente lineal	Curvatura prácticamente imperceptible
Moderadamente curvilínea	Tendencia de curvatura en los extremos de la discontinuidad
Curvilínea	Ausencia de secciones rectas
Irregular	Tendencia errática y bifurcada

3.2.1.5.2 Probabilidad de aparición

La probabilidad de aparición es el análisis hecho a la zona y a las razones de la aparición de las discontinuidades, donde se define si es común debido a las magnitudes del movimiento, o si es raro debido a que la grieta o fisura no es esperada.

Tabla 6: Probabilidad de aparición.

<i>Probabilidad de Aparición</i>	
<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
Común	Aparición frecuente
Raro	Aparición aleatoria

3.2.1.5.3 Grado de discontinuidad

El grado de discontinuidad se refiere a que tan agrietado se encuentra la edificación con respecto a los metros cuadrados de muros o losas de piso, en el siguiente cuadro se describe este concepto.

Tabla 7: Grado de discontinuidad.

<i>Grado de Discontinuidad</i>	
<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
General	>7.62 m por cada 9.29 m ²
Moderado	4.57 m a 7.62 m por cada 9.29 m ²
Ocasional	3.05 m a 4.57 m por cada 9.29 m ²
Particular	<3.05 m por cada 9.29 m ²

3.3 METODOLOGÍA Y ZONAS DE ESTUDIO

3.3.1 Metodología para el proyecto de grado

-Recoger evidencia fotográfica de las grietas que representen algunos de los movimientos descritos, para evaluar cada caso y mostrar las razones de la aparición de las grietas.

-Recopilar bibliografía para enriquecer de forma adecuada los conceptos patológicos sobre el análisis de las grietas.

-Clasificar los tipos de daños presentados desde el punto de vista arquitectónico, funcional y estructural.

3.3.2 Metodología adecuada para evitar futuros daños

Diversos autores han entablado diferentes metodologías para el análisis de prefactibilidad del proyecto no solo desde el punto de vista económico, sino desde la calidad del producto final y la seguridad de los propietarios, buscando prevenir la aparición de daños en las construcciones.

Según Son y Cording, (2005), la estimación de los daños futuros en estructuras se puede realizar con los siguientes pasos:

- 1.** Estimación de los movimientos del suelo en el terreno antes de construirse
- 2.** Consideración de los efectos de los movimientos en la rigidez de edificio, definiendo el tipo de movimiento como si el edificio no estuviera presente.
- 3.** Estimación de la distorsión del edificio basado en la interacción suelo – estructura.
- 4.** Estimación de la gravedad de los daños, que se pueden estimar usando criterios con base en las observaciones de campo y los modelos evaluados con una apropiada relación de escalas.

La metodología anterior se puede acomodar a nuestra situación, debido a que la mayoría de construcciones en las zonas urbanas se encuentran en lugares de alta pendiente y donde si no se cuenta con un estudio detallado, se podría omitir movimientos ocasionados en el suelo que pueden afectar luego la construcción.

Son y Cording, (2005), detallaron más esta metodología dividiéndola en tres fases. La primera es sobre los factores que pueden afectar la construcción y la determinación del máximo asentamiento provocado, empleando ayudas computacionales; si al evaluarse el asentamiento admisible este no cumple con los requerimientos, se procede con la segunda fase, la consiste en analizar los efectos en la estructura; si los efectos igualmente no son

admisibles se sigue con la tercera fase, la cual consiste en la evaluación de la unión de las dos primeras fases; si no cumple, se debe hacer la fase de protección la cual consiste en mitigar las causas del movimiento. En el Gráfico 1 se puede ver en que consta el procedimiento de forma gráfica.

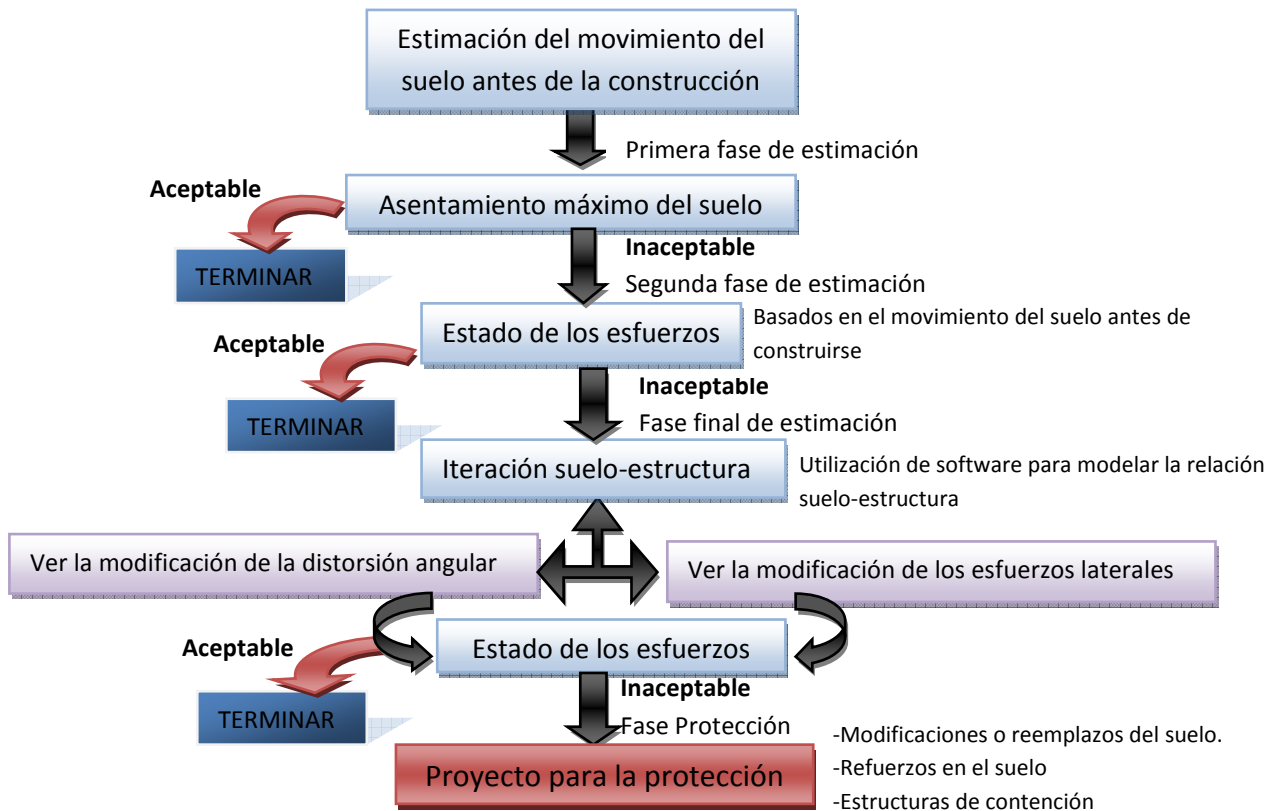


Gráfico 1: Procedimiento para estimar el daño debido a movimientos del suelo

3.3.3 Metodología para analizar daños existentes

Al momento del afloramiento de los daños, se debe hacer un estudio visitando el lugar para determinar las causas del movimiento y el riesgo para los propietarios, por eso los siguientes pasos pueden ayudar al momento del diagnóstico:

Para los pasos que van del 1 al 7, se sugiere llenar la Tabla 15: Toma de datos preliminar para visitas a viviendas con problemas de discontinuidades, (Ver Anexos), debido a que agiliza la toma de datos preliminares del lugar agrietado.

1. Tomar nota sobre la ubicación (ciudad, barrio, dirección), fecha de la visita y fecha de construcción de la vivienda.
2. Descripción de la construcción: materiales, niveles y tipo de cimentación, si es factible.
3. Recorrer la zona y escuchar las versiones de los vecinos y propietarios, sobre las fechas en que afloraron los daños.
4. Estudiar la geología de la zona por medio de excavaciones o estudiando los estudios de suelos si existen y se pueden obtener.
5. Obtener copia de los planos de la construcción. Si no se encuentran, se sugiere hacer un esquema sobre la distribución de los muros y del área.
6. Se procede a la toma de fotos de las discontinuidades con algún objeto escalado (regla, flexo metro, escuadra), ver Figura 3.



Figura 3: Foto con objeto escalado

7. Inmediatamente después de la toma de fotos, se procede a ubicar en el plano o esquema las fotos de la siguiente forma:

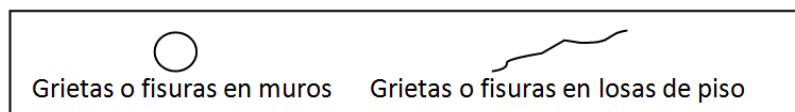


Gráfico 2: Ayudas graficas para la ubicación de grietas en planos

Para entender mejor el cómo se debe ubicar las discontinuidades en el plano, se muestra un ejemplo de la ubicación de grietas en los planos de una vivienda:

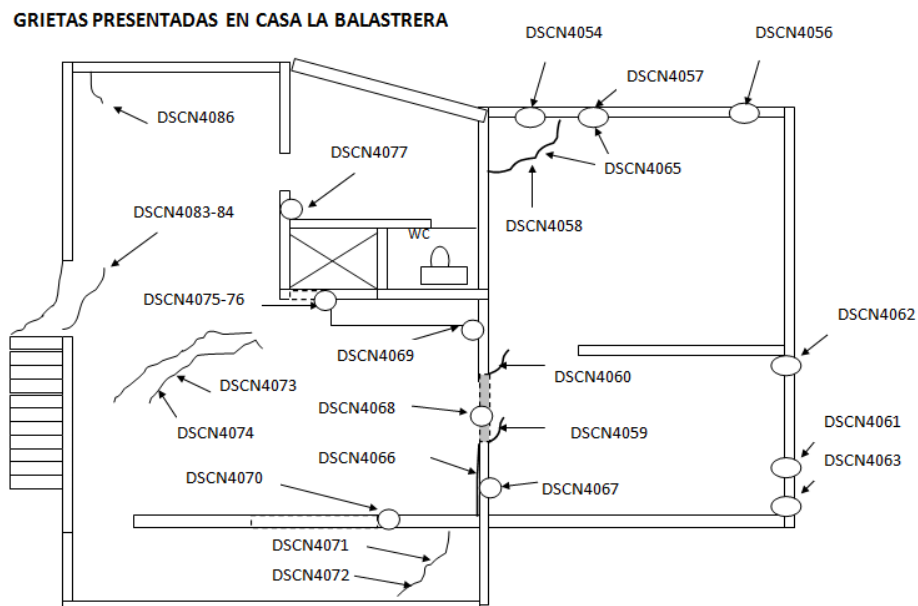


Gráfico 3: Ejemplo de ubicación de grietas por medio de las ayudas graficas

- 8.** Si las causas del movimiento no son claramente determinadas, se recomienda dejar en las grietas un indicador para el control de movimiento en las grietas de mayor espesor, y en las zonas con mayor cantidad de grietas. Ver sección 3.4.3 Daños según velocidad de movimiento.
- 9.** Se halla el porcentaje estimado de daños en muros y losas, para entender la magnitud del daño en la edificación. Ver sección 3.4.4 Daños según el porcentaje de vivienda afectado.
- 10.** Llenar la tabla “Descripción de discontinuidades detallada”, identificando las características de las grietas en muros y losas de piso según la textura, probabilidad de aparición, tendencia, y dirección de propagación (la tabla se puede ver en los anexos, Tabla 16: Descripción de discontinuidades detallada).

Tabla 8: Ejemplo de tabla de descripción de discontinuidades

DISCONTINUIDAD	SEPARACIÓN			TEXTURA	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	TENDENCIA	PROBABILIDAD DE APARICIÓN	GRADO DE DISCONTINUID	CLASE DE PRESIÓN	TIPO DE DAÑO	OBSERVACIONES / UBICACIÓN
	(mm)	Clasificación	Tipo								
MUROS											
01 - NVTG-1	1	AMPLIO	FISURA	Suave	Descendente	Mod. Lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectonico	Ubicado sobre enchapes del baño social. Fotos (4202-4210 y 4346)
02 - NVTG-1	0.6	ESTRECHO	FISURA	Muy Suave	Descendente	Mod. Lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectonico	Muro justo detrás del baño en la sala. Fotos (4211-4214)
03 - NVSG	2	AMPLIO	FISURA	Rugoso	Descendente	Mod. Lineal	Raro	Particular	Corte	Arquitectonico	Ubicado en la intersección del muro de sala entre los ejes 10 y 12. Fotos (4215-4223, 4347-4349)

11. Se clasifican las grietas según lo visto en la sección 3.2.1.1 Nomenclatura.

12. Al saber el movimiento que provocó la aparición de la discontinuidad se debe encontrar en el plano el foco o la zona en movimiento, Ver sección 6. OBTENCIÓN DEL FOCO O ZONA EN MOVIMIENTO.

13. Se hacen sugerencias para el tratamiento, o la toma de muestras para hacer la repotenciación de la vivienda.

3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS

3.4.1 Daños arquitectónicos, funcionales y estructurales

Al momento del afloramiento de las grietas se deben identificar no solo la trayectoria, longitud, abertura y tendencia, sino que se debe reconocer que elementos de la edificación han sido afectados, debido a que nos ayuda a entender la magnitud del riesgo en el que se encuentra. (Skempton y McDonald, 1956; Bromhead, 1984; Boscardin y Cording, 1989; Feld y Carper, 1997)

3.4.1.1 Daño Arquitectónico: se define principalmente, como el daño a la apariencia de las edificaciones, y es usualmente relacionado con grietas menores en muros, pisos y acabados. El espesor de las grietas en muros en yeso son mayores a 0.5 mm, y en muros en mampostería son mayores a 1 mm de espesor; son considerados el umbral típico de valores que van a hacer detectados por los ocupantes de la vivienda.

3.4.1.2 Daños funcionales o de servicio: este tipo de daño afecta el uso de la vivienda, en sitios tales como son puertas y ventanas atrancadas o colgadas, muchas grietas en muros en yeso, y se encuentran muros y ventanas girados. El movimiento del suelo puede causar agrietamientos que llevan a un deterioro prematuro de los materiales o fugas en los techos.

3.4.1.3 Daño estructural: se refiere a los daños que afectan la estabilidad de los edificios, como son agrietamientos o distorsiones en los elementos de soporte, como vigas, columnas, o muros cargueros. La categoría también incluye el colapso completo de la estructura.

Existen otro tipo de daños como:

3.4.1.4 Daño escondido o latente: se refiere a debilidades escondidas en la estructura las cuales no son fácilmente visibles. El daño latente se puede descubrir revisando los cálculos de diseño, evaluando materiales subestandarizados e inspeccionado o evaluando un elemento de la estructura.

3.4.2 Daños según abertura de las grietas

Como se mencionó en la descripción de grietas y fisuras (Sección 3.2), la abertura de estas discontinuidades indica la dimensión del daño provocado por el movimiento sufrido en el suelo. En la siguiente tabla se relaciona la dimensión de la abertura respecto a la categoría del daño en la estructura, (Day, 1998).

Tabla 9: Clasificación de los daños según la abertura de la grieta o fisura

Categoría del daño	Descripción del daño típico	Abertura aproximada de la grieta
Insignificante	Fisuras en forma de cabello	<0,1 mm
Muy ligero	Incluye grietas finas (fisuras) que pueden ser fácilmente tratadas con una decoración normal, se puede ver una fracturación aislada en la edificación y grietas en muros de mampostería exteriores las cuales son visibles al hacer una inspección cercana.	1 mm
Ligero	Incluye grietas que pueden ser fácilmente llenadas y puede ser requerido una re decoración, una buena cantidad de fracturas ligeras (fisuras) pueden aparecer en el interior del edificio. Pueden aparecer grietas visibles en el exterior. Se pueden colgar las puertas y ventanas.	3 mm
Moderado	Incluye grietas que pueden requerir abrirlas y ser arregladas por un oficial; grietas recurrentes pueden ser enmascaradas por adecuados revestimientos; se debe arreglar las juntas de los muros en mampostería exterior y puede ser necesario reemplazar una pequeña cantidad de ladrillos; las puertas y ventanas se traban; se pueden dañar tuberías de servicio; y la consistencia del agua es a menudo afectada.	5-15 mm o el número de grietas >3
Severo	Incluye largas grietas las cuales requieren una extensiva reparación envolviendo un trabajo de demoler y reemplazar secciones de muro (especialmente sobre puertas y ventanas); los marcos de puertas y ventanas se distorsionan; se evidencia que la losa tiene una pendiente; muros inclinados o embobados; alguna pérdida de la capacidad de las vigas; y tuberías con servicio perturbado.	15-25 mm, pero también depende del número de grietas
Muy severo	A menudo se requiere un mayor trabajo de reparación envolviendo una parcial o total reconstrucción; las vigas perdieron su capacidad de carga; los muros se inclinan y requieren un apuntalamiento; las ventanas se quebraron por la distorsión; y existe el peligro de daño estructural riesgoso.	Usualmente >25 mm, pero también depende del número de grietas

3.4.3 Daños según velocidad de movimiento

Un factor importante para la categorización de los daños, es la velocidad del movimiento en las fracturas o grietas, debido a que es la que gobierna la dimensión del espesor en el corto, mediano o largo plazo, determinando la categoría de los daños vistos en la Tabla 9: Clasificación de los daños según la abertura de la grieta o fisura.

Es común no tener en cuenta este factor para la determinación de los riesgos en la estructura, debido a que la toma de datos se hace en un instante del tiempo y normalmente no se hace ningún seguimiento; Por eso, se recomienda dejar indicaciones claras en el momento de la visita, para que los propietarios hagan un seguimiento periódico a los espesores de forma fácil y sencilla, de la siguiente manera:

1. Identificar las grietas de mayor espesor, tanto en muros como en losas de piso y ubicarlas en los planos o esquemas.
2. Tomar notas sobre el espesor encontrado dejando registro de la fecha en que se tomo.
3. Hacer un registro fotográfico con un objeto escalado (Flexómetro, regla, escuadra). Ver Figura 3.
4. Dejar un indicador escrito sobre la grieta de 5 cm de espesor (el espesor puede ser cualquiera pero debe estar especificado en la parte superior del indicador), además debe incluir la fecha para identificar la velocidad del movimiento. Ver Gráfico 4.

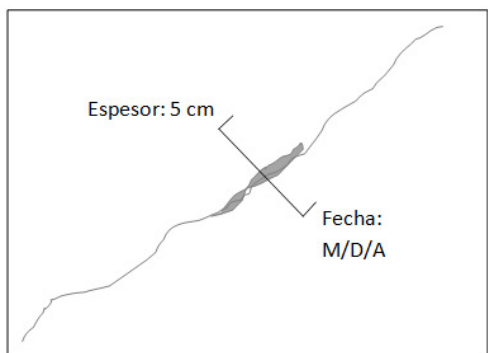


Gráfico 4: Especificación del indicador

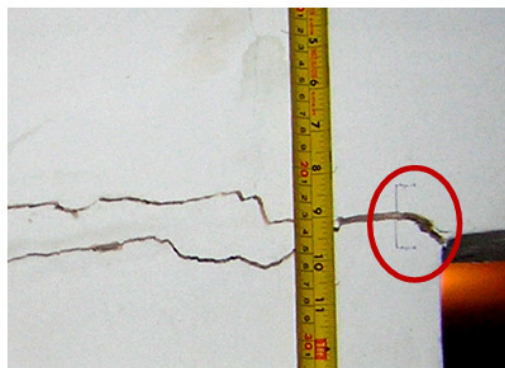


Figura 4: Indicador dejado en vivienda

Después de haberse dejado el indicador para el control de la velocidad de movimiento, se deben hacer medidas periódicas llevando registro sobre los cambios. A continuación se propone la siguiente tabla que relaciona la velocidad del movimiento con el riesgo.

Tabla 10: Categoría del riesgo según la velocidad de abertura de las grietas

Categoría del riesgo	Velocidad (mm /mes)	Observaciones
Bajo	< 1	Velocidad de movimiento lento, puede ser causado por la reptación del terreno; se pueden encontrar arboles torcidos; se debe identificar las razones del por qué se activo el movimiento, para hacer las respectivas mitigaciones, puede acelerarse en épocas de invierno.
Medio	1 - 2.5	El movimiento puede ser causado por reptaciones y construcciones vecinas. Se debe identificar de forma rápida las razones del movimiento y mitigarlo, debido a que cualquier cambio en la velocidad del movimiento, afecta considerablemente la estabilidad de la construcción; no hay necesidad de desalojo inmediato.
Alto	2.5 – 5	Se debe hacer un análisis detallado de los movimientos y de las afectaciones en la capacidad de la construcción. Pueden ser ocasionados por desconfinamiento de taludes, excavaciones vecinas, flujos, sobrecargas en la estructura o erosión del suelo de cimentación. Si las causas no se pueden corregir rápidamente, o aún no se conoce las razones, se recomienda desalojar la edificación, debido a la pérdida acelerada de capacidad estructural de la edificación.
Inminente	>10	Se debe hacer un desalojo de forma rápida, y casi siempre la estructura termina siendo demolida por la gran afectación en la capacidad estructural de la edificación. Las causas comunes son deslizamientos, flujos, desconfinamiento por parte de excavaciones vecinas o sobrecargas en la estructura.

La tabla anterior depende del área afectada de la casa, debido a que el criterio solo aplica a la zona donde se presenten las grietas de mayor dimensión, o donde se encuentran la mayor cantidad de discontinuidades.

El proceso debe ser debidamente explicado a los propietarios, dejando claro que el indicador no debe ser borrado bajo ninguna circunstancia, hasta que no se compruebe que el

movimiento haya sido totalmente controlado; el riesgo será definido por aquella grieta que presente mayores cambios.

3.4.4 Daños según el porcentaje de vivienda afectado

Otro factor importante para determinar el riesgo ocasionado por la aparición de discontinuidades en las construcciones, es el porcentaje de elementos estructurales que estén afectados. En el caso de construcciones aporricadas, se hace análisis a cada uno de los elementos estructurales, como vigas y columnas, para dimensionar que tan afectados se encuentran.

En el caso de muros cargueros, se tienen en cuenta los daños en muros y losas de piso pues dimensionan la proporción en que se encuentra afectada la estructura. En la sección se hará énfasis en el sistema de muros cargueros.

Los conceptos sobre los daños según el porcentaje afectado, están ligados igualmente, con la velocidad de abertura de las grietas y los daños según el espesor. Los conceptos anteriores son herramientas para el diagnóstico de riesgo en las construcciones, dado que no se pueden excluir al momento de determinar los movimientos que ocasionan las discontinuidades.

Para determinar el porcentaje de daños, se basa en calcular el área de muros o losa afectados, con respecto al área total de muros y de losa de la construcción. Para determinar los metros cuadrados de daños en muros, se debe calcular según el gráfico 5.

Al identificar la grieta en el muro, se toma las medidas del largo de la grieta y se multiplica por la altura total del muro; debido a que es porción del muro que ya ha sufrido cambios en la capacidad portante. Ver Gráfico 5.

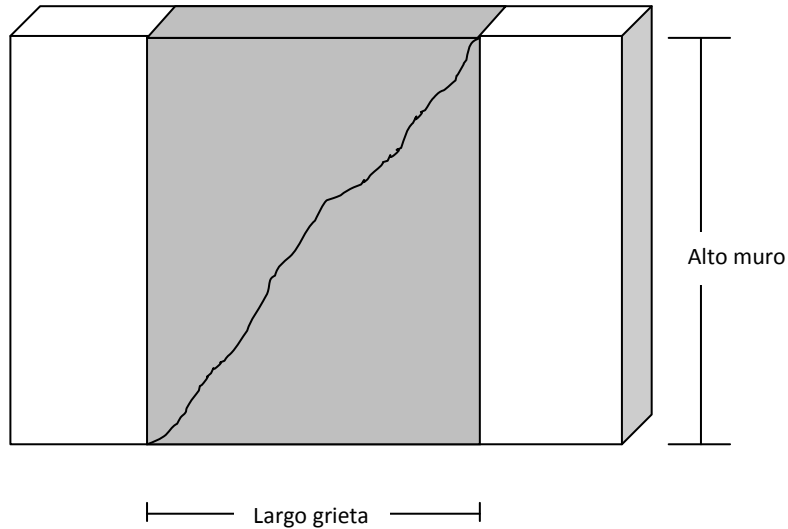


Gráfico 5: Calculo de área afectada en muros

Se utiliza la siguiente ecuación para obtener el porcentaje de daños en muros:

$$\%Daño_{muros} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Largo grieta}_n \times \text{Alto muro}_n}{\text{Area total muros}} \times 100$$

Para el caso de grietas en losas, se trazan paralelas a los muros que corten en primera instancia a las grietas, obteniendo un área la cual será la zona afectada. Ver Gráfico 6.

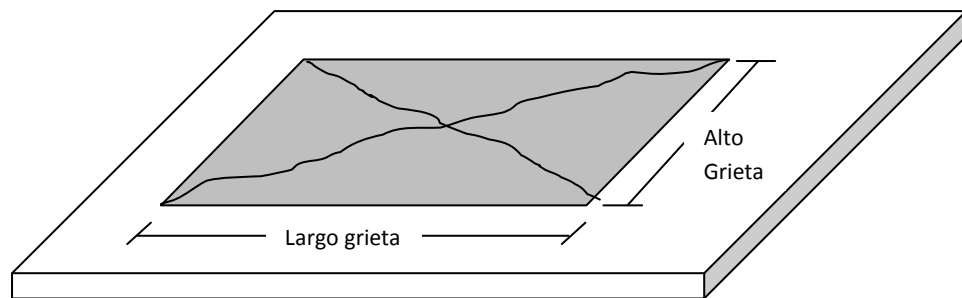


Gráfico 6: Calculo de área afectada en losas de piso

Se utiliza la misma ecuación para calcular el porcentaje de daños en las losas:

$$\%Daño_{Losa} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Largo grieta}_n \times \text{Alto grieta}_n}{\text{Area total construcción}} \times 100$$

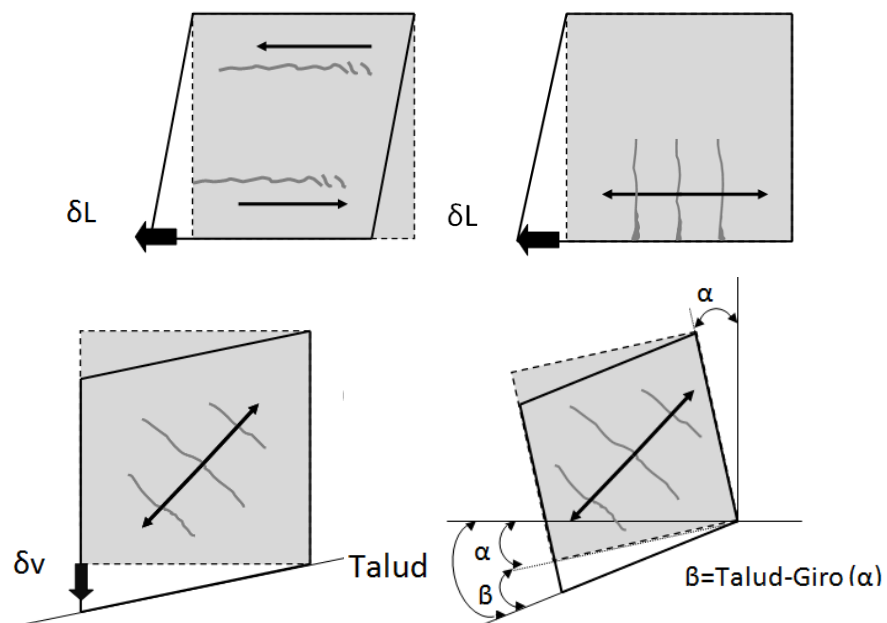
A continuación se propone la siguiente tabla que relaciona el porcentaje de daño en losa y muros.

Tabla 11: Categoría del riesgo el porcentaje de daños en losas y muros

Categoría del riesgo	% Daños	Descripción grietas muros	Descripción grietas losas
Bajo	< 20%	Se encuentran pocas grietas distribuidas en la vivienda acompañadas con varias fisuras; si es en un lugar específico de la edificación, se debe a movimientos muy localizados.	Las grietas en la losa son puntuales, y puede ser ocasionada por pequeñas expansiones, asentamientos o deslizamientos que no afectan toda la edificación.
Medio	20-50 %	El movimiento que provoco los daños se encuentra en gran parte de la vivienda. Hay mayor cantidad de grietas en la edificación, y en los lugares cercanos al punto o zona de movimiento, las puertas y ventanas dificultan su cerramiento.	Las grietas tienen un espesor de aproximadamente 5 mm; las expansiones o asentamientos se hacen más notables; si es el caso de movimientos laterales, estos afectan en mayor proporción a la vivienda.
Alto	50-75%	Se encuentra una mayor cantidad de grietas, y algunas ya tienen espesores mayores a los 5 mm; las fachadas reflejan los daños. Algunas puertas se encuentran totalmente colgadas y las ventanas están distorsionadas, se recomienda un desalojo inmediato.	Las grietas son superiores a los 5 mm, se encuentran poco separadas una de las otras y presentan fisuramientos a través de ellas, los asentamientos, expansiones o movimientos laterales se hacen muy fuertes y rápidos.
Inminente	>75%	Las puertas están totalmente colgadas; son pocas las fisuras en comparación a las grietas; se encuentra dañado el servicio de acueducto y alcantarillado. Demolición inmediata.	El espesor de las grietas son mucho mayores a 5 mm, se extiende por toda la casa debido a la magnitud del movimiento. En las zonas cercanas al foco, las grietas son mucho mayores. Demolición inmediata.

CAPÍTULO 4

4. MOVIMIENTOS EN EL SUELO



4.1 ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA DEBIDOS A MOVIMIENTOS EN EL SUELO

Para entender las razones de la aparición de grietas en las estructuras, debemos conocer, en primera instancia, los esfuerzos que provocan los movimientos del suelo en la edificación, debido a que son los que determinan la aparición y las características de las grietas.

Los movimientos en el suelo son los mismos que se dan en cualquier tipo de elemento, como son: los horizontales o los presentados en el eje x, verticales o de eje y, además de los giros que se presenten; cada uno de los movimientos dejan su marca o rastro que se debe aprender a conocer. A continuación se mostraran las características principales de los tres movimientos, cuando los materiales son isotrópicos (no se presenta variaciones en las propiedades).

4.1.1 Movimientos laterales u horizontales (eje x)

4.1.1.1 Movimientos horizontales en un punto del pórtico

Es ocasionado, básicamente, por flujos muy lentos o reptaciones, y se dan en un punto del pórtico o cimentación afectando principalmente zapatas, pilas o pilotes. Se presenta cuando el movimiento es muy localizado y afecta una zona pequeña de la edificación; en el Gráfico 7 se explica los daños ocasionados por este tipo de movimiento, (Son y Cording, 2005).

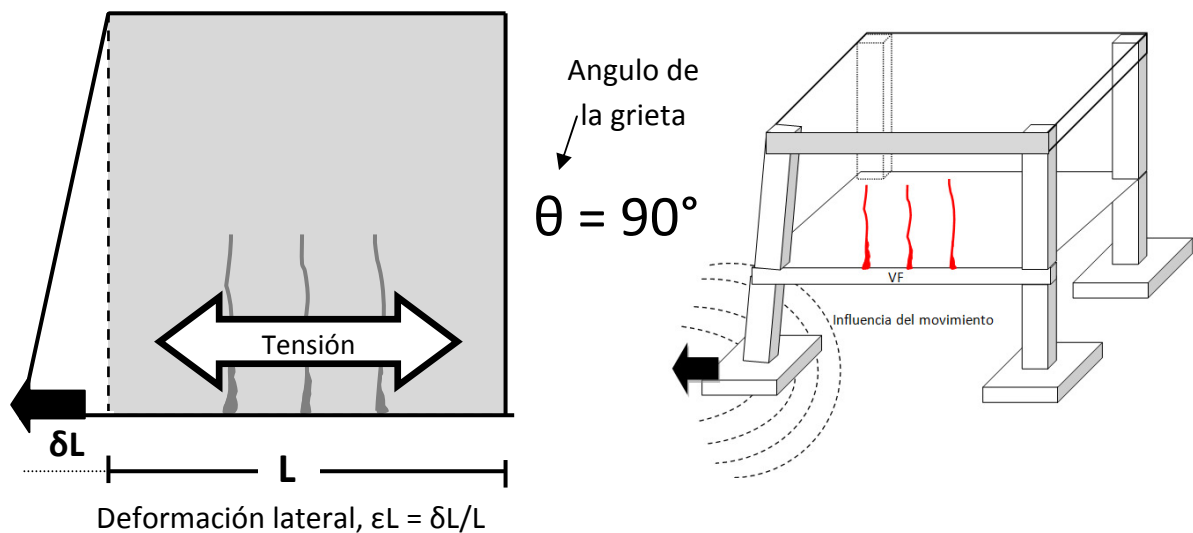


Gráfico 7: Grietas debido a movimientos horizontales en un punto

4.1.1.2 Movimientos horizontales en un eje del pórtico

Las razones del movimiento son similares a las presentadas en un punto del pórtico, con diferencia que afecta las vigas de fundación, o un eje de cimentaciones de la edificación. Las características de la aparición de grietas son diferentes, debido a que aparecen esfuerzos cortantes sobre el muro, los cuales son comunes en sismos y en reptaciones. Ver Gráfico 8.

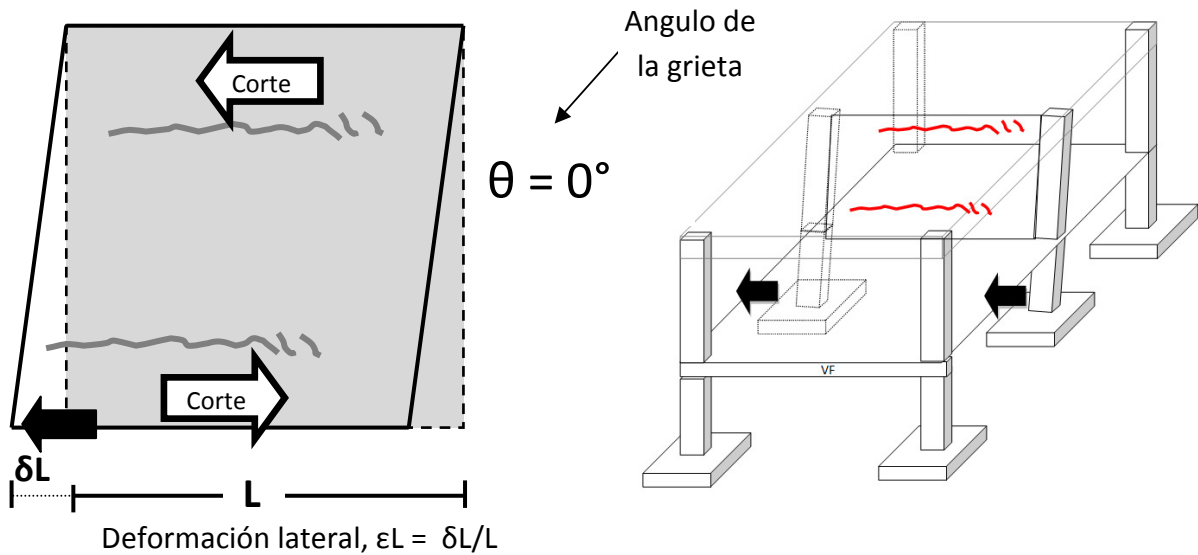


Gráfico 8: Grietas debidas a movimientos horizontales a través de un eje

4.1.2 Movimientos verticales (eje y)

Los movimientos verticales se distinguen por dos componentes: el asentamiento y la expansión; algunos autores definen a la expansión como un asentamiento negativo. A la hora de distinguir las grietas se puede ver que tienen grandes similitudes, pero difieren en localización y sentido. Los cambios se deben principalmente a que los esfuerzos cambian de posición según el tipo de movimiento.

En cada uno de los gráficos se identificará con las flechas negras, la localización del asentamiento, y con las flechas rojas la localización de la expansión. Los movimientos verticales principales son:

4.1.2.1 Movimientos verticales en un punto del pórtico

Las distorsiones o movimientos verticales se deben básicamente a asentamientos (Flecha negra) o expansiones del suelo (Flecha roja). Las grietas se identifican por que aparecen en las esquinas de puertas y ventanas y por la aparición de grietas a 45° en muros, sin presencia de vanos.

El asentamiento o expansión se da en el estrato de cimentación, afectando las estructuras como pilas, pilotes y zapatas. Ver Gráfico 9.

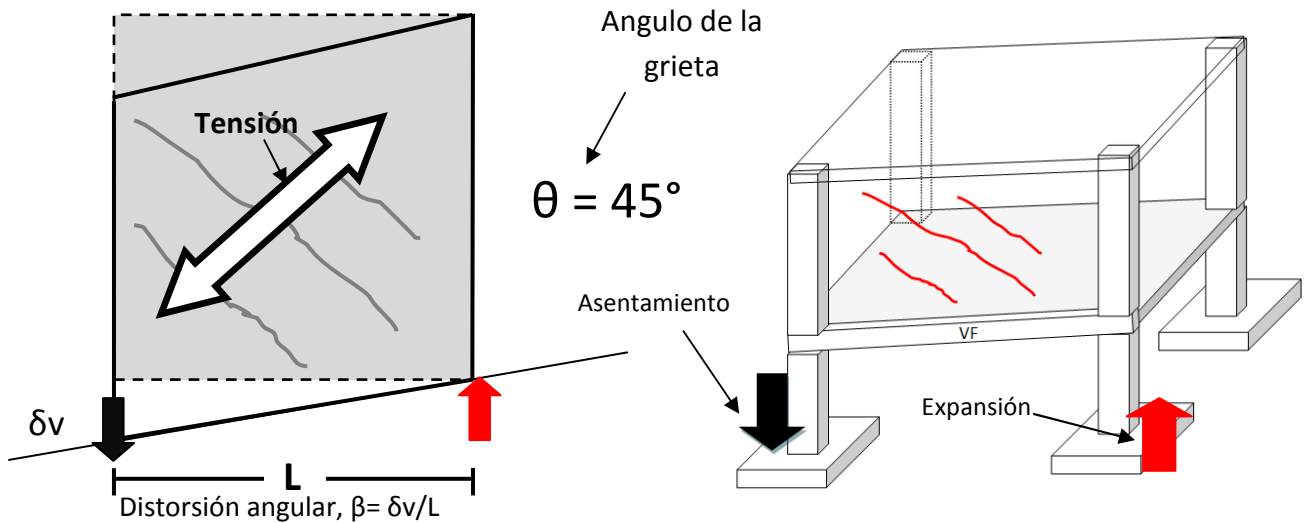


Gráfico 9: Grietas debido a movimientos verticales en un punto

Los movimientos descendentes en un punto anteriormente mencionados, son definidos como asentamientos diferenciales. Ver sección 4.3 ASENTAMIENTO.

4.1.2.2 Movimientos verticales en dos o más puntos del pórtico

Los movimientos verticales en varios puntos son muy comunes, y se deben básicamente a la reacción del suelo a las cargas impuestas por la estructura. En los movimientos verticales descendentes se presentan asentamientos diferenciales y totales, siendo los totales, la magnitud mínima presentada en un perfil de asentamiento diferencial. Ver sección 4.3 Asentamiento.

Los asentamientos o expansiones se dan en el estrato de cimentación, afectando las estructuras como pilas, pilotes y zapatas. Los movimientos no alteran el nivel de la losa, pero si provoca una distorsión en las zonas contiguas a la cimentación, resultando los siguientes esfuerzos en la edificación en el caso de presentarse movimientos iguales en cada una de las esquinas. Ver Gráfico 10.

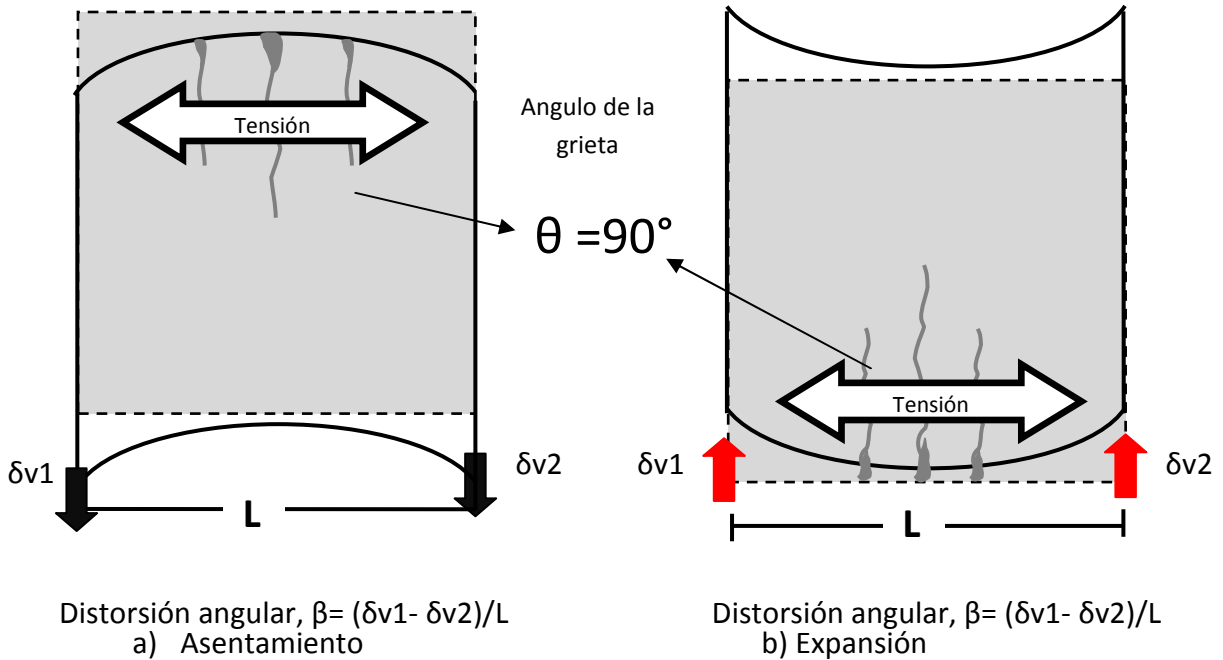


Gráfico 10: Grietas debido a movimientos verticales en dos o más puntos

Los esfuerzos provocados por el movimiento anterior, son el resultado del desplazamiento homogéneo de las cimentaciones; pero en la mayoría de casos hay una variante del movimiento en cualquiera de sus puntos, provocando un cambio en el diagrama de esfuerzos mostrados en el gráfico anterior, lo cuales pueden ser vistos en la sección 6.2.2.1.1 Identificación de fuerzas en los muros por medio de la interpretación de grietas

4.1.2.3 Movimientos verticales en un eje del pórtico

Los movimientos verticales en un eje del pórtico, se deben a movimientos en los elementos de enlace de las cimentaciones. Es ocasionado principalmente por asentamientos o expansiones en las capas superficiales, debido a cambios en las propiedades del suelo

(cambios en la humedad o desconfinamiento). Se reconoce por una distorsión de la losa de piso, pero en los extremos se mantiene el nivel inicial de la edificación. Ver Gráfico 11.

Los esfuerzos máximos encontrados en el muro, son de gran similitud con los presentados en los movimientos en dos o más puntos, con la diferencia de que los esfuerzos se presentan en la zona contraria a los explicados en el Gráfico 10.

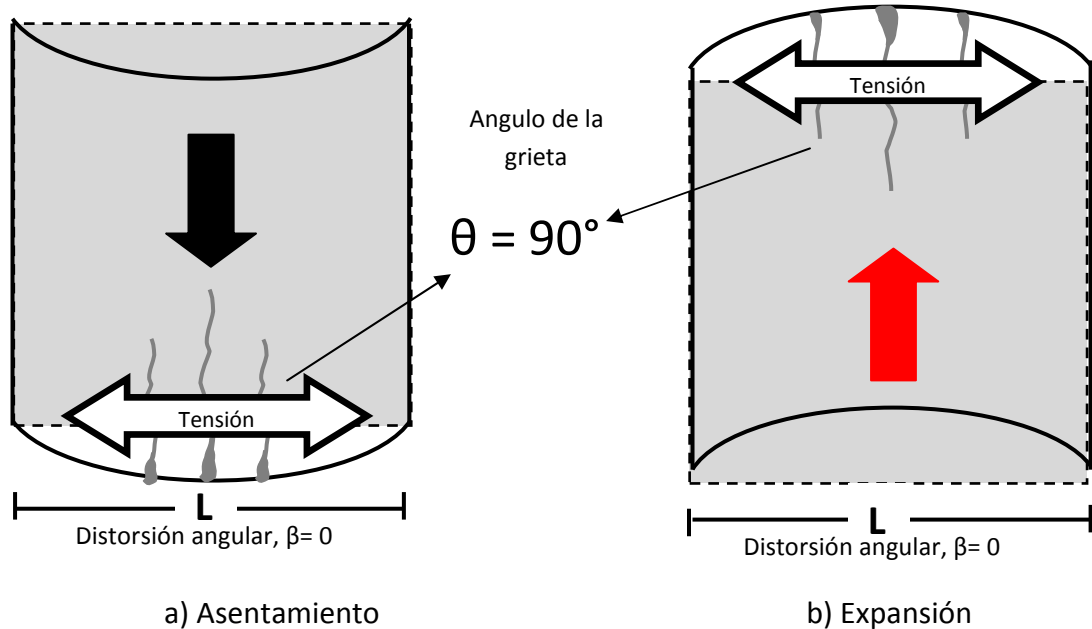


Gráfico 11: Grietas debido a movimientos verticales en un eje del pórtico

4.1.3 Giros

Los giros se encuentran comúnmente en edificaciones hechas en las zonas de influencia de movimientos de taludes, o en zonas cercanas a cortes o construcciones vecinas, los cuales producen un desplazamiento tanto de la cimentación como de algunos elementos de enlace desde un punto fijo de la estructura. La localización del punto depende de la influencia del movimiento sobre la edificación, como se aprecia en el Gráfico 12:

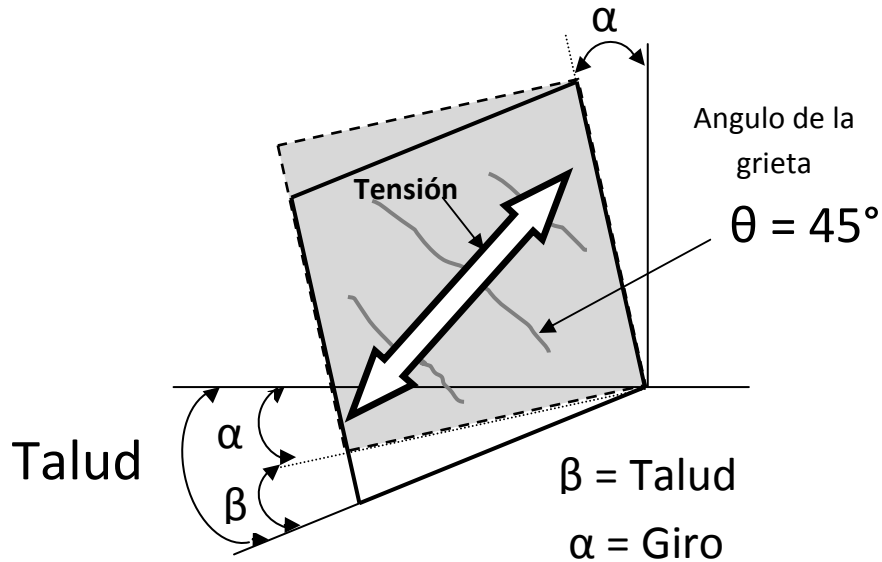


Gráfico 12: Grietas debido giros

Los gráficos anteriores, son las nociones primarias para la identificación de los esfuerzos resultantes en cada uno de los movimientos; las descripciones anteriores no tuvieron en cuenta la anisotropía de los materiales, siendo un factor muy influyente en la aparición de grietas en las construcciones.

4.2 GRIETAS INFLUENCIADAS POR LA ANISOTROPÍA DEL MATERIAL

Después de haber identificado los esfuerzos principales provocados por los movimientos, se analiza la variable anisotrópica de los muros y losas, y su influencia en la aparición de grietas en las construcciones.

Los análisis hechos anteriormente, han partido de la suposición de que el material es homogéneo, y que se encuentra igualmente ligado en todas las zonas en la misma magnitud; pero en la realidad esto no sucede, debido a que la anisotropía de muros y losas se deben a razones como:

- **Propiedades de los materiales:** aunque los procesos sean los más homogéneos posibles, las propiedades de los materiales varían por lote y por fecha; la variabilidad tiene como resultado la aparición de planos de mayor debilidad, donde las grietas pueden aparecer debido a cualquier movimiento.

- **Variabilidad de los materiales de pega:** se debe principalmente a que las mezclas de mortero de pega es aún muy artesanal, y las resistencias varían según la metodología y la experiencia de los encargados. En el caso del concreto las propiedades varían según el aditivo, agregados finos y gruesos, e igualmente de la habilidad de las personas encargadas de la producción.

- **Malos procesos constructivos:** Este tipo de problemas es común cuando no se siguen las reglamentaciones constructivas presentadas en las normas, o el personal encargado no tiene la experiencia requerida para la elaboración de los procedimientos. Los problemas comunes en el proceso constructivo son: falta de humedecimiento del ladrillo antes de la pega, dovelas mal vaciadas, muros mal alineados y malas juntas de vaciado en las losas, entre otros.

Todas estas razones provocan cambios en la aparición de las grietas, debido a que las grietas aparecen en las zonas de mayor esfuerzo o menor resistencia. A continuación se mostrarán los casos más comunes de grietas influenciadas por la anisotropía del material.

4.2.1 Influencia de los vanos en la aparición de grietas

Los movimientos provocan una distribución de los esfuerzos en las estructuras (Ver Gráfico 13), formando dos esfuerzos principales: de compresión y de tracción, cada uno con una dirección y distribución definidas sobre el muro, Ver Gráfico 14.a

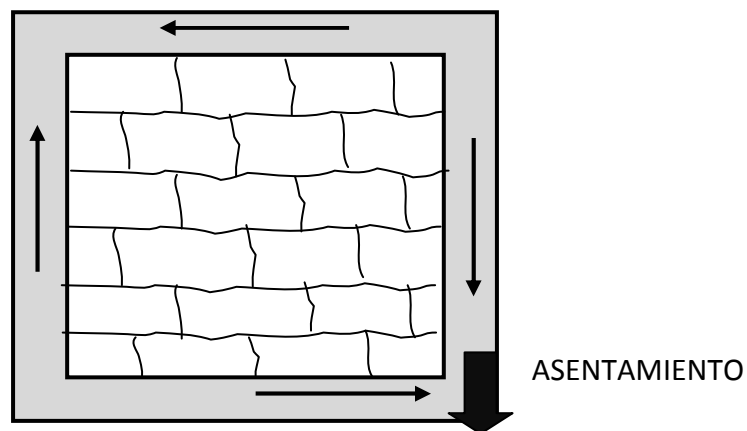


Gráfico 13: Distribución de las fuerzas al existir un asentamiento

Estos esfuerzos deforman el pórtico o muro (Gráfico 14.b), debido a la formación de las isostáticas de compresión y tracción, las cuales son las líneas donde se transmiten los esfuerzos en el muro.

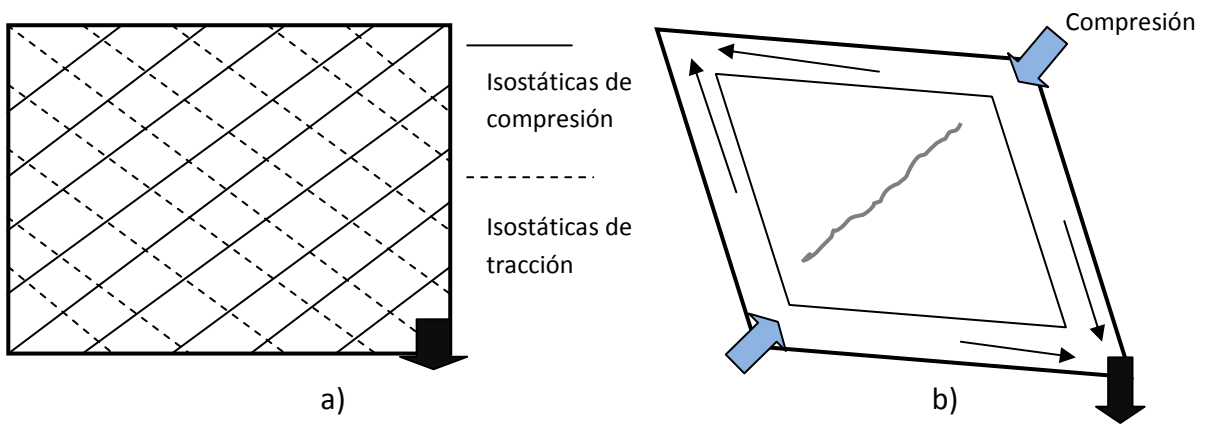


Gráfico 14: (a) Isostáticas de compresión y tensión (b) deformación debido a estos esfuerzos

Como se ve en gráfico 14, se puede inferir que las grietas aparecen en aquella zona donde hay mayor concentración de esfuerzos, suponiendo que el material se comporta de manera uniforme. Al observar se puede decir que las grietas están gobernadas por los esfuerzos de tensión, debido a que normalmente los materiales trabajan mejor a compresión.

En el caso que el muro tenga puertas y ventanas, las isostáticas de tensión al no poder pasar por los vacíos, tratan de rodear los vanos acumulando los esfuerzos en las esquinas, provocando la aparición de grietas. Ver Gráfico 15 (círculos rojos).

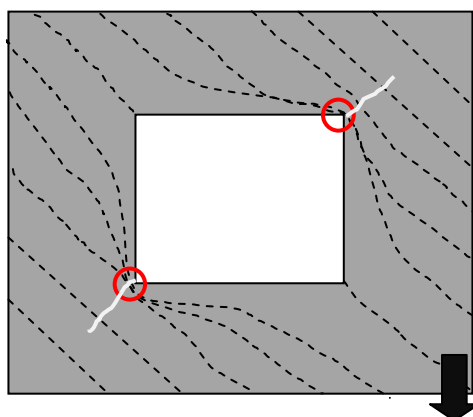


Gráfico 15: Aparición de grietas cuando existen vanos de puertas o ventanas (círculos rojos acumulación de esfuerzos a tracción)

4.2.2 Influencia de los morteros de pega pobres

Es común encontrar las grietas de la misma forma que se ve en el Gráfico 14(b); pero en este caso, los planos débiles son debidos a la baja resistencia o mala calidad del mortero respecto a la del adobe, obligando a la aparición de grietas en cada una de las juntas, ver Gráfico 16 y Figura 5.

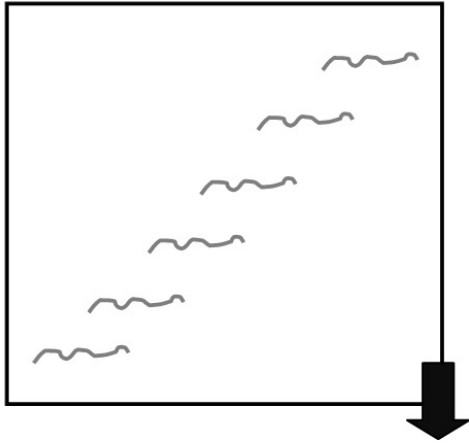


Gráfico 16: Aparición de grietas en zonas de morteros de mala calidad o de bajas resistencias comparados con el adobe



Figura 5: Ejemplo de aparición de grietas en zonas de morteros de pega pobres

4.2.1 Influencia de las uniones débiles entre pórticos, muros y losas

Las uniones débiles en los pórticos se deben a que existe un cambio de resistencia de los materiales, y entre la junta se forma un plano débil que al momento del movimiento, permite la aparición de grietas en la unión de ellos. Suceden dos casos de aparición de grietas en las juntas, una es cuando aparecen fisuras a 45° en esta unión (Gráfico 17.a), y otra es cuando el movimiento es más fuerte y aparece una sola grieta con pocas fisuras a 45°, llamadas comúnmente grietas a cortante; ver Gráfico 17.b

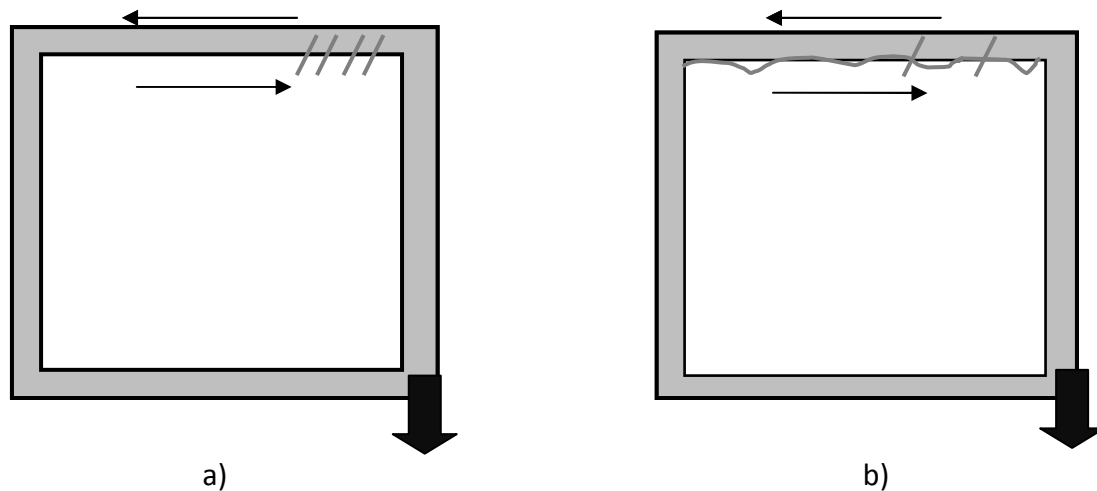


Gráfico 17: a) Fisuras a 45° y b) Grietas con fisuras (grietas a cortante)



Figura 6: Ejemplo de grietas a cortante

Las juntas débiles no solo son de forma horizontal, debido a que también se pueden presentar grietas o fisuras en las juntas verticales entre muros y columnas y en la unión de los pórticos con las losas. La aparición se debe igualmente a la formación de planos débiles por cambios de material.

De la misma manera, se pueden presentar giros del muro debido a la distorsión y a la mala liga entre los materiales, ayudando a que las puertas se traben y que las ventanas se distorsionen.

En las siguientes secciones se hará mayor énfasis en cada uno de los movimientos, clasificándolos según las características geotécnicas (asentamiento, expansión, deslizamientos, sismos, entre otros), y así identificar que tipos de grietas son comunes para este tipo de características.

4.3 ASENTAMIENTO

El asentamiento es el problema más común a la hora de analizar los agrietamientos en las construcciones, lo cual se debe a diversos factores, que van desde el diseño, la construcción y el uso a la edificación, hasta los problemas de tipo geotécnico, como son los suelos colapsables, movimientos de taludes y llenos, entre otros. Para mitigar los efectos de los asentamientos, se gastan grandes cantidades de dinero en estudios y obras, los cuales se pudieron haber evitado, realizando los estudios previos y siguiendo los pasos de la metodología explicada en la Sección 3.3.2, Metodología adecuada para evitar futuros daños.

Los problemas más comunes que ocasionan asentamientos son los siguientes:

- **Errores en los diseños geotécnicos:** principalmente se deben al mal cálculo, por suponer la capacidad admisible del terreno, q_{adm} ; lo anterior se ve reflejado en el diseño de cimentaciones con áreas diferentes a las correctas, aumentando el esfuerzo aplicado, excediendo los esfuerzos admisibles del estrato portante, el cual es reflejado en asentamientos diferenciales de la estructura.
- **Cambios en las propiedades del suelo:** aunque el suelo cambia de propiedades con el tiempo debido a la erosión y otros factores, hay un factor muy importante como es el agua. Muchas veces se dañan ductos de servicios como el de acueducto y alcantarillado, o suceden filtraciones debido al desvío de ríos; los cambios en el contenido de humedad del suelo pueden tener efectos negativos en la capacidad portante.
- **Desconfinamiento del suelo portante:** es muy común debido a excavaciones en construcciones vecinas, o a taludes colindantes a la edificación, que por procesos erosivos o por cortes en la base se provoque un desconfinamiento. También sucede por obras de minerías o túneles que se construyen en inmediaciones a la estructura.
- **Malos procesos constructivos:** se presenta cuando las obras tienen cimentaciones muy profundas (pilas y pilotes), y donde además los suelos son de consistencia baja provocando constantes desmoronamientos. Debido a la dificultad de la construcción de las patas de elefante, es posible disminuir el área de emplazamiento de la edificación; como consecuencia

se aumenta el esfuerzo transmitido por la pila provocando en ocasiones altos asentamientos. También este tipo de problemas se deben al mal vaciado de las cimentaciones, especialmente cuando se incumple con las alturas máximas de vertimiento del concreto, provocando grandes segregaciones de los agregados, disminuyendo igualmente el área de contacto.

- **Sobrecargas:** las sobrecargas se deben al aumento del peso de la estructura, por ampliaciones o cambios en el uso. Los cambios normalmente no están contemplados en el diseño estructural, y como consecuencia se provoca un aumento de los esfuerzos en el suelo reflejados en asentamientos.

4.3.1 Asentamientos diferenciales y totales

Los asentamientos presentados en cualquier tipo de edificación, se identifican porque su magnitud varía en cada una de las cimentaciones, formando un perfil de asentamientos en la estructura, el cual se refleja con la aparición de grietas y fisuras.

4.3.1.1 Asentamientos diferenciales

Los asentamientos diferenciales se definen, como los desplazamientos verticales de un punto o cimentación de la edificación. Los asentamientos diferenciales definen el perfil de asentamientos de una estructura, Ver Gráfico 18.

4.3.1.2 Asentamientos totales

Los asentamientos totales se definen, como el desplazamiento mínimo presentado en un perfil de asentamientos diferenciales de una edificación; reciben este nombre, debido a que representan el asentamiento total de la estructura. Ver Gráfico 18.

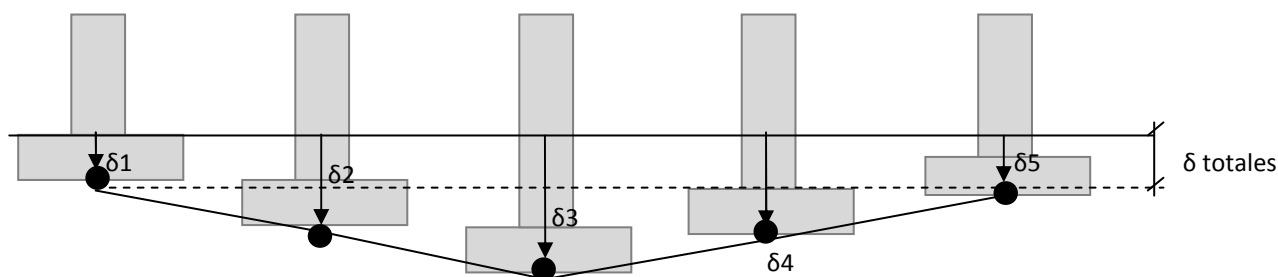


Gráfico 18. Perfil de asentamientos

El perfil de asentamientos nos presenta información muy útil para entender las zonas de mayor magnitud de movimiento, debido a que permite identificar los posibles elementos que pueden verse más afectados; pero para poder identificar de manera más exacta la magnitud de los daños, se define el concepto de la distorsión angular, el cual es de gran ayuda para entender que dimensiones de asentamientos afectan en mayor medida las estructuras, y ver a su vez, que características pueden tener las grietas según la distorsión.

4.3.2 Distorsión angular y los daños que produce

El criterio de la distorsión angular permite, junto a otros criterios, concluir sobre la gravedad del asentamiento o distorsión en la estructura. Consiste en medir el asentamiento en cada uno de los elementos y la diferencia entre ellos se divide por la longitud que los separa. La distorsión angular se determina de la siguiente forma, (Serrano, 2005), ver Gráfico 19:

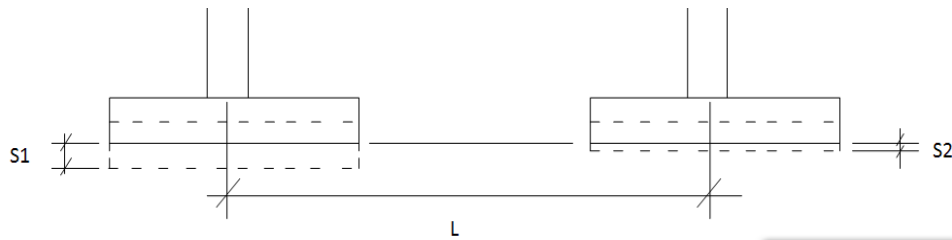


Gráfico 19: asentamientos para el cálculo de la distorsión angular

$$\theta = \frac{S_1 - S_2}{L}$$

El valor de la distorsión angular, se evalúa con los siguientes criterios provenientes de investigaciones hechas a varias edificaciones, los cuales definen los daños más comunes presentados en las estructuras, (Skempton y MacDonald ,1956).

$\frac{1}{500}$: Limite de seguridad para edificios donde se permite la figuración.

$\frac{1}{300}$: Aparición de fisuras en muros y tabiques.

$\frac{1}{150}$: Limite de daños estructurales considerables.

Otros criterio que se obtiene, es el del máximo asentamiento diferencial o delta (Δ), que por medio de correlaciones con la distorsión angular (δ/L), tienen como resultado la ecuación $\Delta = 350 \delta/L$ (Δ en pulgadas); la ecuación permite evaluar el valor del asentamiento, según la distorsión angular admisible.

Por medio de los conceptos anteriores, se puede concluir sobre el efecto de las distorsiones angulares y los máximos asentamientos sobre las edificaciones, (Skempton y MacDonald, 1956):

- El agrietamiento de los paneles de ladrillo en edificaciones aporticadas o con muros cargueros tiende a ocurrir, si la distorsión angular de la cimentación excede 1/300. El daño estructural para columnas y vigas ocurre cuando la distorsión angular de la cimentación excede 1/150.

- Con base en la relación $\Delta = 350 \delta/L$ y de la distorsión angular δ/L de 1/300, es común que ocurran agrietamientos en las edificaciones aporticadas con muros en ladrillo, o en muros portantes, si el máximo asentamiento diferencial Δ excede 32 mm.

- Los criterios de la distorsión angular de 1/500 y 1/300, fueron derivado de observaciones y estudios a edificaciones con sistemas de muros cargueros, acero y concreto reforzado, con muros en ladrillos convencionales, pero sin refuerzo diagonal. El criterio fue concebido como una guía para el trabajo día a día en el diseño de cimentaciones típicas para ese tipo de edificaciones.

El concepto de la distorsión angular, ayuda a clasificar en que categoría de daños se presenta la edificación, cuando se relaciona la distorsión con la apertura de las grietas; para ello se le anexa a la Tabla 9 los valores de asentamientos y distorsiones angulares, con lo cual se amplían los criterios del diagnóstico de daños y riesgos en las estructuras. Ver Tabla 12. (Day, 1998).

Tabla 12: Clasificación de los daños según la abertura de la grieta o fisura, asentamiento y distorsión angular

Categoría del daño	Descripción del daño típico	Abertura aproximada de la grieta	Δ (asentamiento)	δ/L
insignificante	Fisuras en forma de cabello	< 0,1 mm	< 3 cm	< 1/300
Muy ligero	Incluye grietas finas (fisuras) que pueden ser fácilmente tratadas con una decoración normal, se puede ver una fracturación aislada en la edificación y grietas en muros de mampostería exteriores, las cuales son visibles al hacer una inspección cercana.	1 mm	3-4 cm	1/300 - 1/240
Ligero	Incluye grietas que pueden ser fácilmente llenadas y puede ser requerido una redecoración, una buena cantidad de fracturas ligeras (fisuras) pueden aparecer en el interior del edificio. Pueden aparecer grietas visibles en el exterior. Se pueden colgar las puertas y ventanas.	3 mm	4-5 cm	1/240 - 1/175
Moderado	Incluye grietas que pueden requerir abrirlas y ser arregladas por un oficial; grietas recurrentes pueden ser enmascaradas por adecuados revestimientos; se deben arreglar las juntas de los muros en mampostería exterior y puede ser necesario reemplazar una pequeña cantidad de ladrillos; las puertas y ventanas se traban; se pueden dañar tuberías de servicio afectando la consistencia del agua.	5-15 mm o el número de grietas >3	5-8 cm	1/175 - 1/120
Severo	Incluye largas grieta, las cuales requieren una extensiva reparación envolviendo un trabajo de demoler y reemplazar secciones de muro (especialmente sobre puertas y ventanas); los marcos de puertas y ventanas se distorsionan; se evidencia que la losa tiene una pendiente; muros inclinados o embombados; alguna pérdida de la capacidad de las vigas; y tuberías con servicio perturbado.	15-25 mm, pero también depende del número de grietas	8-13 cm	1/120 - 1/70
Muy severo	A menudo se requiere un mayor trabajo de reparación envolviendo una parcial o total reconstrucción; las vigas perdieron su capacidad de carga; los muros se inclinan y requieren un apuntalamiento; las ventanas se quebraron por la distorsión; y existe el peligro de daño estructural severo.	Usualmente >25 mm, pero también depende del número de grietas	> 13 cm	> 1/70

4.3.3 Componente del movimiento lateral

Una componente importante que ocasiona asentamientos en las estructuras, es presentada en los movimientos laterales, básicamente en taludes, llenos y cortes aledaños a la vivienda. Primero se debe entender de forma individual como son los movimientos en cada uno de los casos, debido a que en los movimientos horizontales se presentan componentes verticales que causan asentamientos.

4.3.3.1 Taludes

Para poder entender la componente vertical presentada en un talud, se debe saber primero como falla y así poder visualizar las zonas donde se producen asentamientos en la edificación.

Los taludes fallan de diferentes formas dependiendo de su configuración, pero básicamente hablaremos de la fallas por rotación o golpe de cuchara. Las fallas rotacionales son las más comunes, y es donde se identifica de forma más clara la componente vertical del movimiento, la cual es responsable de los asentamientos en la estructura.

La falla consiste, en el deslizamiento de una masa del suelo a través de una superficie circular y cóncava; la cual gira desde un centro de gravedad que se encuentra por encima del centro de gravedad del material deslizante.

Los giros son el resultado de varias fuerzas aplicadas en la superficie de falla, y se pueden componer simplemente en dos: fuerzas horizontales y fuerzas verticales, que comúnmente son conocidas como asentamiento y translación. Ver Gráfico 20.

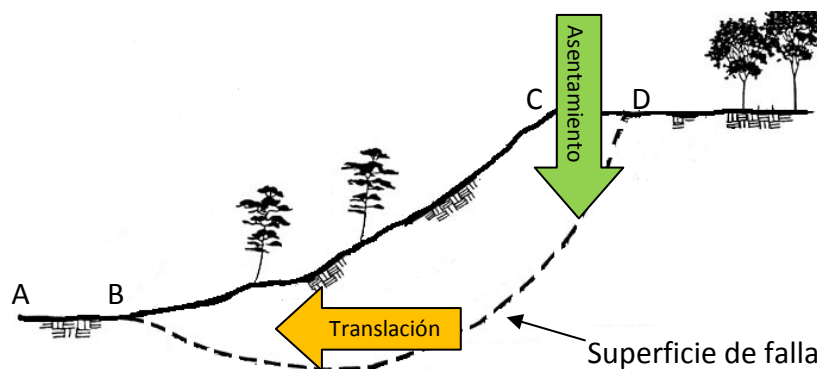
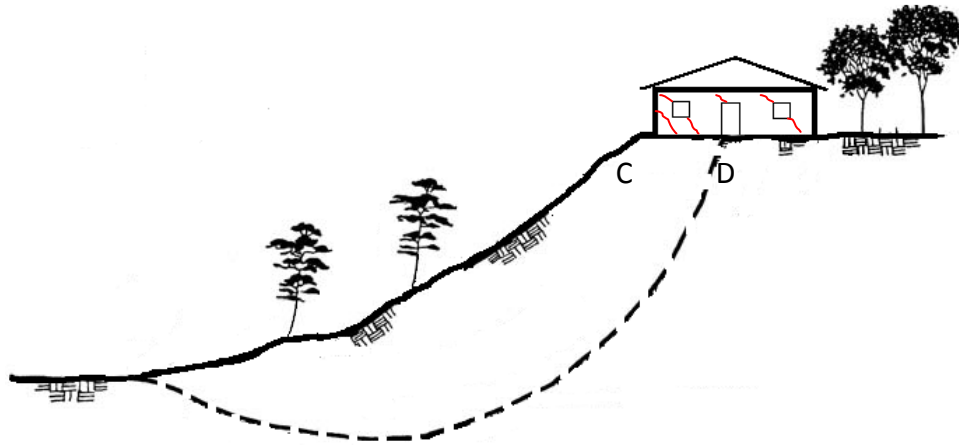


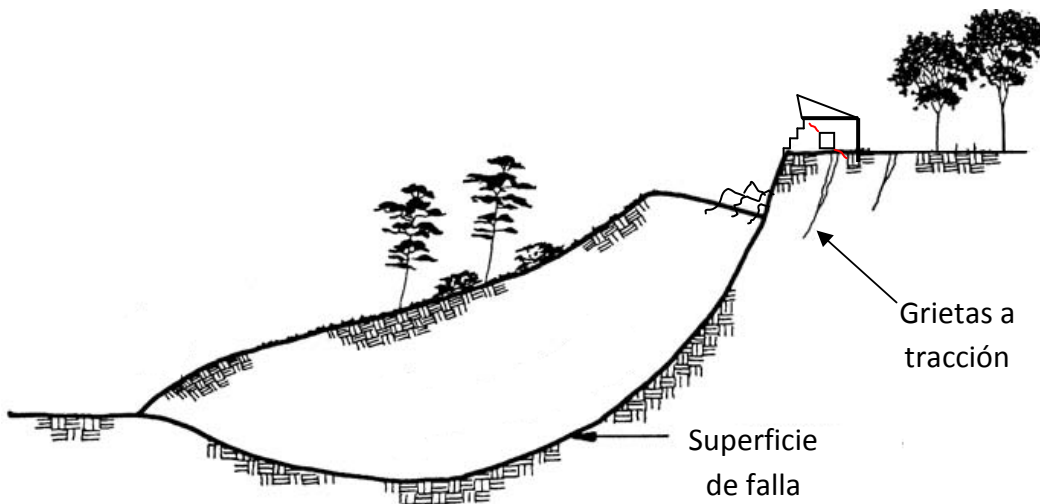
Gráfico 20: Fuerzas presentadas en un movimiento rotacional

En el Gráfico 20, se puede ver que el asentamiento se da en la zona que comprende la cabeza del talud (punto C), hasta un punto en el terreno que corta con la superficie de falla (punto D). La zona C-D es un lugar potencial de asentamiento diferencial, y en donde cualquier construcción sufrirá asentamientos de magnitud variable; las magnitudes dependen de la velocidad de movimiento y de las propiedades del material deslizante.

Las grietas comúnmente presentadas, son aquellas que afloran en las esquinas de puertas y ventanas, en las esquinas de los muros, acompañadas en algunos casos por grietas horizontales a cortante, Ver Gráfico 21.



- a) Caso de movimiento lento en la superficie de falla, aparición de grietas en las edificaciones debido a la influencia del movimiento (zona C-D)



- b) Colapso total de la estructura debido a la magnitud del movimiento.

Gráfico 21: Influencias del movimiento de taludes en los daños en estructuras

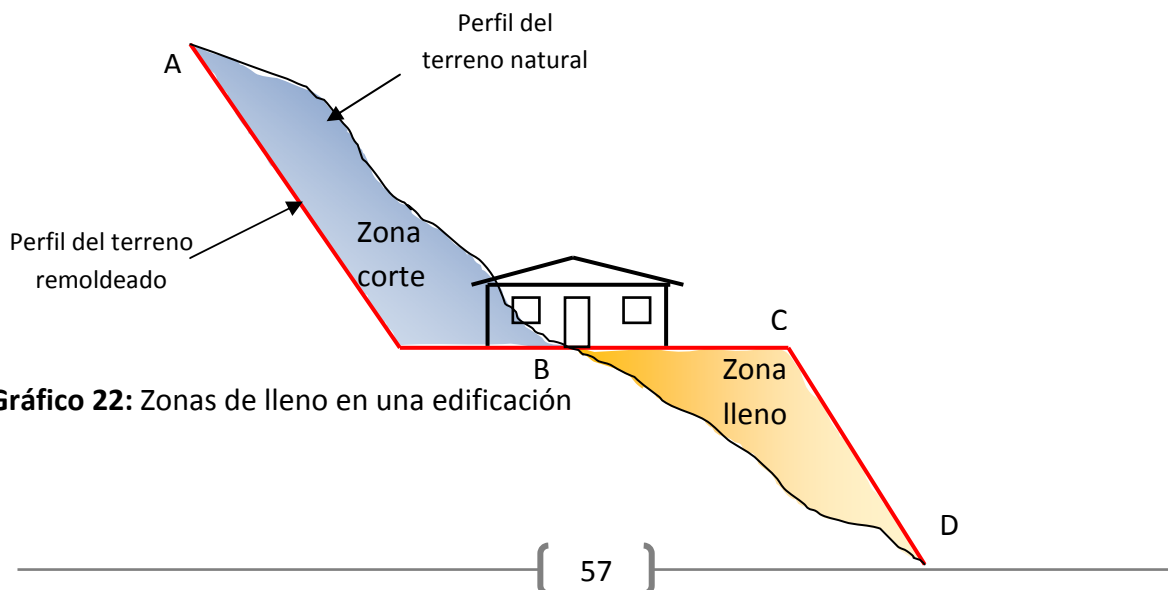
4.3.3.2 Llenos

Otro caso, es el asentamiento en estructuras ubicadas sobre llenos, las cuales son muy comunes en nuestro medio debido a los altos cortes realizados en la construcción de cualquier infraestructura en lugares montañosos; los materiales sobrantes de los cortes son depositados en zonas para la construcción de vías, o para crear zonas para futuras construcciones.

Los factores que se deben tener en cuenta para el análisis de daños en estructuras en llenos son:

- Porcentajes de compactación mucho menores a los de diseño.
- Malos manejos de sistemas de drenajes o falta de ellos.
- Malos procesos constructivos.
 - Falta del retiro previo de la capa orgánica al momento de la depositación de material.
 - Usos de maquinarias en mal estado.
 - Capas mayores a las especificadas por el ingeniero de suelos para compactar.

Los llenos según su configuración, tienen una componente horizontal la cual será vista en la Sección 4.5 Movimiento Lateral o Jalón, pero igualmente surge una componente vertical encargada de ocasionar los asentamientos; los problemas se ven básicamente cuando hay zonas de transición de corte con lleno, y es donde la edificación posiblemente pueda presentar problemas de agrietamientos, Ver Gráfico 22.



En el Gráfico 22, se puede ver que la edificación se encuentra construida parcialmente en una zona de lleno, algo común en parcelaciones sobre terrenos de alta pendiente; las zonas en llenos sufren de fuerzas horizontales y verticales, Ver Gráfico 23.

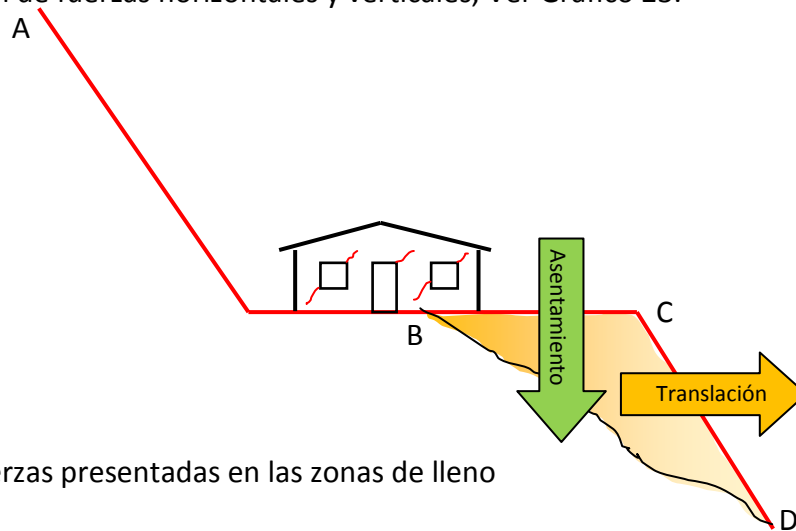


Gráfico 23: Fuerzas presentadas en las zonas de lleno

Debido a las fuerzas en los llenos, la edificación ubicada en la zona B-C sufrirá de traslación, pero principalmente de un asentamiento, debido al movimiento en el lleno. Las traslaciones son comunes cuando el material de lleno no es debidamente ligado al terreno; lo anterior se debe principalmente al no retiro de la capa orgánica antes de hacer la depositación del lleno, a la falta de energía de compactación del material o al sobredimensionamiento de las capas a la hora de la compactación.

Igualmente la magnitud del agrietamiento en la estructura depende de la velocidad, y magnitud del movimiento del material deslizante.

4.3.3.3 Excavaciones Vecinas

En un mundo en desarrollo como el nuestro, la sociedad tiene la necesidad de contar con nuevas estructuras, pero cada vez los espacios son más reducidos, obligando a construir en lugares cada vez más cercanos a otras viviendas; si las metodologías no son las adecuadas, se producen graves problemas como los agrietamientos o colapsos de la vivienda vecina.

Las excavaciones vecinas tienen un efecto, que puede ser síntoma de graves problemas, llamado desconfinamiento; dicho efecto produce un debilitamiento del suelo de fundación, dejando la edificación sin apoyo y provocando traslaciones, giros y asentamientos.

En el Gráfico 24, se puede apreciar cómo afectan las excavaciones a las construcciones, mostrando los tipos de fuerzas aplicadas (translación, giro y asentamiento):

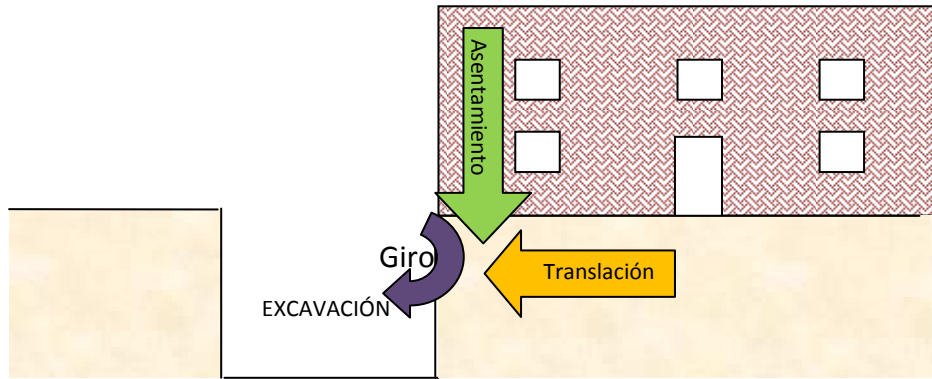


Gráfico 24: Fuerzas ocasionadas en el suelo debido a una excavación

Existen varios estudios sobre los daños en estructuras debido a excavaciones vecinas; los estudios por medio de modelaciones físicas y matemáticas lograron demostrar, que la concentración de esfuerzos que se dan en los vanos de puertas y ventanas provocan la aparición de grietas en las construcciones; además debido al desconfinamiento dado en el suelo, se descubrió que hay mayores asentamientos que translaciones en la estructura, siendo la componente vertical la más representativa a la hora de la provocación daños, (Son y Cording, 2005).

En el gráfico 25, se podrá entender mejor como se agrietan las viviendas, y cuales son aquellas superficies de falla que inciden en el movimiento de la estructura.

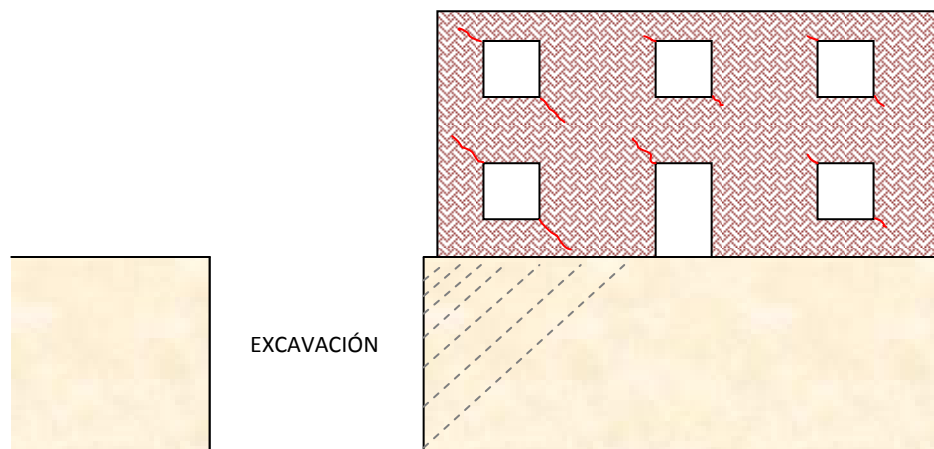


Gráfico 25: Agrietamientos y zonas de falla del corte

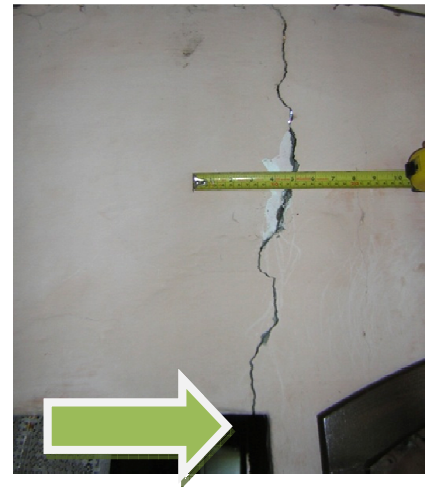
Las zonas de falla de los cortes dependen de varios factores: uno de ellos es la magnitud del corte, debido a que si es mucho más profundo que la cimentación de la estructura vecina, los problemas son más probables; otro es el tipo de suelo, debido que en aquellos de consistencia baja el desconfinamiento puede ser mayor; por último, es la presencia de alguna superficie de falla antigua debido a depósitos orgánicos, que al momento del corte se desate un movimiento a través de ella.

En los cortes se pueden presentar caídos y desprendimientos de roca, cuando son cimentaciones en superficies rocosas, obligando a tomar otro tipo de medidas.

A continuación se anexa un pequeño ejemplo sobre el efecto de los cortes vecinos en la aparición de grietas. Ver Figura 7 (a, b y c).



a) Corte aledaño a casa



b) grieta presentada dentro de vivienda
(Flecha indica ubicación corte)



c) Grietas en losa debido al corte

Figura 7: Ejemplo de grietas presentadas por cortes vecinos

4.3.4 Túneles

La construcción de túneles en nuestro medio se ha convertido más que en una meta en una necesidad, debido a la alta demanda en la disminución de tiempos de transporte, y a las dificultades topográficas de nuestro medio; por eso la aparición de túneles tan importantes como son el túnel de occidente y el futuro túnel de Oriente. Los túneles influyen en gran medida en la estabilidad del suelo, debido a las altas extracciones de materiales alterando el estado tensional del suelo, lo cual permite la acomodación del material en busca del equilibrio.

En el Gráfico 26, (Jiménez Salas, 1981), se muestra un esquema de la trayectoria de los movimientos del terreno, donde se aprecia que no solo afectan las cimentaciones superficiales, sino que también puede afectar las cimentaciones profundas, al combinarse los desplazamientos verticales y horizontales. Los desplazamientos y deformaciones presentados provocan daños en estructuras, como son grietas en diferentes zonas de la casa, y en el caso extremo, el colapso de la edificación.

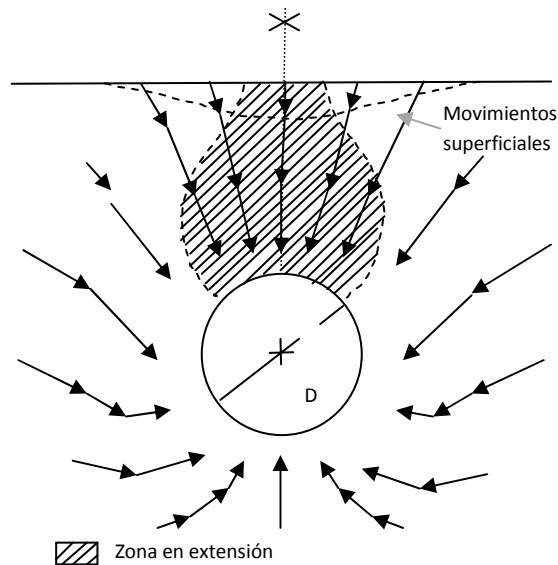


Gráfico 26: Trayectoria de los movimientos del suelo debido a la construcción de un túnel

Los movimientos superficiales ocasionados por excavaciones, no necesariamente son aquellos que son cercanos o poco profundos al túnel, sino también aquellos que según mediciones, están a más de 15-20 veces el radio del túnel; lo anterior representa un

problema, debido a que se dificulta el cálculo del asentamiento por la heterogeneidad del terreno, el método constructivo del túnel y la deformabilidad del suelo.

Los movimientos en el suelo son función de:

- Tipo de terreno existente y de su estado tensional inicial.
- Del proceso constructivo: maquinaria, velocidad, sistemas de entibación.
- Geometría del problema (profundidad del túnel, diámetro y la estratigrafía).

Por lo tanto, para la construcción de cualquier túnel, se debe hacer un estudio exhaustivo de las propiedades geomecánicas del suelo, debido a que cualquier componente del suelo no estimado puede provocar daños significativos, atrasos en las obras y peor aún, pérdidas de vidas en la obra.

Los daños en las construcciones se ven reflejados, en primera instancia, por la aparición de grietas debido al asentamiento provocado por la excavación del túnel, aflorando grietas diagonales sobre puertas y ventanas, y grietas horizontales cuando se presenta una componente a cortante en la estructura, Ver Gráfico 27 (Adaptado de Jiménez Salas, 1981)

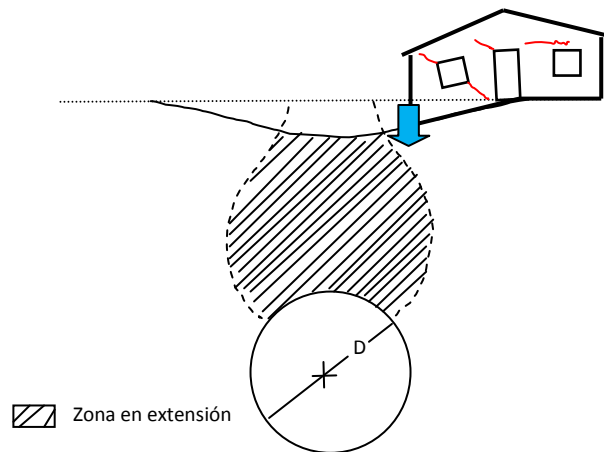


Gráfico 27: Ejemplo de daños en construcciones debido a excavaciones de túneles

4.3.4.1 influencia de la extracción del agua en los asentamientos

Una consecuencia en la construcción de túneles, es cuando existen grandes cantidades de masas de agua en los estratos superiores al alineamiento, debido a que el comportamiento del túnel se asemeja al de un dren horizontal, extrayendo toda el agua del suelo. El abatimiento del nivel freático aumenta los espacios vacíos con aire, los cuales provocan la acomodación del material, debido al desconfinamiento desatado por la ausencia de la masa de agua; los asentamientos también ocurren, debido al aumento de los esfuerzos efectivos en el suelo, como se puede ver en la siguiente demostración.

Los esfuerzos en el suelo son de la siguiente manera:

$$\sigma' = \sigma_T - \mu \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

σ' = Esfuerzos efectivos σ_T = Esfuerzos totales μ = Presión de agua en los poros

Supongamos que se va a extraer un metro lineal del nivel freático de un suelo, afectando la presión de poros de la siguiente manera:

$$\mu = -h\gamma_w \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$\text{Donde } \gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3 \approx 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\mu = -1\text{m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \quad \therefore \quad \mu = -10 \text{ kN/m}^2$$

Se reemplaza en la Ecuación 1

$$\sigma' = \sigma_T + 10 \text{ kN/m}^2$$

Queda demostrado, que por cada metro abatido del nivel freático, se aumentan aproximadamente los esfuerzos efectivos en 10 kN/m^2 ; siendo un valor a considerar, debido a que puede provocar asentamientos en los estratos de donde se extrajo el agua.

4.3.5 Suelos colapsables

Los suelos colapsables son aquellos en donde un aumento en el contenido de humedad, produce una disminución brusca del volumen, sin necesidad de la aplicación de alguna carga o aumento de la existente.

El colapso es definido como un asentamiento brusco y espontáneo, con ocurrencia en terrenos que están normalmente cargados, y que en algún momento sufren de inundaciones o aumentos en el contenido de humedad.

Los suelos que sufren de estos síntomas, son aquellos que son granulares o plásticos, estructuralmente inestables, con densidades y humedades muy bajas. La causa de los problemas se debe a la poca cementación de las partículas, las cuales son proporcionadas por un cemento limo-arcilloso, calcáreo o sulfato. Básicamente cualquier incremento de la humedad afecta de forma indirecta las fuerzas que vinculan las partículas del suelo, cambiando el estado del equilibrio del mismo. Ver Gráfico 28.

El colapso de las estructuras depende fundamentalmente de, (Serrano ,2005):

- De la importancia de los cambios que provoca el agua en los vínculos entre las partículas.
- Del estado tensional de los vínculos entre partículas.

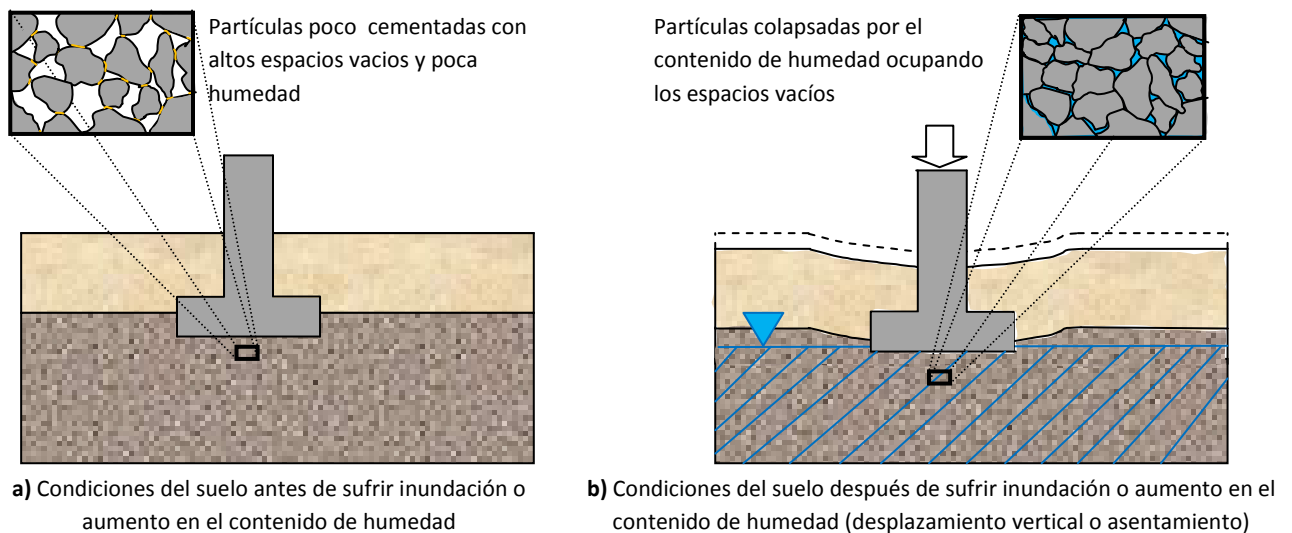


Gráfico 28: Identificación de cambios en un suelo colapsable

En el Gráfico 28, se observa un asentamiento diferencial reflejado en las construcciones con apariciones de grietas diagonales mostradas en el gráfico 14(b), además del afloramiento de grietas en los vanos de puertas y ventanas.

4.3.5.1 Identificación de los suelos colapsables

Un método de gran ayuda para la identificación de los suelos colapsables, es por medio de la utilización de ensayos de laboratorio, como es el caso del edómetro, el cual utiliza muestras del suelo inalteradas, (Serrano ,2006).

El ensayo consiste en consolidar una muestra de suelo sin agua, con una presión de 300 kpa, se toma la medida de la altura de la muestra al final de la consolidación H ; después se inunda completamente para que haya una saturación total de la muestra, manteniendo la misma presión, se toma la altura h al finalizar los asentamientos provocados por la saturación.

El suelo es colapsable cuando:

$$\frac{H - h}{H} > 0.02 = 2\%$$

4.3.6 Vibraciones por cambios en el tráfico y construcciones vecinas

Las vibraciones se definen como una propagación de ondas elásticas, produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo, como es el suelo. Una vibración se puede dar por diferentes razones, como son: vibrocompactadores, maquinarias muy pesadas, hincado de pilotes, o simplemente al paso de vehículos de alta carga en vías cercanas a la edificación.

El efecto de la vibración es el de reacomodar las partículas del material en zonas aledañas a la aplicación de la fuerza, y como consecuencia los espacios vacíos del suelo se disminuyen debido a la perturbación del estado tensional inicial del suelo; lo anterior se puede ver gracias a la disminución en el volumen, o simplemente a los daños presentados en las viviendas como son grietas y fisuras ocasionadas por el asentamiento.

4.2.6.1 Construcciones vecinas

En el caso de la utilización de vibrocompactadores o a la utilización de métodos de impacto, se produce una perturbación del medio generando tensiones que disminuyen el volumen del suelo. Las consecuencias dependen de la energía de vibración y de las propiedades del material; si las vibraciones son superficiales, se afecta principalmente a las viviendas con cimentaciones igualmente superficiales, pero en situaciones especiales las ondas pueden viajar y afectar a las cimentaciones más profundas. Ver Gráfico 29.

La refracción de las ondas dependen de la litología de la zona; si la ubicación del estrato rígido es relativamente superficial, el material contenido entre la superficie y el estrato rígido es el que sufrirá los asentamientos y reacomodaciones por las vibraciones, permitiendo el afloramiento de grietas en losas, puertas y ventanas, entre otros.

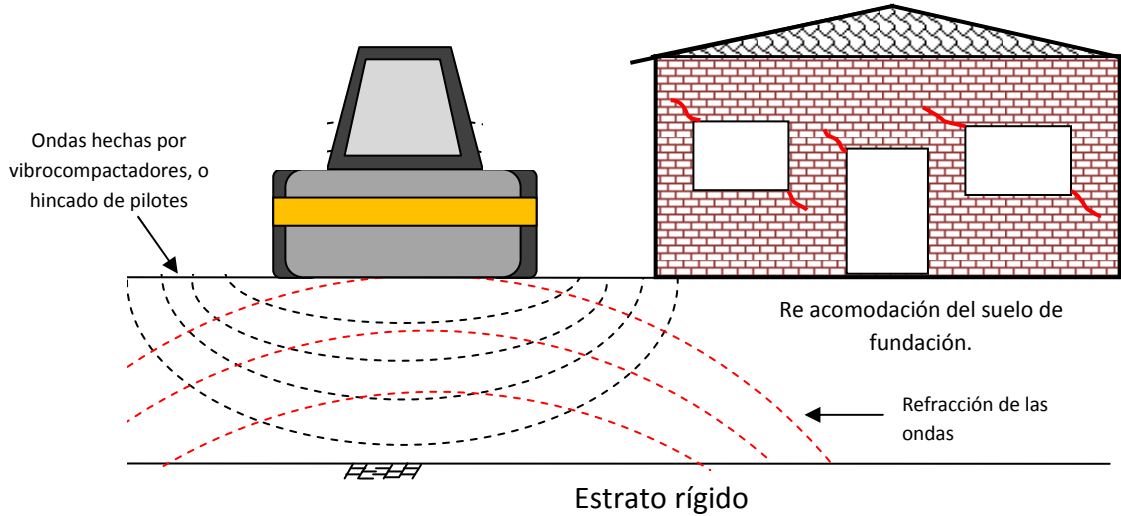


Gráfico 29: Influencias de las vibraciones ocasionadas por construcciones vecinas

4.3.6.2 Cambios en el tráfico

Un caso muy común presentado en las zonas urbanas, es cuando hay cambios en el volumen de tráfico de las vías y en los tonelajes de los carros de carga. A través de los años, el peso de los automóviles ha aumentado debido a los avances tecnológicos y a las necesidades sociales, afectando aquellos pavimentos antiguos que fueron diseñados con cargas y frecuencias menores a las actuales.

Los automóviles provocan a la estructura de pavimento solicitudes de carga de forma cíclica, el cual se ve reflejado en vibraciones tanto de la estructura como de las zonas cercanas, con efectos negativos en las viviendas aledañas a las vías. La reacomodación del suelo tiene como resultado asentamientos del suelo de fundación, afectando principalmente a aquellas estructuras con cimentaciones superficiales.

En el Gráfico 30, se mostrará la influencia de las cargas cíclicas implementadas por los vehículos al pavimento, y ver qué tipo de grietas aparece en la vivienda.

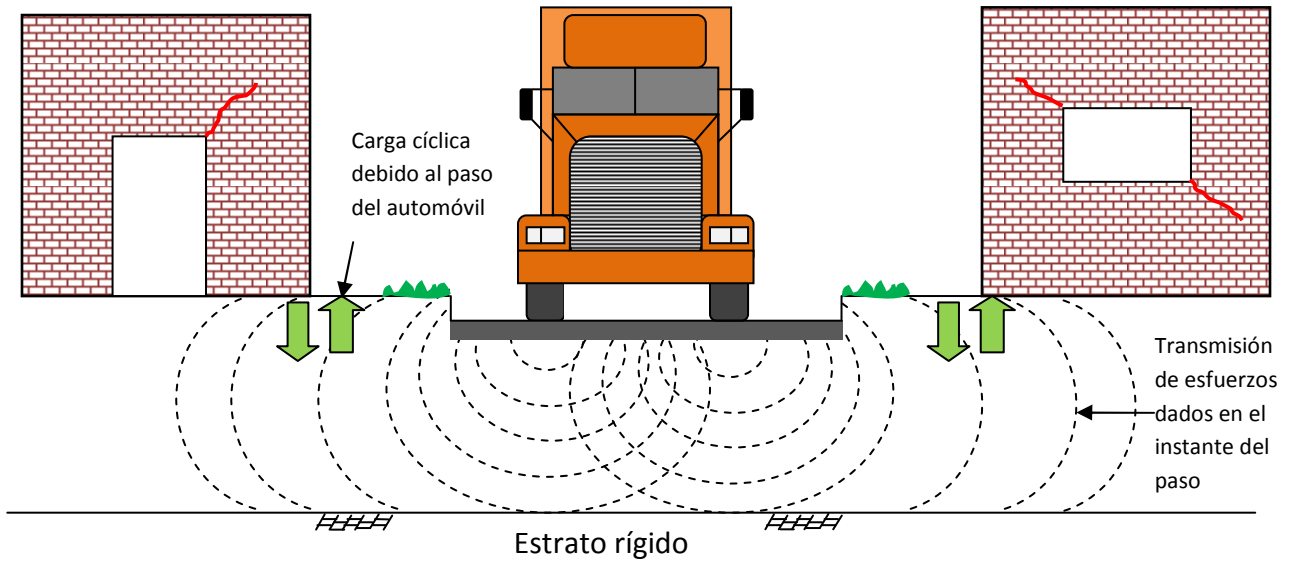


Gráfico 30: Influencias de las vibraciones ocasionadas por los vehículos en las construcciones

Los casos de daños por cambios en el tráfico, pueden ser vistos en zonas que hacen parte del patrimonio arquitectónico de las ciudades, debido a la antigüedad de las edificaciones (algunas con más de 70 años); las construcciones hace 70 años son más susceptibles a factores como el crecimiento del tráfico, especialmente por los carros de servicio público y de carga.

En La Figura 8, se ilustra las características de las grietas debido a vibraciones.

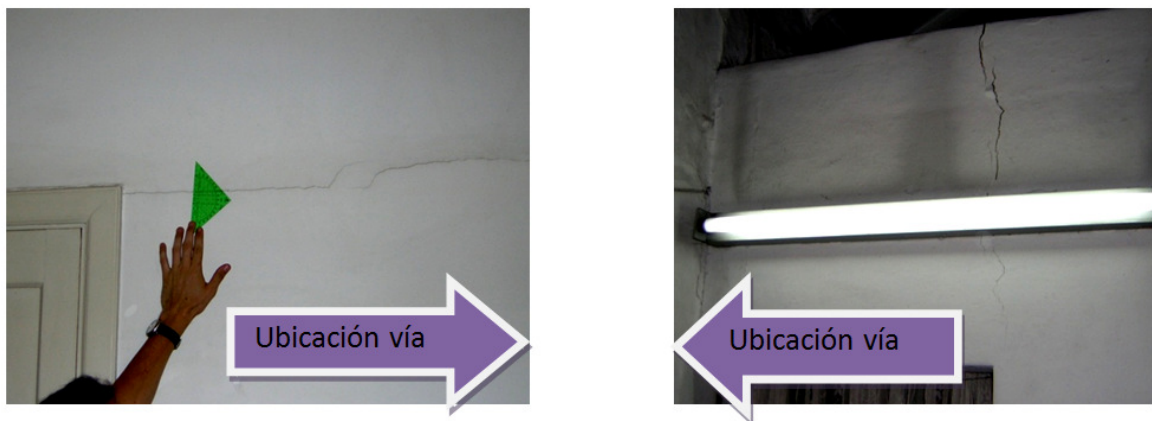


Figura 8: Grietas presentadas por vibración del suelo debido a cambios en el tráfico

4.3.7 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996

A continuación, se mostrará las descripciones sobre las grietas y fisuras que aparecen en las construcciones para el caso de asentamientos en las edificaciones.

4.3.7.1 Muros

4.3.7.1.1 Tensión normal vertical – Tipo de Grieta 1 (NVTC-1)

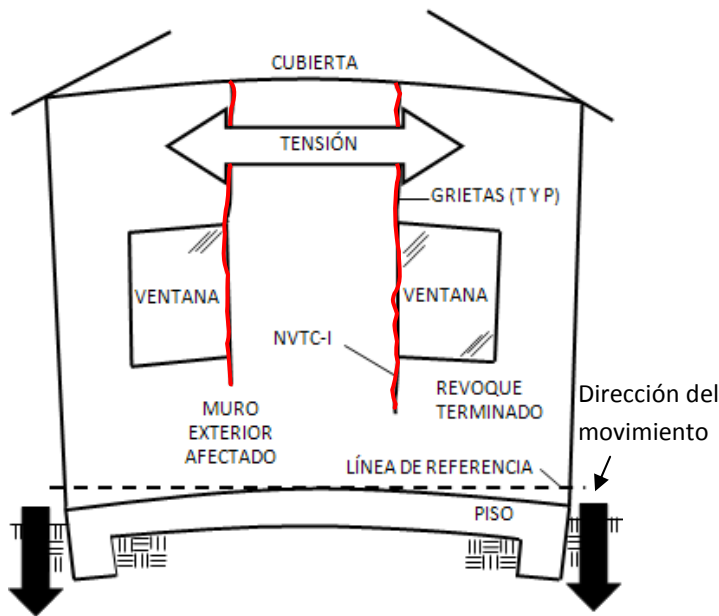


Gráfico 31: Descripción de la grieta NVTC-1



Figura 9: Ejemplo Grieta NVTC-1

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la pared superior causada por una deflexión hacia abajo, respecto la línea de referencia de las esquinas opuestas a la cimentación.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura rugosa; propagándose hacia abajo cerrándose.

Ocurrencia: Es común en paredes exteriores con revoque y en paredes interiores, hacia la sección central arriba; se encuentra en las esquinas de los marcos de puertas y ventanas; en el interior de las construcciones las juntas pueden controlar la aparición de grietas.

Distinción de los rasgos: Modelo vertical; tendencia lineal; cerrándose en forma descendente.

Grieta de losa de piso relacionada: NOTC.

4.3.7.1.2 Tensión Normal Vertical – Tipo de Grieta 2 (NVTC-2)

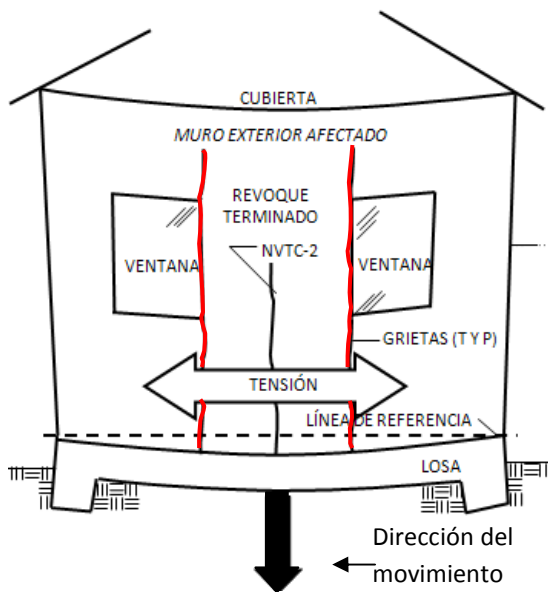


Gráfico 32: Descripción de la grieta NVTC-2



Figura 10: Ejemplo Grieta NVTC-2

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la parte baja de la pared, causada por una deflexión hacia abajo del centro de la cimentación respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura rugosa; propagándose hacia arriba cerrándose.

Ocurrencia: Común en paredes exteriores con revoque y en paredes interiores en la sección central -baja; comúnmente se presenta en las esquinas de marcos de puertas y ventanas; en el interior de las construcciones en muros de mampostería, las juntas pueden controlar la aparición de grietas.

Distinción de los rasgos: Modelo vertical; tendencia lineal; cerrándose en forma ascendente; se distingue de la RVTC-1, por asentamiento del centro de la fundación respecto de la línea de referencia.

Grieta de losa relacionada: NPTC.

4.3.7.1.3 Tensión Normal Diagonal– (NDTC)

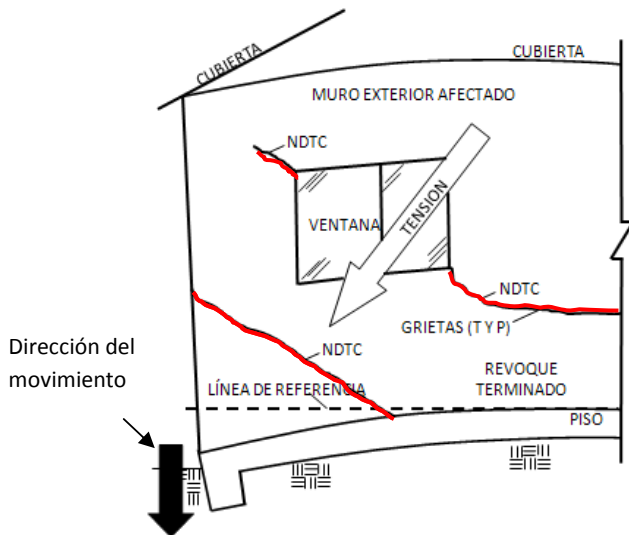


Gráfico 33: Descripción de la grieta NVTC-2



Figura 11: Ejemplo Grieta NDTC

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Diagonal.

Tipo de esfuerzo: Tensión; se mueve el muro hacia abajo, localizado en una esquina del edificio; causado por una deflexión de la cimentación hacia abajo respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal a curvilínea; textura áspera.

Ocurrencia: Se presenta comúnmente en paredes de revoque exteriores y en muros en las zonas bajas por las esquinas; principalmente en las esquinas de los marcos de puertas y ventanas; rara vez se presenta en la sección medio-central del muro.

Distinción de los rasgos: Modelo diagonal; ubicado cerca de las esquinas de los edificios.

Grieta de losa relacionada: NOTC y NPTC.

4.3.7.1.4 Tensión Normal Horizontal- NHTC

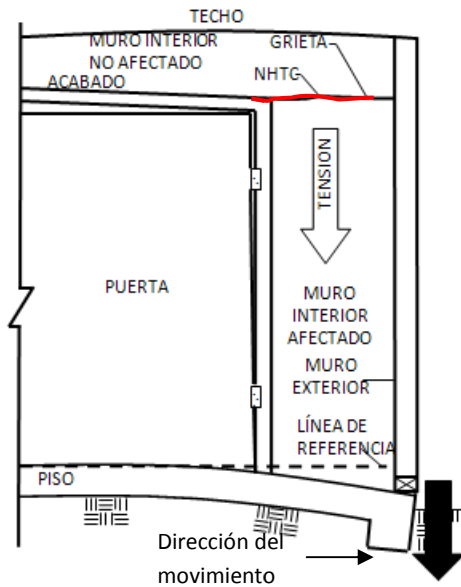


Gráfico 34: Descripción de la grieta NHTC



Figura 12: Ejemplo Grieta NHTC

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Horizontal.

Tipo de esfuerzo: Tensión; causada en la pared por una desviación aguda de la cimentación hacia abajo respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura lisa.

Ocurrencia: Se presenta principalmente en uniones horizontales del muro con los muros interiores, el cual está yuxtapuesto de forma perpendicular respecto a las paredes exteriores; también en las esquinas de los marcos de las puertas o conexiones viga columna.

Distinción de los rasgos: Modelo horizontal; tendencia lineal.

Grieta de losa relacionada: NOTC y RPTC.

4.3.7.1.5 Corte Normal Vertical- NVSC

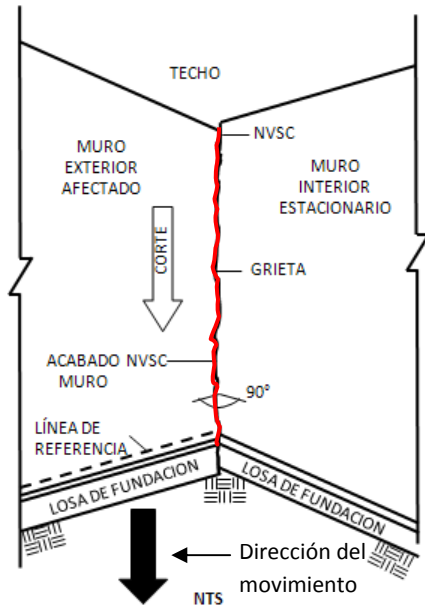


Gráfico 35: Descripción de la grieta NVSC



Figura 13: Ejemplo Grieta NVSC

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Corte; en la intersección del muro exterior con el muro interior, por una deflexión de la cimentación hacia abajo respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación cerrada; tendencia lineal; textura áspera. En los muros se pueden presentar una abertura, a micro escala, transversalmente a la grieta y se puede distinguir la dirección del movimiento de la pared.

Ocurrencia: Se presenta principalmente en las juntas, donde existe la intersección vertical de muros interiores, que están yuxtapuestos perpendicularmente respecto a los muros exteriores.

Distinción de los rasgos: Modelo vertical; con una abertura a micro escala transversal a la grieta.

Grieta de losa relacionada: NOTC y NPTC.

4.3.7.1.6 Corte Normal Horizontal- NHSC

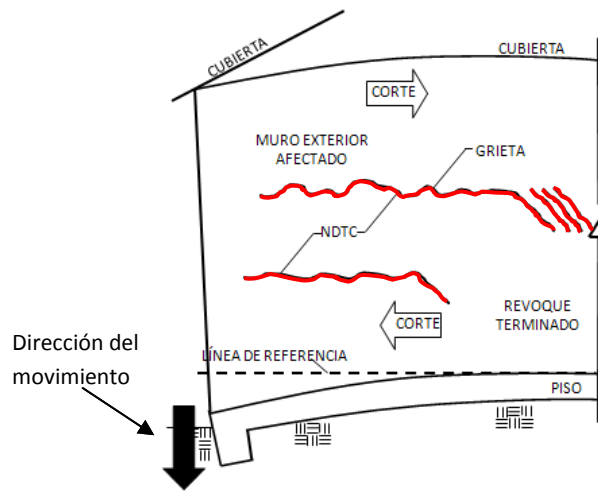


Gráfico 36: Descripción de la grieta NHSC



Figura 14: Ejemplo Grieta NHSC

Sentido del movimiento: Normal.

Método de la grieta: Horizontal.

Tipo de esfuerzo: Corte; en la pared causada por una desviación de la cimentación hacia abajo respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación cerrada; tendencia irregular (aserrada); textura áspera. En el estuco puede exponer de forma macro la tendencia aserrada; en los muros se aprecia una abertura a micro escala de forma transversal a la tendencia de la grieta; se puede distinguir la dirección del movimiento del muro.

Ocurrencia: Común sobre paredes de revoque exteriores, en la sección superior a centro inferior y en las secciones de las esquinas; puede aparecer en las esquinas de marcos de puertas y ventanas, o puede ser la parte final de grietas de tensión diagonales o verticales.

Distinción de los rasgos: Modelo horizontal aserrado (forma de sierra).

Grieta de losa relacionada: NOTC y NPTC

4.3.7.1.7 Compresión Normal Vertical –NVCC

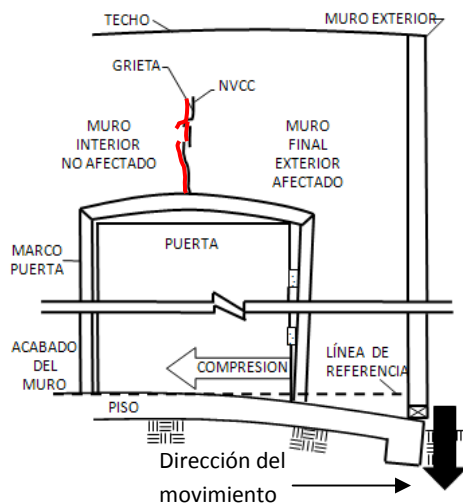


Gráfico 37: Descripción de la grieta NVCC



Figura 15: Ejemplo Grieta NVCC

Sentido del movimiento: Normal.

Método de la grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Compresión; en las paredes interiores causada por una deflexión aguda de la cimentación hacia abajo, respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación cerrada; tendencia lineal; textura lisa; puede presentar rasgos de abombamiento en el eje central a lo largo de la grieta.

Ocurrencia: Se presenta principalmente en las juntas de los muros, en la intersección vertical de muros interiores que están yuxtapuestos perpendicularmente respecto a los muros exteriores; especialmente encima de las esquinas de los marcos de puertas y ventanas.

Distinción de los rasgos: Modelo vertical con abombamiento a lo largo del eje central de la grieta.

Grieta de losa relacionada: NOTC y NPTC.

4.3.7.1.8 Compresión Normal Diagonal – NDCC

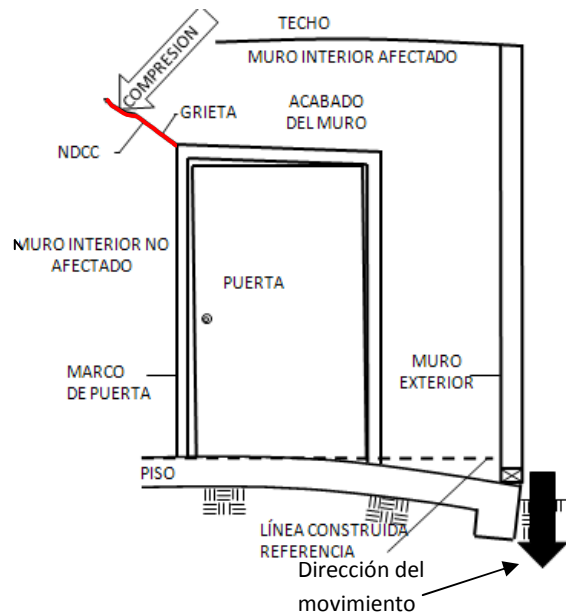


Figura 16: Ejemplo Grieta NDCC

Gráfico 38: Descripción de la grieta NDCC

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Diagonal.

Tipo de esfuerzo: Compresión; en la pared interior causada por una deflexión aguda de la cimentación hacia abajo, respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación cerrada; tendencia lineal; textura lisa; puede exponer un abombamiento en el eje central de la grieta.

Ocurrencia: se presenta principalmente encima de las esquinas de los marcos de puertas y ventanas.

Distinción de los rasgos: Modelo diagonal, con hinchamiento a lo largo del eje central de la grieta.

Grieta de losa relacionada: NOTC y NPTC.

4.3.7.1.9 Compresión Normal Horizontal– NHCC



Gráfico 39: Descripción de la grieta NHCC



Figura 17: Ejemplo Grieta NHCC

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Horizontal.

Tipo de esfuerzo: Compresión; en la pared interior causada por una desviación aguda de la cimentación hacia abajo respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación cerrada; tendencia lineal; textura lisa; puede exponer un abombamiento en el eje central de la grieta.

Ocurrencia: Se presenta principalmente en las juntas de los muros, en la intersección vertical de muros interiores, que están yuxtapuestos perpendicularmente respecto a los muros exteriores; también se presenta cerca de las esquinas de los marcos de puertas y ventanas encima de estos.

Distinción de los rasgos: Modelo Horizontal con abombamiento a lo largo del eje central de la grieta.

Grieta de losa relacionada: NOTC y NPTC.

4.3.7.2 Losas de piso

4.3.7.2.1 Tensión Normal Oblicua- NOTC



Gráfico 40: Descripción de la grieta NOTC



Figura 18: Ejemplo Grieta NOTC

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Oblicuo.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en las esquinas de las losas de piso del edificio, causada por una deflexión de la cimentación hacia abajo respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal a curvilínea; textura áspera; cierre de la grieta hacia exterior de losa.

Ocurrencia: Común en secciones de las esquinas de la losa de piso, con una inclinación hacia el exterior de la cimentación.

Distinción de los rasgos: Modelo oblicuo; inclinación de la losa de piso hacia la parte exterior del edificio.

Grieta de losa relacionada: NVTC-1 y NDTC.

Símbolos: Flecha de tensión abierta indica la dirección del esfuerzo, flecha sólida indica dirección del giro, la D indica la ubicación del asentamiento.

4.3.7.2.2 Tensión Normal Paralela– NPTC



Gráfico 41: Descripción de la grieta NPTC

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Paralela.



Figura 19: Ejemplo Grieta NPTC

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la losa a través del lado del edificio; causado por una deflexión hacia abajo de la cimentación respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal a curva, tendencia irregular; textura áspera; cierre interno de la grieta hacia el interior de losa.

Ocurrencia: Es común en el centro y lado de la losa, con un giro hacia el exterior de la cimentación.

Distinción de los rasgos: Comportamiento paralelo; con una inclinación de la losa hacia el exterior del edificio.

Grieta de losa relacionada: NVTC-1 y NDTC.

Símbolos: Flecha de tensión abierta indica la dirección del esfuerzo, flecha de tensión cerrada indica dirección del giro; D indica la localización del asentamiento.

4.4 EXPANSIÓN

A diferencia de los suelos colapsables, los suelos expansivos sufren de un aumento en su volumen cuando se presentan incrementos en el contenido de humedad, y se recupera cuando vuelve al contenido de humedad inicial, sufriendo retracciones y desecaciones. Los movimientos ascendentes en las cimentaciones se ven reflejados en la construcción, por medio de la aparición de grietas.

Las partículas componentes en los suelos expansivos, son de tamaño pequeño y entre más pequeño sea, mayor intensidad tiene la expansión. Las arcillas se afectan de forma especial debido al tamaño pequeño de las partículas, además de ser más plásticas y de composición mineralógica más activa, debido a la posibilidad de contener Montmorillonita, la cual es potencialmente expansiva.

En aquellos elementos que contengan porcentaje superiores al 30 % de Montmorillonita, se infiere que sus propiedades son expansivas, mientras que aquellos elementos que contienen Illita y Caolinita son menos susceptibles a provocar los movimientos ascendentes.

Una de las formas posibles de identificar a los suelos expansivos, es por las medio de las grietas que se forman en la superficie, debido a la desecación cuando hay ausencia de agua; ver Figura 20. La profundidad de las grietas, puede llegar a ser de 3 m, la cual es denominada como la profundidad activa, debido a que es el espesor afectado por la actividad de la arcilla.

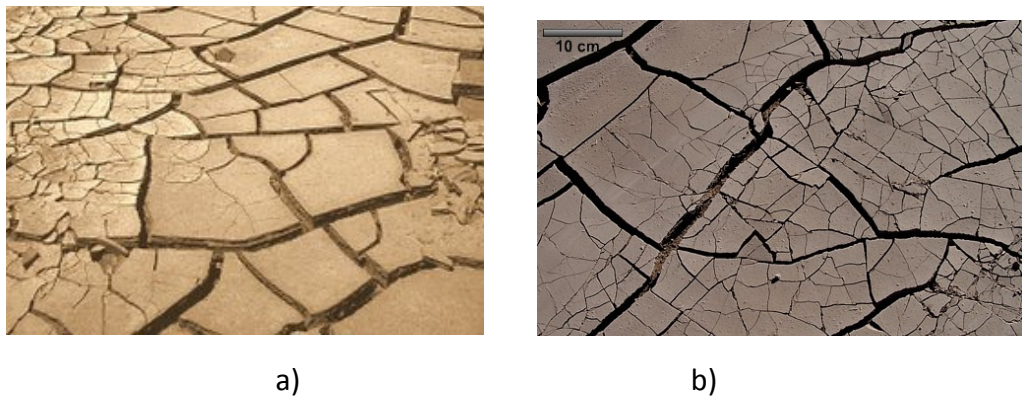


Figura 20: Característica típica de un suelo expansivo en ausencia de agua

4.4.1 Características de los suelos expansivos

Los suelos expansivos son gobernados por varios factores, que rigen las características del comportamiento; entre ellos se encuentra el contenido de humedad, el tamaño y el tipo de partículas. A continuación se mostrará una tabla donde se pueden ver las propiedades típicas del suelo versus el potencial expansivo, (Day ,1998).

Tabla 13: Propiedades típicas del suelo versus el potencial expansivo

Potencial Expansivo	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Índice de expansión	0 - 20	21 - 50	51 - 90	91 - 130	130 +
Contenido de arcilla ($<2 \mu\text{m}$) %	0 - 10	10 - 15	15 -25	25 -35	35 - 100
Índice de plasticidad	0 - 10	10 - 15	15 -25	25 -35	35 +
% Expansión 2.8 kPa	0 - 3	3 - 5	5 - 10	10 - 15	15 +
% Expansión 6.9 kPa	0 - 2	2 - 4	4 -7	7 - 12	12 +
% Expansión 31 kPa	0	0 - 1	1 - 4	4 - 6	6 +

Existen otro tipo de factores que determinan el comportamiento expansivo en el material, los cuales son: el tipo de suelo, la densidad seca, el contenido de humedad, la magnitud de la presión de sobrecarga y la cantidad de material no expansivo (gravas). El potencial expansivo incrementa conforme la densidad seca incrementa, y disminuye el contenido de humedad y la presión de sobrecarga, (Day ,1998).

Para el caso de arcillas que se encuentren en zonas con grandes cambios climáticos, veranos muy fuertes y humedades naturales por debajo del 15 %, se posibilita la aparición de daños, debido a que las arcillas tienen la capacidad de absorber humedades mayores al 35 %, aumentando el volumen y afectando a las construcciones.

4.4.1.1 Ensayos de laboratorio para suelos expansivos

El ensayo utilizado para determinar la expansión en el suelo, es el índice de expansión establecido en la norma ASTM (1997), y con el cual se obtiene el índice de expansión que puede ser verificado con los valores de la Tabla 13.

También pueden ser utilizados los ensayos como el análisis por hidrómetro y los límites de Atterberg, los cuales sirven para clasificar el suelo y estimar las expansiones. Un ejemplo son aquellos suelos que tienen un alto contenido de arcillas y altos índices de plasticidad.

4.4.1.2 Presiones de sobrecarga

Las presiones son aquellas que se encuentran aplicadas en el suelo gracias a cualquier obra de infraestructura, y según la magnitud del peso, son más o menos susceptibles a los efectos de las expansiones en los suelos.

Para el caso de estructuras livianamente cargadas, al no contrarrestar debidamente los esfuerzos dados por la expansión, pueden ser más susceptibles a daños y a la aparición de grietas; tal es el caso de estructuras construidas con materiales, como concretos de baja capacidad, bareque, madera y drywall, u obras como vías, andenes y pisos.

4.4.2 Movimientos en los suelos expansivos

Aunque los movimientos presentados en la expansión son básicamente una hinchazón o un movimiento ascendente, la expansión también tiene componentes horizontales los cuales pueden provocar colapsos en estructuras de contención, el cual se explicará debidamente en la sección 4.4.3 Componente horizontal de la expansión.

Para el caso de construcciones que abarcan una gran área, como son los pavimentos y losas de cimentación, se define que la expansión solo tiene dos características en el movimiento vertical, (Day ,1998), las cuales son:

4.4.2.1 Expansión y encogimiento cíclico

Se debe principalmente a arcillas altamente susceptibles a la humedad, las cuales se expandirán cuando se aumente el contenido de humedad, pero que también se encogen

cuando hay épocas de sequia, provocando un movimiento cíclico ascendente y descendente en la estructura, causando agrietamientos.

La magnitud del movimiento depende de cuánto varia la humedad en esas épocas, o simplemente por influencia de drenajes, irrigaciones y raíces de arboles que extraen el agua y encogen la arcilla.

4.4.2.2 Expansión progresiva debajo del centro de la estructura

La expansión se presenta cuando hay una acumulación de agua por debajo de la estructura cercana a la parte central, afectando a suelos potencialmente expansivos. Lo anterior se debe a que el agua a una temperatura mayor a la zona que la rodea, tiende a migrar al suelo más frío, siguiendo el principio de la energía térmica y la transferencia de calor llamada osmosis termal; normalmente ocurre en veranos, debido a que el suelo alrededor de la construcción aumenta la temperatura, provocando la transferencia térmica hacia las zonas centrales frías de la edificación.

Después de la transferencia, sucede que por medio de la capilaridad del material, la humedad empieza a ascender debido a la evaporación, pero la estructura se comportará como una barrera acumulando el agua; la acumulación altera la humedad del material y si el suelo tiene propiedades expansivas resultara una fuerza progresiva en el centro de la estructura, provocando la aparición de grietas. A continuación se mostrará el gráfico 42 que ilustre de mejor manera este efecto.

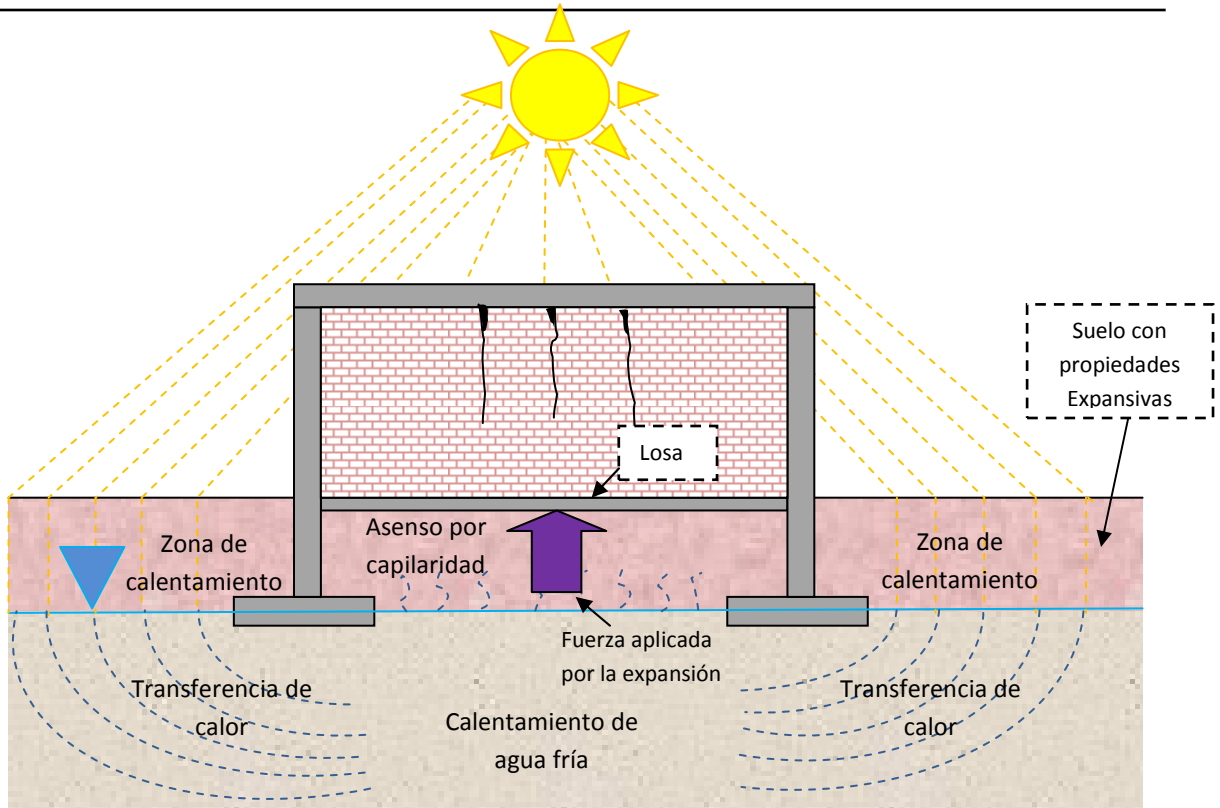
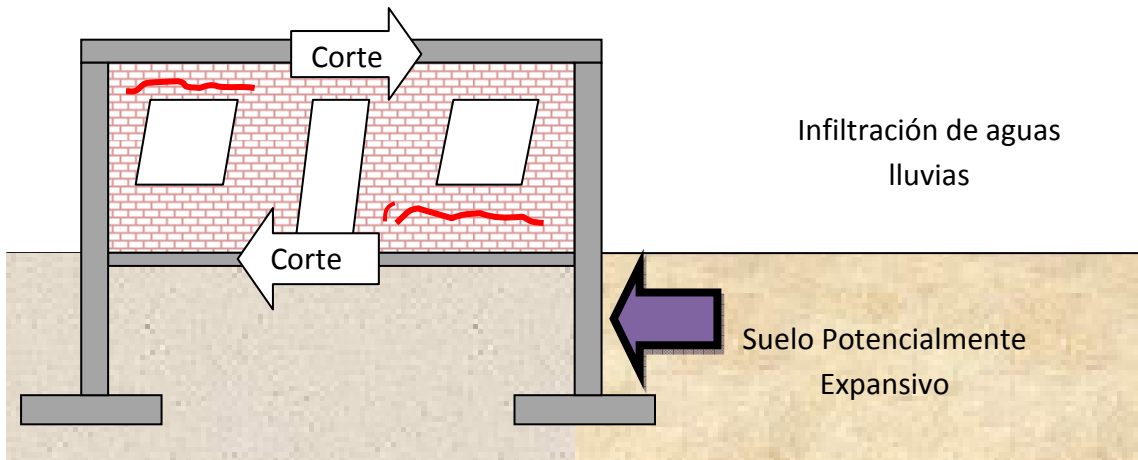


Gráfico 42: Expansión progresiva debajo del centro de la estructura

4.4.3 Componente horizontal de la expansión

La componente horizontal de la expansión, afecta principalmente aquellas estructuras de contención y muros de sótanos que contengan material potencialmente expansivo; la expansión sucede cuando la arcilla es compactada por debajo de la humedad óptima, y la infiltración de agua en los llenos causa el abultamiento aumentando las presiones de diseño de la subestructura, reflejado en la aparición de grietas en la edificación. Ver Gráfico 52.



La fuerza aplicada en las cimentaciones o en los muros de los sótanos, produce una compresión en la parte inferior de los muros y tensión en la parte superior cercana a la cubierta, aflorando grietas horizontales debido al cortante aplicado en el pórtico. Ver Gráfico 52.

Las puertas y ventanas se distorsionan siendo muy difícil la manipulación; en las losas de piso, se identifican grietas perpendiculares a la aplicación de la fuerza ocasionada por la expansión y por una sobreposición de una losa sobre la otra, debido a la compresión presentada en la zona inferior del pórtico o muro.

4.4.4 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996

4.4.4.1 Muros

4.4.4.1.1 Tensión inversa vertical– RVTC

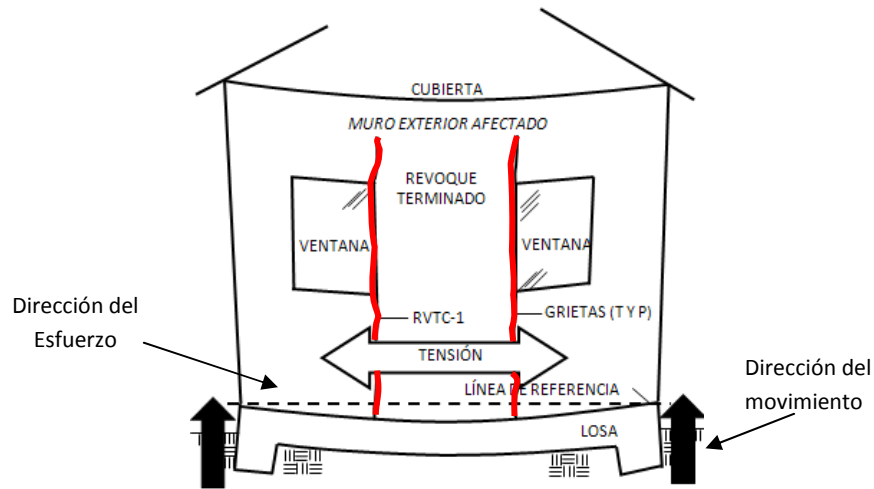


Gráfico 43: Descripción de la grieta RVTC

Sentido del movimiento: Inverso.

Tipo de grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la zona inferior del muro, causado por una deflexión hacia arriba de las esquinas de la cimentación respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura rugosa; propagándose hacia arriba cerrándose.

Ocurrencia: Es común en paredes exteriores con revoque y en paredes interiores en la sección central - superior; se encuentran en las esquinas de los marcos de puertas y ventanas; en el interior de las construcciones las juntas pueden controlar la aparición de grietas.

Distinción de los rasgos: Modelo vertical; tendencia lineal; cerrándose en forma ascendente; se distingue de NVTC-2 por una desviación de la esquina de la cimentación por encima de la línea de referencia.

Grieta de losa relacionada: ROTC.

4.4.4.1.2 Tensión inversa vertical– Tipo de grieta 2 (RVTC – 2)

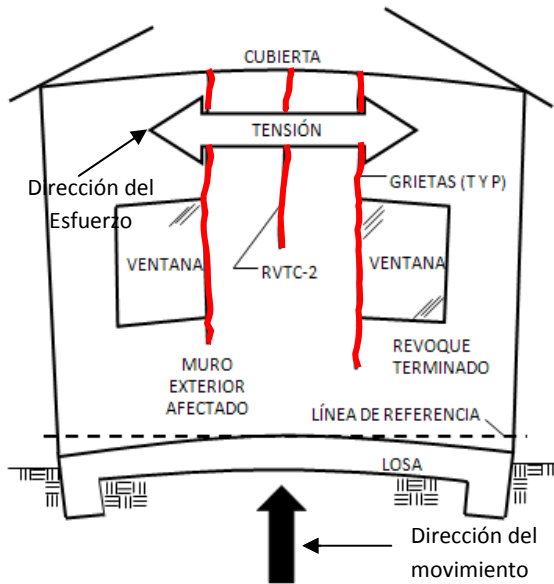


Gráfico 44: Descripción de la grieta RVTC-2



Figura 21: Ejemplo de la grieta RVTC-2

Sentido del movimiento: Inverso.

Tipo de grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la pared superior causada por una deflexión hacia arriba del centro de la cimentación respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura rugosa; propagándose hacia abajo cerrándose.

Ocurrencia: Es común en paredes exteriores con revoque y en paredes interiores en la sección central -alta; comúnmente se presentan en las esquinas de los marcos de puertas y ventanas; en el interior de las construcciones las juntas pueden controlar la aparición de grietas.

Distinción de los rasgos: Modelo vertical; tendencia lineal; cerrándose en forma descendente; se distingue de NVTC-1 por una desviación en el centro de la cimentación por encima de la línea de referencia.

Grieta de losa relacionada: RPTC.

4.4.4.1.3 Tensión inversa diagonal- RDTC

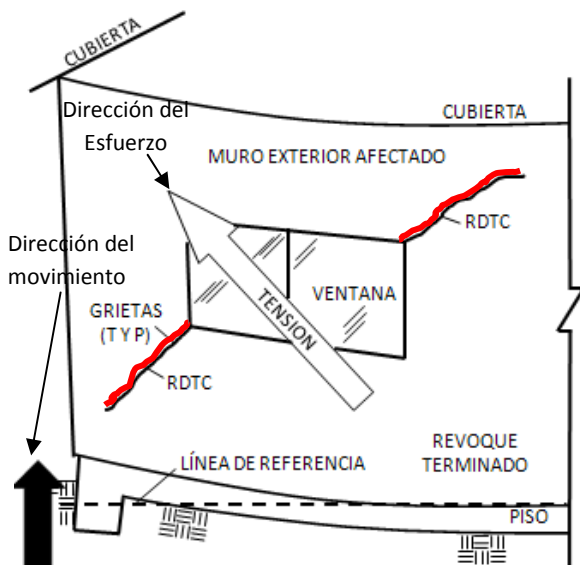


Gráfico 45: Descripción de la grieta RDTC



Figura 22: Ejemplo de grieta RDTC

Sentido del movimiento: Inversa.

Tipo de grieta: Diagonal.

Tipo de esfuerzo: Tensión; se mueve el muro hacia arriba, localizado en una esquina del edificio causado por la deflexión hacia arriba de la cimentación respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal a curvilínea; textura áspera.

Ocurrencia: Se presenta comúnmente en paredes de revoque exterior; principalmente en las esquinas de los marcos de las puertas y ventanas.

Distinción de los rasgos: Modelo diagonal; ubicado cerca de las esquinas de los edificios.

Grieta de losa relacionada: ROTC y RPTC.

4.4.4.1.4 Corte inverso vertical- RVSC

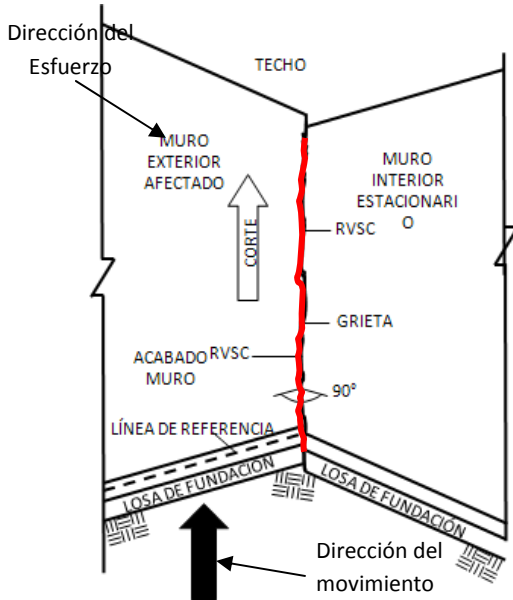


Gráfico 46: Descripción de la grieta RVSC



Figura 23: Ejemplo Grieta RVSC

Sentido del movimiento: Inverso.

Tipo de grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Corte; en la intersección de la pared interior con la exterior, causada por una desviación aguda ascendente de la cimentación respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación cerrada; tendencia lineal; textura áspera. En los muros se puede presentar una abertura a micro escala transversalmente a la grieta, y se puede distinguir la dirección del movimiento de la pared.

Ocurrencia: Se presenta especialmente en las juntas de los muros, en la intersección vertical de muros interiores que están yuxtapuestos perpendicularmente respecto a los muros exteriores.

Distinción de los rasgos: Modelo vertical; una abertura a micro escala transversal a la grieta.

Grieta de losa relacionada: ROTC y RPTC.

4.4.4.1.5 Corte inverso horizontal- RHSC

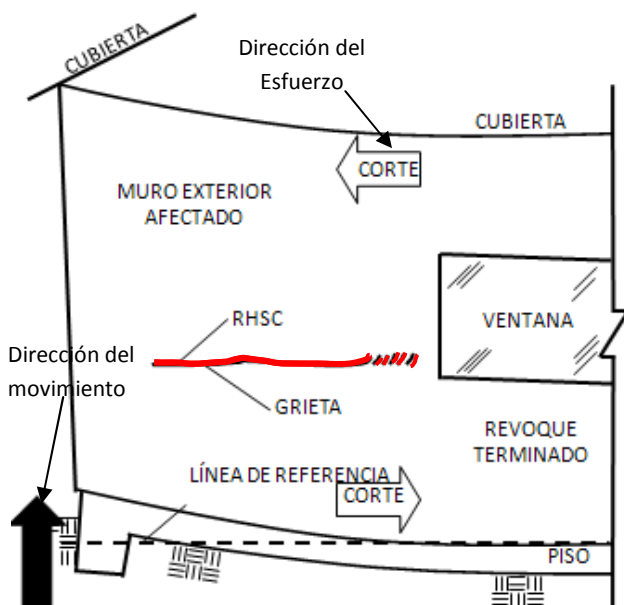


Gráfico 47: Descripción de la grieta RHSC

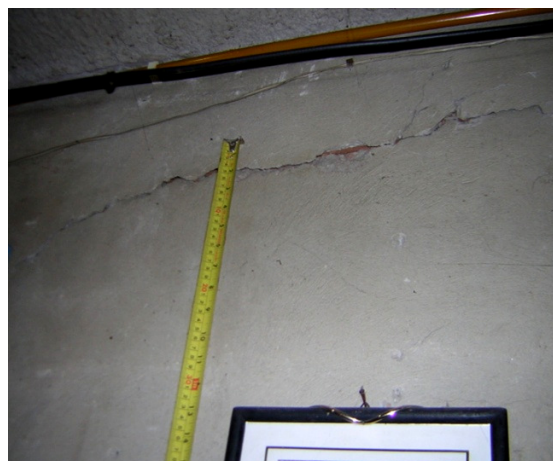


Figura 24: Ejemplo Grieta RHSC

Sentido del movimiento: Normal.

Tipo de grieta: Horizontal.

Tipo de esfuerzo: Corte; en el muro causado por una desviación ascendente de la cimentación respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación cerrada; tendencia irregular (aserrada); textura áspera. En el revoque puede presentar una tendencia aserrada a macro escala; se puede presentar una abertura a micro escala transversalmente a la grieta y se puede distinguir la dirección del movimiento de la pared.

Ocurrencia: Aparecen en las esquinas de marcos de puertas y ventanas y puede ser la parte final de grietas de tensión diagonales o verticales.

Distinción de los rasgos: Modelo horizontal aserrado.

Grieta de losa relacionada: ROTC y RPTC.

4.4.4.2 Losas de piso

4.4.4.2.1 Tensión inversa oblicua ROTC

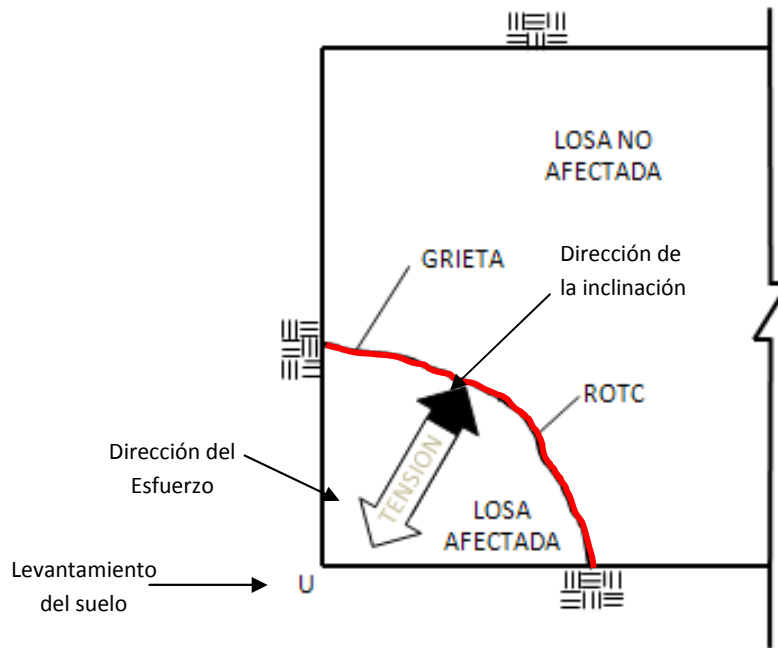


Gráfico 48: Descripción de la grieta ROTC

Sentido del movimiento: Inverso.

Método de la grieta: Oblicuo.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la esquina de losa del edificio causada por una desviación de cimentación ascendente respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal a curvilínea; textura áspera; cierre de la grieta hacia el exterior de losa.

Ocurrencia: Se presenta en las esquinas de la losa de piso, con una inclinación de losa hacia el interior de la cimentación; ocasionalmente puede presentarse una superposición de la losa afectada sobre la no afectada.

Distinción de los rasgos: Modelo oblicuo; inclinación de la losa de piso afectada hacia el interior del edificio.

Grieta de losa relacionada: RVTC-1 y RDTC.

4.4.4.2 Tensión inversa paralela RPTC

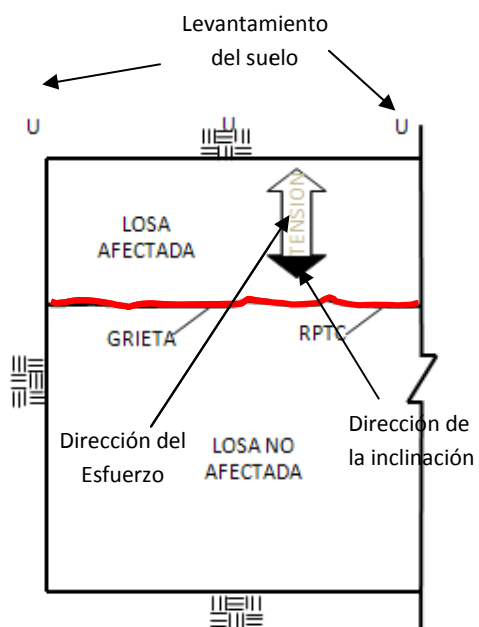


Gráfico 49: Descripción de la grieta RPTC

Figura 25: Ejemplo Grieta RPTC

Sentido del movimiento: Inverso.

Tipo de grieta: Paralela.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la losa a lo largo del lado del edificio; causado por una deflexión hacia arriba de la cimentación respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal a curva a irregular; textura áspera; cierre interno de la grieta hacia el interior de losa.

Ocurrencia: Se presenta en las secciones del centro y lado de la losa, con giro de la losa hacia el interior de la fundación. Ocasionalmente puede presentarse una sobreposición de la losa afectada sobre la no afectada.

Distinción de los rasgos: Comportamiento paralelo; inclinación de la losa afectada hacia el interior del edificio.

Grieta de losa relacionada: RVTC-1 y RDTC.

4.4.4.2.3 Tensión inversa radial RRTC

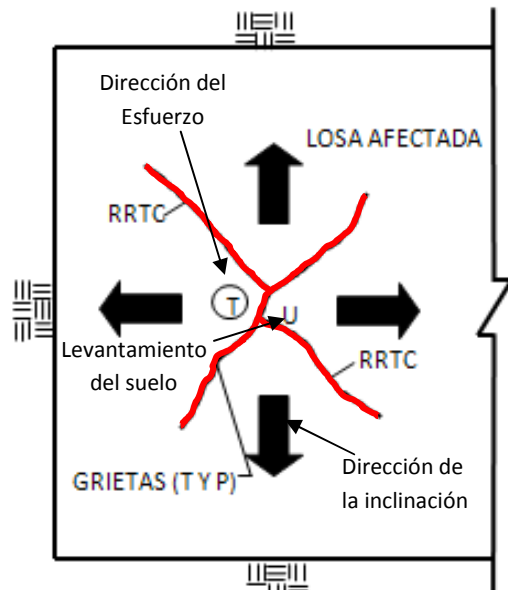


Gráfico 50: Descripción de la grieta RRTC

Figura 26: Ejemplo Grieta RRTC

Sentido del movimiento: Inversa.

Tipo de grieta: Radial.

Tipo de esfuerzo: Tensión; se encuentra en las losas de piso interiores de los edificios, causado por una deflexión de la cimentación hacia arriba respecto de la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia curvilínea a irregular; textura áspera; la abertura de las grietas es mucho mayor hacia el domo, con una disminución de dicha separación hacia el final de la grieta; cerramiento de la grieta hacia afuera de la losa.

Ocurrencia: Común en la sección central de la losa con una inclinación de la losa afectada hacia el exterior de la cimentación.

Distinción de los rasgos: Comportamiento radial de la grieta, levantando y girando la losa hacia el exterior del edificio.

Grieta de losa relacionada: RVTC-2 y RVTC.

4.5 MOVIMIENTO LATERAL O JALÓN

Los movimientos laterales, al igual que cualquier movimiento inusual en el suelo o problema geotécnico, tienen características únicas que pueden ayudar a entender que tan afectada se encuentra la construcción, y ver en qué puntos es influenciada la estructura debido al movimiento.

Las causas del movimiento lateral se deben principalmente a problemas de estabilización de taludes, y aunque están compuestos tanto por una componente vertical como por una horizontal, la magnitud de la componente horizontal es muy importante en movimientos que abarcan grandes áreas, como son reptaciones o flujos lentos.

Los movimientos laterales o jalones requieren de una amplia investigación de campo, recorridos por la zona y seguimientos con instrumentaciones, debido a que el movimiento puede presentarse en una gran área, y reconocer las razones puede ser muy complicado sino se cuenta con los estudios y métodos apropiados.

4.5.1 Movimientos dados en taludes

En el capítulo de asentamiento se analizó el efecto de las componentes verticales en los deslizamientos, las cuales dependen de la localización, y no de la característica del movimiento, como se vio en la sección 4.3.3.1 Taludes. Las razones más comunes para la aparición de grietas, debido a movimientos horizontales en las edificaciones, son:

4.5.1.1 Desconfinamiento por fallas rotacionales

Como se definió en la sección 4.3.3.1 Taludes, una falla rotacional es cuando se presenta un deslizamiento de una masa del suelo a través de una superficie de falla de forma circular y cóncava, la cual gira alrededor de un punto, que se encuentra por encima del centro de gravedad del material deslizante.

Pero el giro produce en aquellas zonas aledañas de la superficie de falla y del material deslizante, esfuerzos tensionales que provocan grietas en el suelo, debido a la componente horizontal del movimiento por el desconfinamiento del suelo; ver Gráfico 51.

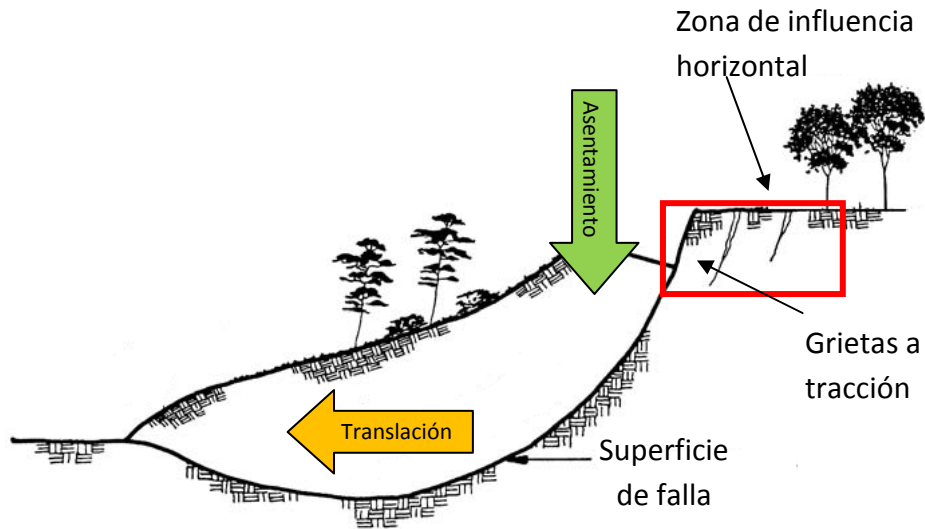


Gráfico 51: Descripción de las zonas a tensión provocadas por el deslizamiento

Si se hace un Zoom en la zona del cuadro rojo (ver Gráfico 51), se puede inferir que cualquier construcción ubicada en esa zona, sufrirá de desplazamientos o translaciones debido al desconfinamiento hecho por el material deslizante, y como consecuencia la aparición de grietas. Como se explicó en la sección 4.1.1 Movimientos laterales u horizontales (eje x), se pueden presentar grietas verticales propagándose hacia arriba cerrándose, cuando el movimiento lateral es puntal (solo se traslada una esquina del pórtico, como en el Gráfico 52.a); o también se pueden presentar grietas totalmente horizontales a cortante cuando se traslada todo un eje del pórtico, (Gráfico 52.b).

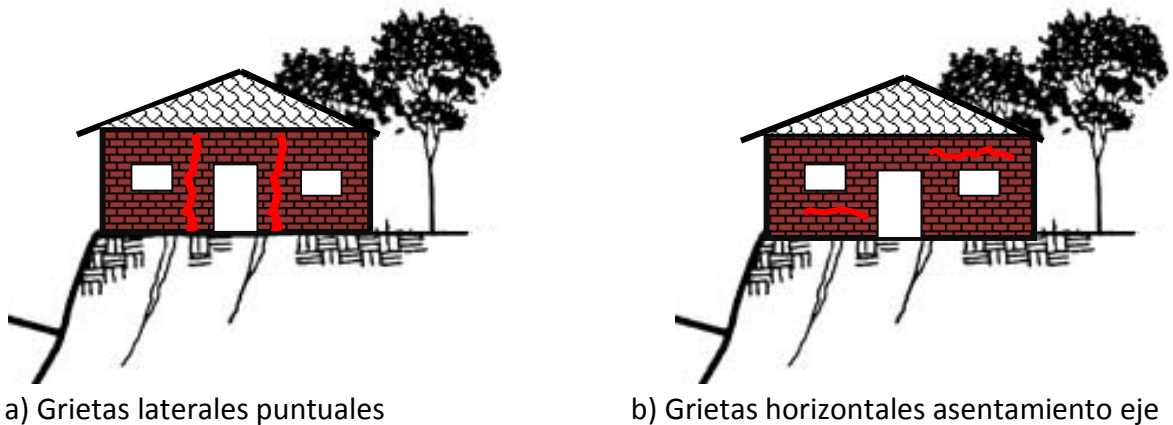


Gráfico 52: Efecto del movimiento en esa zona en las construcciones

4.5.1.2 Desconfinamiento por caídos de rocas

Los caídos se definen como un desprendimiento de una masa a lo largo de una superficie con poca o ninguna resistencia al corte, y desciende por lo regular a través del aire por caída libre, rebotando o rodando. El desprendimiento induce en el suelo una liberación de esfuerzos que provocan un asentamiento, pero al mismo tiempo un jalón afectando aquella construcción que se encuentre en la zona de influencia.

Las causas que posiblemente provoquen el movimiento son: filtración de aguas lluvias y de escorrentía, erosión física y química, fracturación de la roca, viento, raíces de los arboles, acción de los animales, vibraciones y cortes para vías.

Los daños provocados por los movimientos son exactamente iguales a los mostrados en la Gráfica 52. A continuación se mostrará un ejemplo sobre los caídos de roca y su efecto en las construcciones. Ver Figura 27.

Asentamientos
debido al
desconfinamiento



Caídos de roca

Figura 27: Ejemplo construcción afectada por caídos de roca

La casa padece de un desconfinamiento debido al corte aledaño a la vivienda, sufriendo tanto de asentamientos como de desplazamientos horizontales, teniendo como resultado la aparición de grietas y fisuras en los muros y losas de piso de la vivienda.



Figura 28: Grietas presentadas en losas por el jalón causado por los caídos de roca

Se puede observar que en el caso de jalones o movimientos horizontales, las losas de piso sufren de grietas que son perpendiculares a la fuerza que provoca el movimiento. Las características de las grietas se pueden ver con más detalle en la sección 4.5.2 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996.

4.5.1.3 Deslizamientos traslacionales

Los deslizamientos traslacionales son aquellos donde la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla más o menos plana o suavemente ondulada, y presenta pequeños movimientos de rotación generalmente lentos. Ver Gráfico 53.

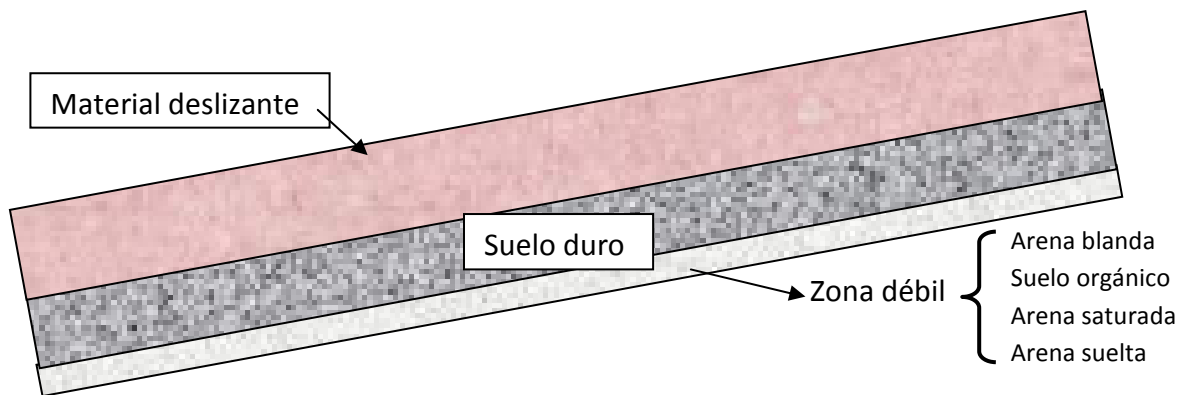


Gráfico 53: Característica morfológica de los deslizamientos traslacionales

Una de las principales diferencias entre un deslizamiento traslacional y el movimiento rotacional, es que un rotacional trata de auto estabilizarse, mientras que el de translación pueden progresar indefinidamente a lo largo de una ladera hacia abajo.

La influencia de los movimientos en las construcciones, se da principalmente cuando la componente horizontal del movimiento se ve afectada por heterogeneidades del material, provocando diferentes velocidades en el mismo estrato, afectando de forma variable a las estructuras. Ver Gráfico 54.

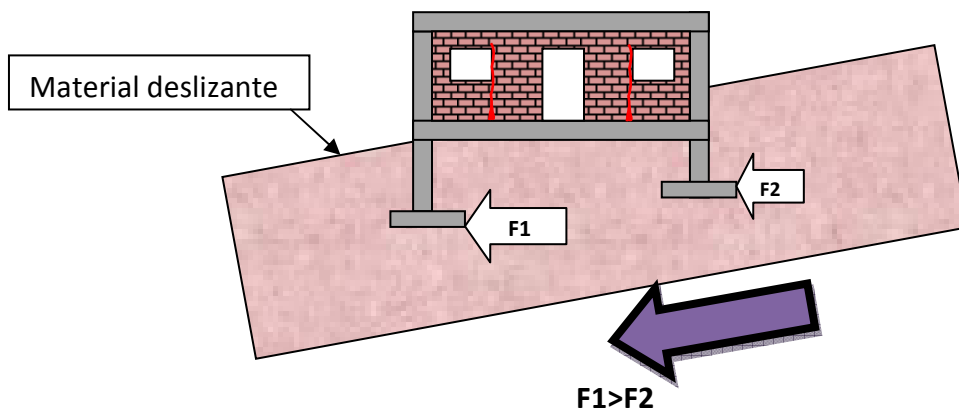


Gráfico 54: Daños en estructuras debido al componente horizontal en deslizamientos traslacionales

Las grietas comúnmente presentadas en los deslizamientos traslacionales, se caracterizan por ser verticales de tendencia lineal, cerrándose de forma ascendente, y además las puertas y ventanas se distorsionan en primera instancia. La dimensión del daño depende de la dimensión del movimiento y de la homogeneidad del terreno deslizando.

También pueden aparecer grietas a cortante u horizontales dependiendo el área de influencia del movimiento en la estructura, debido que se puede desplazar algunas cimentaciones de un eje, aflorando las grietas descritas en la sección 4.1.1 Movimientos laterales u horizontales (eje x).

Las grietas en las losas de piso son iguales a las descritas en la sección .5.2 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996.

4.5.1.4 Reptación

También conocido como creep, es un movimiento superficial extremadamente lento de centímetros por año, con posibilidades de afectar zonas muy grandes. Se pueden ver geoformas agrietadas y escalonadas, además de encontrar postes de energía y árboles inclinados. Ver Gráfico 55.

Las causas del movimiento son difíciles de identificar y controlar, por eso los estudios de suelos cobra gran importancia, debido a que permiten definir una cimentación adecuada para que no se afecte la integridad estructural de la vivienda.

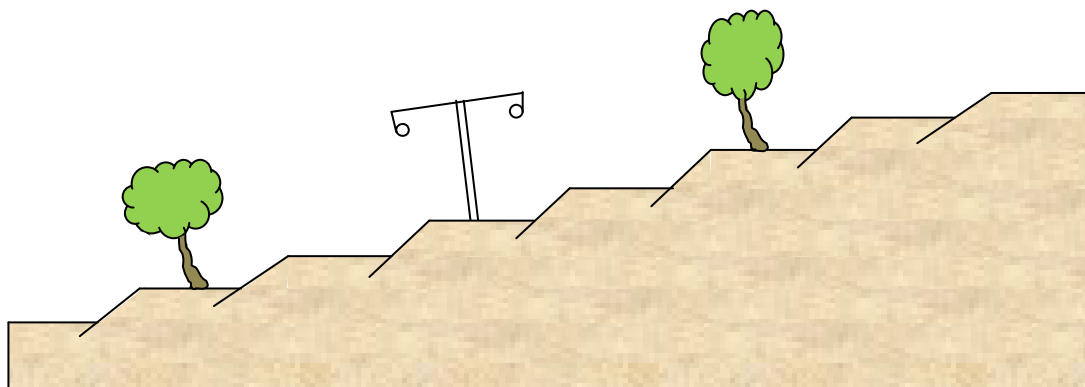


Gráfico 55: Ejemplo de zona con un movimiento tipo reptación

Un problema común en la reptación, es que no se presenta una superficie de falla definida debido a que la velocidad del desplazamiento disminuye con la profundidad, y puede ser presentado en cualquier tipo de material, especialmente en aquellos que tienen altas pendientes y sobrecargas.

Al igual que los casos anteriores, las velocidades de los movimientos son variables según la profundidad y el tipo de material, debido a que entre más heterogéneo sea el material más variable son las velocidades, afectando positiva o negativamente a las construcciones.

Los efectos son exactamente iguales a los de la sección anterior; ver Gráfico 54.

4.5.2 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996

4.5.2.1 Muros

4.5.2.1.1 Tensión de jalón paralela– PPTC

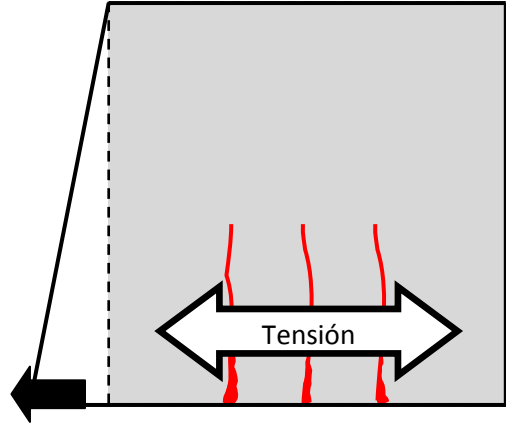


Gráfico 56: Grietas debido a movimientos totalmente horizontales en un punto

Sentido del movimiento: Horizontal o jalón.

Tipo de grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Tensión en la parte inferior del muro causado por el movimiento horizontal en la base del mismo.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal, textura rugosa, propagándose hacia arriba cerrándose.

Ocurrencia: Común en la sección central inferior del muro.

Distinción de los rasgos: Tendencia vertical paralela a los ejes.

Grieta de losa relacionada: PPTC.

Símbolos: Flecha de tensión abierta indica la dirección del esfuerzo, Flecha sólida indica la localización del movimiento lateral del suelo.

4.5.2.2 Losas de piso

4.5.2.2.1 Tensión de jalón paralela– PPTC

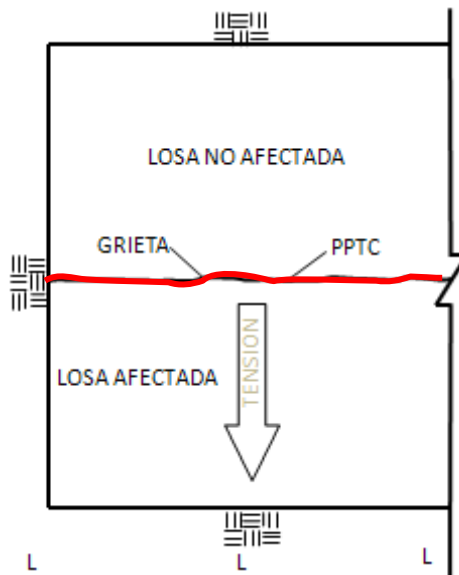


Gráfico 57: Descripción de la grieta PPTC



Figura 29: Ejemplo de grieta PPTC

Sentido del movimiento: Jalón.

Tipo de grieta: Paralela.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la losa a lo largo del edificio, causado por una deflexión hacia abajo de la cimentación respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura áspera.

Ocurrencia: Común en la sección central de la losa; insignificante rotación a través de la losa afectada.

Distinción de los rasgos: Tendencia paralela a los bordes de la losa.

Causa geotécnica: Reptación o flujo lento de un talud.

Grieta de losa relacionada: NVTC-1 y NDTC.

Símbolos: Flecha de tensión abierta indica la dirección del esfuerzo, L indica la localización del movimiento lateral del suelo.

4.6 SISMOS

Al hablar de problemas geotécnicos no se puede obviar a los sismos, debido a que han influenciado en gran medida a la ingeniería, al ser una de las razones de grandes desastres naturales, provocando pérdidas materiales y de vidas.

Los terremotos o sismos, son definidos como una sacudida del suelo debido al choque de las placas tectónicas, y a la liberación de energía dado en la reorganización brusca de materiales de la corteza terrestre. Existen muchas razones para que aparezcan algún tipo de sacudida en los suelos, como son: desprendimiento de rocas, hundimiento de cavernas y variaciones bruscas en la presión atmosférica, produciendo lo que se conoce como microsismos, los cuales pueden ser de gran influencia a la hora de la presencia de daños en las estructuras.

Dentro de las leyes y metodologías se exige tener en cuenta la componente sísmica, con el objetivo de diseñar estructuras capaces de resistir las fuerzas aplicadas; pero en el caso de estructuras más antiguas, los estudios no fueron aplicados, siendo más susceptibles a los daños y a la aparición de grietas.

Al igual que cualquier razón mostrada en los casos anteriores, los sismos dejan una huella particular en las grietas, dependiendo de su magnitud y cercanía al epicentro, afectando las construcciones tanto en los muros como en las losas.

4.6.1 Movimientos provocados por sismos

Para entender los tipos de movimientos provocados en un sismo, primero se debe entender cómo se propagan por medio del suelo desde el epicentro; los sismos se propagan por medio de ondas, las cuales son llamadas las Ondas P o primarias, Ondas S o secundarias y Ondas superficiales.

4.6.1.1 Ondas Longitudinales, primarias o P

Las ondas P se propagan a una velocidad entre 8 Km/s y 13 Km/s, y van en el mismo sentido que la vibración de las partículas. Las ondas circulan dentro de la tierra, atravesando tanto líquidos como sólidos, y son las primeras que se registran en los sismógrafos; también son conocidas como ondas de compresión. Ver Gráfico 58.

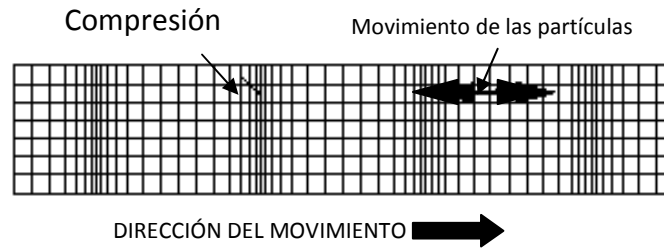


Gráfico 58: Descripción de ondas P

4.6.1.2 Ondas transversales, secundarias o S

Las ondas S en comparación con las ondas primarias, son más lentas debido a su velocidad que se encuentra entre 4 Km/s y 8 Km/s; la propagación es perpendicular al sentido de la vibración de las partículas. Las ondas S solo atraviesan sólidos, y son las segundas en ser registradas en los sismógrafos; son más fuertes dependiendo de la cercanía al epicentro, entre más cerca mas fuertes son las ondas S. Ver Gráfico 59.

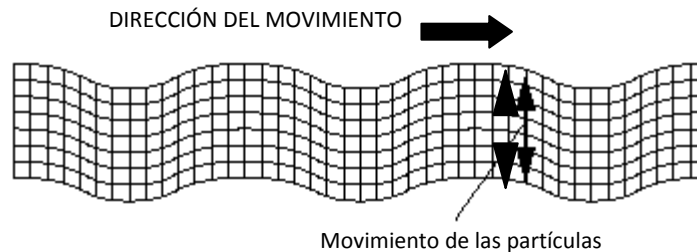


Gráfico 59: Descripción de ondas S

4.6.1.3 Ondas superficiales:

Las ondas superficiales son las más lentas de todas llegando hasta los 3.5 Km/s, y son producidas por la interacción entre las ondas P y S a lo largo de la superficie de la tierra; son las responsables de la mayor cantidad de los daños. Las ondas son propagadas desde el epicentro y son similares a las ondas que se forman en la superficie del mar.

4.6.2 Esfuerzos y grietas presentados por los sismos

La aparición de ondas provocan movimientos en las estructuras, las cuales afectan las edificaciones debido a la aparición de esfuerzos de tensión y compresión a lo largo de cada uno de los muros y losas; cada una de las ondas anteriormente mencionadas tienen un efecto especial sobre las edificaciones, de la siguiente forma:

4.6.2.1 Daños por ondas S

Las fuerzas ocasionadas por las ondas S, se caracterizan por distribuirse de forma perpendicular al sentido del movimiento, provocando sobre la estructura dos movimientos: compresión y tracción, debido a ello aparecen los mismos daños dados en los movimientos laterales, con la diferencia que tienden a ser cíclicos debido a las propiedades de propagación de las ondas. Las grietas se caracterizan por ser horizontales en su totalidad debido a la aparición de esfuerzos de corte en la parte superior e inferior del muro, Ver Gráfico 60.

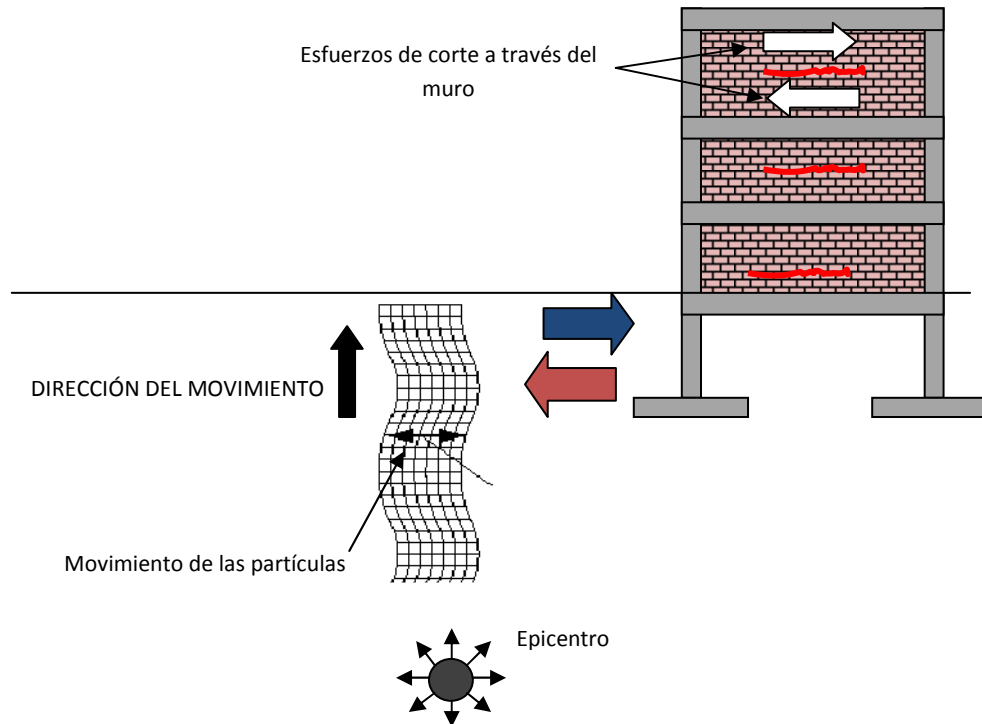


Gráfico 60: Fuerzas aplicadas por una Onda S en una estructura

4.6.2.2 Daños por ondas P

Las fuerzas se caracterizan por distribuirse de forma paralela al sentido del movimiento, provocando sobre el suelo dos efectos: asentamiento y expansión; debido a ello aparecen los mismos daños mostrados en los capítulos de asentamiento y expansión, con la diferencia que son de forma cíclica debido a la naturaleza de la onda. Los daños provocados por las ondas

son mayores si son cercanos al epicentro, y las grietas que aparecen son diagonales en ambos sentidos debido al cambio de dirección de los esfuerzos de tensión a través del muro. Ver Gráfico 61.

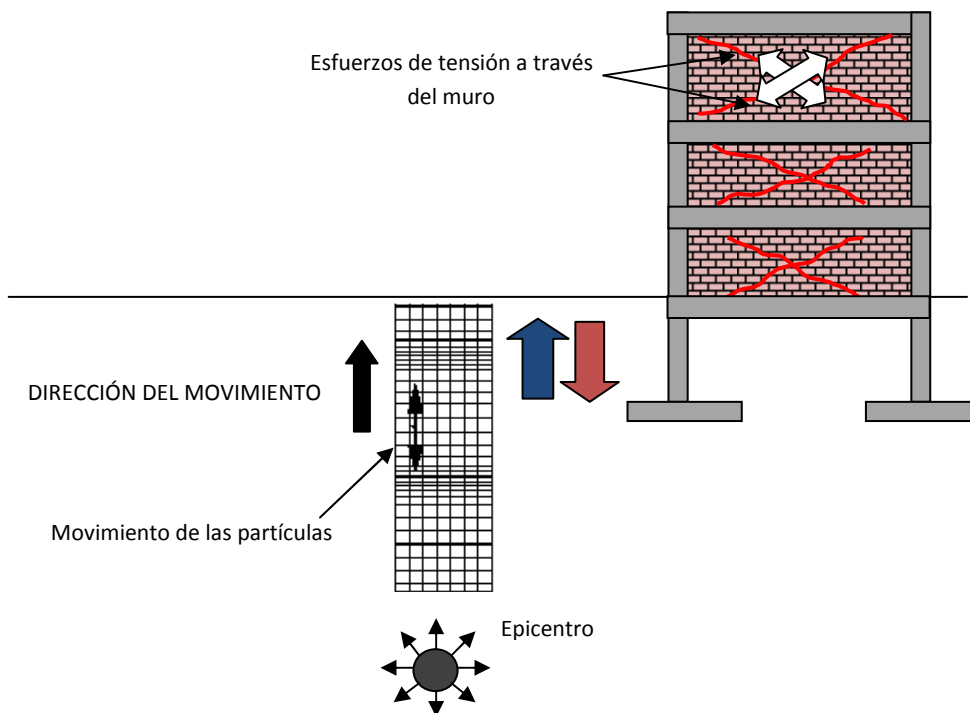


Gráfico 61: Fuerzas aplicadas por una Onda P en una estructura

4.6.3 Daños en construcciones según la clasificación de Audell, 1996

4.6.3.1 Muros

4.6.3.1.1 Tensión sísmica vertical – (SVTC)

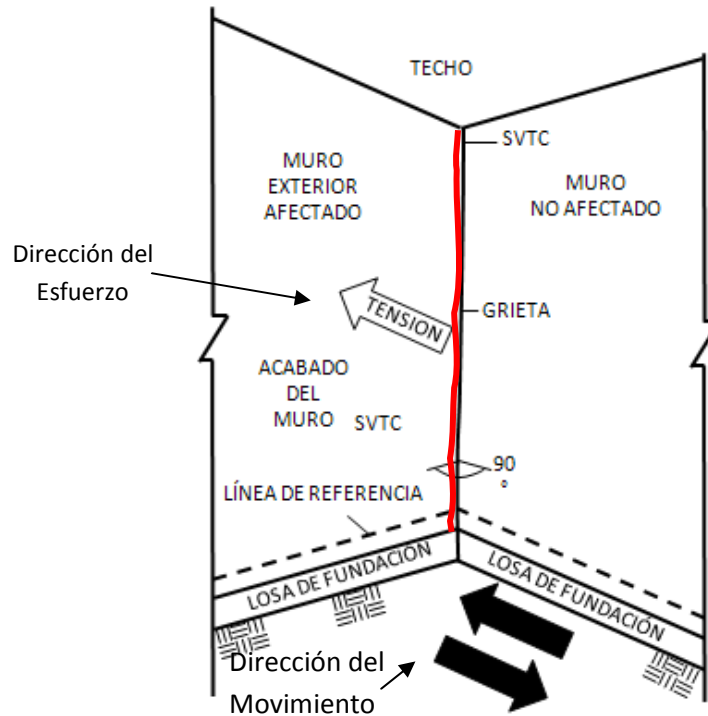


Gráfico 62: Descripción grieta SVTC

Tipo de grieta: Vertical.

Tipo de esfuerzo: Tensión; con una deflexión insignificante hacia arriba o hacia abajo de la cimentación respecto a la línea de referencia.

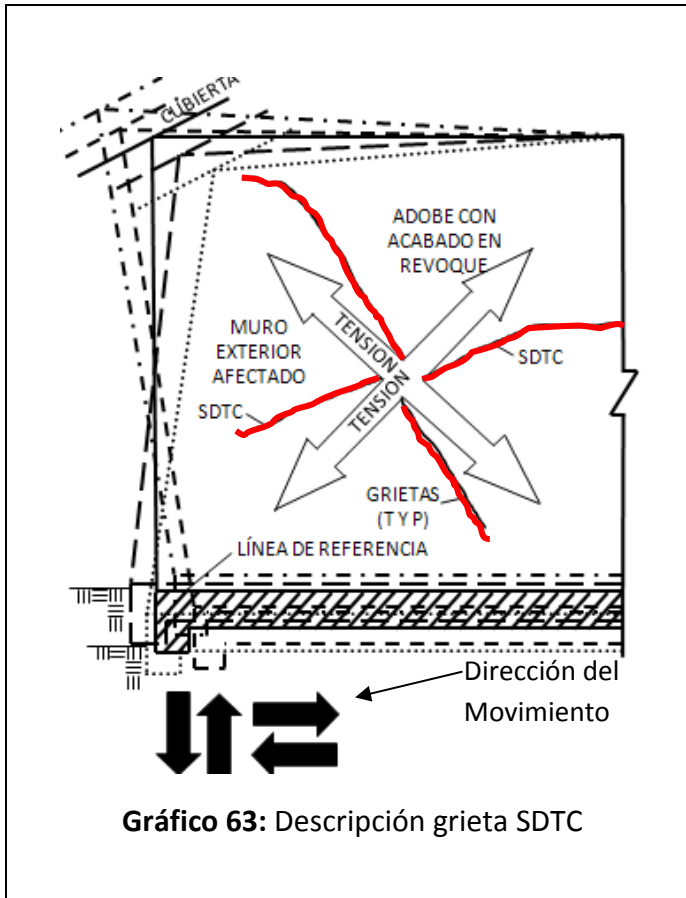
Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura rugosa.

Ocurrencia: comúnmente se presenta en las esquinas de los marcos de puertas y ventanas; Las juntas en los muros pueden controlar la localización de las grietas, puede dar la impresión de la existencia de grietas tipo NVTC -1, NVTC-2, RVTC – 1, RVTC-2, NVSC, RVSC y NVCC.

Distinción de los rasgos: Modelo vertical; tendencia lineal; es encontrado inmediatamente después de un movimiento sísmico.

Grieta de losa relacionada: SPTC.

4.6.3.1.2 Tensión sísmica diagonal- SDTC



Tipo de grieta: Diagonal y cruzado.

Tipo de esfuerzo: Tensión; los muros se mueven hacia la esquina del edificio con una deflexión de la cimentación de forma ascendente y descendente con respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia irregular; textura áspera.

Ocurrencia: Se presenta en paredes de revoque exteriores y de mampostería, además en muros interiores en la zona centro-medio del muro; puede dar la impresión de la existencia de grietas tipo NDTC y NDCC.

Distinción de los rasgos: Comportamiento diagonal y cruzado; encontrado inmediatamente después de un sismo.

Grieta de losa relacionada: SOTC y SPTC.

4.6.3.1.3 Corte sísmico horizontal- SHSC

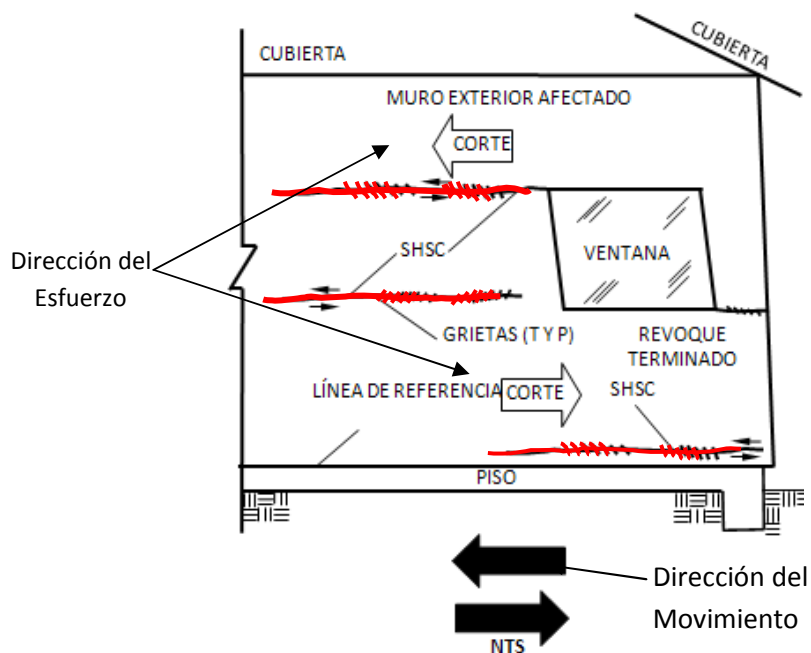


Gráfico 64: Descripción grieta SHSC

Tipo de grieta: Horizontal.

Tipo de esfuerzo: Corte; en el muro con una insignificante deflexión hacia arriba o hacia debajo de la cimentación respecto a la línea de referencia.

Rasgo: Grieta.

Característica: Separación cerrada; tendencia lineal; textura lisa; puede presentar una abertura, a micro escala, transversalmente a la rotura y se puede distinguir la dirección del movimiento de la pared.

Ocurrencia: Aparece en muros interiores en las secciones superior a centro inferior y en las esquinas; puede ocurrir en las esquinas de los marcos de puertas y ventanas; puede dar la impresión de la existencia de grietas NHTC, NHSC, RHSC y NHCC.

Distinción de los rasgos: Modelo horizontal con una abertura a micro escala trasversalmente a la rotura; encontrado inmediatamente después de un movimiento sísmico.

Grieta de losa relacionada: SPTC.

4.6.3.2 Losas de piso

4.6.3.2.1 Tensión sísmica oblicua– SOTC



Gráfico 65: Descripción grieta SOTC

Tipo de grieta: Oblicuo.

Tipo de esfuerzo: Tensión; ocurre a lo largo de la losa en la esquina del edificio y es causada por extensión, con una pequeña deflexión de la fundación respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura áspera; cierre interno de la grieta hacia el interior de losa.

Ocurrencia: Se presenta en las esquinas de las losas de piso adyacentes al muro exterior de la fundación, con una inclinación insignificante de la losa de piso, puede dar la impresión de la existencia de grietas tipo NOTC and ROTC.

Distinción de los rasgos: Comportamiento oblicuo principalmente con un desplazamiento horizontal a través de la grieta, se encuentra después de un evento sísmico.

Grieta de losa relacionada: SVTC, SDTC y SHSC.

Símbolos: Flecha de tensión abierta indica la dirección del esfuerzo, L indica la localización del movimiento lateral del suelo.

4.6.3.2.2 Tensión sísmica paralela– SPTC

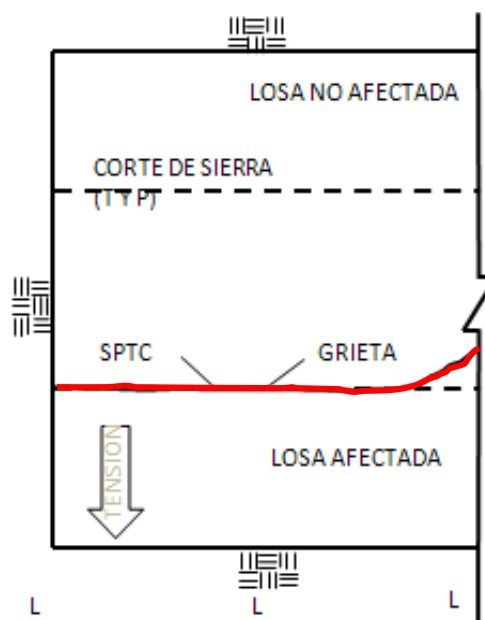


Gráfico 66: Descripción grieta SPTC

Tipo de grieta: Paralela.

Tipo de esfuerzo: Tensión; en la losa a lo largo del edificio, causado por una deflexión de la cimentación respecto a la línea de referencia.

Característica: Separación abierta; tendencia lineal; textura áspera.

Ocurrencia: Se presenta en la sección central o en las laterales de la losa de piso, con una insignificante rotación a través de la losa afectada; puede dar la impresión de la existencia de grietas tipo, RPTC and PPTC.

Distinción de los rasgos: Comportamiento paralelo; tendencia paralela a los bordes de la losa; encontrado inmediatamente después de un evento sísmico.

Grieta de losa relacionada: SVTC, SDTC y SHSC.



CAPÍTULO 5

5. OTRO TIPOS DE PROBLEMAS Y GRIETAS NO GEOTÉCNICAS

5.1 OTROS TIPOS DE PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

5.1.1 Erosión

La erosión se presenta principalmente en aquellas estructuras construidas sobre taludes, debido a que por efectos de la erosión se pierden las propiedades que permiten la estabilidad; aunque se hayan hecho los diseños pertinentes para la estabilidad, con el tiempo la erosión cambia las propiedades del suelo paulatinamente, por eso los taludes que se diseñan hoy, en 10 años pueden variar o ser totalmente diferentes.

Básicamente, la erosión consiste en un lavado del talud que comienza con un flujo de agua de pared delgada, luego se concentra en algunos canales conocidos como surcos, y con el tiempo se intensifica la erosión con la formación de cárcavas en el talud.

A continuación se puede ver la tabla que relaciona la erosión en cinco niveles en taludes, (Day, 1999).

Tabla 14: Niveles de erosión en taludes (adaptado del libro: Forensic geotechnical and foundation engineering, de Robert W. Day)

Nivel de erosión	Clasificación	Descripción
1	Muy suave	Erosión menor; en la base del talud existe una acumulación menor de escombros
2	Suave	La erosión consiste en surcos, pueden medir 8 cm de profundidad; algunos escombros se encuentran en la base
3	Apreciable	Los surcos son hasta 0.3 m de profundidad. Se encuentran escombros en la base del talud.
4	Severo	Surcos de 0.3 m a 1 m de profundidad y se empieza a formar cárcavas; se encuentran escombros en la base de forma considerable
5	Muy severo	Erosión profunda de los canales, conformados por surcos y cárcavas; se desarrollan ductos que causan erosión subterránea; acumulación de escombros en la base del talud

Los procesos erosivos dados por el agua son: el impacto de las gotas de lluvia y el transporte de partículas del suelo por el flujo de agua; la magnitud erosiva puede ser menor o mayor dependiendo de las características del talud, la cual es gobernada por seis factores: largo del talud, gradiente de la pendiente, cobertura del suelo, tipo de suelo, manejo de las aguas lluvias.

Un ejemplo de taludes de alta susceptibilidad erosiva son los acantilados, debido a que sufren de altas pendientes y de poca vegetación causada por la acumulación de sal del vapor del mar, entre menos vegetación tenga, menos protección al impacto debido a la lluvia.

Las arenas sin material cohesivo son más susceptibles a la erosión, al cambio la arcilla es la más resistente a diferencia de las arcillas dispersas.

5.1.2 Cambios en las propiedades del suelo

Los cambios en las propiedades en los suelos se dan principalmente por un factor muy importante, el agua. Cuando el contenido de humedad varía, las propiedades del suelo cambian totalmente, como se puede ver en los casos de los suelos colapsables, ver Sección 4.3.5 Suelos colapsables, y suelos expansivos, ver Sección 4.4 EXPANSION. La infiltración de agua puede contribuir a la falla debido al exceso de saturación, sobrepresiones, o a las fuerzas ocasionadas por la expansión o colapso; cualquier infiltración no controlada afecta en gran medida las propiedades del suelo, por eso se recomienda cuidados a la hora de la construcción de cualquier medida de control de agua, debido a que de ello depende la estabilidad del suelo.

Algunos problemas comunes a la hora de infiltración de aguas en los suelos son los siguientes, (Day, 1999):

- Fallas en presas, diques y reservas.
- Aumento en las presiones intersticiales en taludes provocando las fallas.
- Falla en terraplenes y cimentaciones por el aumento de la presión de poros.
- Fallas en los muros de contención por aumento de las presiones hidrostáticas.

- Licuación del suelo, causado por una combinación de la saturación del suelo y un choque dado por un sismo; lo anterior sucede debido a que las presiones del material grueso suelto están por debajo del nivel de agua subterránea.

5.1.2.1 Cambios en los taludes

El trabajo en taludes es uno de los más importantes en nuestro medio, pero a su vez uno de los más descuidados. Los descuidos se dan principalmente por el mal manejo de las aguas; los principales factores que afectan la estabilidad de los taludes son los siguientes (Day, 1999):

- Reducción o eliminación de la cohesión
- Presiones de poros que reducen los esfuerzos efectivos, reduciendo la resistencia al corte.
- Lubrican la superficie de falla.
- Peligro de licuación durante un sismo.
- Causan fuerzas de filtración horizontales las cuales incrementan la conducción de fuerzas y reducen el factor de seguridad del talud.

5.2 GRIETAS NO GEOTÉCNICAS

Las grietas no geotécnicas son aquellas que aparecen en la edificación, pero su afloramiento no tiene que ver realmente con las razones del movimiento, perjudicando el encuentro del foco del movimiento o la zona afectada.

La aparición de las grietas no geotécnicas, se debe principalmente a malos recubrimientos de elementos como las instalaciones eléctricas o redes de acueducto y a alcantarillado; también se debe a malas capacidades de la estructura, al deterioro o envejecimiento de la edificación, o simplemente a raíces de árboles que afectan la estructura.

El análisis de los daños puede corresponder a otro tipo de patologías como son las estructurales, las cuales se desligan por completo de los problemas geotécnicos y deben ser analizadas por un ingeniero estructural que identifique las razones del afloramiento de las discontinuidades.

5.2.1 Grietas o fisuras ocasionadas por raíces de arboles

Los problemas por raíces son bastante comunes en nuestro medio, debido a la biodiversidad de especies arbóreas y al desconocimiento de las características del crecimiento de las raíces de cada una; según el tipo de raíz, depende de que tan cerca pueda estar las especies a cualquier tipo de edificación.

El desarrollo de las raíces depende de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, de la disponibilidad de oxígeno, del contenido de humedad entre otros, y aunque las raíces aíslan, protegen, refuerzan y ancla el suelo, afectan a las construcciones dependiendo si la distribución es lateral, radial o pivotante. Ver Gráfico 67.

La longitud de las raíces laterales pueden ser mayor cuando el árbol se encuentra en un suelo grueso granular bien gradado, y se pueden extender hasta 1.5 veces el radio de la corona del árbol.

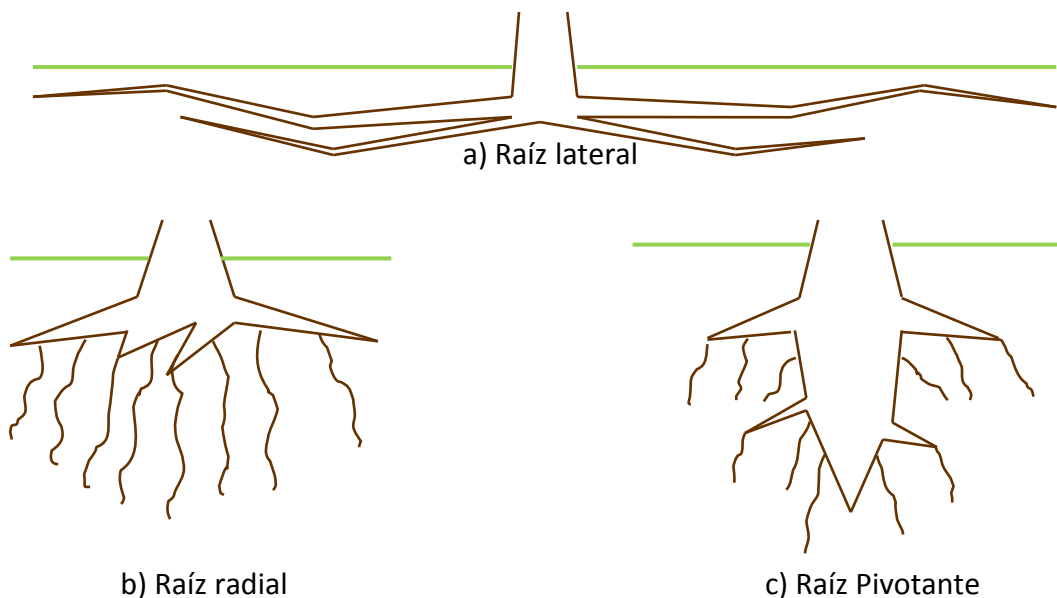


Gráfico 67: Tipos de raíz

Al entender como son las características de cada una de las raíces, podemos concluir que las raíces que pueden afectar en mayor medida las construcciones son las laterales, debido a su alta extensión y su cercanía a la superficie. Las raíces laterales afectan principalmente a

aquellas edificaciones con cimentaciones superficiales, o estructuras poco cargadas como aceras, vías y muros en bloques.

Los daños provocados por las raíces se asemejan en gran medida a los presentados en las expansiones (Ver Sección 4.4 EXPANSION) se deben principalmente al desplazamiento del suelo provocado por el crecimiento de las raíces tanto en su longitud y diámetro. Los problemas pueden ser fáciles de descubrir, y para mitigar los daños se debe hacer corte de las raíces (si es posible), o en el peor de los casos hacer corte del árbol, debido a que en la mayoría de casos los traslados pueden ser de gran dificultad por que compromete la estabilidad de la estructura. Ver Gráfico 68.

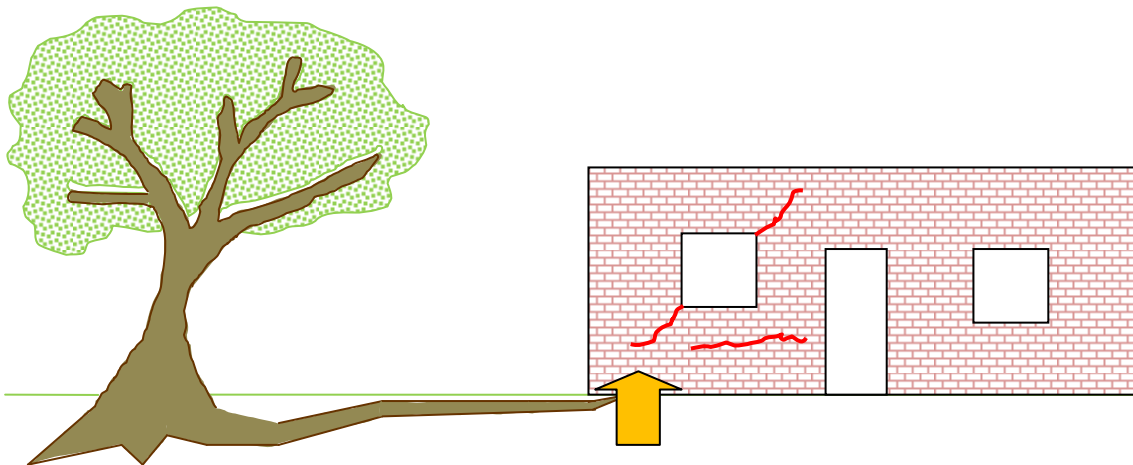


Gráfico 68: Ejemplo de daños causados por raíces

Dependiendo de las condiciones del movimiento se pueden presentar tanto esfuerzos de tensión como de corte, provocando los diferentes tipos de grietas vistos en la Sección 4.4 EXPANSION.

En el Gráfico 68, podemos ver que se produce una clase de expansión por el crecimiento de la raíz, pero en otros casos, sucede que la raíz extrae toda el agua del estrato portante, aumentando los espacios vacíos con aire, provocando asentamientos y a su vez las grietas ocasionadas por el movimiento, ver Sección 4.3 ASENTAMIENTO.

Se recomienda tener mucho cuidado con las infiltraciones de aguas en las losas de piso, debido a que permiten una depositación de agua que puede atraer las raíces del árbol en busca de nutrientes, provocando los daños anteriormente mencionados.

5.2.2 Grietas o fisuras sobre instalaciones eléctricas o de acueducto

En cualquier estructura es normal que se presenten movimientos que provoquen algunas fisuras, debido al acomodamiento del suelo al imponer las cargas de la estructura; pero muchas veces se pueden presentar fisuras que confunden el diagnóstico debido a su diferencia en la ocurrencia y tendencia respecto a las otras grietas. Al analizar en mejor medida, se puede ver que se presentan debido a las instalaciones eléctricas o de acueducto y alcantarillado.

Lo anterior se debe principalmente a que en aquellas zonas donde se instalan las redes, por lo general tienen poco recubrimiento de mortero o concreto, permitiendo un plano débil en la estructura, donde se presentará en primera instancia las fisuras en movimientos fuertes o simplemente susceptibilidad a pequeños movimientos.

Otro caso es cuando no se hace la marcación de las cajas eléctricas o no se dejan previamente instaladas antes de la construcción de los muros, obligando al constructor a romper los muros después de la construcción, dejando planos débiles para la aparición de grietas. Ver Figura 31.

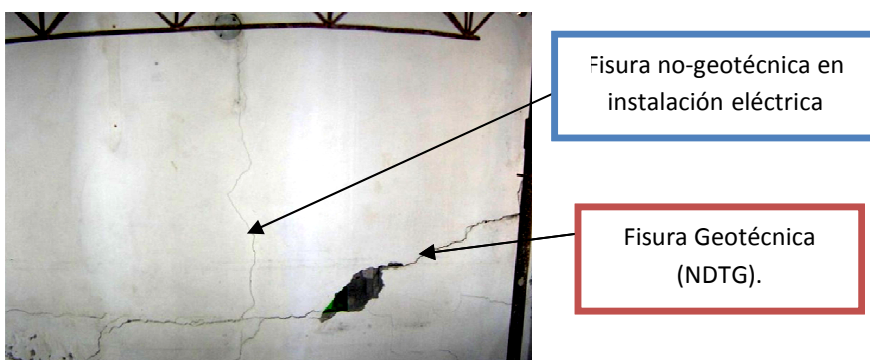


Figura 31: Ejemplo de fisura sobre instalación eléctrica

Es normal encontrar grietas geotécnicas en zonas de influencia a las instalaciones eléctricas o de acueducto y alcantarillado, debido a que al ser un punto de debilidad permiten que las

grietas a tensión pasen sobre ellas, pero conservando las características de la grieta. Ver Figura 32.



Figura 32: Ejemplo de fisura geotécnica (NVTC-2) con influencia de instalaciones eléctricas

5.2.3 Problemas de capacidad portante en las construcciones

Los problemas de capacidad portante se deben principalmente a un factor: sobrecargas en la edificación; las sobrecargas imprevistas o no tenidas en cuenta en el diseño, son uno de los grandes problemas en las edificaciones, debido a que se presentan una gran cantidad de grietas y fisuras.

Al momento de las ampliaciones no estimadas en el diseño, especialmente en aquellas donde se extiende de forma vertical la estructura anexando uno o dos pisos, se incrementan considerablemente los esfuerzos sobre el suelo, provocando asentamientos; las características de las grietas son exactamente iguales a cualquier asentamiento, y la velocidad y magnitud del daño depende exclusivamente del exceso de carga aplicado a la estructura.

La clasificación de grieta no geotécnica es debido a que se presenta a un problema del mal uso de las estructuras y no a problemas dados en el suelo, partiendo de la suposición que las

cimentaciones están diseñadas para transmitir de forma eficiente las cargas presentadas por la estructura sin las ampliaciones.

En el caso que un suelo en una zona específica este diseñado para soportar dos veces el esfuerzo transmitido por la estructura, y al momento de ampliar en dos niveles la edificación, se aumentan la presión ($P_b > P_a$), lo que normalmente sucede es que es posible que se exceda el esfuerzo admisible del suelo, provocando asentamientos en la estructura aflorando grietas mostradas en la Sección 4.3 ASENTAMIENTO. Ver Gráfico 69.

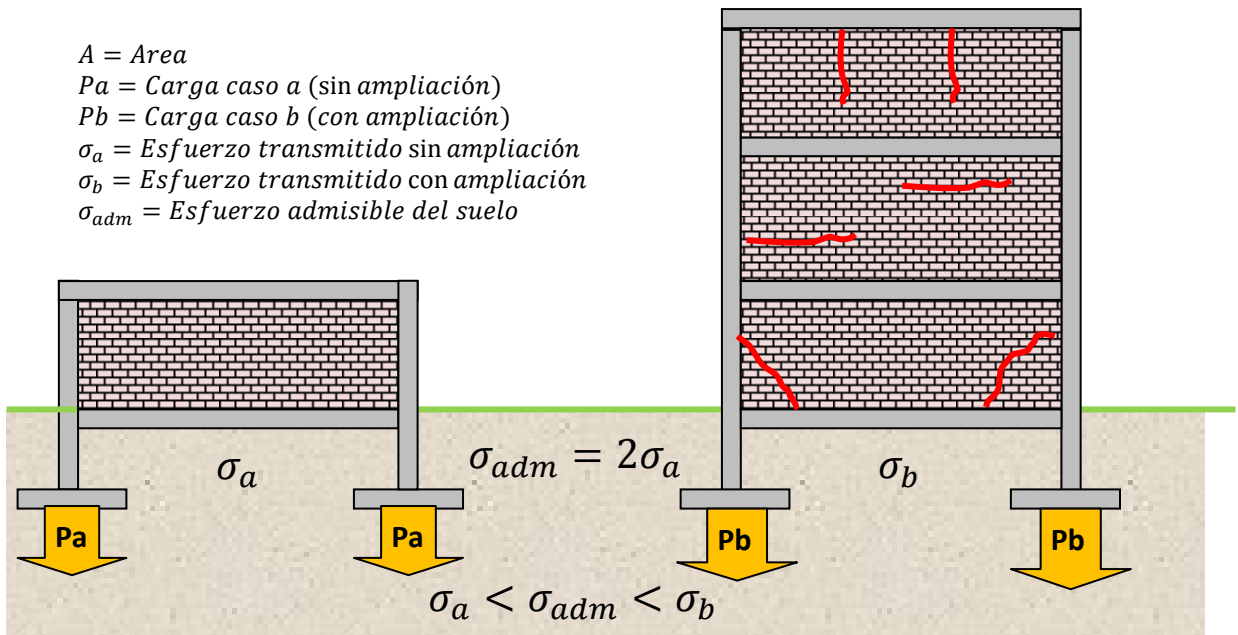


Gráfico 69: Ejemplo de daños causados por problemas de capacidad de la estructura

En la Figura 33 (a,b,c), se mostraran algunas grietas presentadas en una ampliación de una vivienda en dos niveles, y donde después de dos meses, se empezó a agrietar la casa en casi su totalidad; las grietas son exactamente iguales a las presentada por un asentamiento.



a) Ampliación de la casa en dos niveles



b) Grietas presentadas en el primer piso de la edificación



c) Grietas presentadas en el segundo piso de la edificación

Figura 33: Ejemplo de daños en edificaciones debido a problemas de capacidad en la estructura.

5.2.4 Deterioro o envejecimiento

Es improbable pensar que las estructuras no sufren de deterioros o envejecimientos, debido a que están sometidas a inclemencias climáticas, sismos y cargas, provocando el agotamiento de la estructura con el tiempo.

El envejecimiento es inevitable debido a las constantes solicitudes de carga y al paso del tiempo, pero en el caso del deterioro, existen métodos de mitigación los cuales se basan en mantenimientos periódicos de la edificación para evitar infiltraciones de agua, exposición del acero de refuerzo, entre otros.

El deterioro en las estructuras se ven reflejados en grietas, debido a que la edificación es cada vez menos capaz de resistir las cargas impuestas, provocando asentamientos y deflexiones de las losas, aflorando diferentes tipos de discontinuidades.

Aunque algunas grietas son muy parecidas a las encontradas en un asentamiento, existen algunos factores que pueden ayudar a la hora de determinar si las grietas son presentadas por problemas estructurales, más que por problemas geotécnicos; algunos de ellos son:

- Fecha de construcción de la edificación.
- Ausencia de construcciones vecinas (edificaciones, puentes, vías) y arreglos alrededor de la edificación en varios años.
- Ausencia de anomalías alrededor de la edificación: escapes de agua, hundimientos de calles y andenes, grietas de tensión de taludes aledaños, viviendas agrietadas o dañadas y cambios en el tráfico.
- A la hora de hacer los análisis de las grietas en la vivienda, se encuentran incongruencias debido a que no se encuentra un foco, o simplemente a que una grieta se contradice con las que están alrededor.

5.2.5 Malas dosificaciones de morteros y concretos

Los problemas ocurridos por malas dosificaciones son muy comunes, debido a que puede existir una falta de control de calidad en la elaboración de los productos; en el caso de la

construcción de muros en ladrillo, los morteros de pega sufren de poca homogeneidad en su resistencia creando planos débiles, que al momento de cualquier movimiento por pequeño que sea, permite la aparición de fisuras o grietas.

Otro tipo de problemas con morteros, son los utilizados en los revoques, los cuales pueden tener altos o bajos contenidos de cemento, provocando fisuramientos por la resecaión o por rápido envejecimiento, Ver Figura 34.

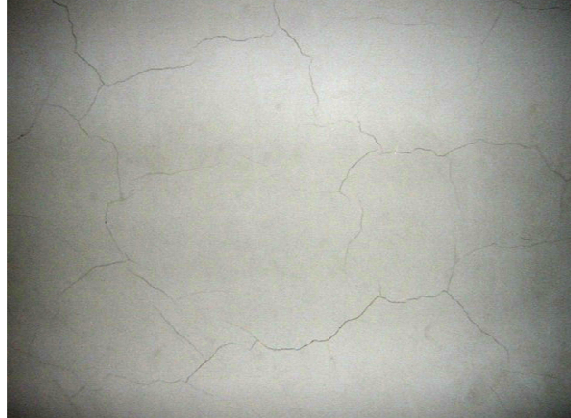


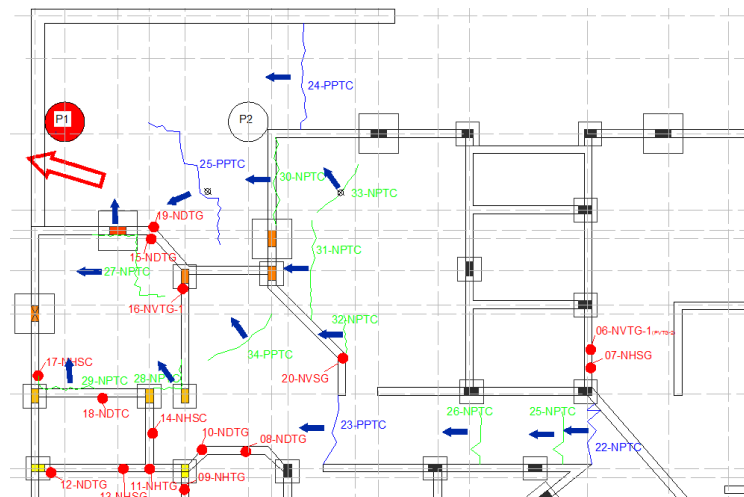
Figura 34: fisuras en revoques mal elaborados

Es normal encontrar fisuramientos en forma de cuadro o telaraña en los revoques y en carpetas asfálticas, debido a que se presentan principalmente por envejecimientos, los cuales son problemas intrínsecos del material.

En el caso del concreto, se puede hablar de problemas de resistencias de algunos elementos, sea por falta de control en la elaboración o por omisión de la constructora a la hora de corregir los elementos con bajas resistencias. Los materiales en concreto con malas dosificaciones, pueden sufrir de deflexiones altas, provocando asentamientos y a su vez grietas en los niveles superiores.

CAPÍTULO 6

6. OBTENCIÓN DEL FOCO O ZONA EN MOVIMIENTO



Una parte esencial del proyecto consiste en la obtención de los focos o zonas de movimientos, los cuales son los responsables del afloramiento de las grietas en las construcciones; pero el encuentro de las zonas conlleva a un trabajo arduo de observación, además de tener las metodologías claras a la hora de la interpretación de grietas.

La importancia de encontrar las zonas o focos, se debe a que se canaliza la procedencia del movimiento, permitiendo dar soluciones más veraces para controlar los daños en las estructuras, con la seguridad que no volverán a aparecer. Lo anterior se debe a que cuando no se conoce la procedencia, se puede llegar a hacer arreglos inadecuados, como son reforzamientos o recimentaciones a elementos sin necesidad.

El trabajo de la identificación del foco o zona de movimiento, se compara con el de un forense, debido a la seriedad en las metodologías y en las tomas de datos; las dos profesiones se comparan básicamente debido a que se exige que las evidencias no sean alteradas u ocultadas; se necesita una evidencia fotográfica, la toma de muestras debe ser con los más altos estándares de calidad para obtener mejores resultados, y se debe analizar el entorno. Aunque las grietas dicen mucho sobre las causas del movimiento, es el conjunto de grietas, más el análisis del entorno lo que permite dar un diagnóstico veraz y con bajas probabilidades de error.

6.1 Recomendaciones previas a las visitas

Antes de cualquier visita se debe hacer una revisión sobre los elementos necesarios para el análisis de discontinuidades; los elementos que se van a mencionar permiten una mejor toma de datos y mediciones fundamentales para el diagnóstico sobre la procedencia del movimiento, contando con diversos materiales y formatos de gran ayuda al momento de la visita.

6.1.1 Cámara fotográfica

La cámara fotográfica es bastante común en nuestro medio, y es uno de los elementos más importantes a la hora de recolectar información, debido a que permite capturar el estado de

un muro o losa en un instante de tiempo, el cual se debe anotar y ubicar en los planos de la vivienda.

Existen diferentes tipos de cámaras, que varían en marca y en mega pixeles (un pixel es la menor unidad homogénea de color que hace parte de una imagen) que pueden ser de 0.5 hasta mayores de 10 mega pixeles, siendo estas últimas bastante costosas, además de ocupar mucha memoria.

Un reto en la toma de fotos a discontinuidades, es cuando se presentan fisuras muy finas con espesores menores a 1 mm y de texturas suaves, debido a que la calidad de las fotos depende del flash, de la iluminación del lugar y de la cantidad de mega pixeles de la cámara, siendo más ineficientes aquellas cámaras con mega pixeles menores de 4 según la marca; por eso se recomienda utilizar una cámara entre 4 y 6 mega pixeles, debido a que dan una mejor calidad de la foto, y los kilobytes (KB) son relativamente bajos para optimizar el manejo de las fotografías a la hora de los análisis e informes.

Se recomienda además de una buena cámara, un buen software para hacer panorámicas tanto verticales como horizontales, debido a que a veces el espacio no permite capturar una buena foto de toda la grieta, entonces se debe hacer tomas individuales para luego unir las por medio del programa.

6.1.2 Elementos de medida

6.1.2.1 Flexómetro o metro convencional

El flexómetro o metro convencional vienen de varias longitudes, en sistema métrico, y con letras de distintos tamaños y colores; lo anterior influye en las visitas, debido a que se necesitan metros relativamente largos, ojala mayores a ocho metros que permitan medir grandes áreas y que sea fácil de leer, pero especialmente que en las fotografías se pueda ver las medidas para escalar. Los metros cumplen básicamente con dos funciones: servir como objeto escalador y para la medición del porcentaje de daños en la estructura, ver sección 3.4.4 Daños según el porcentaje de vivienda afectado.



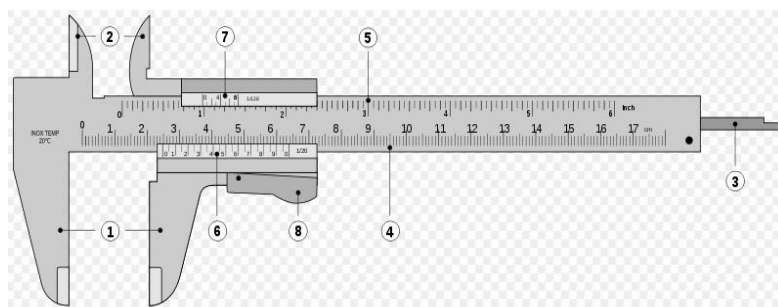
Figura 35: Flexómetro útil a la hora de la toma de datos en las viviendas

Cuando se decide hacer apiques para entender la geología de la zona y encontrar evidencia del movimiento en el suelo, el flexómetro es muy importante para medir la estratigrafía, elementos de la cimentación como: zapatas, vigas, pilas entre otros; además de medir a que profundidad fueron tomadas las muestras para futuros ensayos.

6.1.2.2 Pie de rey

El pie de rey permite tomar medidas con alta precisión y es de fácil uso. Para el caso de las patologías, es utilizado solo para la toma de los espesores de las discontinuidades, debido a que con las mordazas se pueden hacer medidas internas de la grieta, permitiendo hacer control durante el proceso de estudio.

Existe en la actualidad el pie de rey electrónico de altísima precisión, los cuales pueden ser utilizados cuando las grietas son muy pequeñas o los movimientos son muy lentos. A continuación se anexara una imagen del pie de rey con sus partes, Tomado de Wikipedia, Calibre o “pie de rey”, Ver Gráfico 70.



1. Mordazas para medidas externas.
2. Mordazas para medidas internas.
3. Coliza para medida de profundidades.
4. Escala con divisiones en centímetros y milímetros.
5. Escala con divisiones en pulgadas y fracciones de pulgada.
6. Nonio para la lectura de las fracciones de milímetros en que esté dividido.
7. Nonio para la lectura de las fracciones de pulgada en que esté dividido.
8. Botón de deslizamiento y freno.

Gráfico 70: Ilustración de pie de rey con sus partes

Si se cuenta con una tarjeta ranurada o transparente con espesores de grietas en mm que sirva para definir el espesor de las grietas, se sugiere utilizarlos reemplazando el pie de rey

debido a la rapidez y facilidad de lectura; las tarjetas se pueden obtener por medio de cualquier proveedor de productos para el concreto.

6.1.3 Elementos para la anotación y apuntes

Aunque los elementos para la anotación son de fácil obtención, cuando se hacen visitas a lugares lejanos y no se cuenta con los elementos necesarios, puede ser un problema grave debido a que no sería posible plasmar datos de gran importancia, perjudicando gravemente el diagnóstico, obligando a realizar más visitas.

Antes de cualquier salida se sugiere revisar que los siguientes elementos estén a la mano y en buen estado, como son: lápiz o portaminas (con minas), lapicero (ojala de varios colores para identificar las grietas en los planos), hojas y una tabla que permita el apoyo a la hora de la toma de datos.

6.1.4 Formatos y planos

Al momento de hacer cualquier visita, la cantidad información puede ser considerable y captar en una hoja de papel puede ser lento o arduo, por eso se recomienda la utilización de formatos y planos.

6.1.4.1 Formatos

Los formatos son herramientas para la fácil captura de información, especialmente cuando no se cuenta con mucho tiempo o hay mucha información; por eso se elaboró un formato de datos preliminares (Ver Tabla 7.1.1 TOMA DE DATOS PRELIMINARES EN VIVIENDAS CON DISCONTINUIDADES) la cual es de gran ayuda, a la hora de las visitas.

Cuando se vaya a hacer cualquier visita, se recomienda llevar varias copias del formato, por si sucede alguna pérdida o daño, además que se pueden realizar varias visitas en un día.

6.1.4.2 Planos

En la metodología para analizar daños existentes (Ver Sección 3.3.3 Metodología para analizar daños existentes) se sugiere obtener una copia de los mapas de la construcción, y en el caso que no se obtengan, se debe hacer un esquema con la distribución de los muros y del

área. Lo anterior es de gran ayuda debido a que permite entender la magnitud del daño y a ubicar las grietas y fisuras.

Pero definitivamente el plano más importante es el de cimentaciones, debido a que permite entender que tipo de cimentación tiene la edificación (zapatas, pilotes o pilas) y como se encuentran distribuidas en la edificación, siendo el plano con el cual se debe trabajar con más detalle.

También es importante conocer otro tipo de planos como son el hidráulico y el eléctrico, para ver por donde pasan las redes de acueducto, alcantarillado y redes eléctricas, y relacionarlas con la aparición de grietas en las zonas del trazado de las redes.

6.2 Metodología para la obtención de la zona o foco de movimiento

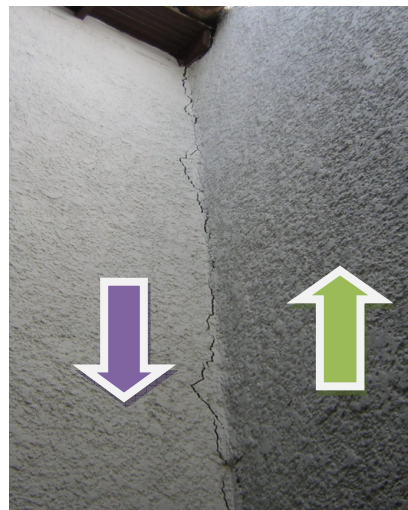
Después de haber seguido las metodologías planteadas, y de conocer los posibles casos para la aparición de grietas en construcciones, llegamos a la parte más importante del trabajo, la cual es la obtención de las zonas o focos de movimiento. Obtener las zonas o focos son el resultado de dos análisis muy importantes: análisis del conjunto de grietas y análisis del comportamiento externo, que no es más que el resultado de todo lo visto durante el proyecto.

Cuando no se analizan los comportamientos del entorno y del conjunto de grietas, además de no conocer el problema geotécnico, se pueden presentar confusiones debido a la semejanza que pueden tener algunas discontinuidades en tendencia y ocurrencia, como se presenta en la figura 36.



Grieta comúnmente presentada, la cual puede aflorar por medio de un asentamiento (Flecha morada) y ser una NDTC, o por medio de una expansión (flecha verde) y ser una RDTC

Grieta presentada en la unión de dos muros por medio de asentamientos (Flecha morada) y ser una NVSC, o ser producto de una expansión (Flecha verde) y ser una RVSC



Grieta presentada en l muros por medio de asentamientos (Flecha morada) y ser una NHSC, o ser producto de una expansión (Flecha verde) y ser una RHSC

Figura 36: Grietas con mismos rasgos pero provocadas por patologías diferentes

En el caso anterior se recomienda nombrar las posibilidades de las grietas según la clasificación de Audell en los planos, y se hace los análisis del entorno y del resto de discontinuidades, para definir la causa geotécnica de la discontinuidad.

6.2.1 Análisis del comportamiento externo

No se pueden aislar los problemas dados en las edificaciones con lo que pasa en el entorno, debido a que se encuentra íntimamente relacionado con el afloramiento; existen excepciones en algunos casos, como son: los problemas de capacidad del suelo debido a errores de cálculo, o por problemas de capacidad dados por sobrecargas (ver Sección

5.2.3 Problemas de capacidad portante en las construcciones).

Antes de cualquier análisis, se deben tener en cuenta tanto el entorno topográfico como geotécnico de la zona, debido a que existen muchos factores que permiten entender de entrada como se afecta la construcción, los cuales son:

- Agrietamientos de taludes aledaños a la vivienda.
- Distorsiones en el asfalto o aceras debido a levantamientos o asentamientos.
- Árboles y torres de energía torcidos.
- Viviendas agrietadas.
- Distorsiones notorias de la estructura.
- Desconfinamiento debido a Cortes aledaños, o efectos erosivos dados por ríos o viento.
- Afloramiento de agua en zonas poco comunes o daños en tuberías cercanas.

Cuando las razones del entorno no es visible, se recurre a los estudios de suelos para entender las propiedades del suelo; si no se hizo algún estudio, se sugiere investigar la microzonificación de la ciudad con respecto a la geología para dar una noción sobre lo ocurrido, además de complementar con apiques, y si es necesario hacer pruebas de laboratorio para conocer la capacidad del suelo.

6.2.1.1 Metodología para el análisis del comportamiento externo

Los siguientes pasos son de gran ayuda a la hora de hacer el recorrido en las zonas aledañas a la construcción agrietada:

- Se debe conocer la geología por medio de las zonificaciones, o consultar a un geólogo o ingeniero que conozca sobre los tipos de suelos cercanos a la construcción.
- Se hace el recorrido alrededor de la vivienda para ver alguna anomalía, identificando grietas en el suelo con mucho cuidado de no confundirlas con grietas de desecación, las cuales se caracterizan porque son erráticas y no tienen ninguna tendencia. Ver Figura 37.

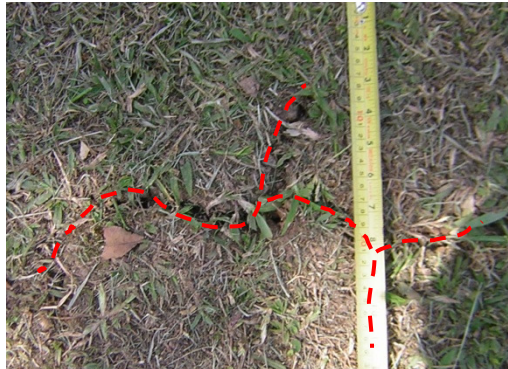


Figura 37: Grietas de desecación en el suelo

- Se analiza la ubicación de la vivienda: si se encuentra sobre llenos, cortes, taludes y zonas aledañas a vías o muros de contención.
- Se hace una investigación detallada del estado de la ubicación de la vivienda, para ver anomalías como: agrietamientos, hundimientos, levantamientos o desplazamientos.
- Si no se encuentra ninguna razón de peso para deducir que tipo de movimiento se presentó en la zona, se busca en la edificación indicios de hundimientos o levantamientos en las losas (cambios abruptos de pendiente), desprendimientos de zócalos y muros levantados. Ver Figura 38.



Figura 38: Desprendimiento de zócalo debido al levantamiento del muro

Los pasos anteriores deben ir documentados con fotografías, anexando la fecha de la toma, para tener control sobre la zona en estudio; si son zonas de alto riesgo y de grandes magnitudes, se sugiere instalar instrumentos como inclinómetros, para que el control se haga de una forma más precisa y se pueda evacuar en caso de detectarse problemas graves.

Lo anterior permite filtrar un poco más las razones de la aparición del movimiento, las cuales con ayuda del análisis del conjunto de grietas permiten definir las razones del daño.

6.2.2 Análisis del conjunto de grietas

En las edificaciones con problemas geotécnicos, es común encontrar varios tipos de grietas en lugares como losas, muros y cubiertas. El número de grietas depende de factores como:

- Dimensión del movimiento.
- Rigidez de la estructura
- Área de influencia del movimiento en la edificación.

Cada una de las grietas o fisuras presentadas tienen una razón, y la labor de la persona encargada del análisis es entender cuales grietas se presentan por el movimiento y cuales por la reacción de la estructura, además de identificar las grietas no geotécnicas (ver Sección 5.2 GRIETAS NO GEOTÉCNICAS). Aunque la clasificación es difícil de hacer en primera instancia, se recomienda seguir la metodología planteada para facilitar la labor.

6.2.2.1 Metodología para el análisis del conjunto de grietas

Después de haber seguido la metodología mostrada en la Sección 3.3.3 Metodología para analizar daños existentes, se sugieren hacer los siguientes pasos para hallar la zona o foco del movimiento. En la metodología podemos entender que por medio de las grietas en los muros se obtiene las zonas o áreas de foco y en las losas se halla la dirección del movimiento.

6.2.2.1.1 Identificación de fuerzas en los muros por medio de la interpretación de grietas

Después de haber localizado cada una de las grietas en el plano se procede a dibujar cada uno de los muros, identificando la fuerza o dirección del movimiento que provocó el afloramiento. Ver Gráfico 71.

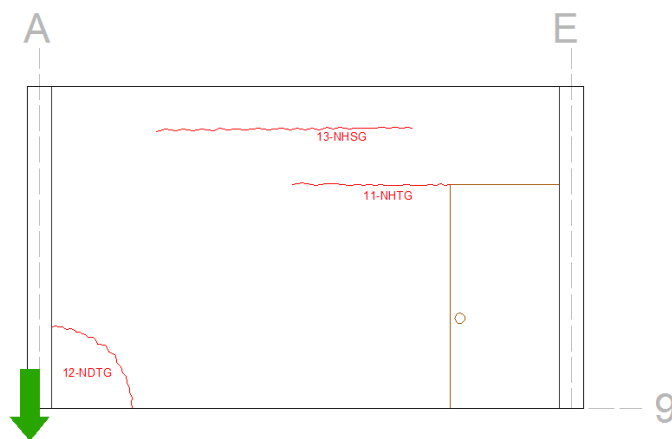


Gráfico 71: Dibujo de grietas en muros para la identificación del movimiento

Los gráficos anteriores son de gran ayuda, debido a que otorga una visión más amplia de las grietas sobre el muro, permitiendo identificar el punto o zona del movimiento.

En el caso de encontrar varias grietas de diferentes tipos se sugiere hacer lo siguiente:

6.2.2.1.1.1 Muros con varias grietas de diferentes rasgos e intensidades

Encontrar varias grietas de diferentes rasgos e intensidades en un mismo muro, es común cuando la magnitud del movimiento varía en una sección del muro, en las cimentaciones o se presentan varios tipos de movimientos en la zona. Para poder evaluar el afloramiento, se debe analizar cada una de las grietas por separado, entendiendo el porqué de la ubicación de cada una de ellas.

Para hacer lo anterior, se hace un esquema del muro identificando cada una de las grietas y columnas, acompañadas de la posible dirección del movimiento que pudo haber producido la discontinuidad, Ver Gráfico 72.

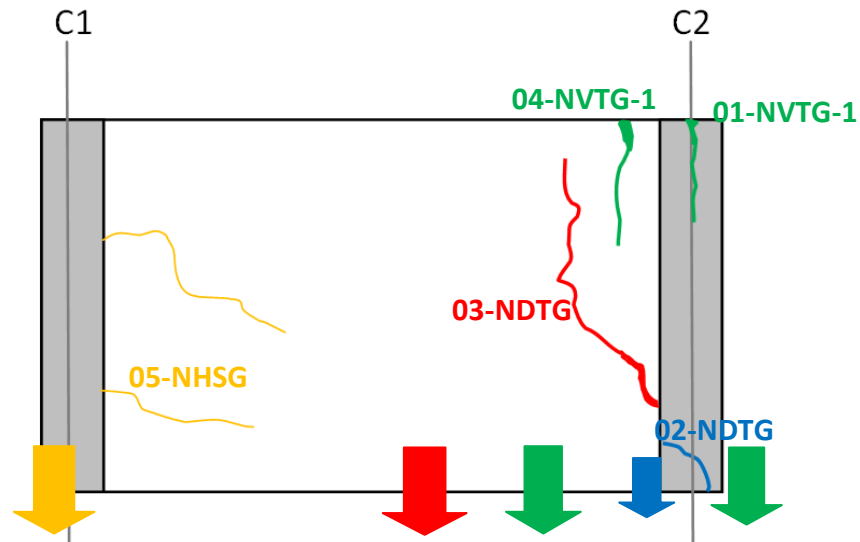


Gráfico 72: Identificación de movimientos en muros con múltiples grietas

Lo importante del gráfico anterior, es entender el porqué de la aparición de las grietas, e identificar qué elemento estructural presenta el movimiento o cuál tiene mayor magnitud.

Un ejemplo claro para identificar el movimiento es analizar la Grieta 04-NVTG-1 representada en el gráfico 72. Según Audell (1996), las grietas verticales se presentan en el centro del muro, debido a que los esfuerzos de tensión se presentan en la parte central superior del muro cuando el asentamiento diferencial de las cimentaciones es uniforme. Ver Gráfico 73

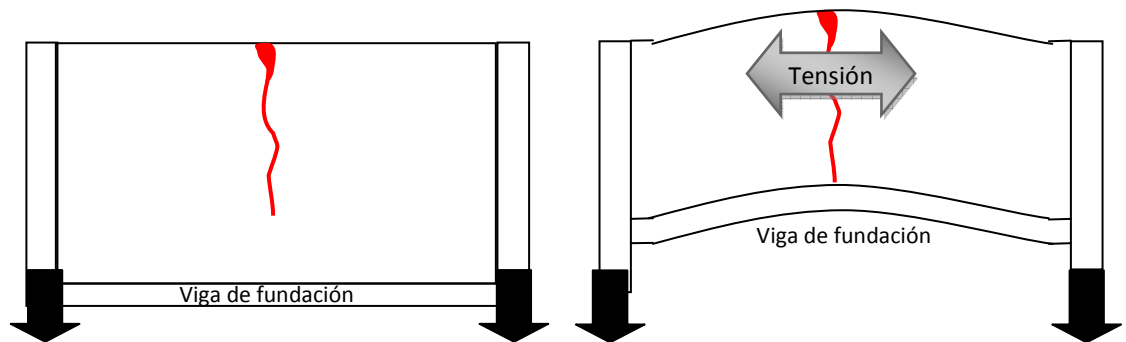


Gráfico 73: análisis de grieta con asentamientos diferenciales iguales

Cuando el asentamiento diferencial de las columnas es diferente, cambia el posicionamiento de la tensión en el muro, trasladando la aparición de la grieta a otro punto; para poder saber

dónde aparecerá la grieta, se debe hacer un análisis sobre la deformación del muro o pórtico en el caso de asentamientos diferenciales diferentes, si el pórtico es lo suficientemente rígido el comportamiento puede ser de la siguiente forma. Ver Gráfico 74.

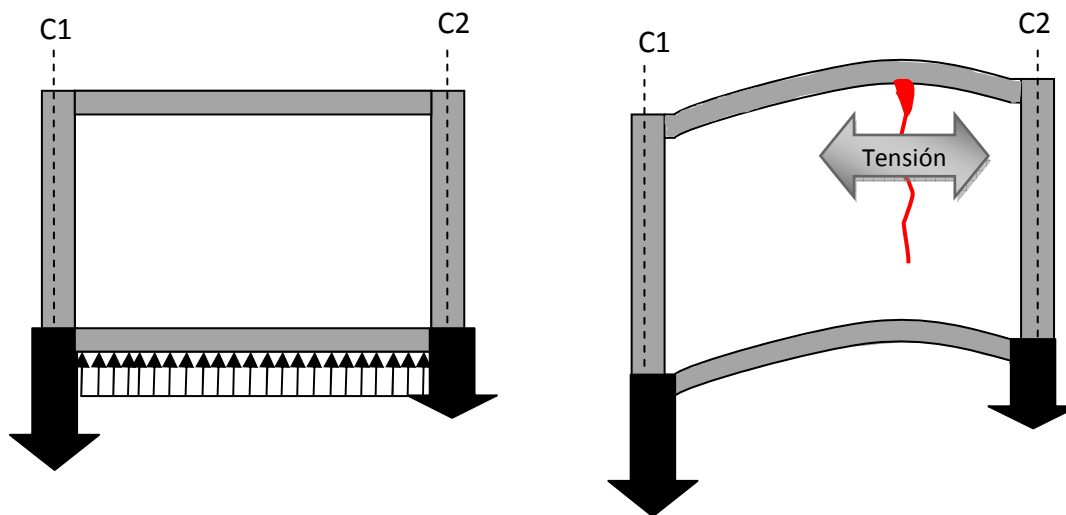


Gráfico 74: análisis de grieta con asentamientos diferenciales diferentes

Del gráfico anterior, se puede inferir que la columna C1 es la que presenta mayores asentamientos, por eso se recomienda que en cada caso de muros con múltiples grietas, se haga un esquema y se analice según el movimiento, donde se concentran los mayores esfuerzos de tensión, debido a que son los que producen la aparición de las grietas.

6.2.2.1.2 Identificación de la zona de movimiento por medio de la intensidad de movimiento en las cimentaciones

Después de haber identificado la procedencia del movimiento y estimar una intensidad relativa según la abertura (entre mayor abertura tenga la discontinuidad, mayor intensidad tiene el movimiento en ese punto), se identifica qué cimentación o zona del muro se afecta, identificándolo con algún color característico según la intensidad y la magnitud de las grietas; aquellas zonas con grietas de gran espesor y con una gran cantidad de cimentaciones afectadas, son las zonas de la construcción donde surge el movimiento, el resto de fisuras y grietas se deben a la reacción ocasionada por la rigidez de la vivienda y por la redistribución de esfuerzos dados en las cimentaciones.

Para identificar la intensidad de movimiento en las cimentaciones, se recomiendan utilizar los siguientes colores para graficarlos en los planos. Ver Gráfico 75.

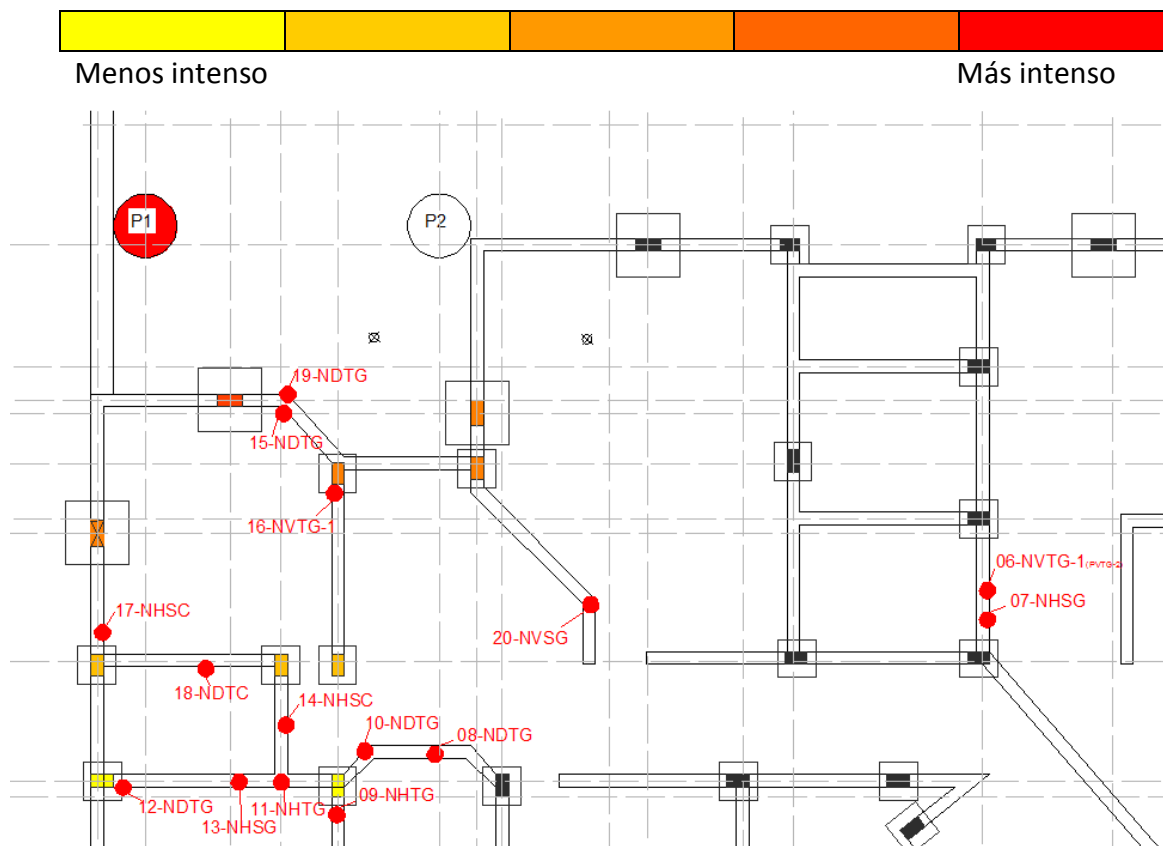


Gráfico 75: Identificación de intensidades de movimientos en las cimentaciones

6.2.2.1.3 Determinación de la posible dirección del movimiento

En el caso anterior se identifica la zona o foco del movimiento, pero la dirección es determinada por las grietas de piso y cubierta. La dirección se obtiene graficando en los planos cada una de las discontinuidades de las losas y cubiertas, acompañadas de una flecha que indique la dirección del movimiento que la ocasionó; al final se grafica una flecha que sea el resultado de todas aquellas direcciones, haciendo una sumatoria normal de vectores, siendo esta flecha la dirección posible del movimiento. Ver Gráfico 76.

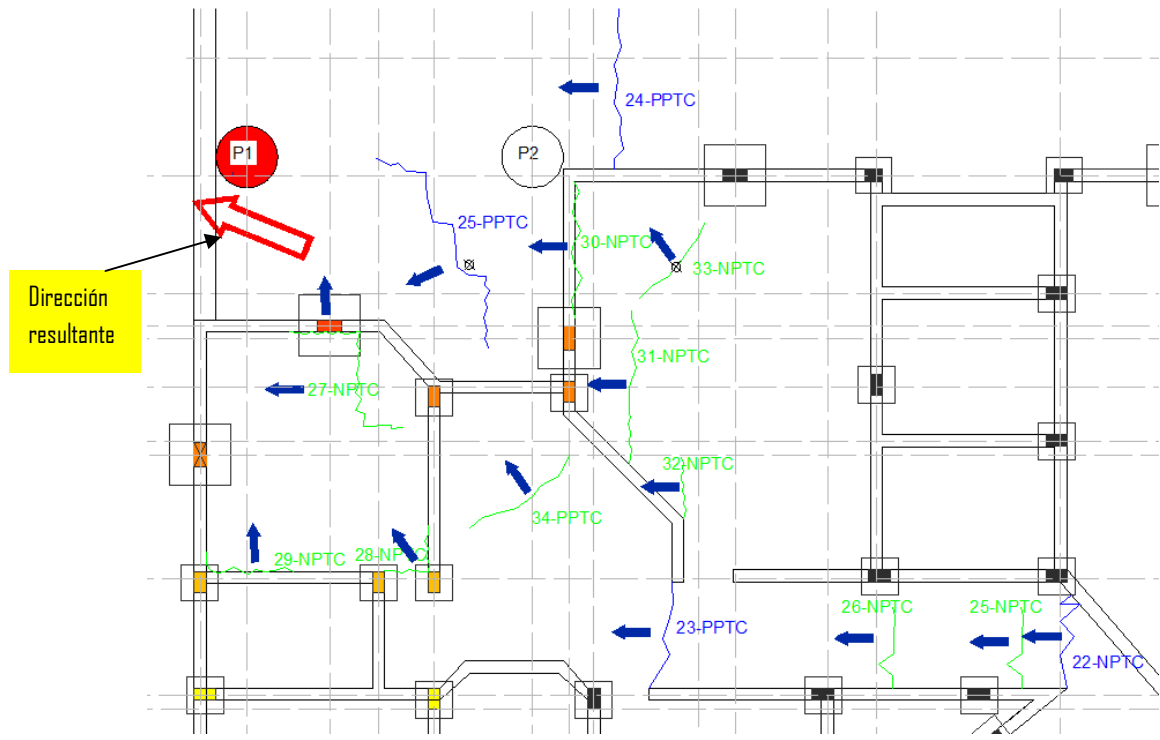


Gráfico 76: Dirección del movimiento dado por las discontinuidades en losas y cubiertas

ANEXOS





- Tablas de ayuda para la toma de datos en viviendas agrietadas
- Estudios hechos con la metodología de análisis de grietas



7.1 TABLAS DE AYUDA PARA TOMAS DE DATOS EN VIVIENDAS AGRIETADAS

Tabla 15: Toma de datos preliminar para visitas a viviendas con problemas de discontinuidades

7.1.1 TOMA DE DATOS PRELIMINARES EN VIVIENDAS CON DISCONTINUIDADES						
Fecha:		Caso N°		Fecha Construcción		
Localización (ciudad, barrio):			Dirección:			
Características de la construcción:						
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas
	Mampostería:			2		Pilas
	Madera:			3		Pilotes
	Concreto:			4		Losa
	Otro:					Vigas de Fund
Profundidad de Cimentación:			Profundidad Nivel freático:			
Factores que afectan la vivienda.						
Deslizamiento:		Características:				
Desconfinamiento :		Características:				
Agua:		Características:				
Cambios de trafico:		Características:				
Otros:		Características:				
Características geológicas de la zona						
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	
	Orgánico		Lleno		Otro	
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada	
	Tipo roca:					
Tomas de fotos						
Fotos:			Área estimada:			
Características de las grietas						
Grietas en muros						
Separación de discontinuidades						
Clasificación	Separación (mm)	Número de grietas		Textura superficial	Muy suave	
Cerrado	0				Suave	
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso	
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso	
Amplio	1,0 - 5,0				Probabilidad de aparición	
Muy amplio	> 5,0			Común		
				Raro		
Tendencia				Dirección de propagación		
Lineal				Descendente		
Moderadamente lineal				Ascendente		
Moderadamente Curvilínea				Lateral		
Curvilínea				Paralela		
Irregular						
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100						

Grietas en losa de piso					
Separación de discontinuidades			Textura superficial	Muy suave	
Clasificación	Separación (mm)	Número de grietas		Suave	
Cerrado	0		Rugoso		
Muy estrecho	0 - 0,5		Muy Rugoso		
Estrecho	0,5 - 1,0		Probabilidad de aparición		
Amplio	1,0 - 5,0		Común		
Muy amplio	> 5,0		Raro		
Tendencia			Dirección de propagación		
Lineal			Interno		
Moderadamente lineal			Externo		
Moderadamente Curvilínea			Paralelo		
Curvilínea					
Irregular					
Estimado porcentual de daños en la losa (# m2 losa agrietada/ # m2 losas totales) x 100					
Observaciones / Anotaciones					
Planos					
<p>Cuando se presente:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  Daños en muros </div> <div style="text-align: center;">  Daños en la losa </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  Muros divisorios o cargueros </div> <div style="text-align: center;">  Columnas en hormigón </div> </div>					

7.1.2 TABLA DE DESCRIPCIÓN DE DISCONTINUIDADES DETALLADA

Tabla 16: Tabla de descripción de discontinuidades detallada

DISCONTINUIDAD	SEPARACIÓN (Tabla 1)			TEXTURA (tabla 2)	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN (Tabla 3 y 4)	TENDENCIA (Tabla 5)	PROBABILIDAD DE APARICION (Tabla 6)	GRADO DE DISCONTINUIDAD (Tabla 7)	CLASE DE PRESIÓN (ver sección 3.2.1.1 - 3)	TIPO DE DAÑO (Ver sección 3.2.1.1- 4)	OBSERVACIONES / UBICACIÓN
	(mm)	Clasificación	Tipo								
MUROS											
LOSAS											
CUBIERTA											

7.2 EJEMPLOS DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DISCONTINUIDADES

Los estudios a continuación, fueron hechos con la metodología explicada en la Sección 3.3.2 Metodología para el analizar daños existentes; el cual fue realizado en todas las casas visitadas para obtener los ejemplos de los análisis de grietas.

Para el proyecto de grado se visitaron 10 viviendas en total en la ciudad de Medellín, de diferentes estratos económicos y de diferentes características constructivas. Las fotografías obtenidas de las visitas fueron utilizadas a lo largo del proyecto debido a la diversidad de casos, como son:

- Daños por vibraciones
- Daños por flujos
- Daños por Expansiones
- Asentamientos
- Caso mixto asentamiento mas flujo
- Desconfinamiento por cortes aladaños

A continuación se anexaran aquellos estudios más relevantes e ilustrativos.

7.2.2 Ejemplo de daños por asentamientos (Caso 1)

7.2.2.1 Ubicación del barrio y descripción del proyecto

Casa ubicada en la ciudad de Medellín construida en el año 1988. La casa consta de 7 subniveles y es de aproximadamente 350 m²; se hizo una ampliación de 40 m² en total distribuidos en dos niveles, la cual es donde se presenta las grietas; las columnas B1 y C1 están puestas sobre pilas de 7 m de profundidad aproximadamente (según la descripción presentada por el dueño). La ampliación no cuenta con estudio de suelos.

Además, la vivienda viene sufriendo de altos problemas de humedad en los sótanos desde hace por lo menos 10 años, debido al mal manejo de las aguas lluvias las cuales se empozan en el sótano, deteriorándolo notoriamente.

7.2.2.2 Descripción de las discontinuidades

La casa presenta agrietamientos en la zona donde se hizo la ampliación, afectando principalmente los muros.

La mayoría de las discontinuidades se debe a esfuerzos de tensión provocados por el asentamiento de la estructura. A continuación se mostrara la ubicación de la discontinuidad en la casa. Ver Gráfico 77.

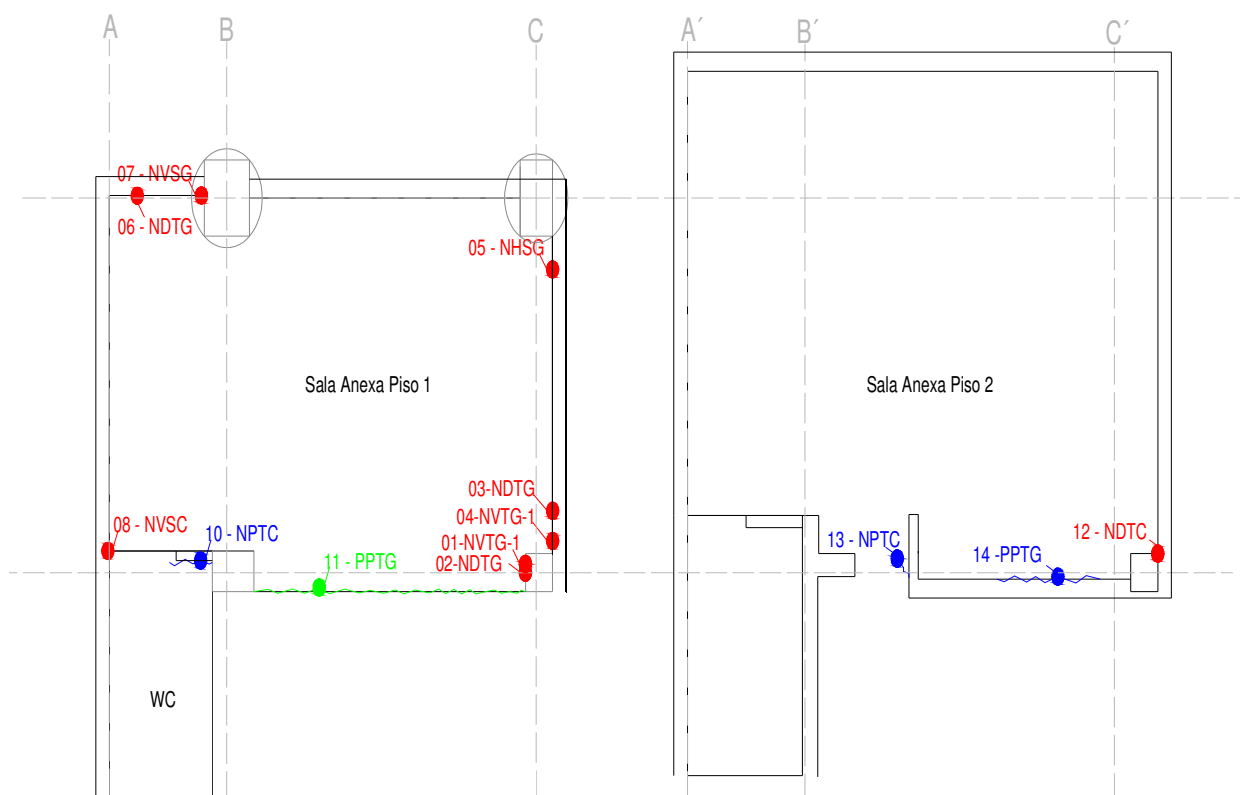


Gráfico 77: Ubicación de grietas asentamiento caso 1

NIVEL 1

MUROS



Figura 39: Discontinuidad 1-NVTG-1 caso 1



Figura 40: Discontinuidad 2-NDTG caso 1

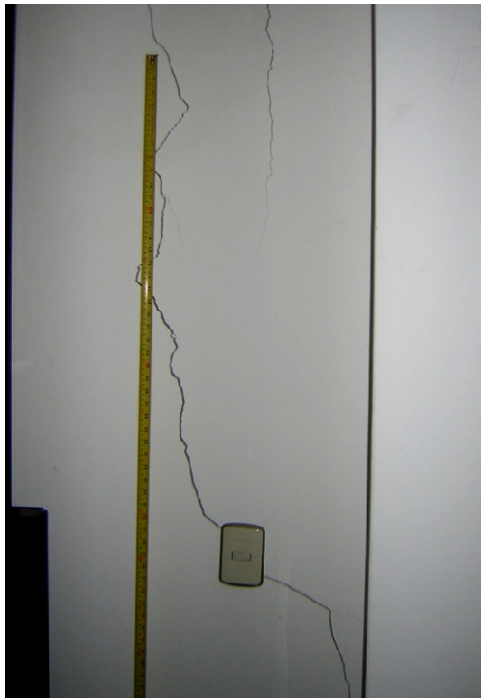


Figura 41: Discontinuidad 3-NDTG caso 1



Figura 42: Discontinuidad 4-NVTG caso 1



Figura 43: Discontinuidad 5-NHSG caso 1



Figura 44: Discontinuidad 6-NDTG caso 1



Figura 45: Discontinuidad 7-NVSV caso 1



Figura 46: Discontinuidad 8-NVSC Y 9-NDTG caso 1

LOSA DE PISO



Figura 47: Discontinuidad 10-NPTG caso 1

CUBIERTA



Figura 48: Discontinuidad 11-PPTG caso 1

NIVEL 2



Figura 49: Discontinuidad 12-NDTC caso



Figura 50: Discontinuidad 13-NPTC losa caso 1



Figura 51: Discontinuidad 1-PPTC losa caso 1

Cada una de estas grietas es descrita detalladamente en los siguientes cuadros.

GRIETAS EN CONSTRUCCIONES OCASIONADAS POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

Tabla 17: Discontinuidades detalladas asentamiento caso 1

DISCONTINUIDAD	SEPARACIÓN			TEXTURA	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	TENDENCIA	PROBABILIDAD DE APARICION	GRADO DE DISCONTINUIDAD	CLASE DE PRESIÓN	TIPO DE DAÑO	OBSERVACIONES / UBICACIÓN
	(mm)	Clasificación	Tipo								
NIVEL 1											
MUROS											
01 - NVTG-1	2.5	AMPLIO	FISURA	Muy Rugosa	Descendente	Moderadamente lineal	Común	Particular	Tensión	Estructural	Grietas ubicadas en la parte superior de la columna 2C.
02 - NDTG	1	AMPLIO	FISURA	Rugoso	Ascendente	Moderadamente curva	Común	Particular	Tensión	Estructural	Grietas ubicadas en la parte inferior de la columna 2C.
03 - NDTG	4	AMPLIO	FISURA	Muy Rugoso	Ascendente	Moderadamente curva	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Grieta ubicadas en muro C(1-2) cercano a la columna C2.
04 - NVTG-1	2	AMPLIO	FISURA	Rugoso	Descendente	Moderadamente lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Grieta ubicadas en muro C(1-2) cercano a la columna C2.
05 - NHSG	0.4	MUY ESTRECHO	FISURA	Suave	Lateral	Moderadamente lineal	Común	Particular	Corte	Arquitectónico	Grieta ubicadas en muro C(1-2) cercano a la columna C1.
06 - NDTG	1	AMPLIO	FISURA	Suave	Lateral	Moderadamente curva	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Grieta ubicadas en muro 1(A-B) cercano a la columna B1.
07 - NVSG	0.4	MUY ESTRECHO	FISURA	Suave	Descendente	Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Grieta ubicadas en muro 1(A-B) cercano a la columna B1.
08 - NVSC	10	MUY AMPLIO	GRIETA	Muy Rugoso	Descendente	Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Grieta ubicadas en muro A(1-2) cercano a la columna Baño.
09- NDTG	2.5	AMPLIO	FISURA	Rugoso	Lateral	Moderadamente curva	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Grieta ubicadas en muro A(1-2) cercano a la columna Baño.
LOSAS											
10 - NPTG	1	AMPLIO	FISURA	Rugoso	Interno	lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la losa del Baño 12 cerca a la columna B2.

GRIETAS EN CONSTRUCCIONES OCASIONADAS POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

CUBIERTA											
11 - PPTG	3	AMPLIO	FISURA	Rugoso	Paralela	Lineal	Raro	Particular	Tensión	Estructural	Fisura presentada en la unión entre la ampliación y la casa anteriormente construida, esta se comporta como un jalón, pero es debido al asentamiento del eje 1.
NIVEL 2											
MUROS											
12 - NDTC	40	MUY AMPLIO	ROTURA	Muy Rugosa	Descendente	Moderadamente curva	Común	Particular	Tensión	Estructural	Grieta ubicada en el muro C'(1-2).
LOSAS											
13 - NPTC	7	MUY AMPLIO	GRIETA	Rugoso	Interno	Moderadamente lineal	Común	Particular	Tensión	Estructural	Fisura presentada en la losa, en la entrada a esta pieza, en la junta entre la ampliación y la zona vieja.
14 - PPTC	10	MUY AMPLIO	GRIETA	Muy Rugosa	Paralela	Lineal	Común	Particular	Tensión	Estructural	Fisura presentada en la junta entre la ampliación y la zona vieja. Esta se comporta como un jalón, pero es debido al asentamiento del eje 1.

7.2.2.3 Análisis de daños:

Daños arquitectónicos: la casa sufre de agrietamientos y fisuramientos en los muros tanto divisorios como en las fachadas, perjudicando el aspecto visual de la casa, debido a que las discontinuidades son bastante notorias, perdiendo toda estética del lugar.

Daños funcionales: las puertas se encuentran colgadas, tanto las de acceso a los baños como las de la entrada al cuarto del segundo piso; además se encuentran grietas muchos mayores de 5 mm en el segundo piso, permitiendo ver hacia el otro lado del muro.

Daños estructurales: se encuentran grietas en la columna C2, como evidencia de cómo ha afectado el movimiento a la estructura; además se encuentran agrietadas las losas en la junta de la ampliación con la casa, mostrando un daño estructural considerable.

6.2.2.4 Análisis de resultados:

Al hacer el análisis de grietas, se puede ver que las columnas B1, C1 y C2 son las que presentan las causas del afloramiento; pero si se analiza por espesor y magnitud, se puede ver que el muro C(1-2) es el más afectado y el más complejo debido a la cantidad de grietas que aparecen en él; Para ello eso se sigue la metodología explicada en la Sección 6.2.2 Análisis del conjunto de grietas, donde se analiza cada una de las grietas, ubicando en el muro la fuerza resultante que ocasionó la discontinuidad; como resultado se obtuvo que la columna C1 es la que presenta mayor movimiento, dibujando las columnas con los colores dados en la sección mencionada anteriormente. Ver Gráfico 78.

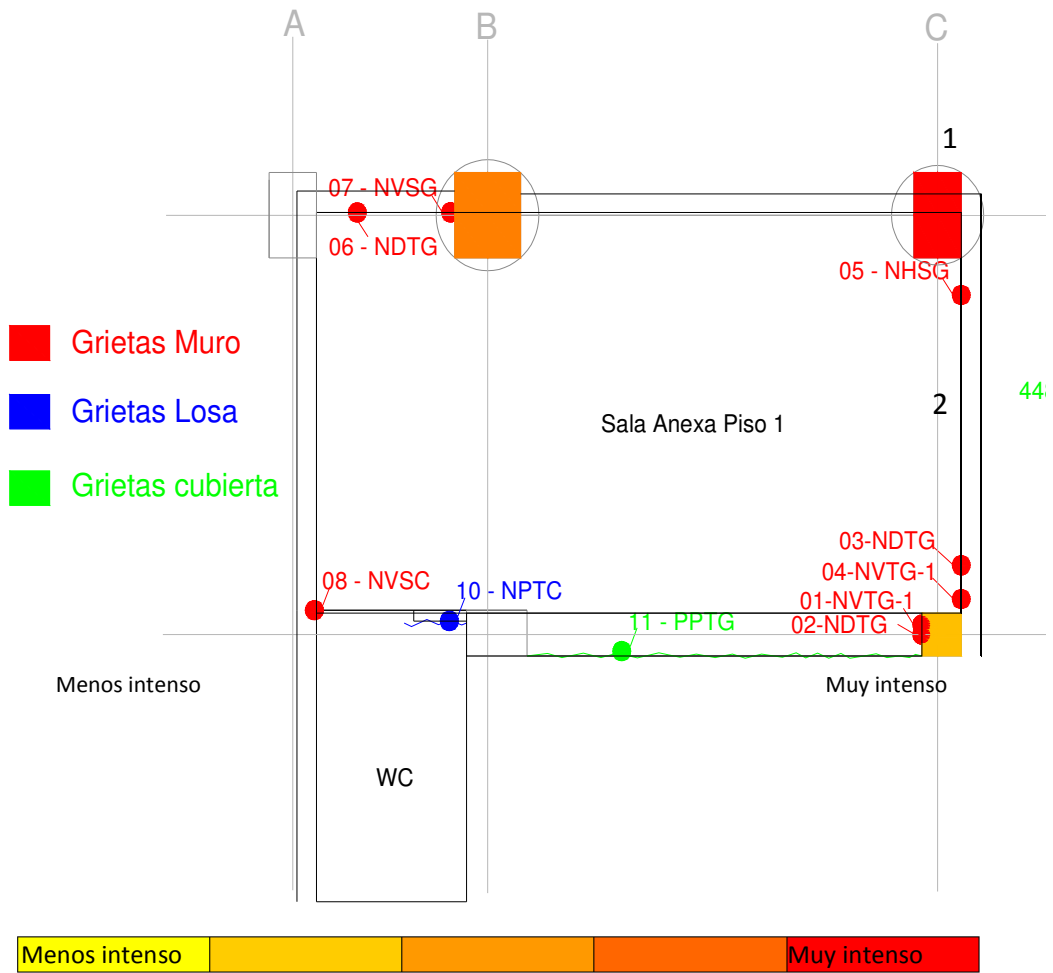


Gráfico 78: Ubicación de grietas e intensidad del movimiento caso 1

7.2.4 Ejemplo de daños por asentamiento (caso 2)

7.2.4.1 Ubicación del barrio y descripción del proyecto

Casa ubicada en la ciudad de Medellín, construida en el año 1995; la casa consta de un solo nivel y es de aproximadamente 420 m²; fue construida sobre zapatas y vigas de fundación, donde se apoyan los muros que cargan directamente la cubierta, la cual en una zona es en teja de barro y en otras son losas.

La casa en sus alrededores cuenta con zonas de alta pendiente, y se encuentra a 35 metros de distancia de la avenida las palmas, la cual entro en total funcionamiento en mayo del 2009.

7.2.4.2 Descripción de las discontinuidades

Según la metodología planteada en el proyecto, se hizo en primera instancia el reconocimiento de las discontinuidades en la vivienda por medio de fotografías, texturas y tamaño de las aberturas, lo cual es de gran ayuda al momento de definir con exactitud que se zona presenta movimiento en la casa.

A continuación se anexara una figura que ilustre la ubicación de las discontinuidades en la casa y una tabla donde se hace la descripción de cada una de ellas. Ver Gráfico 80.

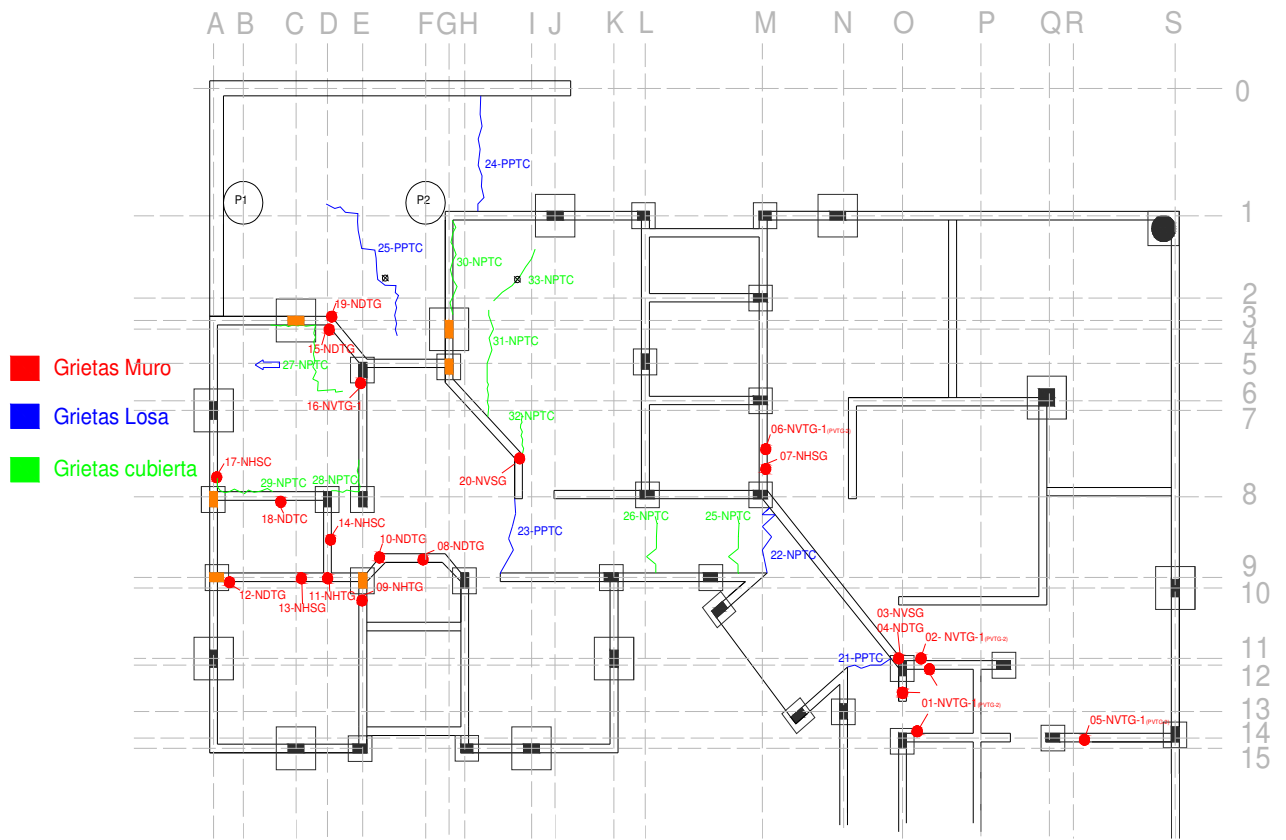


Gráfico 79: Ubicación grietas caso 2

MUROS



Figura 52: Discontinuidad 01-NVTG-1 caso 2



Figura 53: Discontinuidad 02-NVTG-1 caso 2

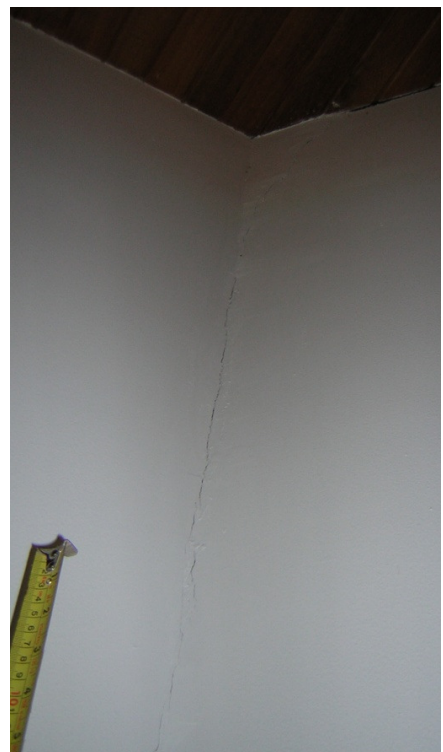


Figura 54: Discontinuidad 03-NVSG caso 2



Figura 55: Discontinuidad 04-NDTG caso 2



Figura 56: Discontinuidad 05-NDTG caso 2



Figura 57: Discontinuidad – NHTC caso 2



Figura 58: Discontinuidad 10 - NDTC caso 2



Figura 59: Discontinuidad – NDTG caso 2



Figura 60: Discontinuidad 12 - NDTG caso 2

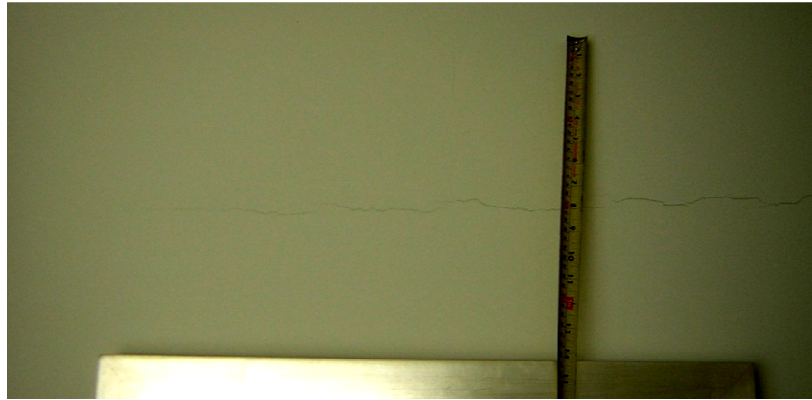


Figura 61: Discontinuidad 13 – NHSG caso 2



Figura 62: Discontinuidad 14 – NHSG caso 2



Figura 63: Discontinuidad 15 – NDTG caso 2 caso 2



Figura 64: Discontinuidad 16 - NVTG-1

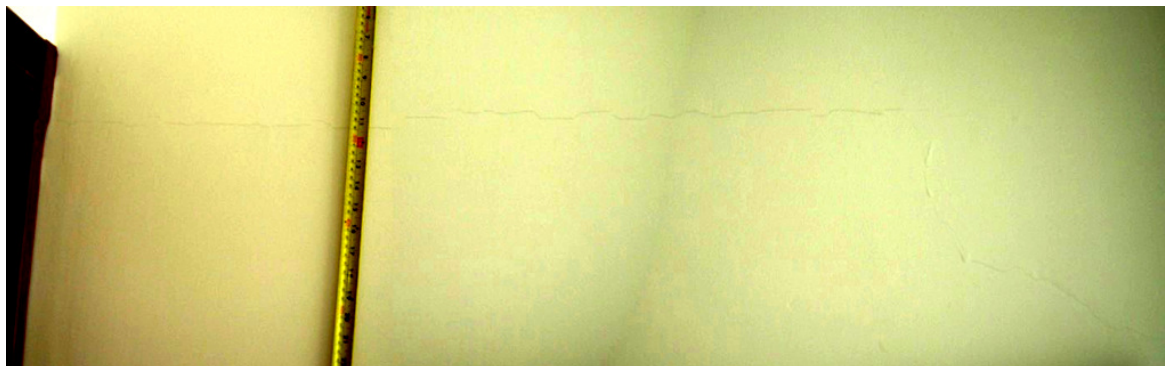


Figura 65: Discontinuidad 17 – NHSG caso 2



Figura 66: Discontinuidad 18 – NDTC caso 2

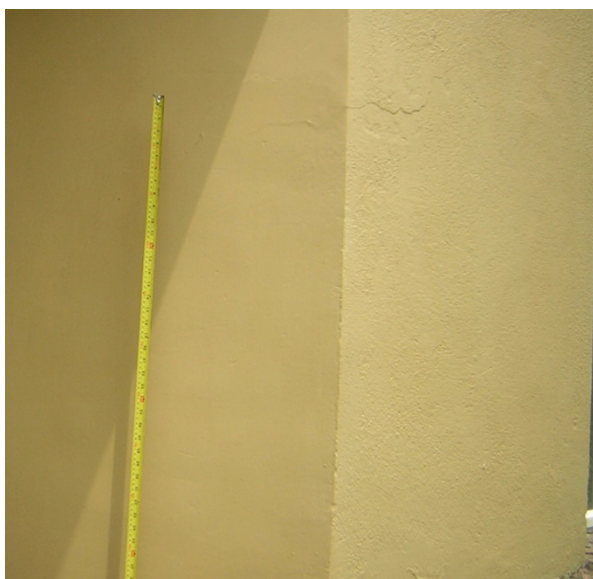


Figura 67: Discontinuidad 19- NDTG caso 2

LOSAS DE PISO



Figura 68: Discontinuidad 21 – PPTC caso 2



Figura 69: Discontinuidad 22 – NPTC caso 2



Figura 70: Discontinuidad 23 – PPTC caso 2



Figura 71: Discontinuidad 24 – PPTC caso 2

CUBIERTA



Figura 72: Discontinuidad 25 – NPTC caso 2



Figura 73: Discontinuidad 27 – NPTC caso 2



Figura 74: Discontinuidad 28 – NPTC caso 2



Figura 75: Discontinuidad 29 – NPTC caso 2



Figura 76: Discontinuidad 30 – NPTC caso 2

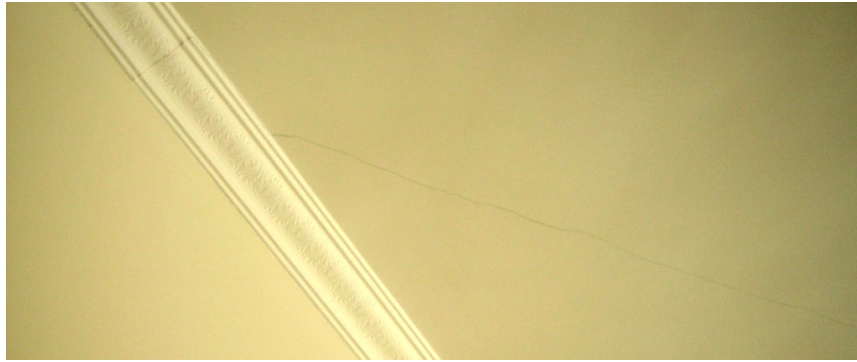


Figura 77: Discontinuidad 31 – NPTC caso 2



Figura 78: Discontinuidad 32 – NPTC caso 2

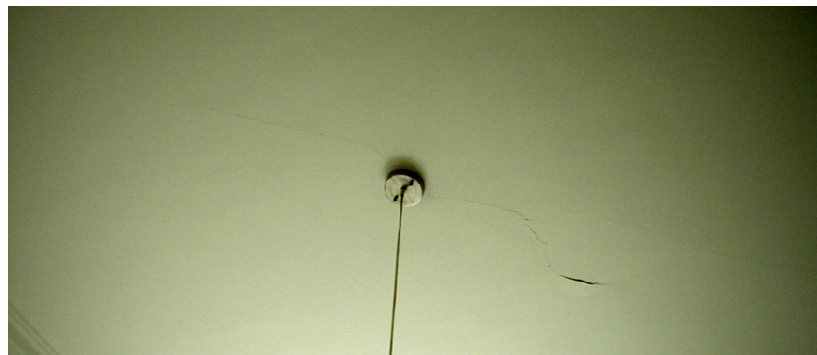


Figura 79: Discontinuidad 33 - NPTC caso 2

Tabla 18: Discontinuidades detalladas asentamiento caso 2

DISCONTINUIDAD	SEPARACIÓN			TEXTURA	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	TENDENCIA	PROBABILIDAD DE APARICION	GRADO DE DISCONTINUIDAD	CLASE DE PRESIÓN	TIPO DE DAÑO	OBSERVACIONES / UBICACIÓN
	(mm)	Clasificación	Tipo								
MUROS											
01 - NVTG-1	1	Amplio	Fisura	Suave	Descendente	Moderadamente Lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Ubicado sobre enchapes del baño social. Fotos (4202-4210 y 4346)
02 - NVTG-1	0.6	Estrecho	Fisura	Muy Suave	Descendente	Moderadamente Lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Muro justo detrás del baño en la sala. Fotos (4211-4214)
03 - NVSG	2	Amplio	Fisura	Rugoso	Descendente	Moderadamente Lineal	Raro	Particular	Corte	Arquitectónico	Ubicado en la intersección del muro de sala entre los ejes 10 y 12. Fotos (4215-4223, 4347-4349)
04 - NDTG	2	Amplio	Fisura	Rugoso	Descendente	Moderadamente curvilínea	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Ubicado en la zona superior de la grieta 03-NVSG en el eje del muro diagonal. Fotos (4215-4223, 4347-4349)
05 - NVTG-1	1	Amplio	Fisura	Suave	Descendente	Moderadamente Lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Ubicado en el muro 14 (Q-S) este se refleja en la zona de la cocina y la sala. Fotos (4224-4228, 4350-4352)
06 - NVTG-1	0.8	Estrecho	Fisura	Suave	Descendente	Moderadamente curvilínea	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en el muro M (6-8). Fotos (4234-4244, 4353-4355)
07 - NHSG	0.4	Muy estrecho	Fisura	Muy suave	Lateral	Moderadamente Lineal	Raro	Particular	Corte	Arquitectónico	Fisura ubicada en el muro M (6-8). Fotos (4234-4244, 4353-4355)
08 - NDTG	0.7	Estrecho	Fisura	Suave	Descendente	Moderadamente curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en el vestuario 9 (E-H). Fotos (4268, 4363-4364)
09 - NHTG	1.2	Amplio	Fisura	Rugoso	Lateral	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en la puerta del vestuario E (10-11). Fotos (4269)
10 - NDTG	1	Amplio	Fisura	Rugoso	lateral	Curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en el hall para entrar a las piezas muro 9 (E-H). Fotos (4270-4273)

GRIETAS EN CONSTRUCCIONES OCASIONADAS POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

11 - NDTG	1	Amplio	Fisura	Suave	Lateral	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en la esquina de la puerta del muro 9 (A-E). Fotos (4274-4282, 4284-4287)
12 - NDTG	0.8	Estrecho	Fisura	Suave	Lateral	Curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en la esquina inferior izquierda del muro 9 (A-E). Fotos (4369-4372)
13 - NHSG	0.6	Estrecho	Fisura	Suave	Lateral	lineal	Común	Particular	Corte	Arquitectónico	Fisura ubicada en el muro 9 (A-E) Fotos (4274-4282, 4284-4287)
14 - NHSG	1	Amplio	Fisura	suave	Lateral	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Corte	Arquitectónico	Fisura ubicada en el muro D (8-9). Fotos (4288-4292)
15 - NDTG	1	Amplio	Fisura	Rugoso	Lateral	Curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en el muro interno D-E (3-5). Fotos (4293-4297, 4374-4377)
16 - NVTG-1	0.5	Estrecho	Fisura	Suave	Descendente	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en la parte superior izquierda del muro E (5-8). Fotos (4298-4300)
17 - NHSG	0.5	Estrecho	Fisura	Muy Suave	Lateral	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Corte	Arquitectónico	Fisura ubicada en el muro colindante a la puerta del baño A(8-9). Fotos (4310-4317)
18 - NDTG	1	Amplio	Fisura	Suave	Lateral	Curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisuras ubicadas en el enchape del baño muro A(8-9). Fotos (4318-4319, 4384-4390)
19 - NDTG	0.8	Estrecho	Fisura	Suave	Lateral	Moderadamente curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura ubicada en el muro exterior 9 (A-E). Fotos (4320-4322)
20 - NVSG	0.5	Estrecho	Fisura	Suave	Descendente	lineal	Común	Particular	Corte	Arquitectónico	Fisura ubicada entre los muros G-I(5-8). Fotos (4400-4407, 4332-4334,4397-4399)
LOSAS											
21 - PPTG	3	Amplio	Fisura	Rugoso	Paralelo	lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la losa en 12 (N-0). Fotos (4229-4233)
22 - NPTG	1	Amplio	Fisura	Suave	Interno	lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la losa en 12 (N-0). Fotos (4249-4253)

GRIETAS EN CONSTRUCCIONES OCASIONADAS POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

23 – PPTG	4	Amplio	Fisura	Rugoso	Paralelo	lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de losa entre H-1 (8-9). Fotos (4259-4267)
24 – PPTG	2	Amplio	Fisura	Rugoso	Paralelo	lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de losa entre H-1 (0-1). Fotos (4408-4415)
24 – PPTG	0.8	Estrecho	Fisura	Suave	Paralelo	Moderadamente curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de losa entre D-F (1-4). Fotos (4416-4424)
CUBIERTA											
25 – NPTG	0.5	Estrecho	Fisura	Suave	Interno	Moderadamente Lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre L-M (8-9). Fotos (4249-4253)
26 – NPTG	1.5	Amplio	Fisura	Rugoso	Interno	Moderadamente Lineal	Raro	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre L-M (8-9). Fotos (4254-4258)
27 – NPTG	3	Amplio	Fisura	Rugoso	Interno	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre C-E (4-6). Fotos (4301, 4304-4306)
28 – NPTG	1	Amplio	Fisura	Rugoso	Interno	Moderadamente curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre D-E (8). Fotos (4303, 4307-4309, 4379-4380)
29 – NPTG	1	Amplio	Fisura	Rugoso	Interno	Moderadamente curvilínea	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre A-D (8). Fotos (4310-4311)
30 – NPTC	5	Muy amplio	Grieta	Rugoso	Interno	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre G (0-5). Fotos (4323,4329-4327.4392-4395)
31 – NPTG	1	Amplio	Fisura	Suave	Interno	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre H-I (3-7). Fotos (4328-4330, 4335)
32 – NPTG	1	Amplio	Fisura	Suave	Interno	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre I (7-8). Fotos (4327-4328)
33 – NPTG	0.6	Estrecho	Fisura	Suave	Interno	Moderadamente Lineal	Común	Particular	Tensión	Arquitectónico	Fisura presentada en la zona de cubierta entre H-I (1-2). Fotos (4338)

7.2.4.5 Análisis de daños:

Daños arquitectónicos: No se encuentran evidencia de daños en la fachada, pero en los cuartos pueden ser bastante notorias las discontinuidades, afectando la arquitectura y la comodidad de los ocupantes de la vivienda.

Daños funcionales: la funcionalidad de la casa se mantiene intacta, solo una puerta presenta una leve dificultad para su abertura; además se hizo una revisión de las redes de acueducto y alcantarillado por medio de cámaras y no se presenta ningún escape, solo una pequeña desviación que no representa ningún problema. En algunas cubiertas se encuentran goteras debido al movimiento pero no son significativas.

Daños estructurales: los daños estructurales en el momento de las visitas no son significativos y no representan un peligro inmediato para las personas que residen en la vivienda, pero se debe tener un especial cuidado y control a la velocidad del movimiento, debido a que si se sobrepasa los valores dados en la tabla 10, se debe proceder a hacer una reestructuración o un desalojo en peor instancia.

7.2.4.6 Análisis de resultados

La determinación de la zona o foco del movimiento se hace por medio del procedimiento planteado en la sección 6.2 Metodología para la obtención de la zona o foco de movimiento, donde se encontró que la zona de movimiento es la (A-I)(0-10), donde además se hace un estimado de las cimentaciones que presentan mayores movimientos, Ver Gráfico 81. El resto de las discontinuidades son presentadas debido a la reacción de la estructura al movimiento, resultando fisuramientos y grietas muy parecidas a las ocasionadas en una reptación o jalón.

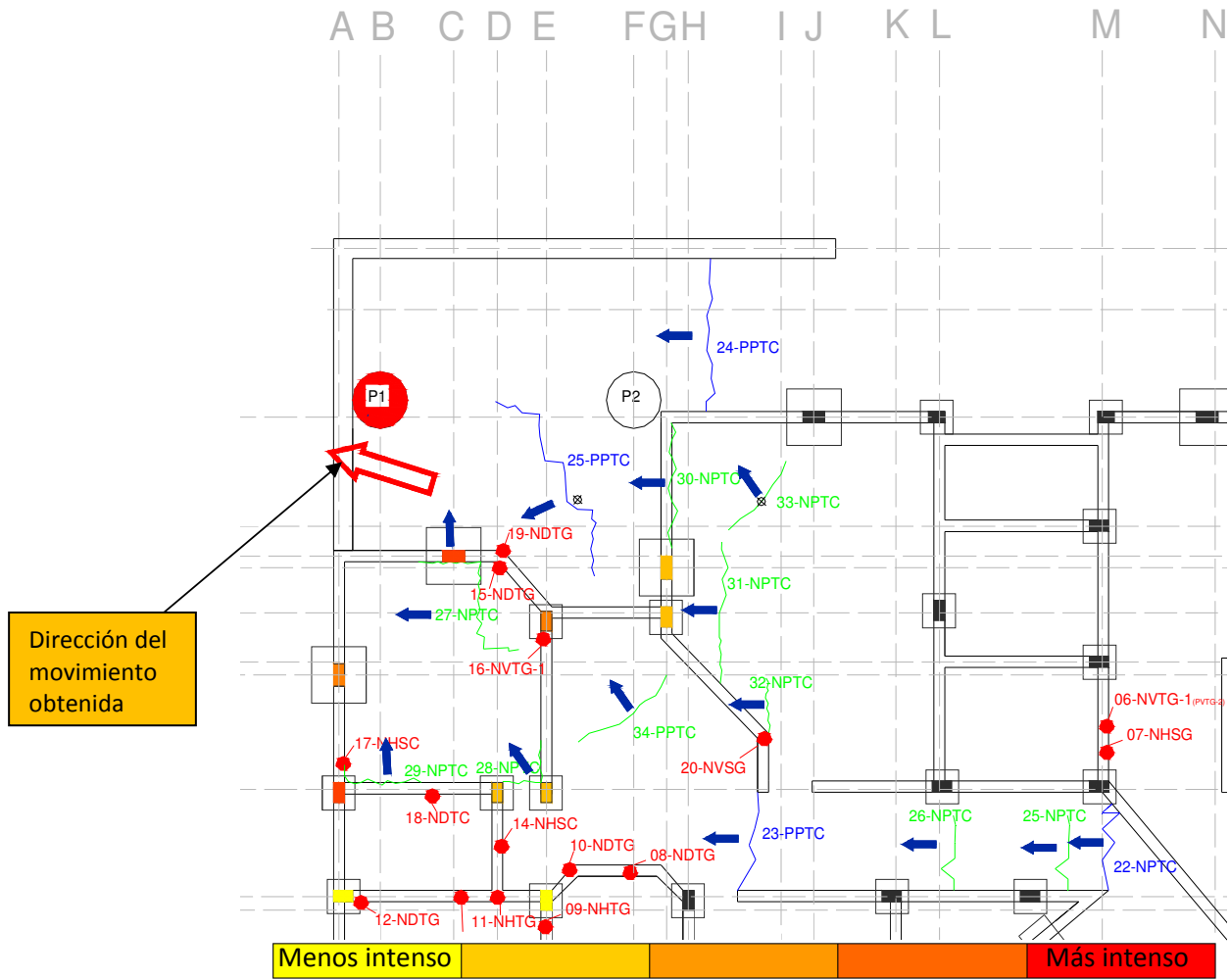


Gráfico 80: Dirección del movimiento e intensidad de movimiento caso 2

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSIONES, SUGERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA



8.1 CONCLUSIONES

- La clasificación de grieta o fisura, depende de la magnitud del movimiento o de la poca capacidad de soportar eventos de carga de un elemento, siendo el espesor el punto clave para hacer la descripción de la discontinuidad.
- Las grietas tienen características únicas como son: textura, tendencia, ocurrencia y orientación; por eso la clasificación según Audell, 1996, es muy importante debido a que permite nombrar las grietas, teniendo en cuenta todas las características, y permite canalizar el análisis para la identificación del movimiento.
- La identificación del esfuerzo máximo en los elementos es de vital importancia para determinar los movimientos que provocaron la aparición de las grietas, pero la identificación del esfuerzo máximo se ve distorsionado por la variable anisotrópica del material, debido a que altera la localización y características de la discontinuidad.
- La distorsión angular, es una herramienta que permite calcular la relación de los asentamientos en una estructura respecto a la luz que los separa; los valores obtenidos dan nociones sobre el daño provocado en las estructuras. La distorsión angular es una herramienta de diseño, debido a que permite determinar valores de asentamientos admisibles, considerando los mínimos efectos de daños en la estructura.
- La aparición de grietas en las edificaciones, se debe a una redistribución de esfuerzos en el material cuando se presenta una distorsión dada por un movimiento cualquiera. La distorsión provoca dos tipos de esfuerzo: los de compresión y los de tracción, con resultado de una aparición de grietas en la zona de tracción, debido a que los materiales trabajan en menor medida a este tipo de esfuerzo.
- El abatimiento del nivel freático en cualquier suelo, influye en un aumento de $10^{kN/m^2}$, del valor dado por los esfuerzos efectivos; lo cual se refleja en asentamientos en los estratos donde se disminuyó el nivel del agua, afectando las estructuras ubicadas en el área de influencia del movimiento.

- La identificación del foco o zona de movimiento se ve afectada por: las propiedades de los materiales con los que se construyó, la calidad del diseño estructural y las dimensiones del movimiento; si las propiedades de los materiales son bajas, aparecerán una gran cantidad de grietas y fisuras cuando se presenten movimientos leves; si la calidad del diseño estructural es de baja calidad y el amarre de la estructura es poca, entonces se van a encontrar una gran variabilidad de zonas afectadas distorsionando el diagnóstico; si la dimensión del movimiento es muy grande, y afecta a toda la edificación más sus alrededores, encontrar un foco o zona no es posible, entonces, se requiere hacer un estudio más profundo del entorno.
- La variabilidad de las propiedades de los muros y losas, también llamado anisotropía, es un factor muy importante a la hora del análisis de la aparición de grietas, debido a que se forman planos débiles en los elementos que permiten el fácil desarrollo de las discontinuidades; algunas razones para la variabilidad de las propiedades en los muros y losas de piso se deben a: variabilidad de los materiales de pega y elementos como adobes, malos procesos constructivos y juntas inducidas por redes de energía o acueducto.
- Las causas geotécnicas que afectan en mayor medida a las edificaciones son: llenos mal compactados, taludes con problemas de estabilidad, excavaciones vecinas, construcción de túneles, suelos colapsables, vibraciones, suelos expansivos, reptaciones, desconfinamiento de rocas, flujos de lodos y escombros, movimientos traslacionales y sismos.
- La ocurrencia de discontinuidades depende del tipo de movimiento, de la anisotropía de material y del elemento afectado; en el caso de muros, depende de los vanos en este; si tiene puertas y ventanas las grietas tienden a aparecer sobre ellos, debido a que presentan un punto débil sobre el muro. Si por el contrario no tiene vanos, las grietas aparecen sobre los diferentes tipos de secciones según el movimiento; en el caso de losas, las grietas aparecen la mayoría de veces de forma perpendicular al movimiento, y se concentran en el centro o extremos de la losa según la magnitud del movimiento; a veces se encuentran grietas en forma de domo debido a movimientos muy puntales en la losa.
- Los movimientos que provocan agrietamientos en la estructura son: horizontales o en el eje x, que se refiere básicamente a reptaciones, desconfinamiento de rocas o suelo,

excavaciones vecinas, entre otras; las grietas en los muros se identifican por ser horizontales cuando se mueven en uno o varios ejes de la estructura, o son verticales cuando se mueve un solo punto del pórtico. Movimientos verticales o en el eje y, que se refieren a asentamientos y expansiones básicamente, las grietas se identifican por ser diagonales con un ángulo de 45° , y pueden ser horizontales debido a la existencia de planos débiles entre los muros y la estructura, o simplemente a la anisotropía del material; por último, los giros que se refieren a la combinación entre movimientos horizontales y verticales, los cuales varían según la magnitud de las componentes del movimiento.

- La clasificación de Audell (1996) ha caracterizado 25 tipos de grietas, las cuales 17 son en muros y 8 son en losas, para los diferentes tipos de movimientos y esfuerzos; además se identifica de forma muy clara, las características, ocurrencias, causa geotécnica y grietas relacionadas para cada una de las discontinuidades, siendo un elemento muy importante a la hora de hacer los análisis de daños en estructuras.

8.2 SUGERENCIAS

Vibraciones por cambios en el tráfico

Los retiros de las edificaciones respecto a las vías establecidos por la ley, están definidos por cada POT de la ciudad o municipio, los cuales varían según el tipo vía (primaria, secundaria o terciaria); pero el problema no trasciende en que haya diferencias en las zonas del país, sino que los retiros son exclusivamente pensados para futuras ampliaciones y no se considera el efecto del tráfico en las vibraciones y en los daños ocasionados por ellos.

Por lo tanto se recomienda hacer estudios sobre los efectos de las vibraciones en las edificaciones, cuantificando cuanto deben ser los retiros mínimos para los diferentes suelos y cimentaciones, donde las vibraciones no tengan un efecto negativo. Para el caso de zonas ya construidas con retiros mínimos y altas vibraciones, se recomienda que exista una restricción para el paso de vehículos pesados y de transporte público de carga alta.

Problemas de capacidad admisible en estructuras.

Antes de cualquier ampliación en las edificaciones, se recomienda asesorarse con ingeniero civil con énfasis en estructuras y con un ingeniero de suelos, para hacer los tratamientos necesarios para adaptar la estructura y el suelo a las nuevas cargas, debido al riesgo que puede provocar a los inquilinos el aumento de la carga en la estabilidad de la edificación.

Recomendaciones sobre la persona encargada del análisis.

Las personas encargadas del análisis de grietas en construcciones, deben tener conocimientos sobre la relación suelo estructura, sobre la mecánica de suelos y sobre el diseño de cimentaciones, muros de contención y cualquier obra geotécnica; debido a que tiene mayores criterios para analizar las razones del movimiento, pero primordialmente porque puede dar soluciones acertadas para mitigar o controlar los efectos negativos sobre la estructura.

Recomendaciones sobre la construcción de edificaciones sobre taludes.

Para la construcción de edificaciones sobre taludes, sea cual sea la cimentación, se recomienda hacer análisis de estabilidad, por varios métodos entre ellos Bishop modificado,

Fellenius, Janbu y Morgenstern-Price, y así identificar las dimensiones del talud que sean seguras para la edificación. Además se recomienda consultar con el ingeniero de suelo los tratamientos que se deben dar al talud para evitar cambios bruscos de las propiedades con el tiempo, debido a que pueden prevenir futuras fallas y movimientos.

Análisis del conjunto de grietas.

Se recomienda que para cada caso de muros con múltiples grietas, se haga un esquema y se analice según el movimiento, donde se concentra los mayores esfuerzos a tensión, debido a que son los que provocan la aparición de las grietas.

Recomendaciones posteriores al encuentro de la zona o foco de movimiento.

Después de haber encontrado la zona o foco de movimiento con su respectiva dirección, se recomienda realizar apiques o perforaciones según el tipo de movimiento en la zona anteriormente obtenida, debido a que permite visualizar las verdaderas razones del movimiento al conocer el tipo de suelo, además de permitir la toma de muestras para obtener las propiedades mecánicas del suelo para determinar la dinámica del movimiento y para recimentar o implementar las correcciones pertinentes.

Recomendaciones para estudios futuros.

Se sugiere que para los próximos estudios sobre el análisis de grietas, se complemente en mayor medida con los estudios estructurales, debido a que permiten cuantificar la magnitud de daño y riesgo en términos de la pérdida real de la capacidad estructural, diferenciando los materiales y métodos constructivos.

Además otro estudio importante es el del análisis del comportamiento de los distintos tipos de cimentaciones (zapatas, pilas, pilotes, cimentaciones combinadas) respecto a las causas geotécnicas mencionadas en el trabajo y la influencia en la aparición de grietas y fisuras.

8.3 BIBLIOGRAFÍA

DAY, Robert W. (1998). Discussion of ground – Movement – Related Building Damage. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 5, pp. 462 – 465

_____. (1999). *Forensic Geotechnical and Foundation Engineering*. New York, editorial McGraw – Hill.

SON, Moorak Y CORDING, Edward J. (2005). Estimation of Building Damage Due to Excavation – Induced Ground Movements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 27, No. 2, pp.162 – 177

_____. (2007). Evaluation of Building Stiffness for Building Response Analysis to Excavation – induced Ground Movements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.12, pp. 995 – 1002

OSORIO M, Rodrigo Iván y SIERRA L, Gloria María. (2008). Construcciones en Zonas Geológicamente Inestables: *Colapso de una Vivienda en la Vía Medellín – Santa Elena*. REVISTA Universidad EAFIT, Vol. 44, No. 149, pp. 88 – 108

AUDELL, H. S. (1996). “Geotechnical nomenclature and classification system for crack patterns in buildings”, Journal of environmental and engineering geosciences, 2 (II). Dana Point, pp. 225-248

BOSCARDIN, M. D y CORDING, E. J. (1989). Building Response to Excavation – Induce Settlement. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 115, No 1, pp. 1 -21

ATTEWELL y TAYLOR. (1984). Ground Movement and their Effects on Structures. Londres, editorial Surrey University Press.

SERRANO A, Francisco. (2005). *Patología de la Edificación: El lenguaje de las grietas*, tercera edición. Madrid, Fundación Escuela de la Edificación.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. (2009). Deslizamientos: Análisis geotécnico, Division de publicaciones UIS, Vol.1

JIMENEZ SALAS, José A. (1981). Geotecnia y cimientos, Tomo 3.Madrid, Editorial rueda, primera parte, pág. 918.

OSORIO M, Rodrigo Iván. (2009). Notas de clase: Estabilidad de Taludes, Universidad EAFIT.

SKEMPTON, A. W. y D. H. MACDONALD. (1956). The allowable settlement of buildings, The institution of Civil Engineers, 5 (III). Londres, pp. 727-768.

BROMHEAD, E. N. (1984). Ground movements and their effects on structures [Slopes and embankments (Capítulo 3)]. Londres: Surrey University Press.

FELD, J. y K.L. CARPER. (1997). Construction Failure (2° Ed). New York: John Wiley and Sons.

Mega pixeles. <http://es.wikipedia.org/wiki/Megapixels>

Sismos. <http://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto>