

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Desempeño en obras de muros tipo electro panel en condición confinada

Trabajo Final de Graduación

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Mariana Rojas Fernández

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Comité de asesores

Robert Anglin Fonseca

Director: Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc

Alejandro Navas Carro

Asesor: Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc

Erick Mata Abdelnour

Asesor: Ing. Erick Mata Abdelnour, PhD

Mariana Rojas

Estudiante: Mariana Rojas Fernández

Derechos de propiedad intelectual

Fecha: 2021, agosto, 19.

La suscrita, Mariana Rojas Fernández, cédula 1-1595-0855, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B36060, manifiesta que es autor (a) del Proyecto Final de Graduación: **Desempeño en obras de muros tipo electro panel en condición confinada**, bajo la Dirección del Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo de la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Agradecimientos

Gracias a Dios por guiarme, amarme, cuidarme, llevarme de su mano y no dejarme caer nunca.

A mami, gracias por ser mi razón de luchar, mis ganas de salir adelante, mi mayor orgullo y motor, por siempre dar todo y más para poder traerme hasta aquí. Te amo con todo mi corazón.

A papi, por darme todo el apoyo que necesité para lograr esta meta tan importante. Nunca voy a poder agradecerte por llevarme hasta este momento. Te amo.

A mis hermanos, Silvia y Manrique, por ser mis mejores amigos, impulsarme a siempre dar lo mejor, creer en mí y apoyarme con todo.

A Tita, por creer en mí como nadie, por siempre estar de mi lado y luchar por mi bienestar, te extraño.

Al resto de mi familia, que siempre movieron cielo y tierra para apoyarme, este logro es tanto mío como de ustedes.

A Nati, mi incondicional, por siempre estar orgullosa de mí y ser mi mayor ejemplo de resiliencia.

A todos mis compañeros de carrera, por llevarme a dar más de lo que alguna vez pensé que podía, les deseo lo mejor para el resto de sus vidas.

A mi director Robert Anglin, por tenerme toda la paciencia del mundo y siempre estar dispuesto a ayudarme para sacar este proyecto adelante.

Dedicatoria

Tita, ya soy ingeniera. No hay día que no te extrañe. Te amo.

Rojas Fernández, Mariana.

Desempeño en obras de muros tipo electro panel en condición confinada.

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.

M.Rojas F., 2021

xii, 86,[0]h; ils.col. – 41 refs.

RESUMEN

Según se ha utilizado más el sistema constructivo de paredes tipo electro panel, se ha observado la aparición de un problema de agrietamiento al colocarse en condición confinada. El objetivo de esta investigación fue estudiar y documentar el agrietamiento en muros tipo emparedado utilizados como cerramiento no estructural, mediante la observación de casos de aplicación, con el fin de estimar su incidencia, periodo de aparición y proponer hipótesis sobre sus posibles causas.

Se visitaron doce proyectos donde se instalaron paredes tipo emparedado como cerramiento liviano y se presentó el problema de fisuras. Los objetos visitados se localizaron en cuatro provincias del país, caracterizadas con condiciones climáticas diferentes. Añadido a esto, se definen características acerca del sistema estructural de unión, el tipo de mortero utilizado como acabado y la distribución entre paredes internas/externas dentro de la edificación, para cada uno de los doce objetos, las cuales se consideraron relevantes para el estudio de la patología de fisuras. A partir del levantamiento de campo, se llevó a cabo la tipificación de daños que permitió evidenciar el problema de agrietamiento de los muros. Considerando tanto las variables y la tipificación realizada, se presentó una serie de cinco hipótesis de causas del problema de fisuras y cinco medidas de mitigación.

Finalmente, se recomendó al fabricante, hacer una exhaustiva revisión de los manuales técnicos de instalación de los electro paneles, incluir el diseño de juntas flexibles entre elementos de concreto y los paneles y describir un procedimiento de curado explícito para las capas de mortero de acabado. Asimismo, se recomendó a la Universidad de Costa Rica, generar modelos de experimentación en laboratorio que permitan verificar la validez de las causales de agrietamiento y promover las medidas de mitigación propuestas.

Palabras claves: paredes tipo electro panel, estudio cualitativo, patología de fisuras en mortero, tipificación, causales de agrietamiento, medidas de mitigación.

Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc – Director del proyecto

Escuela de Ingeniería Civil

Tabla de contenidos

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Justificación	1
1.1.1	Problema específico.....	1
1.1.2	Importancia	2
1.1.3	Antecedentes teóricos y prácticos del problema.....	3
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo general.....	4
1.2.2	Objetivos específicos	4
1.3	Delimitación del problema.....	4
1.3.1	Alcance	4
1.3.2	Limitaciones.....	5
1.4	Metodología	6
1.4.1	Fase teórica	6
1.4.2	Fase práctica	7
1.4.3	Fase de análisis.....	7
2	MARCO TEÓRICO	8
2.1	Introducción al sistema de pared tipo emparedado.....	8
2.2	Componentes del sistema constructivo tipo emparedado.....	9
2.2.1	Panel electro soldado	9
2.2.2	Varillas de anclaje (#3)	13
2.2.3	Mortero	14
2.2.4	Accesorios	14
2.3	Caracterización del sistema constructivo tipo emparedado.....	17
2.3.1	Anclaje	18
2.3.2	Colocación y unión de paneles	21
2.3.3	Instalaciones electromecánicas.....	23
2.3.4	Refuerzo de buques de ventanas y puertas	25
2.3.5	Acabado	25
2.4	Descripción del sistema no estructural en una edificación	26
2.5	Marcos rígidos y unión al sistema de electro paneles	28

2.5.1	Unión fija soldada	29
2.5.2	Unión fija adhesiva.....	29
2.6	Fisuras típicas en mortero de repello	29
2.6.1	Fisura por sobrecarga	29
2.6.2	Fisura por contracción de secado.....	31
2.6.3	Código Sísmico de Costa Rica (CSCR-10).....	32
3	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	34
3.1	Descripción general de los objetos de estudio	34
3.1.1	Ubicación geográfica	34
3.2	Tipificación de daños encontrados en campo	35
3.2.1	Fisura de separación vertical entre panel y sistema estructural (PE).....	37
3.2.2	Fisura a 45° desde unión con sistema estructural (45E)	43
3.2.3	Fisura horizontal desde unión con sistema estructural (HE)	45
3.2.4	Fisura a 45° desde buques o conexiones electromecánicas (45B).....	50
3.2.5	Fisura vertical (V).....	53
3.2.6	Fisura en cruz (C).....	59
3.2.7	Fisura de unión entre paneles (SP)	61
3.3	Variables de los objetos de estudio	66
3.3.1	Temperatura ambiental	66
3.3.2	Tipo de sistema estructural	70
3.3.3	Forma de colocación y tipo de mortero	71
3.3.4	Ubicación del panel dentro de la edificación	72
3.3.5	Proceso constructivo.....	73
4	HIPÓTESIS DE CAUSALES DE AGRIETAMIENTO Y MECANISMOS DE MITIGACIÓN	77
4.1	Hipótesis sobre posibles causales de agrietamiento	77
4.1.1	Contracción por secado	77
4.1.2	Concentración y transmisión de esfuerzos en unión entre sistemas	78
4.1.3	Concentración de esfuerzos por recorte de secciones.....	79
4.1.4	Tensiones en la superficie del panel.....	79
4.1.5	Acabado prematuro o exceso de acabado	80
4.2	Mecanismos de mitigación y reparación de daños	80
4.2.1	Juntas flexibles	80
4.2.2	Precauciones sobre condiciones climáticas	81
4.2.3	Determinar un procedimiento de curado explícito	81

4.2.4	Alineamiento de elementos de acero	81
4.2.5	Hacer una revisión práctica del procedimiento de instalación del sistema de paredes tipo emparedado	82
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
5.1	Conclusiones	83
5.2	Recomendaciones	85
6	FUENTES DE INFORMACIÓN	87

Tabla de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología del trabajo final de graduación	6
Figura 2. Configuración típica de núcleo de estereofón y escalerilla de alambre	9
Figura 3. Dimensiones típicas de electro panel	10
Figura 4. Configuración de acero para panel de 3"	12
Figura 5. Indicación sobre configuración de electro panel según CSCR-10	13
Figura 6. Varilla #3 para anclaje	14
Figura 7. Malla de unión típica para sistema tipo emparedado	15
Figura 8. Malla esquinera típica para sistema tipo emparedado	16
Figura 9. Malla zigzag típica de sistema tipo emparedado	16
Figura 10. Recibidor de cortante	17
Figura 11. Distancia de anclaje en fundación para pared tipo emparedado	18
Figura 12. Diagrama de colocación intercalada de varilla para anclaje de muro no estructural	19
Figura 13. Eliminación de EPS para colocar anclajes a fundación	19
Figura 14. Unión estructura metálica-panel y mampostería-panel	20
Figura 15. Diagrama de unión entre paneles	22
Figura 16. Diagrama de unión en esquina y en cruz	23
Figura 17. Diagrama de unión en T y en ángulo	23
Figura 18. Diagrama de instalaciones eléctricas	24
Figura 19. Diagrama de conexiones mecánicas en pared tipo electro panel	24
Figura 20. Diagrama de refuerzo para buque de ventana en pared tipo electro panel	25
Figura 21. Ejemplo de fisura por sobrecarga	30
Figura 22. Ejemplo de fisura por contracción por secado	31
Figura 23. Detalle de fundación para paredes tipo emparedado según CSCR-10	32
Figura 24. Ubicación geográfica de los doce objetos en estudio	35
Figura . Daños según tipificación	36
Figura 26. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo PE	37
Figura 27. Muestra 1 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio	38
Figura 28. Muestra 2 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio	39
Figura 29. Muestra 3 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio	40
Figura 30. Muestra 4 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio	41
Figura 31. Muestra 5 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio	42
Figura 32. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo 45E	43
Figura 33. Muestra 2 de daño tipo 45E dentro de los objetos de estudio	44

Figura 34. Muestra 1 de daño tipo 45E dentro de los objetos de estudio _____	45
Figura 35. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo HE _____	46
Figura 36. Muestra 1 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio _____	47
Figura 37. Muestra 2 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio _____	47
Figura 38. Muestra 3 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio _____	48
Figura 39. Muestra 4 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio _____	49
Figura 40. Muestra 5 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio _____	50
Figura 41. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo 45B _____	51
Figura 42. Muestra 1 de daño tipo 45B dentro de los objetos de estudio _____	52
Figura 43. Muestra 2 de daño tipo 45B dentro de los objetos de estudio _____	53
Figura 44. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo V _____	54
Figura 45. Muestra 1 de daño tipo V dentro de los objetos de estudio _____	55
Figura 46. Muestra 2 de daño tipo V dentro de los objetos de estudio _____	56
Figura 47. Muestra 3 de daño tipo V dentro de los objetos de estudio _____	57
Figura 48. Muestra 4 de daño tipo V dentro de los objetos de estudio _____	58
Figura 49. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo C _____	59
Figura 50. Muestra 1 de daño tipo C dentro de los objetos de estudio _____	60
Figura 51. Muestra 2 de daño tipo C dentro de los objetos de estudio _____	61
Figura 52. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo SP _____	62
Figura 53. Muestra 1 de daño tipo SP dentro de los objetos de estudio _____	63
Figura 54. Muestra 2 de daño tipo SP dentro de los objetos de estudio _____	64
Figura 55. Distribución de tipos de daños dentro de la muestra en estudio _____	65
Figura 56. Mapa de temperatura mínima media anual _____	67
Figura 57. Mapa de temperatura media anual _____	67
Figura 58. Mapa de temperatura máxima media anual _____	68
Figura 59. Temperatura mínima media anual promedio según cantidad de fisuras en los objetos de estudio _____	69
Figura 60. Temperatura media anual promedio según cantidad de fisuras en los objetos de estudio _____	69
Figura 61. Temperatura máxima anual promedio según cantidad de fisuras en los objetos de estudio _____	70
Figura 62. Distribución de paredes internas/externas según cantidad de fisuras _____	73
Figura 63. Ejemplo 1 de instalación incorrecta de paredes tipo electro panel _____	74
Figura 64. Ejemplo 2 de instalación incorrecta de paredes tipo electro panel _____	75
Figura 65. Ejemplo 3 de instalación incorrecta de paredes tipo electro panel _____	76

Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Características técnicas de las mallas electro soldadas _____	11
Cuadro 2. Frecuencia de aparición de daños dentro de la muestra en estudio _____	65
Cuadro 3. Rango de cantidad de fisuras y objetos dentro de cada rango _____	66
Cuadro 4. Sistema estructural asociado a cada uno de los objetos dentro de la muestra en estudio _____	71
Cuadro 5. Distribución de tipos de mortero utilizados en cada uno de los objetos de estudio _____	72

1 INTRODUCCIÓN

El capítulo introductorio pretende dar una noción general de lo que se estudió a lo largo de esta investigación, donde se expondrá el problema enfrentado con el desempeño de las paredes tipo electro panel como cerramiento liviano, el alcance y las limitaciones, así como los objetivos, el marco teórico que sustenta la investigación y, por último, la metodología que se siguió para el cumplimiento de los objetivos.

1.1 Justificación

1.1.1 Problema específico

A nivel nacional existe una preferencia hacia el uso de sistemas constructivos más pesados y menos industrializados (concreto colado y mampostería) sobre los livianos. Tradicionalmente, se ha utilizado la mampostería como sistema constructivo predominante, no sólo por ser un método que estimula el desarrollo económico al emplear mano de obra de distintas zonas del país, sino porque los usuarios consideran este método como el de mayor resistencia sísmica, durabilidad y confianza en general (Cesín, 2005).

Sin embargo, este y otros sistemas constructivos tradicionales no conforman la única opción para llevar a cabo el cerramiento de estructuras tanto de forma estructural como no estructural, en el mercado costarricense. A partir de los años 90, se empezaron a utilizar con más frecuencia los materiales laminares livianos tales como láminas de cemento, yeso, entre otros. No obstante, debido a la alta actividad sísmica, condiciones climáticas, temas de seguridad, entre otros, estos sistemas livianos normalmente no se escogen sobre los sistemas tradicionales. Sin embargo, llevar a cabo el estudio de desempeño de estos sistemas livianos permite tener una mejor noción acerca de las posibilidades constructivas que estos ofrecen y así poder llegar a ser cada vez más utilizados por el gremio de la construcción.

A raíz de esto, las empresas fabricantes de sistemas constructivos de electro paneles o paredes tipo emparedado, reconocen que el reto más grande ha sido erradicar el pensamiento de que los sistemas convencionales son la mejor opción para la construcción. Tanto los usuarios como los contratistas han cuestionado el beneficio y la seguridad del sistema constructivo liviano, debido a la percepción de falta de propiedades mecánicas, capacidad

sismo resistente y durabilidad que estos puedan ofrecer. Dada la situación anterior, la inserción del uso de paredes tipo emparedado en el mercado nacional ha resultado dificultoso.

Sumado a lo descrito anteriormente, se han encontrado instalaciones de paredes tipo emparedado con una serie de agrietamientos donde se ubican las uniones con su respectivo marco de soporte, lo cual genera desconfianza por parte de los clientes y usuarios dado que, la percepción que existe sobre este sistema los lleva a pensar que puede haber una afectación estructural importante cuando se presentan estas fisuras, aunque se desconozca si efectivamente existes daños estructurales en la edificación.

A partir de la preocupación anterior, en el presente Trabajo Final de Graduación se llevó a cabo un estudio de desempeño de paredes tipo emparedado en obras construidas, con el fin de documentar la aparición de agrietamientos, así como generar hipótesis sobre las posibles causantes de estos daños, con el fin de proveer, a fabricantes y clientes, información acerca de la patología de este problema.

1.1.2 Importancia

A partir de los años noventa, empezaron a desarrollarse tecnologías y materiales innovadores que ofrecen soluciones a problemas de costo, tiempos constructivos e impacto ambiental asociados a los sistemas constructivos tradicionales. Hoy en día se puede encontrar una amplia variedad de sistemas constructivos livianos, entre ellos los de paredes tipo emparedado. Este sistema cuenta con diferentes ventajas constructivas sobre los sistemas sólidos tradicionales como lo son la flexibilidad en el diseño, simplicidad y rapidez de instalación, durabilidad, calidad de aislamiento termo-acústico, entre otros (Pérez, 2017).

A pesar de los beneficios mencionados en el párrafo anterior, el sistema de paredes tipo emparedado no suele ser la opción más frecuentada por el gremio de la construcción para cerramientos livianos. Lo anterior puede ser el resultado de una falta de investigación acerca del comportamiento del mismo. Buscando ampliar este conocimiento, proveedores de este sistema en el país han encontrado que en proyectos donde se han instalado estas paredes, se presentan fisuras en el mortero de repello que se utiliza para dar el acabado que estas requieren.

Tomando en cuenta este problema de fisuras y la necesidad de tener una mejor noción acerca del desempeño de este sistema, se plantea la importancia de la presente investigación. Al llevar a cabo un estudio que permita conocer la frecuencia de incidencia de estas fisuras, se

pueden formular posibles causales de agrietamiento y, por ende, proponer medidas de mitigación para el problema en estudio.

Asimismo, este trabajo tendrá la función de ser utilizado como base para futuras investigaciones en las que se consideren los factores de influencia de aparición de fisuras y estos puedan ser comprobados mediante ensayos de laboratorio. Añadido a esto, se pretende hacer sugerencias sobre el proceso de instalación del sistema constructivo, diseño de uniones, proceso de inspección, entre otros, con el fin de que se evalúe la posibilidad de hacer cambios que puedan llevar a mitigar la aparición de estos daños.

1.1.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema

En la Sección 17 del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR, 2010) se establece el proceso constructivo que se debe llevar a cabo para la instalación del sistema de pared tipo emparedado. Además, indica específicamente como se deben confeccionar las uniones entre paneles y entre el panel y el marco de cerramiento que se vaya a utilizar, así como el refuerzo de acero necesario en las esquinas de marcos de puertas y ventanas.

En el trabajo de graduación "Comparación de cerramientos no estructurales en edificios iguales o menores a cuatro pisos" elaborado por Guerrero 2009, se analizó el sistema de paredes tipo emparedado como cerramiento no estructural, tomando como parámetros su velocidad de instalación, costos de materiales y mano de obra, resistencia al fuego y aislamiento termo-acústico y generación de desechos, con el fin de poder compararlos con otros tipos de cerramiento y concluir sobre cuál representa la mejor opción en cada una de las rúbricas mencionadas.

No se cuenta con otros trabajos o proyectos finales de graduación que estudien específicamente la aparición de grietas en paredes tipo emparedado ni la posible causal de este comportamiento.

1.2 Objetivos

A partir del problema específico y la importancia que se mencionaron anteriormente, en la siguiente sección se plantea el objetivo general, así como los objetivos específicos que orientaron esta investigación.

1.2.1 Objetivo general

Estudiar y documentar el agrietamiento en muros tipo emparedado utilizados como cerramiento no estructural mediante la observación de casos de aplicación, con el fin de estimar su incidencia, periodo de aparición y proponer hipótesis sobre sus posibles causas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Documentar distintos tipos de agrietamiento en paredes tipo emparedado utilizadas como cerramiento liviano.
- Categorizar los tipos de agrietamiento según sus características y tiempo e incidencia de aparición.
- Documentar de forma teórica el comportamiento de la interacción estructura-panel.
- Plantear posibles hipótesis y mecanismos de prevención de agrietamiento que sirvan como base para futuros estudios de laboratorio.

1.3 Delimitación del problema

En la siguiente sección se definieron los dos conceptos que delimitan el problema de esta investigación: el alcance y las limitaciones.

1.3.1 Alcance

Esta investigación se enfocó en visitar doce proyectos donde se instalaron paredes tipo emparedado como cerramiento y donde se pudiera identificar el problema de fisuras que se mencionó en la Sección 1.1.2. Los proyectos visitados contaron con una edad constructiva variable, donde unos se encontraban en construcción, mientras otros se encontraban terminados y habitados.

Añadido a esto, se visitaron objetos ubicados en diferentes provincias del país, con características climáticas distintas entre sí, con el objetivo de tomar en cuenta este factor para el análisis del problema de fisuras. También, se obtuvo información tanto de la ubicación espacial de los paneles dentro de la edificación como del tipo de mortero que se utilizó para dar acabado a las mismas.

Tomando en cuenta los doce proyectos visitados y las fisuras encontradas en campo, se realizó una tipificación cualitativa de estos daños. Añadido a esto, se determinaron rangos de cantidad de fisuras por proyecto, los cuales permitieron relacionar las posibles causales de agrietamiento propuestas con la cantidad de fisuras encontradas por proyecto.

Finalmente, se proponen medidas de mitigación a partir de los posibles factores de influencia en la aparición de fisuras. Es importante mencionar que a lo largo de esta investigación no se llevaron a cabo análisis estructurales ni pruebas de laboratorio.

1.3.2 Limitaciones

Inicialmente, se estudió el sistema constructivo de un proveedor únicamente, por lo que no se puede comparar el comportamiento del sistema entre diferentes proveedores. Añadido a esto, el mortero que se utilizó en todos los proyectos es de la misma marca, por lo que no se puede llevar a cabo la comparación con otros productos cementicios. Además, el mortero se aplicó de forma lanzada con máquina, por lo que tampoco se puede inferir acerca de la influencia de la forma de aplicación del mismo en la aparición de fisuras.

Seguidamente, dos factores fueron de muy influyentes durante la exploración de los edificios a la hora de las visitas: la edad de la construcción y las políticas administrativas de los edificios por la emergencia nacional por COVID-19. Debido a que los proyectos residenciales se encontraban habitados a la hora de las visitas, no se pudo hacer la exploración de las paredes por el lado que se encuentra dentro de las viviendas. Por esta misma razón no se pudo inferir acerca de las prácticas constructivas de los proyectos habitados, dado que no se pueden alterar para hacer exploraciones. Añadido a esto, en ninguno de los edificios no se permitió visitar la totalidad de la estructura, con el fin de evitar el tránsito por áreas comunes y el posible contacto con otros inquilinos, lo cual podría haber puesto en riesgo la salud de ambas partes.

Finalmente, no se pudo concluir acerca de la influencia del tipo de sistema estructural de cada uno de los edificios ya que, la solicitud de planos a las empresas constructoras se realizó, mas no hubo una respuesta a tiempo para llevar a cabo el análisis.

1.4 Metodología

Con el fin de poder alcanzar los objetivos planteados en la investigación, la metodología que se siguió se muestra en la Figura 1, la cual se divide en tres etapas. La etapa inicial consistió en una fase teórica en la que se llevó a cabo una investigación bibliográfica, la segunda etapa abarcó toda la fase de observación y recopilación del proyecto y, por último, en la tercera fase se llevó a cabo el análisis de los resultados que se obtuvieron en la segunda fase, así como la conclusiones y recomendaciones finales.

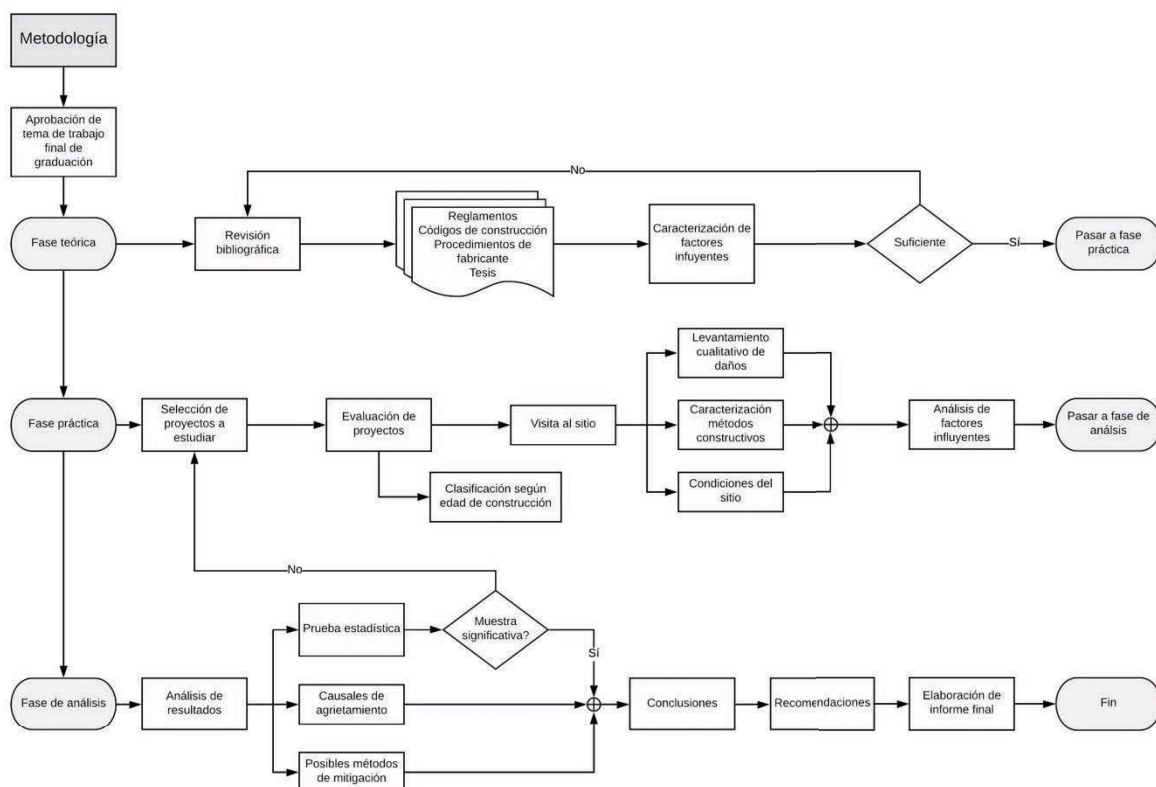


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología del trabajo final de graduación

1.4.1 Fase teórica

En esta primera fase se realizó una investigación sobre tesis, procedimientos del fabricante, documentos internacionales, normativa nacional y códigos de construcción pertinente, entre otros. Lo anterior se consultó con el fin de recopilar información acerca del método constructivo a analizar, el comportamiento que este presenta al utilizarse como cerramiento no estructural, factores que influyen en la aparición de grietas, entre otros.

Algunas fuentes de consulta preliminares son las siguientes:

- Proyectos de graduación de la Universidad de Costa Rica
- Código Sísmico de Costa Rica 2010
- Publicaciones de universidades internacionales
- Manuales e informes técnicos sobre el muro tipo emparedado

Una vez que se llevó a cabo esta recopilación bibliográfica y se consideró que esta fue suficiente, se continuó hacia la fase práctica.

1.4.2 Fase práctica

Con la información obtenida en la fase teórica, se pudo llevar a cabo la selección de los proyectos a estudiar, donde se destaca que estos debieron presentar paredes tipo emparedado como cerramiento liviano.

Para la tipificación de daños, se realizaron visitas a doce proyectos, donde se recolectó información de campo acerca de las condiciones climáticas, ubicación de los paneles dentro de la edificación, prácticas constructivas durante la instalación de los paneles, entre otros factores relevantes.

1.4.3 Fase de análisis

Como última fase se llevó a cabo el análisis de los resultados obtenidos en las fases anteriores, tanto de la información teórica como de lo encontrado durante la intervención a proyectos. Se logró hacer una tipificación de los daños encontrados, así como los posibles factores que podrían incluir en la aparición de daños. Además, se formularon varias hipótesis que podrían explicar la patología de las fisuras. Añadido a esto, se propusieron algunos métodos de mitigación para los tipos de fisuras y factores mencionados anteriormente.

Por último, se redactó el documento escrito, incluyendo las conclusiones finales relacionadas con el análisis de los resultados y la investigación bibliográfica y se presentaron recomendaciones para futuras investigaciones y usos de este documento.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción al sistema de pared tipo emparedado

En el año 1977, en la Universidad de Berkeley, California, Estados Unidos se crea el sistema de muros estructurales aislantes, el cual nace a partir de la necesidad de encontrar un sistema que cumpliera con estándares técnicos necesarios para ser utilizado en construcción, teniendo en cuenta la zona sísmica en la que este se fuese a instalar. En Costa Rica, desde 1990, empezaron a surgir empresas encargadas de la fabricación, comercialización e instalación de este tipo de paneles, replicando el diseño original bajo normas internacionales dictadas por la matriz estadounidense, la cual asegura calidad en su confección. La empresa Multidisciplinas S.A fue de las primeras en traer este sistema al país.

El muro tipo emparedado consiste en una estructura tridimensional hecha a partir de alambre galvanizado calibre No.14. Este es formado por pequeñas columnas verticales (escalerillas) de cerchas tipo Warren, las cuales son unidas por alambres horizontales del mismo calibre para formar una sola estructura con dos caras exteriores. Dentro de estas dos caras se colocan tiras de poliestireno expandido (EPS) con el fin de brindar impermeabilidad, resistencia sísmica y aislamiento termo-acústico.

El diseño de triangulación interior permite una transmisión de cargas de manera uniforme, logrando que ambas caras del panel trabajen en forma conjunta. Resultado de los tensores diagonales se obtiene un panel con una alta rigidez y capacidad de respuesta a diferentes esfuerzos y cargas a los que sean sometidos. Gracias a sus características mecánicas, el sistema constructivo tipo emparedado permite la construcción de muros, losas, entresijos, cerramientos livianos, escaleras, entre otros elementos.

Dependiendo de la funcionalidad final a la que se destine, se puede trabajar con dos tipos de panel: estructural y semi estructural. La principal diferencia entre ellos se encuentra en la densidad de acero presente en su configuración, donde el estructural posee una separación entre escalerillas de 5 cm mientras que en el semi estructural se encuentran separadas 10 cm. Una mayor densidad de acero permite que el panel soporte mayores cargas axiales, dando una mayor rigidez al sistema.

Algunas características que hacen que este sistema constructivo destaque sobre otros sistemas livianos son: la configuración del panel elimina el uso de formaleta durante todos los procesos de su instalación; lo cual permite que su instalación sea de gran rapidez. Al poseer pesos bajos, sus componentes son de fácil traslado y almacenamiento, además representan

una transmisión de carga baja a los cimientos, en comparación con los sistemas constructivos tradicionales. Añadido a esto, dado que los paneles son fáciles de cortar y moldear, esto permite que el sistema se moldee de cualquier forma deseada, dando flexibilidad al diseño arquitectónico de la estructura.

2.2 Componentes del sistema constructivo tipo emparedado

2.2.1 Panel electro soldado

Los paneles electro soldados para la construcción de paredes tipo emparedado se comercializan normalmente en dimensiones de 1,22 m por 2,44 m. Estos se componen principalmente de un núcleo de poliestireno expandido (EPS) y una estructura tridimensional tipo cerchas de acero galvanizado embebido entre este núcleo. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 2.

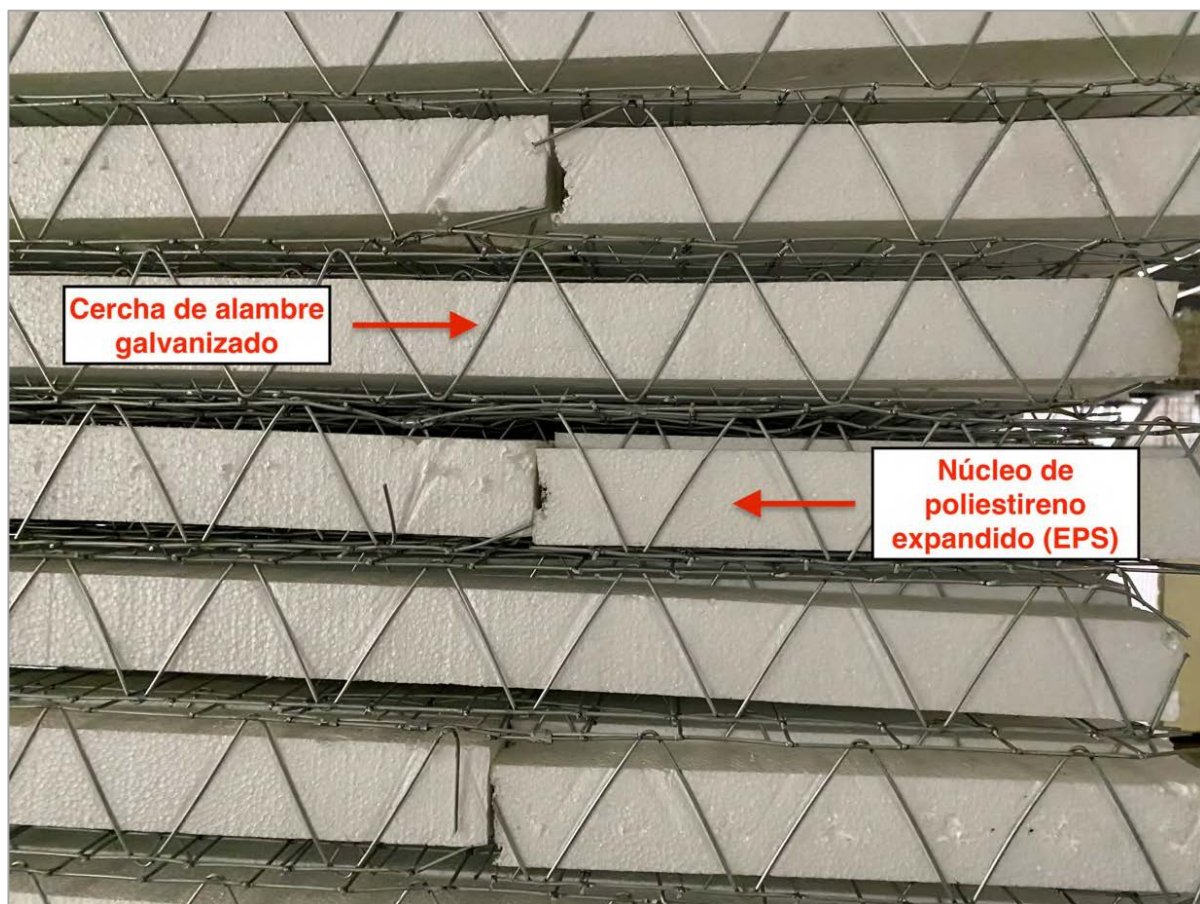


Figura 2. Configuración típica de núcleo de estereofón y escalerilla de alambre
Fuente: Elaboración propia

La configuración de paneles típica tiene un espesor de 7,62 cm (3"), 10,16 cm (4") y 15,24 cm (6"). Esta se define por la separación entre las mallas, donde estas pueden estar separadas 7,6 cm, 10 cm o 15 cm. Asimismo, dependiendo del espesor del panel, la separación entre cerchas puede ser de 5 cm o 10 cm. Las tres configuraciones permiten un acabado final de pared de entre 10 cm y 18 cm. Para una mejor comprensión de las separaciones mencionadas anteriormente, se muestra la Figura 3.

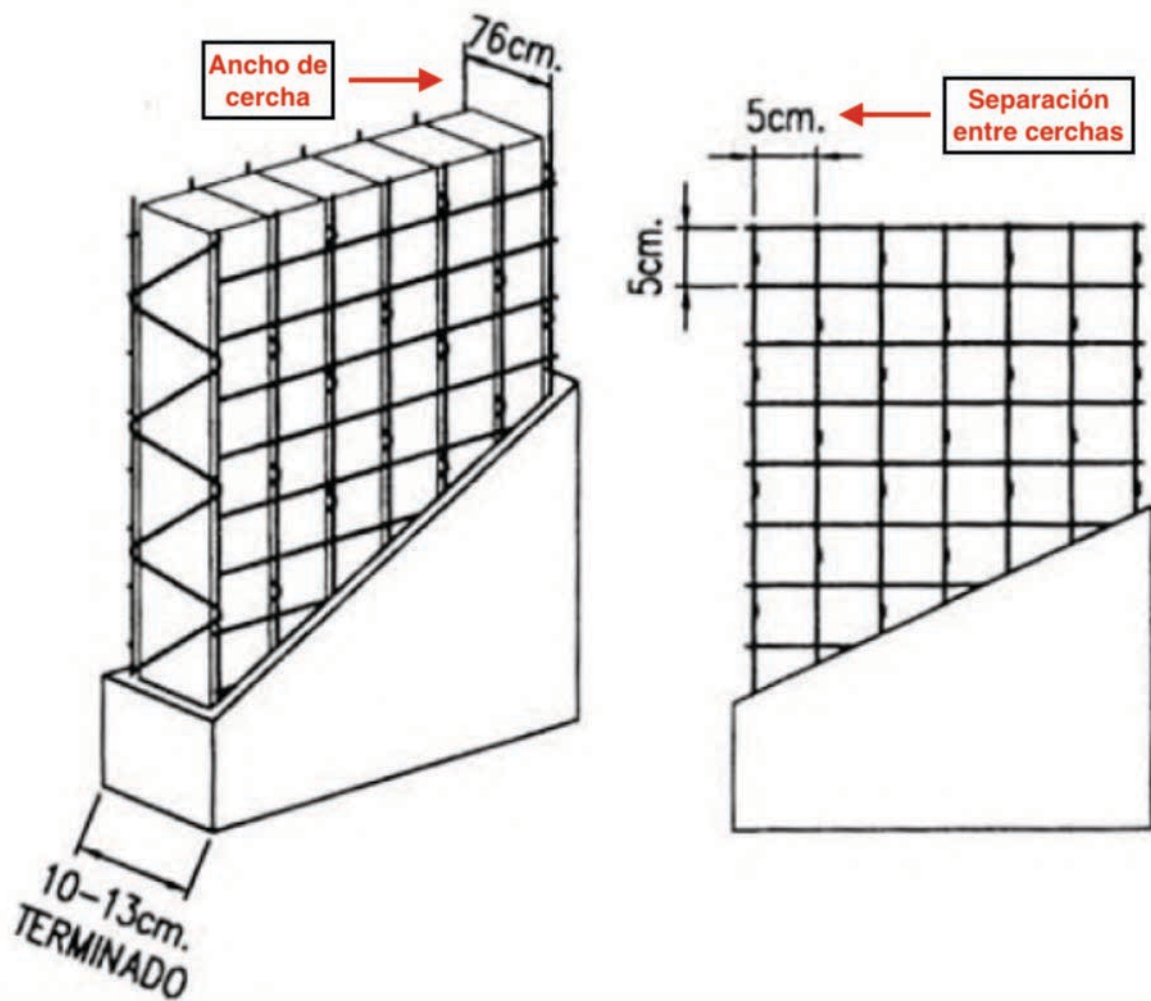


Figura 3. Dimensiones típicas de electro panel
Fuente: PANELCO CR., 2019

2.2.1.1 Núcleo central de poliestireno expandido (EPS)

El poliestireno expandido (EPS) es un material plástico celular liviano que consiste en pequeñas bolas esféricas huecas. Es esta construcción celular cerrada la que le da al EPS sus características diferenciadas de los sistemas convencionales. El EPS se produce en una gama

de densidades que proporcionan un amplio rango de propiedades físicas. Esta variabilidad promueve diversas aplicaciones donde el material se utiliza para optimizar su rendimiento y resistencia.

El uso de EPS en el núcleo reduce el peso de la estructura, lo que la hace sísmicamente más eficiente y también actúa como aislamiento térmico, acústico y vibratorio. Añadido a esto, el EPS es un material inerte que no se pudre, por lo que no atrae plagas como ratas o termitas. Su resistencia, durabilidad y naturaleza liviana lo convierten en un producto versátil y más económico que otros sistemas constructivos tradicionales.

Como se indica en el inciso *g* del Capítulo 17 del Código Sísmico de Costa Rica versión 10, el núcleo central de poliestireno expandido a utilizar en el país no debe tener un ancho menor a 5 cm y este debe quedar embebido entre mallas electro soldadas de alambre de acero galvanizado.

2.2.1.2 Cerchas de alambre de acero galvanizado

El alambre utilizado para la confección de las mallas debe ser de acero galvanizado AISI/SAE 1008 calibre 14 (2 mm) o diámetro superior, de acuerdo a las normas ASTM A-82 y ASTM A 185 (CSCR-10, 2010). Estas se embeben y se colocan a ambos lados del núcleo de EPS. La malla de acero proporciona los requisitos de fuerza tanto en el plano como fuera de este. Dependiendo del grosor del panel a utilizar, se deben tener diferentes características de distribución del acero, como se muestra en el **Error! Reference source not found.** a continuación.

Cuadro 1. Características técnicas de las mallas electro soldadas

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	3"	4"	6"
Espesor (separación entre mallas)	7,6 cm	10,0 cm	15,0 cm
Cuantía de acero	1,76 kg/m ²	1,85 kg/m ²	2,86 kg/m ²
Puntos de soldadura	880 puntos		
Esfuerzo de fluencia del acero	7700 kg/cm ²		

Fuente: PANELCO CR., 2019

Asimismo, en la Figura 1 se puede observar la configuración de acero típica para la confección de un panel de 3", el cual se utiliza normalmente como para cerramientos livianos.

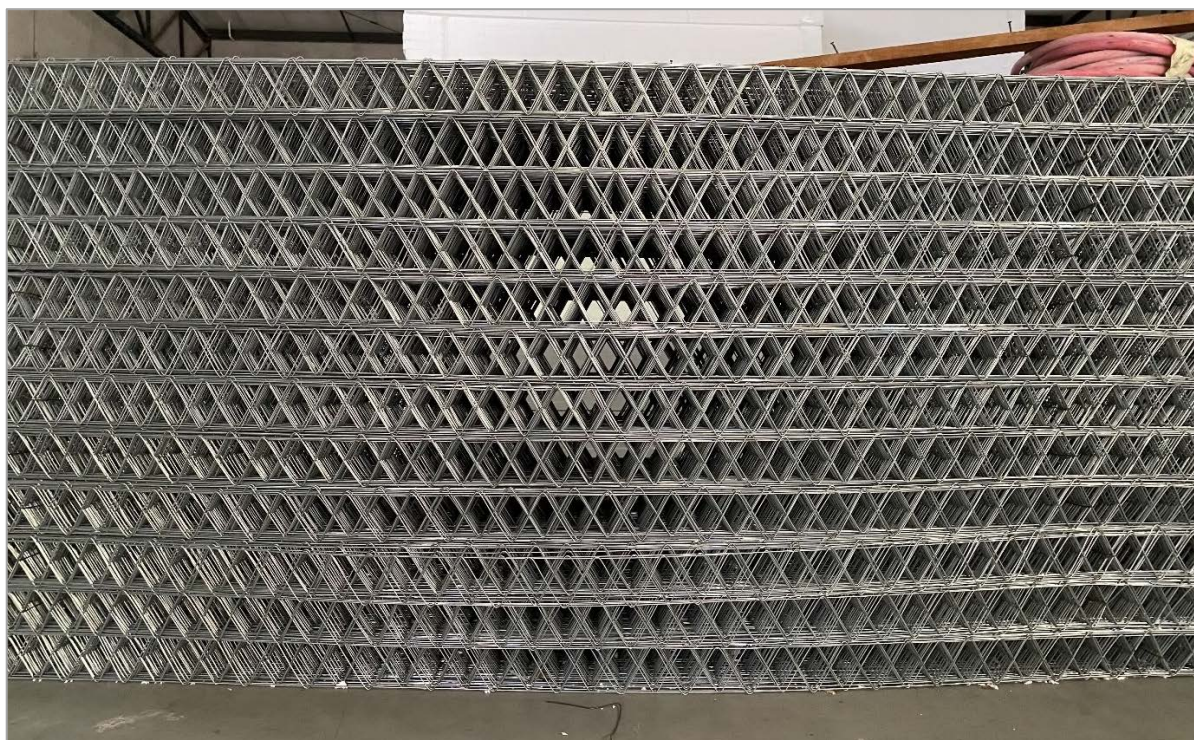


Figura 4. Configuración de acero para panel de 3"
Fuente: Elaboración propia

Al igual que el núcleo de EPS, en el inciso *g* del Capítulo 17 del Código Sísmico de Costa Rica versión 10, se exige que la suma de las áreas de alambre horizontal y vertical de cada malla debe ser (como mínimo) $1,25 \text{ cm}^2/\text{m}$ y el área mínima de alambre en una dirección debe ser $0,40 \text{ cm}^2/\text{m}$. En ambas direcciones la separación máxima entre alambres no debe ser superior a 15 cm. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de configuración de la malla electro soldada dentro de un electro panel.

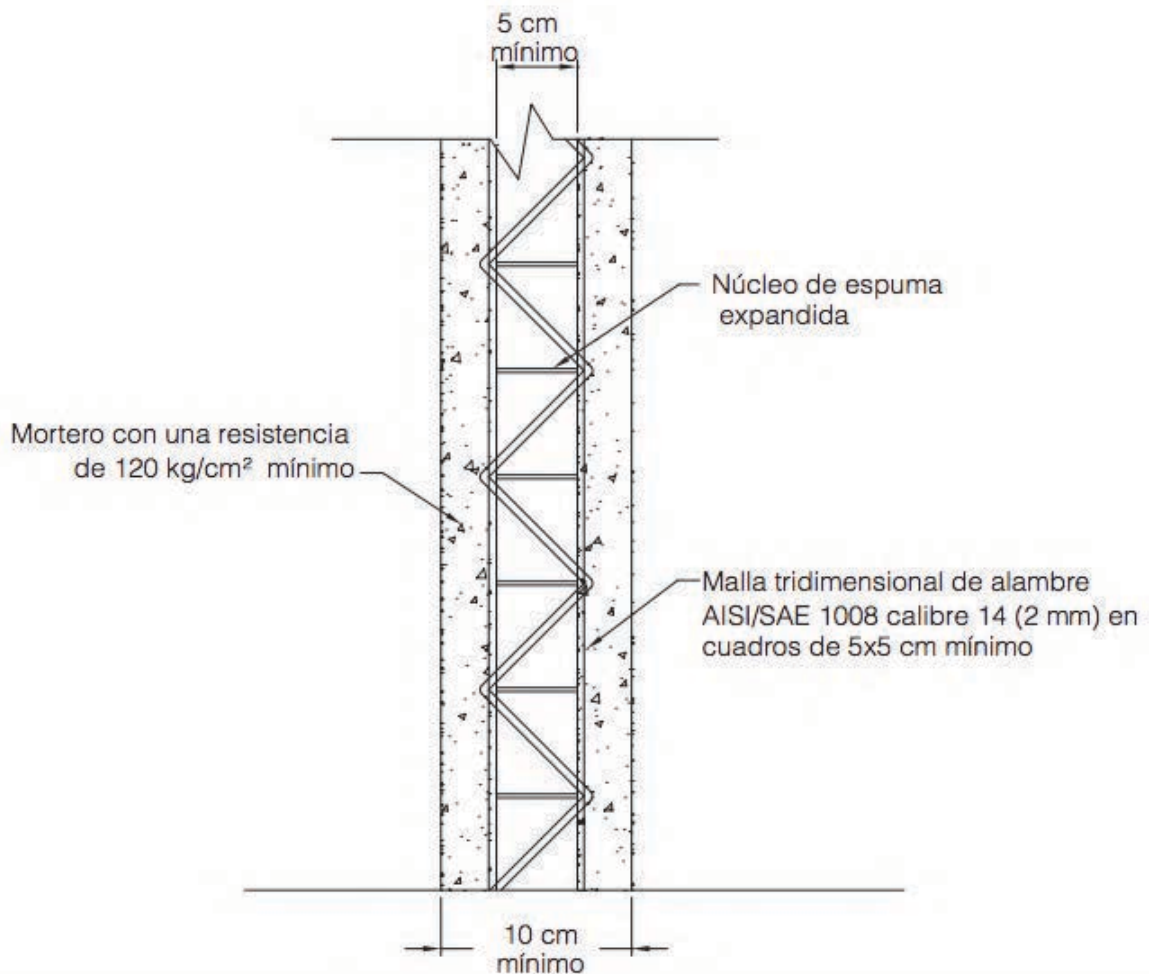


Figura 5. Indicación sobre configuración de electro panel según CSCR-10
Fuente: CSCR-10, 2010

2.2.2 Varillas de anclaje (#3)

Normalmente, para llevar a cabo las uniones entre elementos estructurales y los paneles, se utilizan cabos de varilla #3 grado 40 ($f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$) las cuales deben cumplir con la norma ASTM A815 (Ver Figura 6). Estas deben colocarse tanto de manera vertical embebidas entre la loza o elemento horizontal de soporte, como de forma horizontal para fijar los paneles a los elementos que forman parte del sistema estructural de la edificación.



Figura 6. Varilla #3 para anclaje
Fuente: Arcelor Mittal Costa Rica, 2021

2.2.3 Mortero

El mortero de acabado es un componente de suma importancia para la instalación de paredes tipo emparedado dado que, no sólo se coloca para dar acabado, sino que este se encarga de añadir resistencia al panel. Particularmente, el mortero se coloca de forma lanzada sobre la superficie del panel, esto se lleva a cabo en dos capas.

El mortero puede ser dosificado con materiales tradicionales (cemento, arena, agua) o se pueden utilizar morteros pre dosificados que cumplan con los requerimientos del fabricante. Para utilizar mortero hecho en obra, un metro cúbico de mortero debe tener una dosificación de cemento a arena (o polvo de piedra) de 1:3. El mortero utilizado debe tener una resistencia mínima a la compresión de 120 kg/cm², según indicaciones del fabricante.

2.2.4 Accesorios

Para unir los paneles y dar forma a distintas estructuras, se utilizan los siguientes accesorios básicos.

2.2.4.1 Malla de unión

Las mallas de unión entre paneles son de acero galvanizado calibre 13, un poco más delgadas que las mallas de confección. Estas se utilizan para llevar a cabo la unión entre dos paneles, de forma vertical u horizontal. Normalmente tienen dimensiones de 2,44 m de largo por 20 cm de ancho, también existen de 10 cm de ancho. Estas no solamente se colocan para unir dos paneles entre sí, también se colocan entre el panel y el elemento estructural al que se quiera unir, con el objetivo de dar una continuidad en la unión y evitar fisuras en el mortero. Un ejemplo de una malla de unión se puede observar en la Figura 7 a continuación.

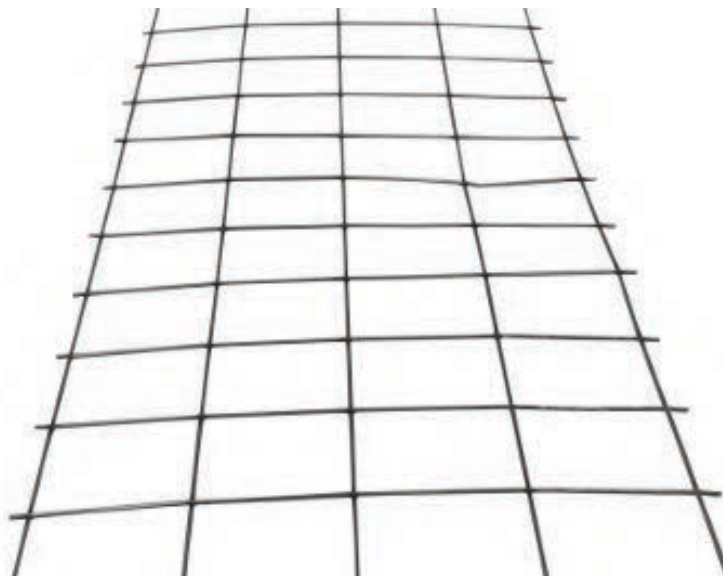


Figura 7. Malla de unión típica para sistema tipo emparedado
Fuente: Multidisciplinas S.A., 2019

2.2.4.2 Malla esquinera

Al igual que la malla de unión, las mallas esquineras son de alambre galvanizado calibre 13, con dimensiones convencionales de 2,44 m de largo. Estas mallas se colocan tanto internamente como externamente, donde se presente un encuentro de paneles o un vértice. Estas se pueden colocar a cualquier ángulo que se necesiten. Un ejemplo se muestra en la Figura 8.

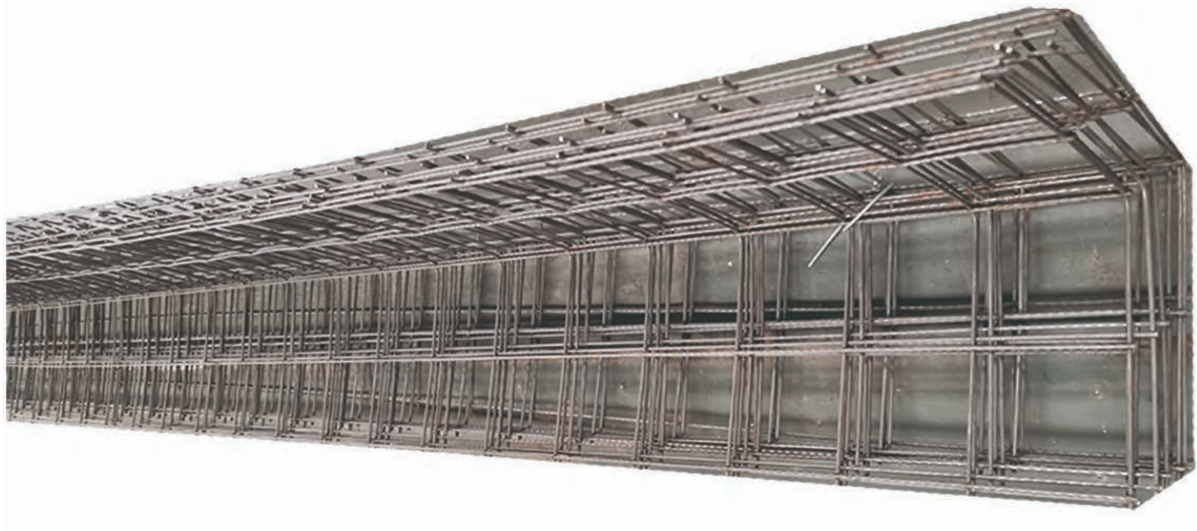


Figura 8. Malla esquinera típica para sistema tipo emparedado
Fuente: Multidisciplinas S.A., 2019

2.2.4.3 Malla zigzag

Esta malla tipo zigzag, la cual corresponde a la cercha que compone la estructura del panel, comparte la característica de ser calibre 13, al igual que las dos mallas mencionadas anteriormente. Estas se utilizan para reforzar y rigidizar buques de ventanas y puertas, como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Malla zigzag típica de sistema tipo emparedado
Fuente: Covintec, 2015

2.2.4.4 Recibidores de cortante

Dependiendo de los requerimientos estructurales, para realizar la unión a la loza de contrapiso se requiere colocar de recibidores de cortante, los cuales se engrapan al panel y se clavan al cimiento con una pistola de impacto a cada 40 cm (Ver Figura 10).



Figura 10. Recibidor de cortante
Fuente: Panel MG, 2021

2.2.4.5 Fijadores

Se trata del material encargado de fijar las piezas de unión con la malla electro soldada principal del panel. Estas pueden ser alambre negro convencional o grapas de acero galvanizado.

2.3 Caracterización del sistema constructivo tipo emparedado

En la siguiente sección se hace un repaso de recomendaciones generales para la instalación del sistema constructivo tipo emparedado. Añadido a esto, se hará una breve mención de las herramientas necesarias para el levantamiento de los paneles. Según las especificaciones técnicas del sistema constructivo, la instalación consta de las siguientes 5 partes:

1. Anclaje
2. Colocación y unión de paneles
3. Instalaciones electromecánicas
4. Refuerzos de buques de ventanas y puertas
5. Mortero de acabado

2.3.1 Anclaje

A diferencia de otros sistemas livianos como el muro seco, las paredes tipo emparedado deben ser fijadas a la base sobre la que se estén soportando. El método recomendado es por medio de anclajes de varilla corrugada #3. Desde la fundación, se deben dejar previstas de varilla de 50 cm, dejando 10 cm dentro de la base y 40 cm descubiertos, como se muestra en la Figura 11. Asimismo, los anclajes se deben colocar a una distancia no mayor a 40 cm, de forma intercalada (Figura 12).

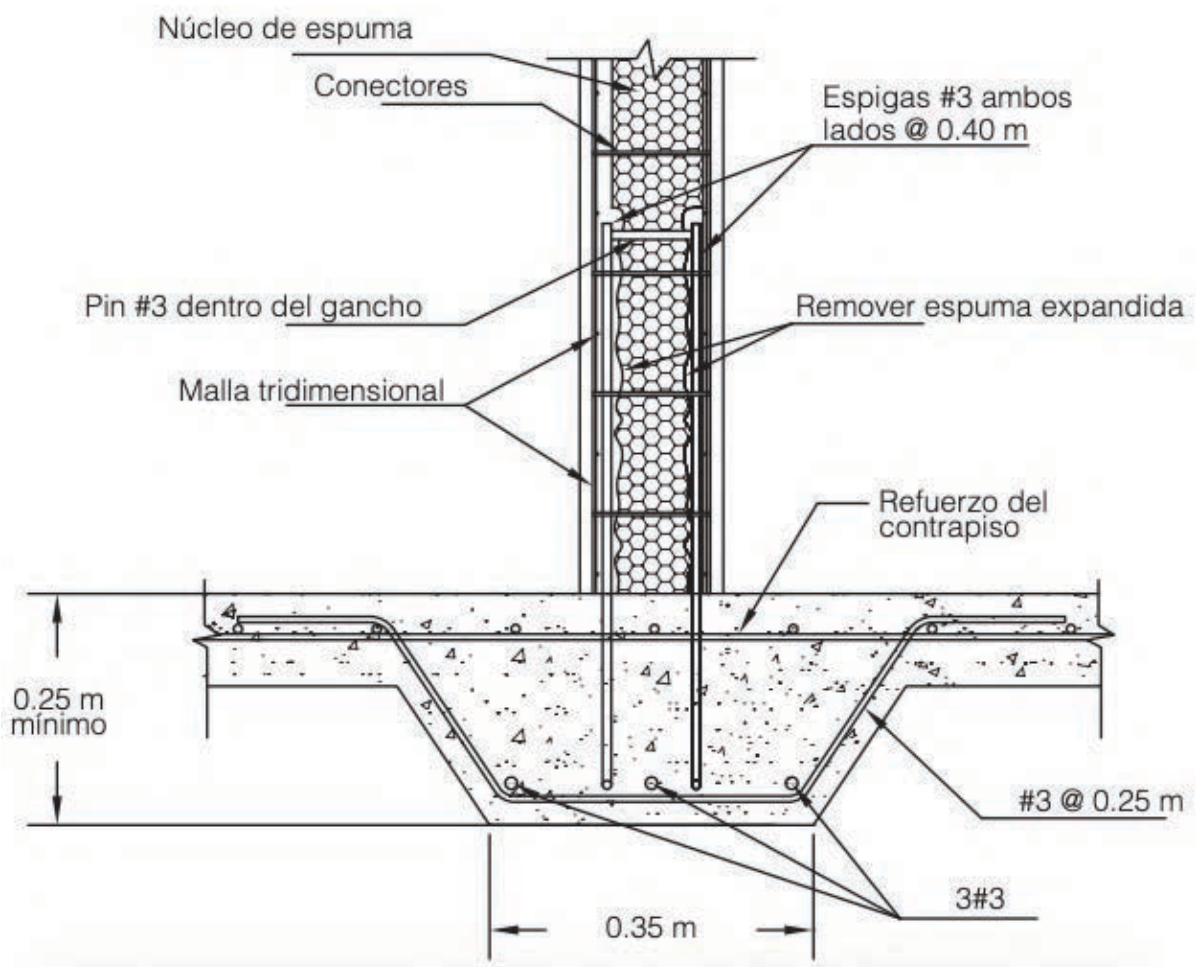


Figura 11. Distancia de anclaje en fundación para pared tipo emparedado
Fuente: CSCR, 2010

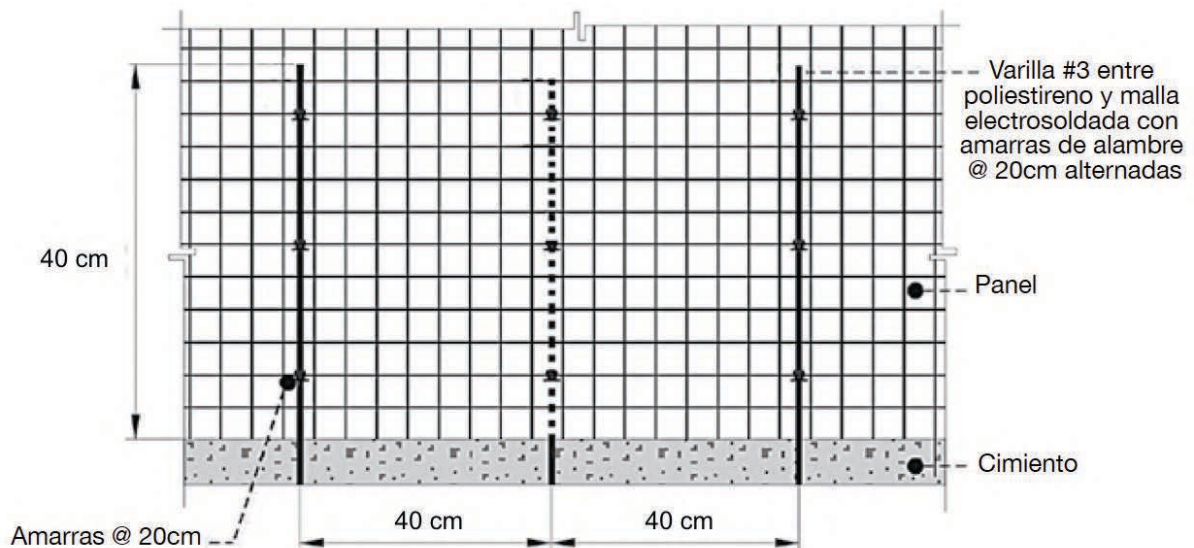


Figura 12. Diagrama de colocación intercalada de varilla para anclaje de muro no estructural
Fuente: Panelco CR, 2019

En caso de no dejarse las previstas desde la construcción de la fundación, se pueden hacer los orificios en la loza mediante un taladro para luego insertar las varillas dentro del concreto y adherirse mediante pegamento epóxico. Específicamente, las varillas #3 deben ser insertadas entre el acero vertical del panel y el poliestireno de relleno.

Luego de la colocación de los anclajes, estos se fijan a la malla de acero vertical utilizando alambre convencional a cada 20 cm en toda la extensión de las varillas. Por último, se elimina el poliestireno circundante de forma que, posteriormente, este espacio creado pueda ser recubierto por mortero en toda su superficie (Figura 13).

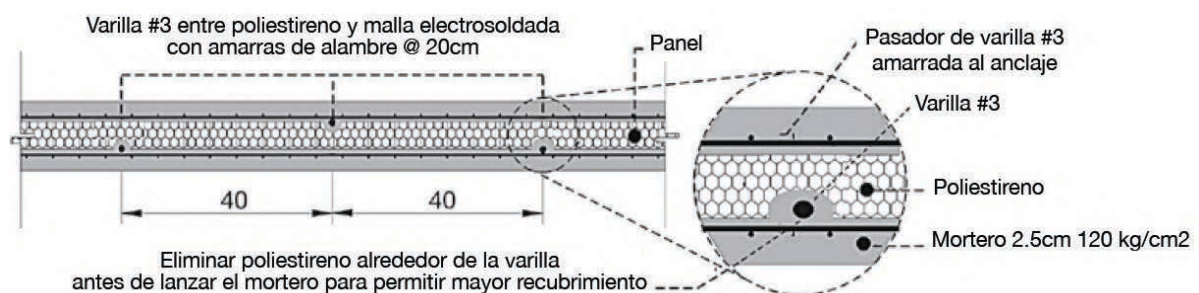


Figura 13. Eliminación de EPS para colocar anclajes a fundación
Fuente: Panelco CR, 2019

Dependiendo del sistema estructural al que se esté uniendo, se definen diferentes formas de realizar el anclaje con los paneles. La unión a estructuras metálicas consiste en la inserción de varillas #3 mediante tubería PVC de ½" dentro del panel, las cuales deben tener una longitud mínima de 30 cm dentro del mismo. Las varillas horizontales se colocan a cada 50 cm y se deben soldar en el extremo correspondiente a la estructura metálica. Este tipo de unión mediante tubería de PVC permite que el movimiento de la unión sea controlado y no totalmente rígido. Además, entre el elemento metálico y el panel, se debe agregar una junta de expansión de algún material polimérico, para evitar agrietamientos por movimientos laterales en las paredes.

Cuando el marco al que se va a unir un panel consiste en un sistema de mampostería, se deben insertar varillas #3 de forma horizontal, las cuales deben tener una longitud de 7,5 cm dentro de la pared de mampostería y un mínimo de 30 cm de longitud dentro del panel. Estas varillas se deben espaciar 50 cm entre ellas y se fijan mediante pegamento epóxico. Luego de fijadas las varillas, el panel se coloca dentro de estos arranques y se refuerza la unión mediante alguna de las mallas de unión de 20 cm (ver Sección 2.2.4), fijadas con tachuelones en el lado de mampostería y con alambre convencional al panel. Un diagrama de ambos procedimientos descritos anteriormente se puede observar en la Figura 14.

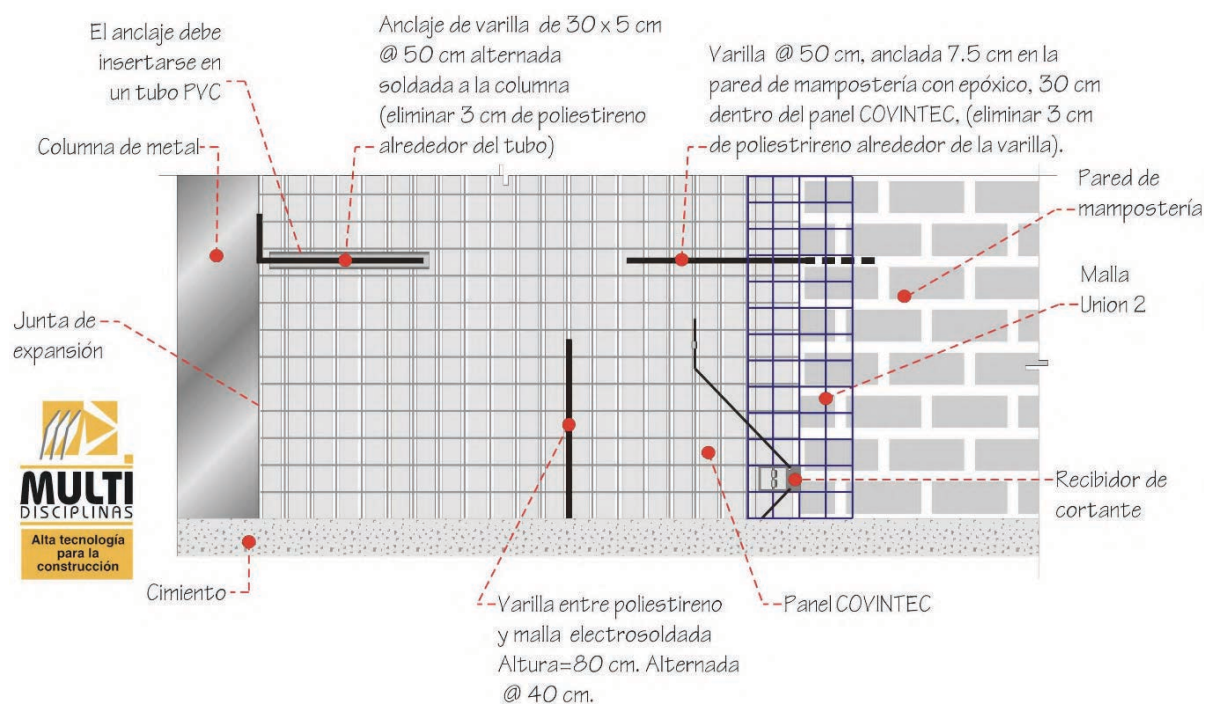


Figura 14. Unión estructura metálica-panel y mampostería-panel
Fuente: Multidisciplinas S.A, 2019

Es de suma importancia que se verifique que los arranques de varilla se encuentran correctamente alineados con la estructura, con el fin de evitar concentraciones de esfuerzos o afectaciones en la estructura del panel. Lo anterior se puede hacer mediante el uso de escuadras.

2.3.2 Colocación y unión de paneles

Luego de que se colocan los anclajes, se lleva a cabo la unión de los paneles a la fundación o losa y la unión entre paneles. El procedimiento consiste en deslizar el panel de forma vertical entre los arranques de varilla #3, quedando estos embebidos entre el núcleo de poliestireno y la malla electro soldada. Para esto, se debe hacer una remoción del núcleo de poliestireno de al menos 3 cm alrededor de la varilla, con el fin de que estas puedan ser recubiertas por mortero durante el proceso de acabado y obtengan una mayor adherencia. En este punto, los paneles pueden ser cortados en cualquier longitud y forma que se desee.

Seguidamente, los paneles son fijados a las varillas mediante alambre negro utilizando tenazas o con grapas galvanizadas con una engrapadora neumática, a cada 20 cm y por ambas caras del panel. Sucesivamente, se continúa el procedimiento con el siguiente panel hasta lograr el cerramiento deseado.

Los paneles se unen entre sí mediante mallas de unión, fabricadas específicamente para el sistema constructivo en estudio, las cuales se colocan a todo lo largo de las juntas y se distribuyen 10 cm a cada lado de las mismas, como se muestra en la Figura 15. Las mallas de unión se colocan por ambas caras del panel y se fijan a este mediante alambre negro o grapas galvanizadas, de la misma forma en que se fijan los anclajes. Lo descrito anteriormente brinda continuidad al acero ya existente en el panel, formando una estructura monolítica que ayuda a reducir la posibilidad de micro fisuras.

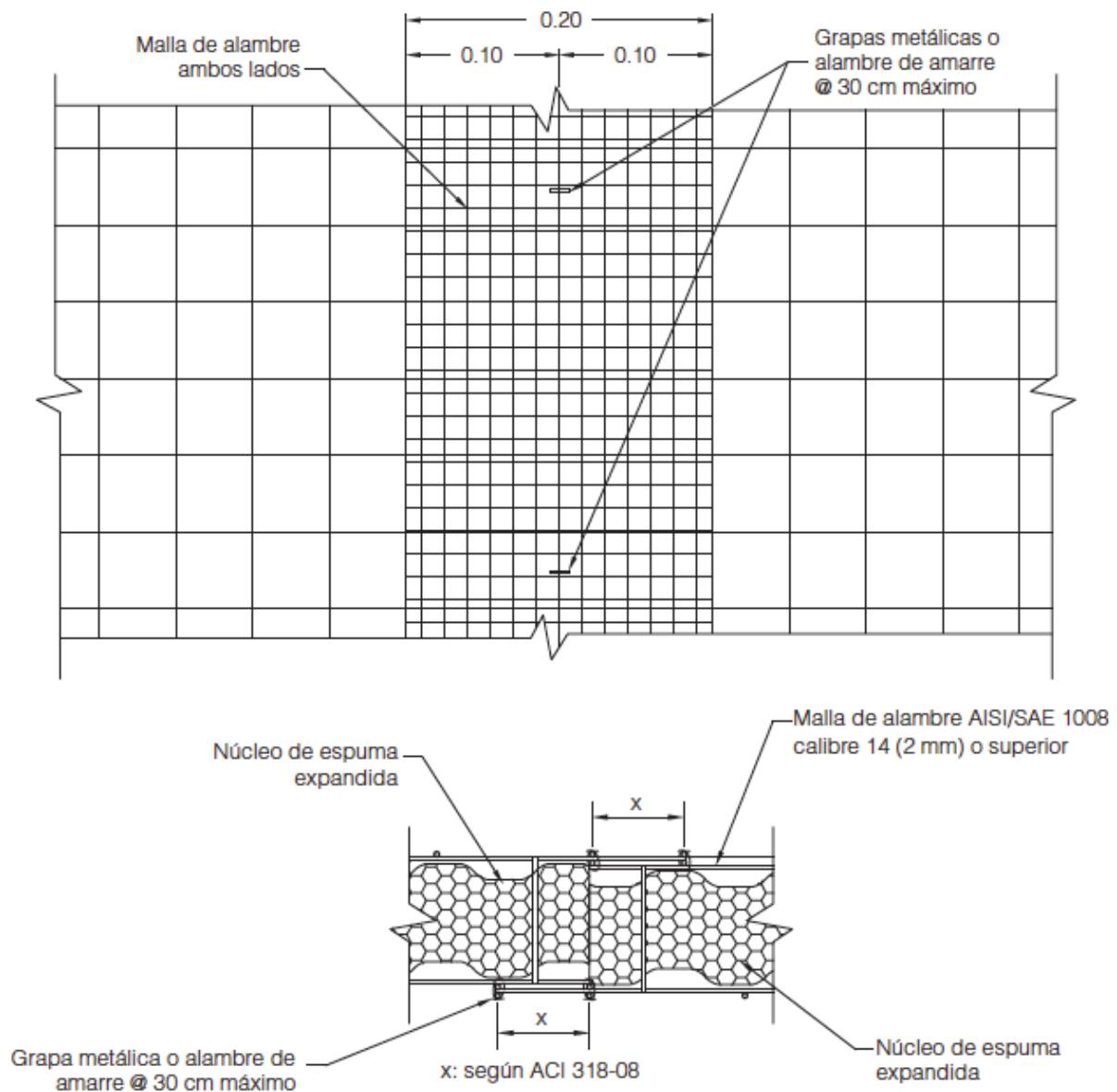


Figura 15. Diagrama de unión entre paneles
Fuente: CSCR, 2010

Las uniones en esquinas se llevan a cabo de forma similar, con la diferencia de que la malla de unión que se utiliza es denominada malla esquinera. Esta se puede colocar en cualquier ángulo que se desee, tanto por dentro del panel como por fuera del vértice. Estas se sujetan a la estructura mediante alambre negro o grapas de acero galvanizado. Un ejemplo de posibles colocaciones esquineras se muestra en las Figura 16 y Figura 17.

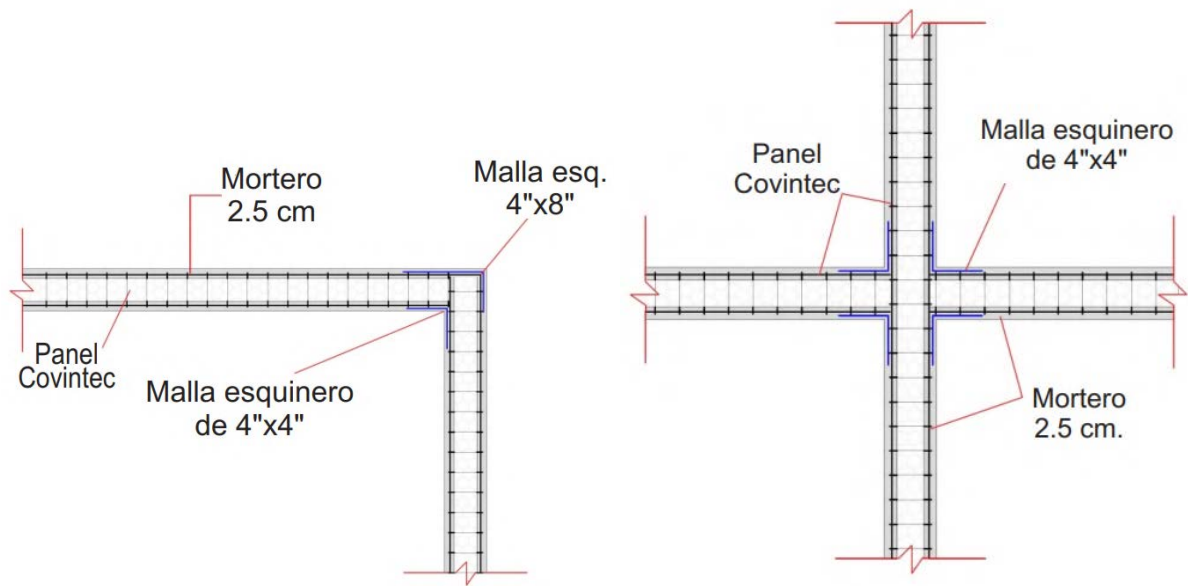


Figura 16. Diagrama de unión en esquina y en cruz
Fuente: Covintec S.A, 2011

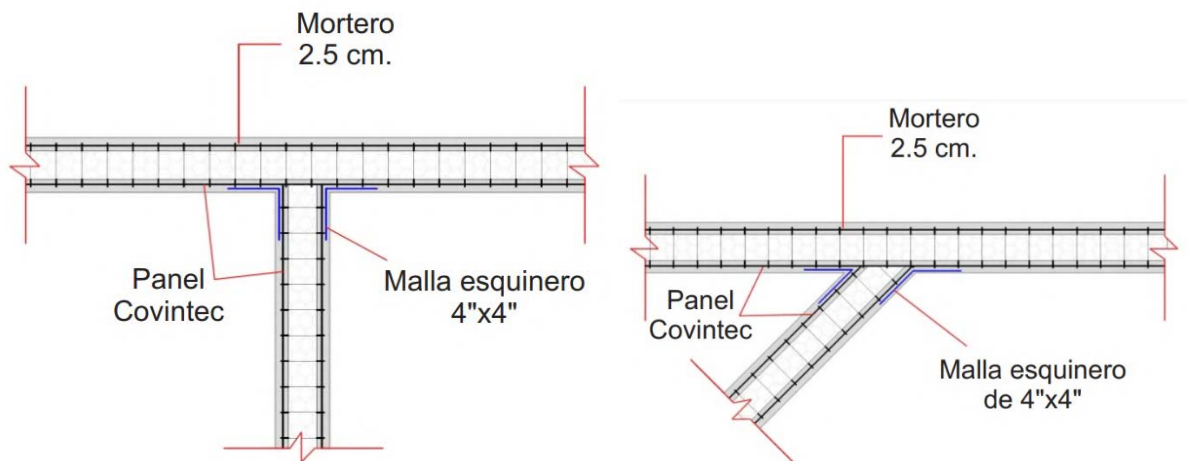


Figura 17. Diagrama de unión en T y en ángulo
Fuente: Covintec S.A, 2011

2.3.3 Instalaciones electromecánicas

Gracias a la versatilidad asociada al sistema constructivo, las instalaciones electromecánicas se pueden llevar a cabo en cualquier parte del panel. Cualquier tubería que deba ser colocada se debe instalar recortando el EPS por medio de un quemador o con algún instrumento que lo permita. En caso de recortar el panel, se recomienda realizar las uniones entre sí de la forma descrita en la sección anterior, antes de dar acabado con mortero a las paredes. Un ejemplo de cómo se llevan a cabo estas instalaciones se puede observar en la Figura 18 y Figura 19 a continuación.

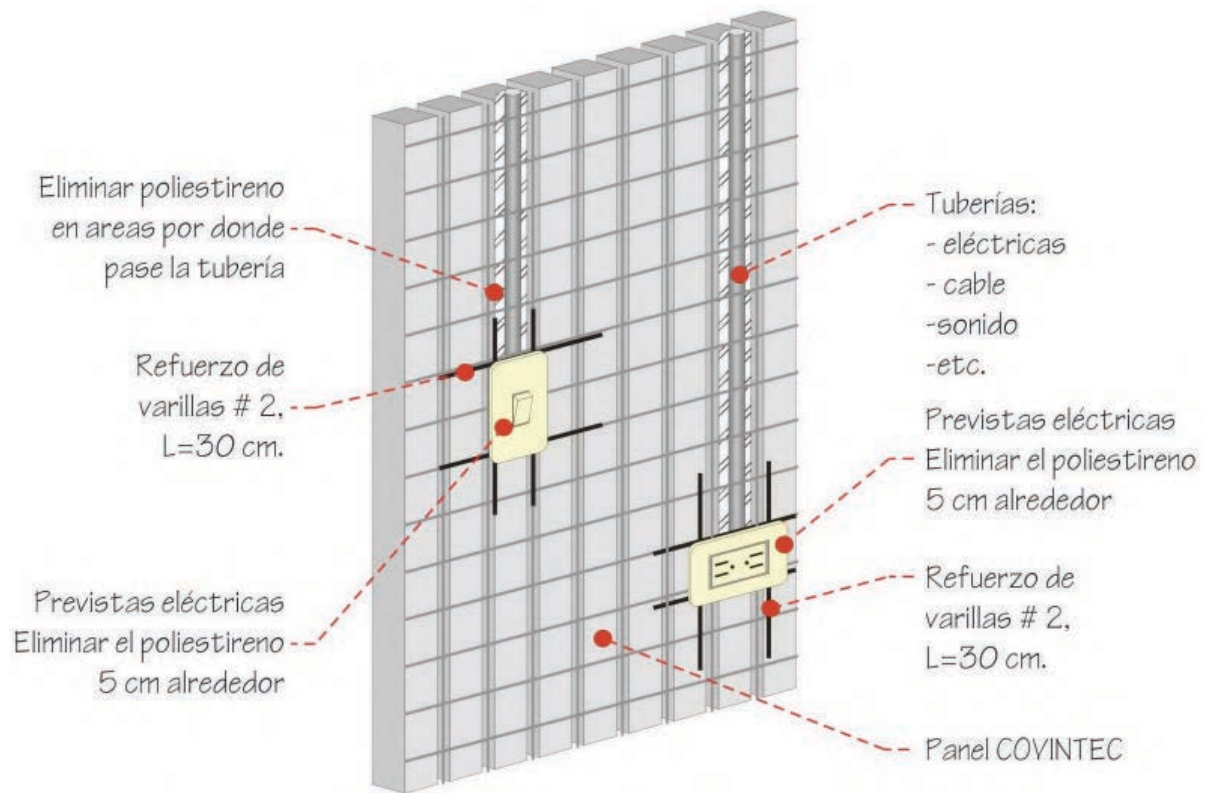


Figura 18. Diagrama de instalaciones eléctricas
Fuente: Panelco CR, 2019

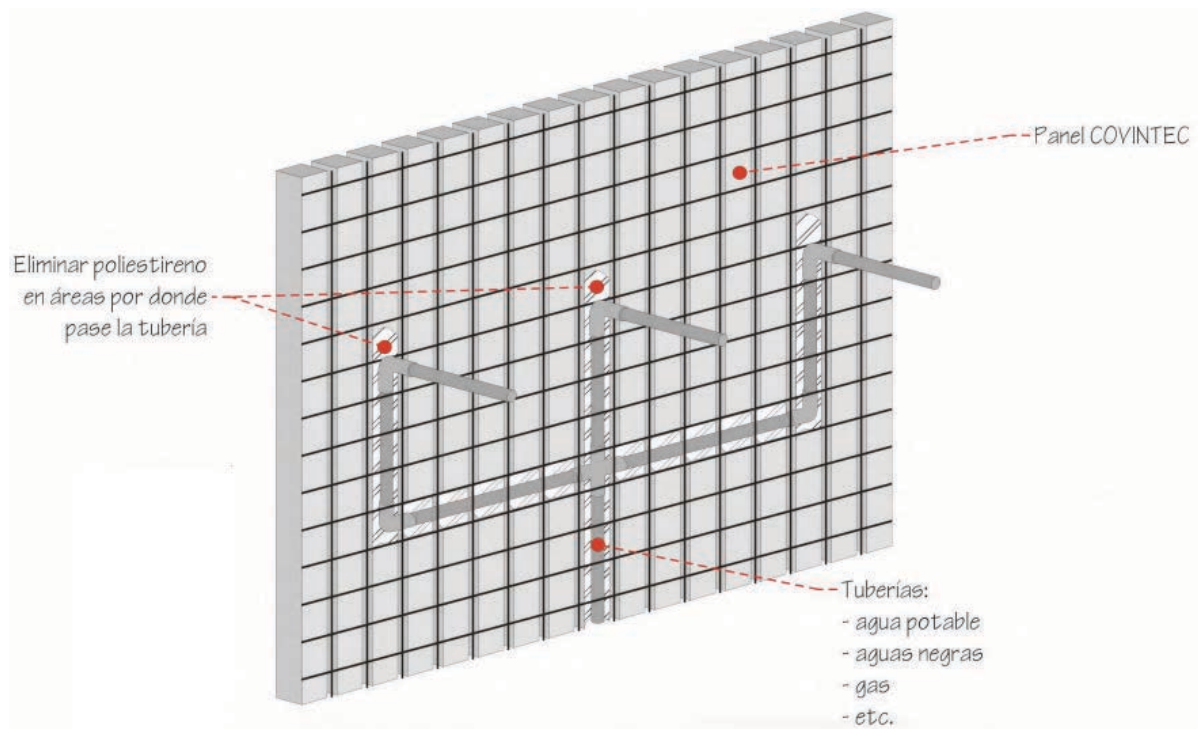


Figura 19. Diagrama de conexiones mecánicas en pared tipo electro panel
Fuente: Panelco CR, 2019

2.3.4 Refuerzo de buques de ventanas y puertas

Dada la necesidad de realizar cortes en el panel para hacer los buques de las ventanas y puertas, estos se deben reforzar con malla de unión tanto en ambos lados externos del panel como en la sección interna Figura 20. Este refuerzo se debe hacer en todo el perímetro del nuevo buque.

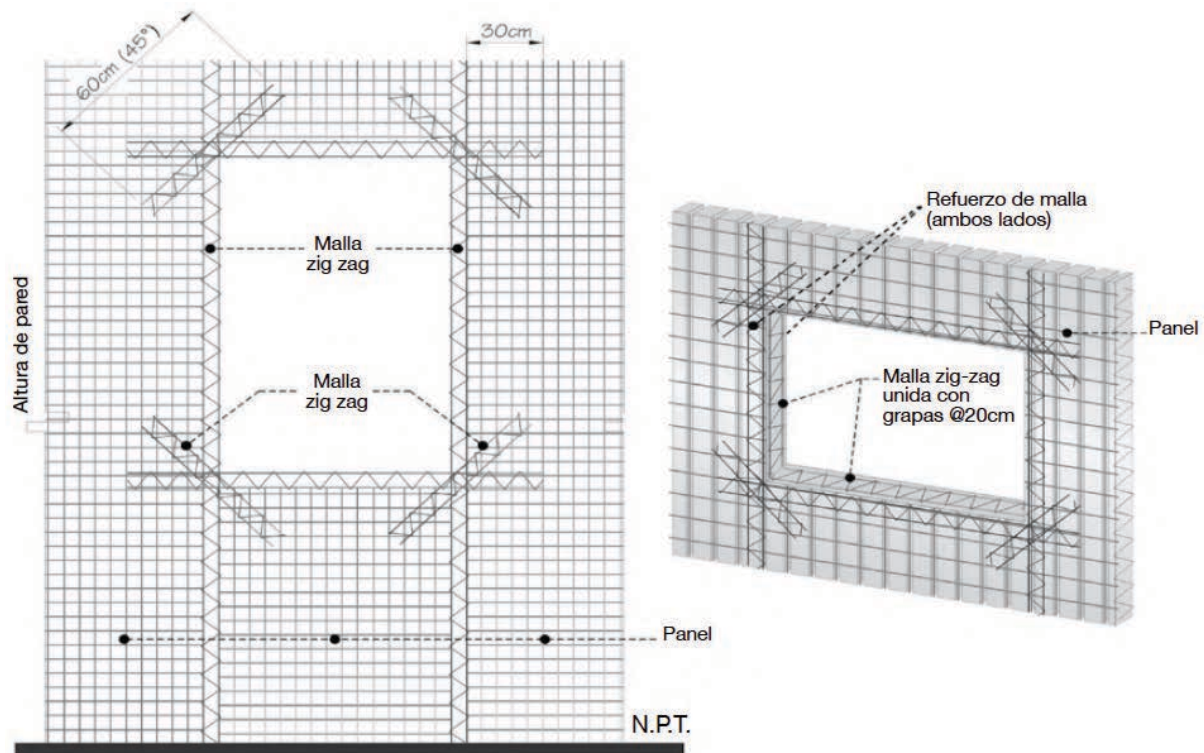


Figura 20. Diagrama de refuerzo para buque de ventana en pared tipo electro panel
Fuente: Panelco CR, 2019

2.3.5 Acabado

Inicialmente, se debe llevar a cabo la confirmación de la correcta instalación de todos los paneles, uniones y buques antes de que se les pueda dar el correcto acabado. Para dar acabado a los paneles se utiliza mortero, el cual puede consistir de arena o polvo de piedra y cemento con una relación de 3:1, o bien, morteros preparados de tipo industrial, los cuales cuentan con aditivos que proveen características similares.

El acabado se debe llevar a cabo en dos partes: la primera consiste en cubrir todo el cuadrículado con una capa de aproximadamente 1 cm de espesor, luego de que esta se ha secado adecuadamente, se procede con la segunda capa. La segunda capa posee el grosor

necesario que se encarga de dar el acabado final al muro, el cual corresponde aproximadamente a un valor entre 1,5 cm y 2,0 cm.

La primera capa de repello se realiza a forma de "pringue". Previo a la colocación de esta capa se debe asegurar una superficie limpia, libre de polvo, aceite y cualquier otro material contaminante. Esta primera capa se coloca con un espesor tal que se recubra la malla electro soldada que compone el panel. Es de suma importancia que esta capa logre alcanzar la mayor resistencia posible antes de colocar la capa siguiente, lo cual corresponde a un mínimo de 24 horas entre capas. Lo anterior debe ir acompañado de curado constante en estas primeras horas de colocado el mortero.

Seguidamente, se lleva a cabo la verificación del aplomado de las paredes. En caso de que estas se encuentren con un plomo adecuado, se puede llevar a cabo la aplicación de la segunda capa de mortero. Cuando esto no es el caso, se deben colocar maestras que permitan corregir plomos incorrectos. Se recomienda que las maestras se coloquen con una separación de 2,0 m.

Una vez corregido el aplomado de las paredes, se puede colocar la segunda capa de mortero, la cual tiene un espesor de entre 1,5 cm y 2,0 cm, con el fin de tener un recubrimiento total de mortero no mayor a los 2,5 cm. Es importante señalar que el tiempo de colocación entre la primera y segunda capa de mortero no debe exceder los dos días. Añadido a esto, se recomienda que no se de acabado a la cara opuesta del panel hasta que la cara recién acabada alcance suficiente resistencia (24 horas aproximadamente), con el fin de que no se ve afectada por la vibración o golpes que pueda ocasionar el lanzado del mortero del lado opuesto.

Es de suma importancia que se lleve a cabo un adecuado proceso de curado durante todo el proceso de acabado. Se recomienda humedecer las paredes recién acabadas tres veces al día como mínimo durante, al menos, los primeros ocho días luego de dar el acabado. También, se recomienda que esta frecuencia de curado aumente dependiendo de la exposición del panel a altas temperaturas o velocidades de viento elevadas.

2.4 Descripción del sistema no estructural en una edificación

Antes de introducir el sistema liviano que se estudió en este proyecto, se debe hacer una introducción al concepto de cerramientos no estructurales en edificaciones. De forma general, las edificaciones de un nivel o más constan de dos sistemas principales: estructural y no estructural.

El sistema estructural se compone de uno o más sistemas sismo-resistentes encargados de soportar tanto a la edificación como a las cargas que actúen sobre ella y eventualmente transmitiéndolas al suelo. Este es compuesto de varios elementos que se disponen de tal forma que, tanto la estructura total como cada de las partes que la componen, puedan mantener su integridad y su forma sin cambios apreciables durante la carga y descarga de la edificación. El Código Sísmico de Costa Rica versión 2010, define los principales sistemas estructurales como sistemas tipo marco, tipo dual, tipo muro, tipo voladizo, entre otros.

Por otra parte, se consideran no estructurales al resto de elementos que no forman parte del sistema de soporte o sistema sismo-resistente. Estos pueden estar o no unidos a los elementos estructurales como ventanas, puertas, cerramientos, techos, entre otros. Hay además sistemas vitales para el funcionamiento de actividades dentro de la edificación como sistemas mecánicos, eléctricos, calefacción, ventilación, entre otros. Todos estos elementos no implican una funcionalidad dentro de la capacidad de soporte de la estructura (Salud, 2010).

Como se menciona en el párrafo anterior, dentro de los componentes no estructurales de una estructura se encuentran los cerramientos. Estos se pueden llevar a cabo con una gran variedad de materiales y principalmente de dos formas: como muro cortina y/o a nivel con el sistema sismo-resistente. El concepto muro cortina se utiliza para fachadas, donde el material a utilizar se coloca de forma continua por delante de los componentes estructurales del edificio.

La segunda forma también se conoce como fachada panel, el cual consiste en colocar el cerramiento entre los elementos estructurales, delimitando paneles o zonas independientes que son soportadas en cada uno de estos elementos. Este concepto se puede utilizar tanto para fachadas como para delimitaciones interiores (Patricia, F. G., 2019). Ambos sistemas no estructurales mencionados anteriormente se diseñan de manera tal que puedan soportar por sí mismos cualquier incidencia sobre sus componentes y su propio peso, para luego trasladar estas cargas al sistema estructural.

Las funciones principales del sistema de cerramiento de un edificio se basan en proteger de agentes externos el espacio que delimitan y proporcionar el acondicionamiento adecuado para el uso de la edificación. Específicamente, este sistema debe ser capaz de asegurar condiciones térmicas, acústicas, lumínicas y sanitarias. Hoy en día existe una gama de materiales que se pueden utilizar como cerramiento liviano entre los cuales destacan:

- Placas cementicias
- Placas de yeso

- Placas de yeso con fibra de vidrio
- Placas OSB (Oriented Strand Board)
- Bloques de concreto
- Paneles de poliestireno expandido y malla de acero galvanizado tipo emparedado
- Paneles de concreto
- Vidrio

2.5 Marcos rígidos y unión al sistema de electro paneles

Cuando se utiliza como método de cerramiento, el sistema de electro paneles se une a estructuras conocidas como marcos rígidos. Los anteriores se definen como pórticos, cuyos elementos se unen entre sí por medio de conexiones fijas capaces de transmitir los momentos y fuerzas normales y cortantes, sin que se produzcan desplazamientos lineales o angulares entre sus extremos y las columnas en las que se apoya (López, 2012).

La relevancia de entender el comportamiento de los marcos rígidos como estructura soportante para el electro panel recae en que estos dos usualmente se conforman de diferentes materiales y, por ende, estos tendrán módulos de expansión y contracción distintos entre sí, así como diferentes módulos de elasticidad, entre otras propiedades de los materiales que los componen. Además de esto, ambos materiales pueden tener desplazamientos y deformaciones diferentes, en distintas cantidades y velocidades.

Lo anterior es de suma importancia ya que, tomando en cuenta factores como cambios de temperatura durante el día, diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de la edificación, transmisión de esfuerzos entre el marco y la estructura liviana, deflexiones importantes debido a cargas temporales, entre otros, estos son factores que pueden sumar a los posibles causales de aparición de grietas en el mortero de recubrimiento del electro panel. Por ende, estudiar la unión entre el sistema estructural y el panel se convierte en un hito primordial para tener una mejor comprensión del desempeño de este último.

Según lo observado en la Figura 14, se recomienda que la pared tipo electro panel se una al sistema estructural de metal usando varillas soldadas y mediante inyección de varillas dentro de pared de mampostería con pegamento epóxico. Las uniones anteriores corresponden a las conocidas como del tipo unión fija soldada y unión fija adhesiva.

2.5.1 Unión fija soldada

Las uniones fijas soldadas se presentan en el momento en que se unen dos metales de idéntica o parecida composición mediante la aportación de otro metal de composición similar a la de los metales a unir, siendo este calentado a altas temperaturas con el fin de fundirlo para recubrir y sellar la zona de unión. La integración de las partes que se unen mediante soldadura se llama ensamble soldado. (Vilda Muxi, 2020).

2.5.2 Unión fija adhesiva

Las uniones estructurales de base epóxica son las más utilizadas debido a que la mayoría de materiales usados para la unión proporcionan muy buenas propiedades mecánicas, cuando son preparados de manera adecuada. Este adhesivo se contrae en cantidades bastante leves (cerca del 2%), presenta tensiones residuales bajas y, dado que este no es un material que presente reacciones exotérmicas predominantes, requiere de bajas presiones durante el proceso de curado (González et al., 2008).

2.6 Fisuras típicas en mortero de repello

Existe muchas formas en las que el mortero de repello puede presentar fisuras, dependiendo del elemento sobre el que se esté colocando, el espesor de la capa en la que se coloque, la existencia o no de concentraciones o transmisiones de esfuerzos, la frecuencia de curado luego del acabado, entre otras razones (Toirac Corral, 2004). Algunos casos típicos de importancia para esta investigación se mencionan en el siguiente apartado.

2.6.1 Fisura por sobrecarga

Las fisuras por sobrecarga pueden deberse tanto a esfuerzos directos sobre el mortero, o por transmisión de esfuerzos desde la unión con otros sistemas. Aunque, idealmente, el sistema estructural al que se está instalando las paredes tipo electro paneles no debería transmitir carga a los materiales de cerramiento, se puedan presentar esfuerzos directos sobre el panel o transmisión de esfuerzos en las uniones. Normalmente, las cargas a las que se someten los elementos no estructurales al estar unidos rígidamente con el sistema estructural, no tienen

valores altos ni comprometen la integridad de la edificación. No obstante, esta situación se presenta dado la naturaleza de la unión entre ambos sistemas (Marella, 2005).

En el caso específico de las juntas verticales, el sistema tipo electro panel cuenta con recomendaciones del fabricante para evitar la transmisión de carga entre sistemas. Dependiendo del sistema estructural al que se vaya a unir, se recomienda o no, poner juntas de expansión a lo largo de la unión. Cabe señalar que, de acuerdo a lo determinado en este trabajo de investigación, esta recomendación no siempre es ejecutada, por lo que se debe tomar en cuenta que podría darse la transmisión de carga y, posiblemente, la aparición de fisuras.

Añadido a esto, las paredes utilizadas como cerramiento suelen tener contacto con las losas de entrepiso o contrapiso de la edificación en la que se estén colocando. Estas losas suelen presentar deflexiones, las cuales podrían generar que se sobrepase el valor de resistencia a la compresión del mortero de acabado y este se fisure. Un ejemplo de una fisura por sobrecarga se puede observar en la Figura 21.



Figura 21. Ejemplo de fisura por sobrecarga
Fuente: Martínez, 2020

2.6.2 Fisura por contracción de secado

La contracción por secado se origina por el cambio de volumen del hormigón causado por el movimiento de humedad dentro del material y su consiguiente pérdida, cuando existe un gradiente de humedad entre el medio ambiente y el hormigón (Sosa, 2018). Un ejemplo del patrón distintivo de las fisuras por contracción por secado se muestra en la Figura 22.

Cuando se presenta la situación en que el mortero tiene una humedad inferior a la de saturación y el agua superficial que posee se evapora, se induce un gradiente interno, el cual impulsa el movimiento de las partículas de agua desde la superficie (o entre capas) hacia los capilares vacíos. Al estar el agua en la superficie ligada por fuertes tensiones capilares, se generan cambios de volumen durante la migración de agua hacia los capilares, los cuales constituyen la contracción por secado (Acker, 1997).

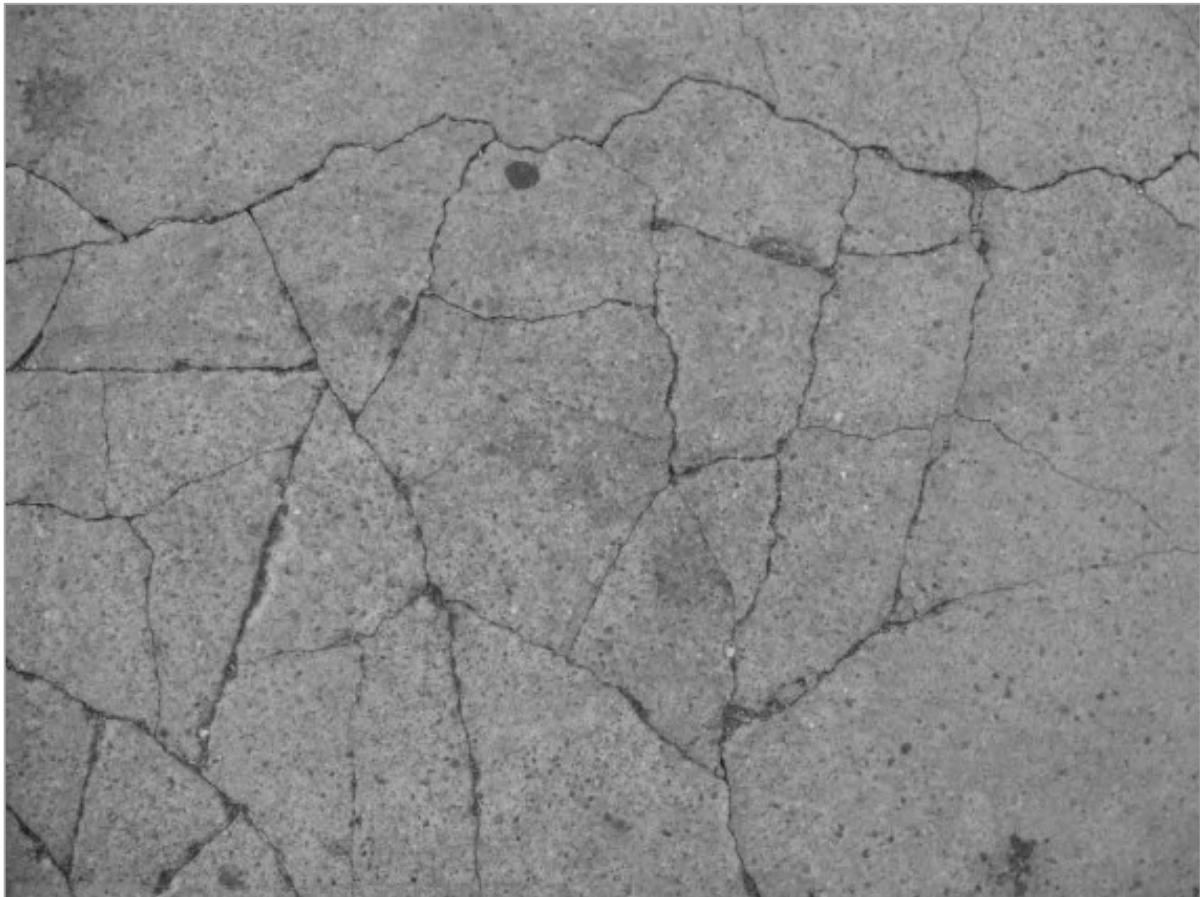


Figura 22. Ejemplo de fisura por contracción por secado
Fuente: Gálvez, 2020

2.6.3 Código Sísmico de Costa Rica (CSCR-10)

Dentro del Código Sísmico de Costa Rica, el Capítulo 17: Vivienda unifamiliar, incluye varios apartados que discuten algunas generalidades constructivas que se deben llevar a cabo cuando se utiliza este sistema constructivo, dentro de los cuales se consideran factores como límite de altura para utilizar el diseño simplificado propuesto por el Código, el detalle estructural de anclaje a fundaciones y recomendaciones mínimas para paredes y su estabilidad.

La Sección 17.3.2 del CSCR-10 se establece que el sistema tipo emparedado posee un límite de altura para poder utilizar el diseño simplificado para vivienda unifamiliar de un piso como máximo. Asimismo, dentro de la misma sección se detallan las fundaciones y el tipo de anclaje que se debe usar para este sistema. Para este sistema se pueden usar placas de concreto corridas con las mismas características que se recomienda para paredes de mampostería. También, para realizar los anclajes entre paneles y placas de fundación se deben dejar espigas de varilla #3 en ambos lados de la pared, con una separación no mayor a 40 cm, donde estas deben quedar embebidas tanto dentro de la placa como dentro del panel. Las espigas deben tener una longitud de anclaje no menor a 80 cm y debe terminarse con un gancho de 180° con una extensión mínima de 10 cm. Un detalle del anclaje descrito anteriormente se muestra en la Figura 23.

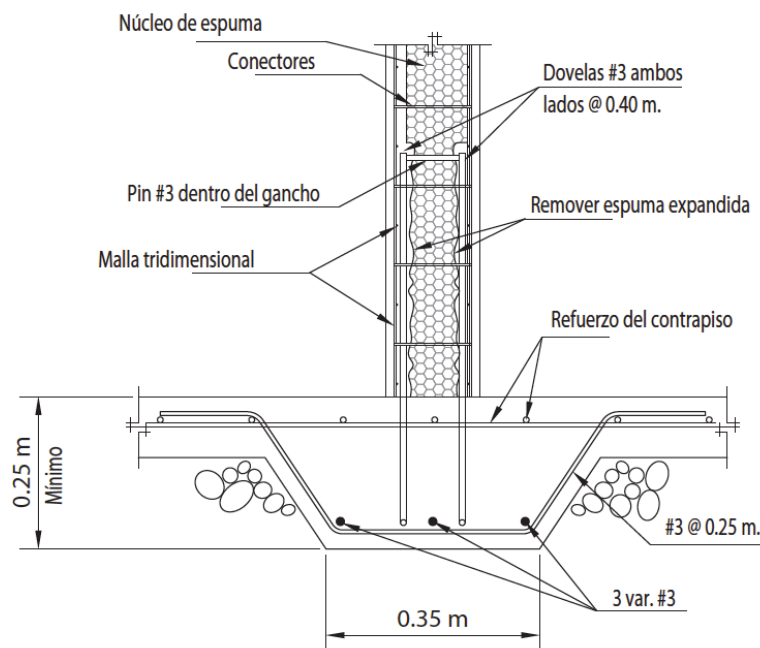


Figura 23. Detalle de fundación para paredes tipo emparedado según CSCR-10
Fuente: CSCR-10, 2010

De la misma forma, en la Sección 17.3.3 se determinan los siguientes requerimientos mínimos para paredes de electro panel:

- Espesor de 10 cm
- Núcleo de espuma expandida con un espesor de 5 cm
- Suma de las áreas de alambre horizontal y vertical de cada malla debe ser $1,25 \text{ cm}^2/\text{m}$
- Área de alambres en una dirección de $0,40 \text{ cm}^2/\text{m}$
- Mortero con resistencia a la compresión de 120 kg/cm^2 a los 28 días

Es importante recalcar que los requerimientos especificados en el texto anterior deben cumplirse al instalar paredes tipo emparedado en la construcción de viviendas donde este sistema es el componente principal. Para esta investigación específicamente, al no estudiarse el sistema como elemento estructural, puede que alguna de las especificaciones anteriores no sea aplicable.

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el siguiente capítulo se presentan los resultados obtenidos del levantamiento de campo, la tipificación de daños y posibles factores de influencia en los mismos.

3.1 Descripción general de los objetos de estudio

Los objetos de estudio para la presente investigación comprenden doce proyectos, ocho dentro del Gran Área Metropolitana, dos en Santa Cruz, Guanacaste, uno en San Carlos, Alajuela y uno en Garabito, Puntarenas. El periodo de toma de datos abarcó desde setiembre de 2020 hasta marzo de 2021.

En su mayoría, los proyectos en estudio corresponden a edificios tipo torres de apartamentos o hoteles. Cabe mencionar que, durante el periodo de visitas, la mayoría de los proyectos se encontraban finalizados y entregados a los propietarios. Lo anterior es un factor de gran relevancia dado que, al ya encontrarse habitados, no se tiene acceso a todos los niveles de la edificación, ni se puede ingresar a los apartamentos, por lo que no se cuenta con una vista de las paredes tipo emparedado desde ambos lados.

Añadido a esto, al tratarse en su mayoría de proyectos en etapa finalizada, no se tuvo información acerca del proceso de instalación de los paneles ni las prácticas constructivas que se hayan dado al momento de la instalación. Tampoco se cuenta con información del procedimiento de resane y tratamiento de fisuras que hayan podido presentarse durante la etapa de obra gris. Lo anterior dificulta que se pueda determinar si efectivamente en una etapa temprana de la edificación se hayan podido presentar más tipos y una mayor cantidad de fisuras de las que fueron observadas a la hora de realizar el levantamiento de esta investigación.

3.1.1 Ubicación geográfica

Los objetos de estudio se ubican en cinco provincias del país: San José, Heredia, Alajuela, Puntarenas y Guanacaste. Se buscó que estos se encontraran en diferentes zonas del país con el fin de proveer una muestra con mayor variabilidad climática y ambiental. En la Figura 24 se muestra la ubicación de los doce proyectos en estudio.

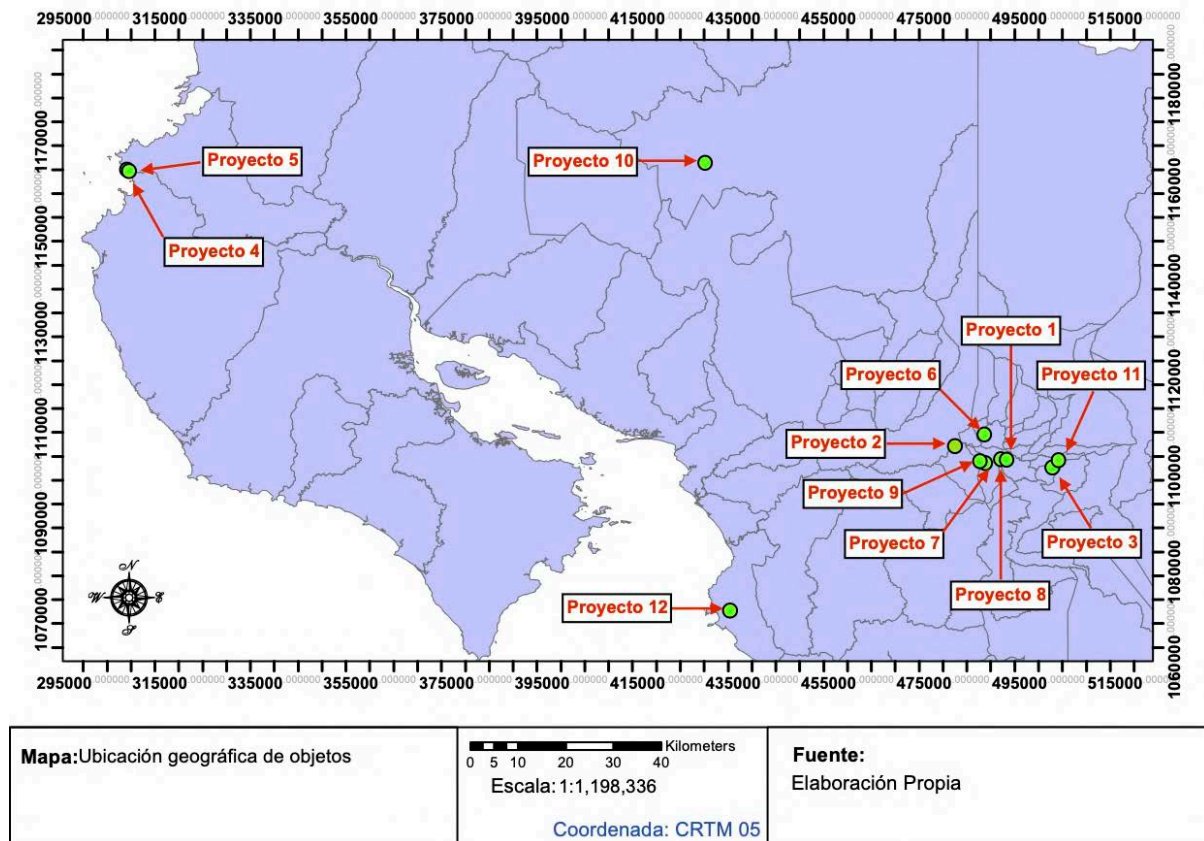


Figura 24. Ubicación geográfica de los doce objetos en estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2 Tipificación de daños encontrados en campo

En la siguiente sección se presentan los resultados del análisis de la documentación obtenida en campo, de las cuales se pudo obtener una tipificación de los daños asociados al sistema de pared tipo electro panel como cerramiento liviano. La tipificación realizada se clasifica describiendo los daños observados de la siguiente forma (ver Figura 25):

- A. Fisura de separación vertical entre panel y sistema estructural (PE)
- B. Fisura a 45° desde unión con sistema estructural (45E)
- C. Fisura horizontal desde unión con sistema estructural (HE)
- D. Fisura a 45° desde buques o conexiones electromecánicas (45B)
- E. Fisura vertical (V)
- F. Fisura en cruz (C)
- G. Fisura de separación entre paneles (SP)

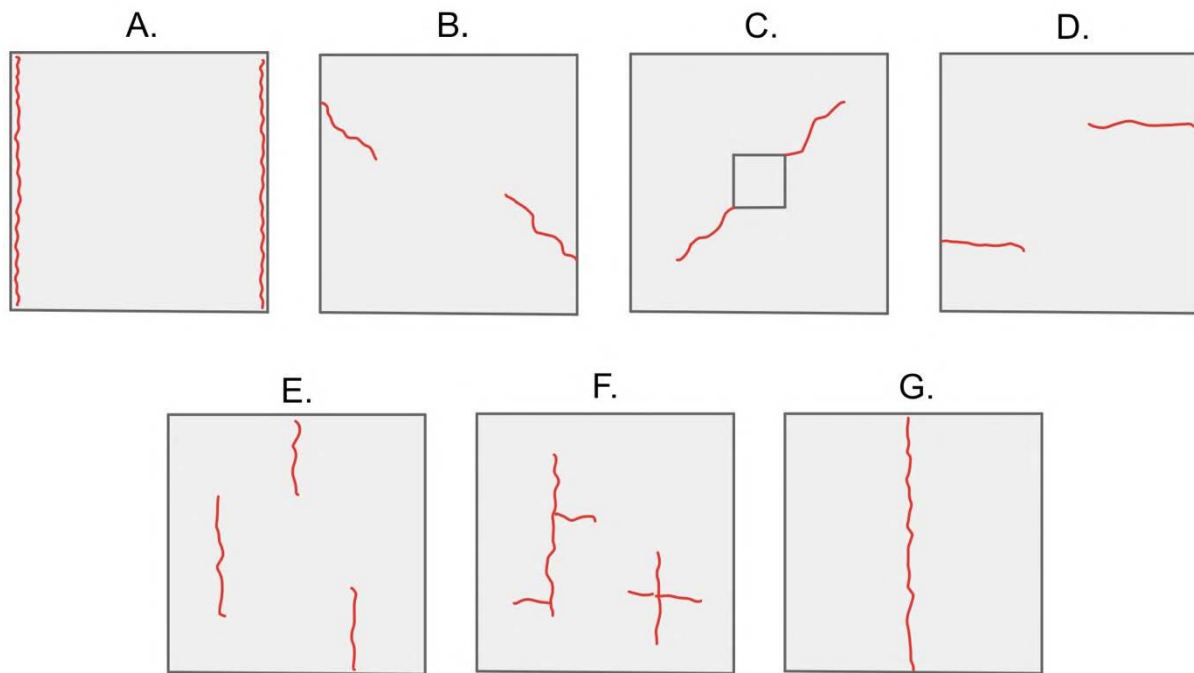


Figura 25. Daños según tipificación
Fuente: Elaboración propia

Con el fin de lograr una comprensión clara de cómo se presentaron los tipos de fisuras enlistados anteriormente, se adopta un formato de representación en las fotografías tomadas en campo, el cual consiste en delimitar el daño encontrado dentro de líneas punteadas color negro, a ambos lados de la fisura. Esta situación ocurre donde la fisura no es lo suficientemente visible como para ser detectada con facilidad. Asimismo, se señala tanto el tipo de daño que se observa, como la ubicación del electro panel y del sistema estructural, siempre que estos se encuentren presentes.

Añadido a esto, se crearon diagramas que describen cada uno de los tipos de daños observados, con el fin de ayudar al lector a hacer una correcta interpretación del levantamiento fotográfico que se llevó a cabo. Los diagramas se confeccionaron con fines ilustrativos, donde la ubicación de las fisuras y el tamaño de las mismas se colocan a modo de ejemplo, sin escala. Lo anterior significa que no necesariamente se verán las fisuras de la misma forma que se representan en el diagrama, pero junto con el formato de delimitación de fisuras descrito en el párrafo anterior, se pretende proveer al lector de una herramienta de identificación más clara de la ubicación y la forma de los daños encontrados.

3.2.1 Fisura de separación vertical entre panel y sistema estructural

(PE)

El daño tipo PE corresponde a una separación observable entre el sistema estructural de la edificación y las paredes tipo emparedado utilizadas como cerramiento liviano. Inicialmente, se determinó la ubicación del sistema estructural y luego se identifica el momento en que se cambia de material e inicia el cerramiento liviano. Este tipo de daño se caracteriza por extenderse totalmente (o cercano a la totalidad) de la altura de la unión. En la Figura 26 a continuación se muestra un diagrama de este tipo de daño.

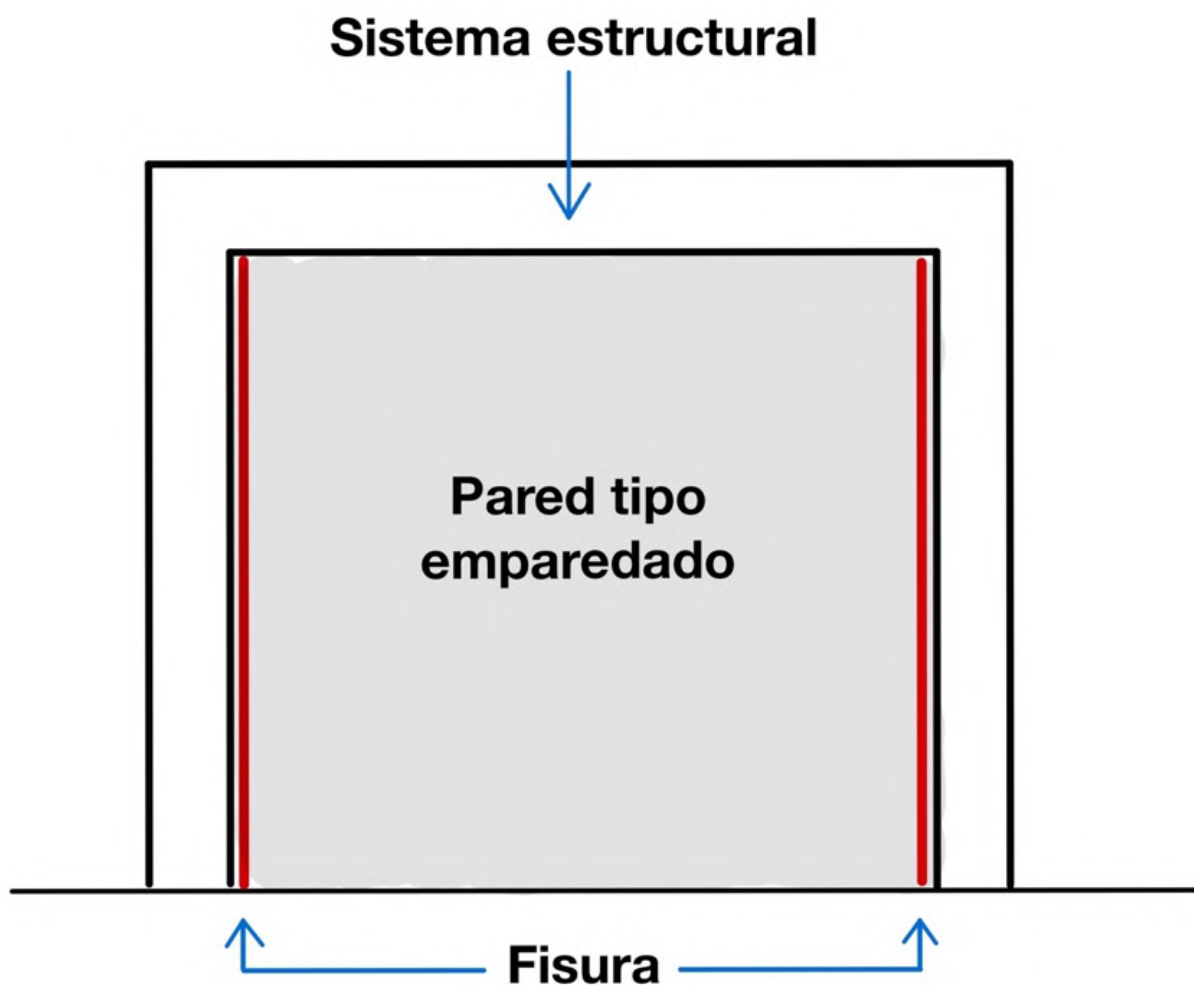


Figura 26. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo PE
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 27 y Figura 28 a continuación, se muestran ejemplos de este tipo de daño encontrado en una pared interior. Se puede observar que es en la unión entre una columna de concreto y una pared tipo emparedado, donde se ubica una fisura que se extiende

verticalmente a lo largo de la unión. Ambas fotografías muestran la pared empastada y pintada, la cual permite disimular un poco la aparición de la fisura. No obstante, se identifica claramente la separación entre el elemento estructural y el cerramiento liviano.

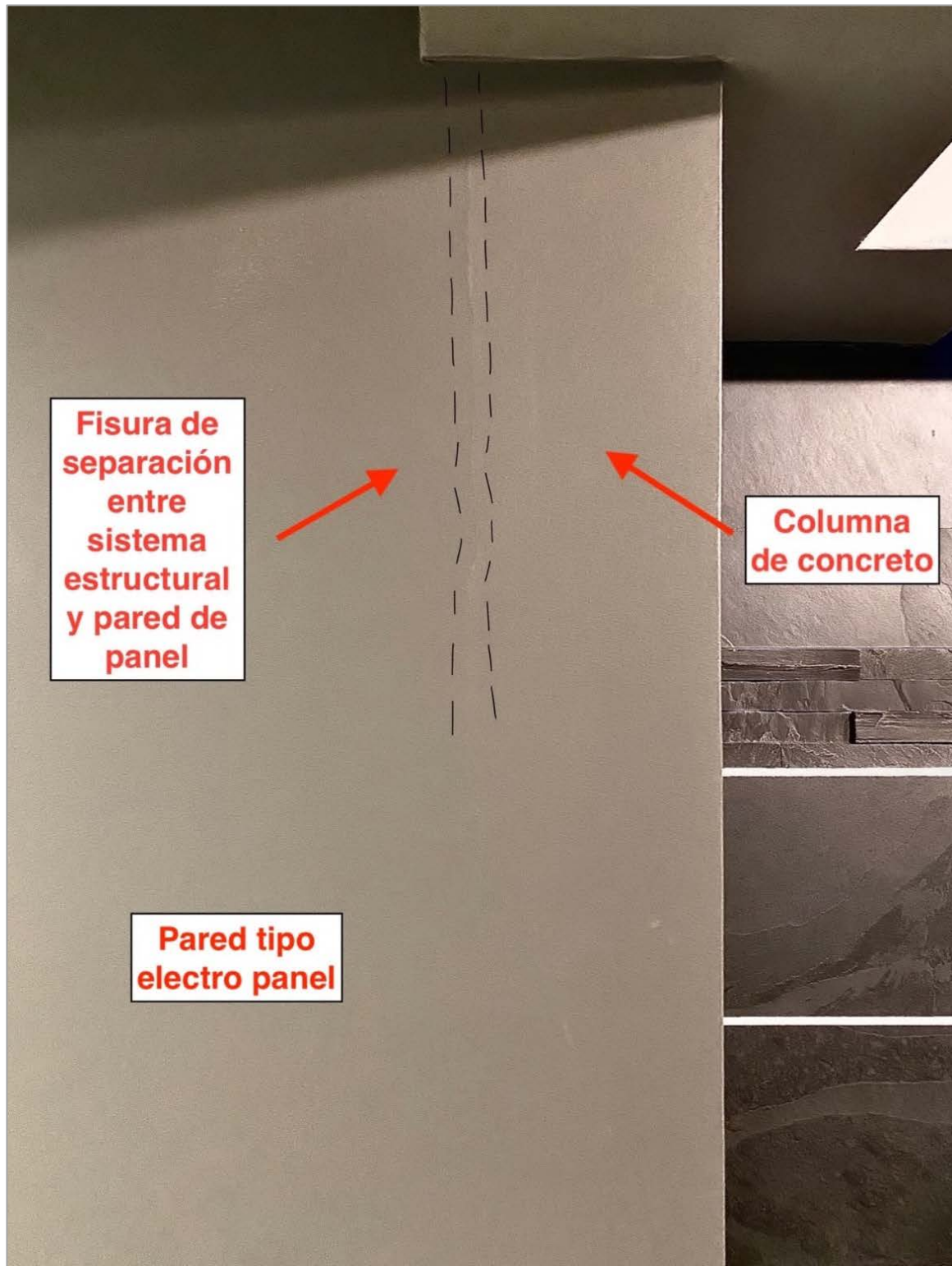


Figura 27. Muestra 1 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

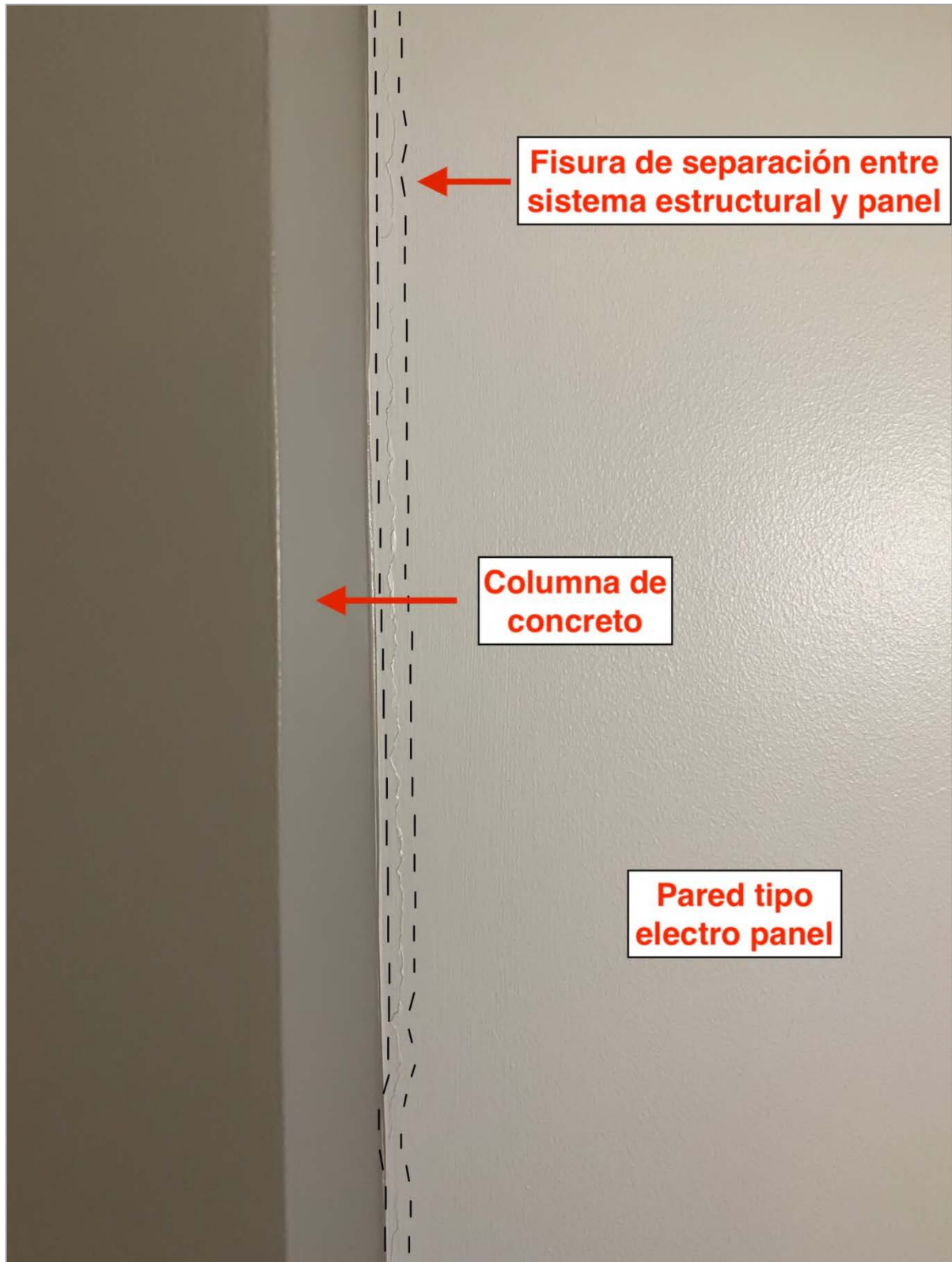


Figura 28. Muestra 2 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, en la Figura 29, Figura 30 y Figura 31, se muestran tres ejemplos de este tipo de fisura en paredes exteriores. En estas se puede identificar con mayor facilidad la presencia del daño tipo A. Cabe mencionar que, para las siguientes tres figuras, no se toman las fotografías de una forma que se muestre la extensión total de la fisura, dado que se tendría que alejar más el objeto fotografiado, lo cual comprometería la visualización del daño presentado. De lo anterior se hace énfasis en que la fisura se extiende a todo lo alto de la pared.

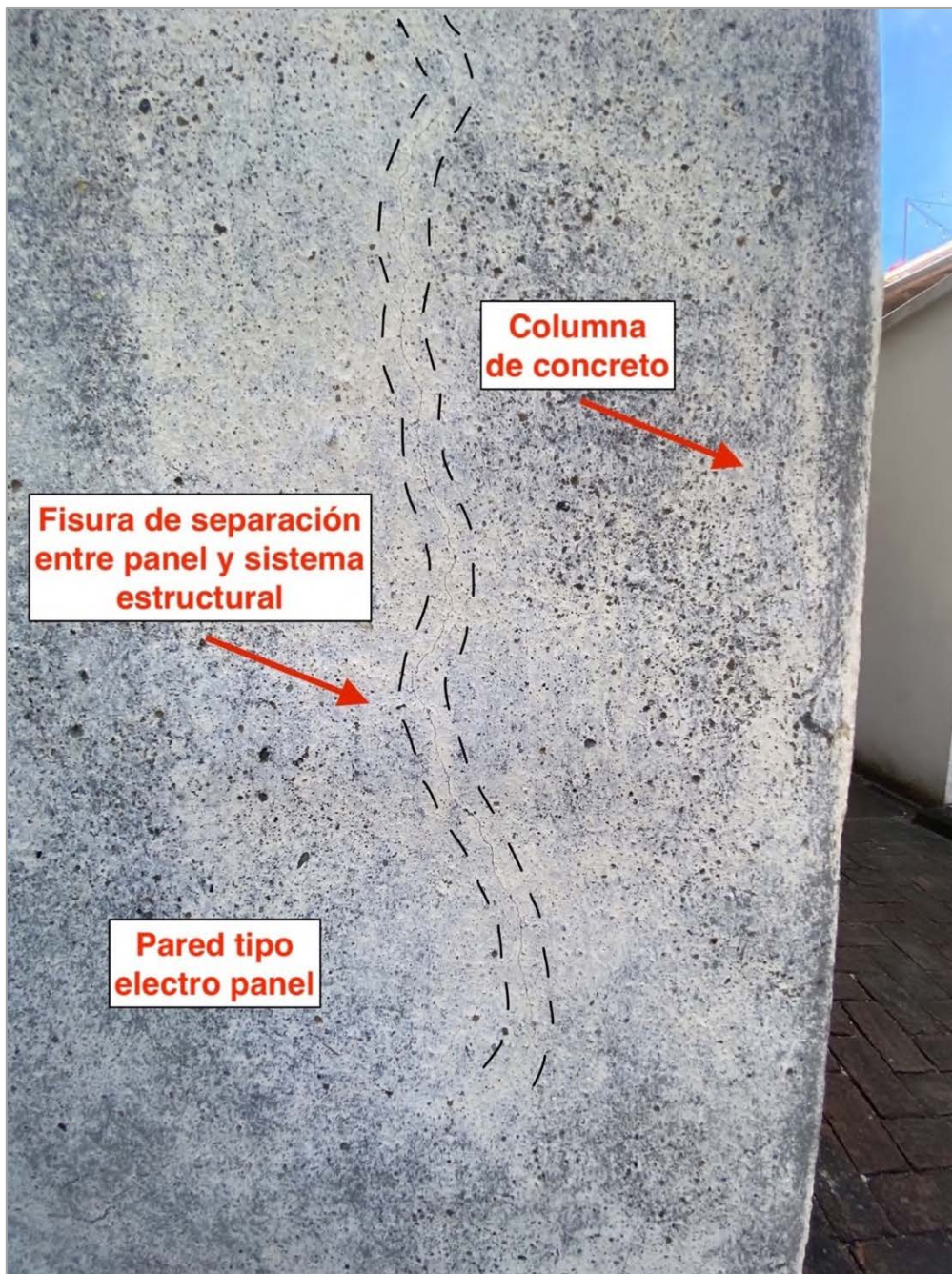


Figura 29. Muestra 3 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

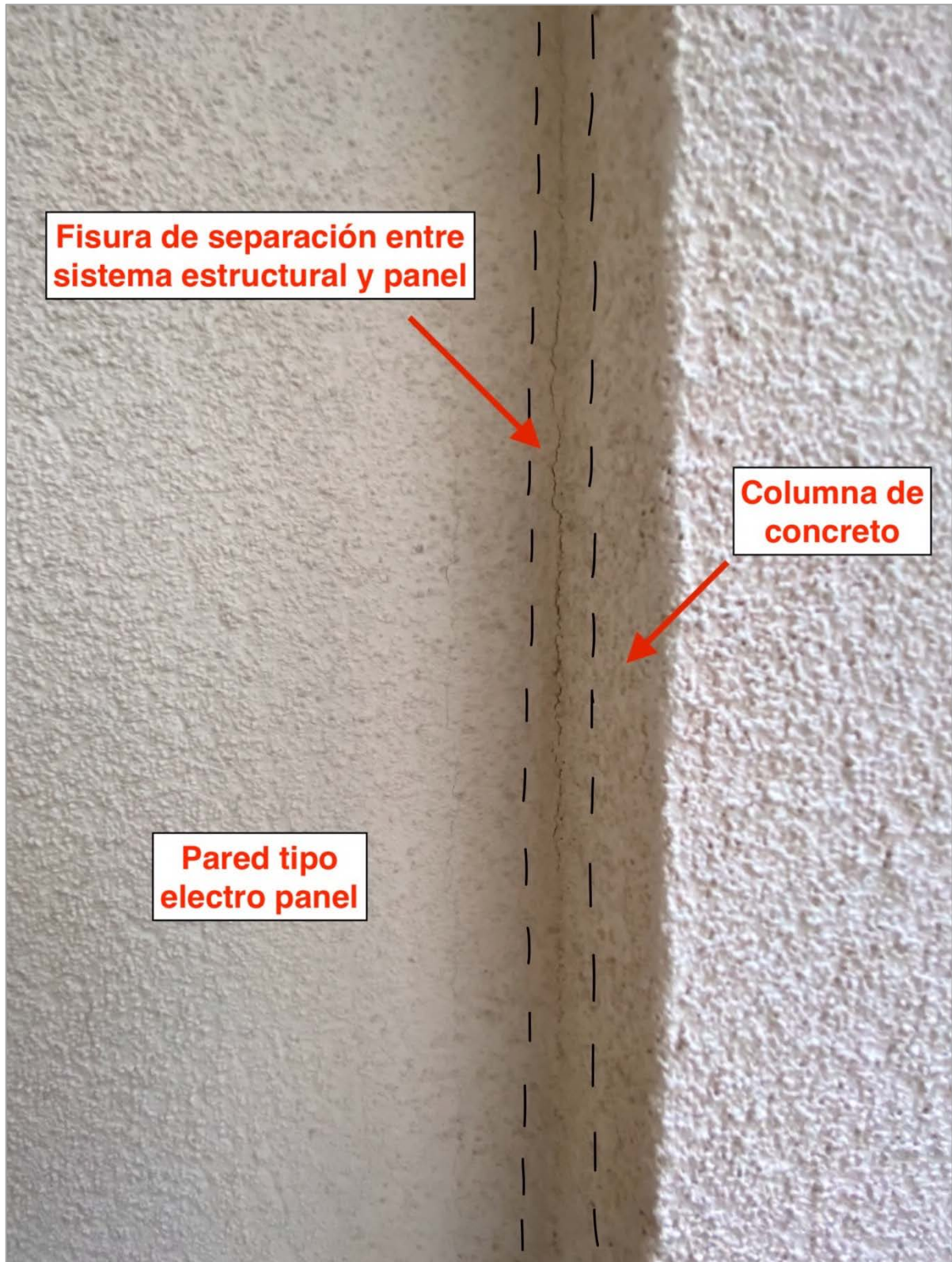


Figura 30. Muestra 4 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

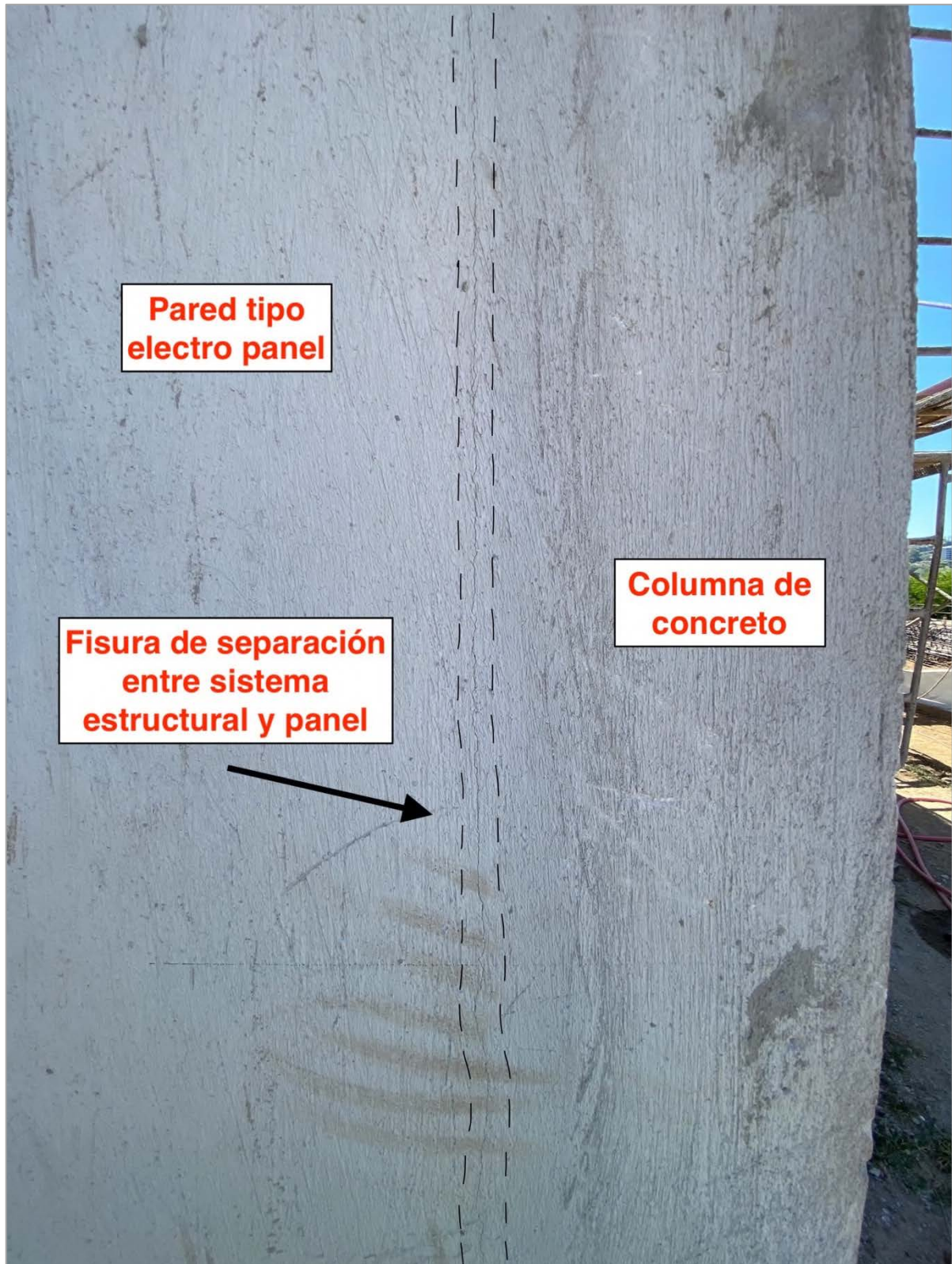


Figura 31. Muestra 5 de daño tipo PE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Fisura a 45° desde unión con sistema estructural (45E)

El daño denominado como tipo 45E corresponde a fisuras a 45° que inician desde la unión entre la pared tipo emparedado y el sistema estructural de la edificación. En campo se pudo observar este tipo de daño a nivel de paredes internas, en dos momentos constructivos distintos (proyecto en construcción y proyecto habitado). Del levantamiento no se pudo observar un patrón de longitud de fisura suficiente como para llevar a cabo la medición de esta propiedad. La Figura 32 que se presenta a continuación corresponde al diagrama ilustrativo para este tipo de daño.

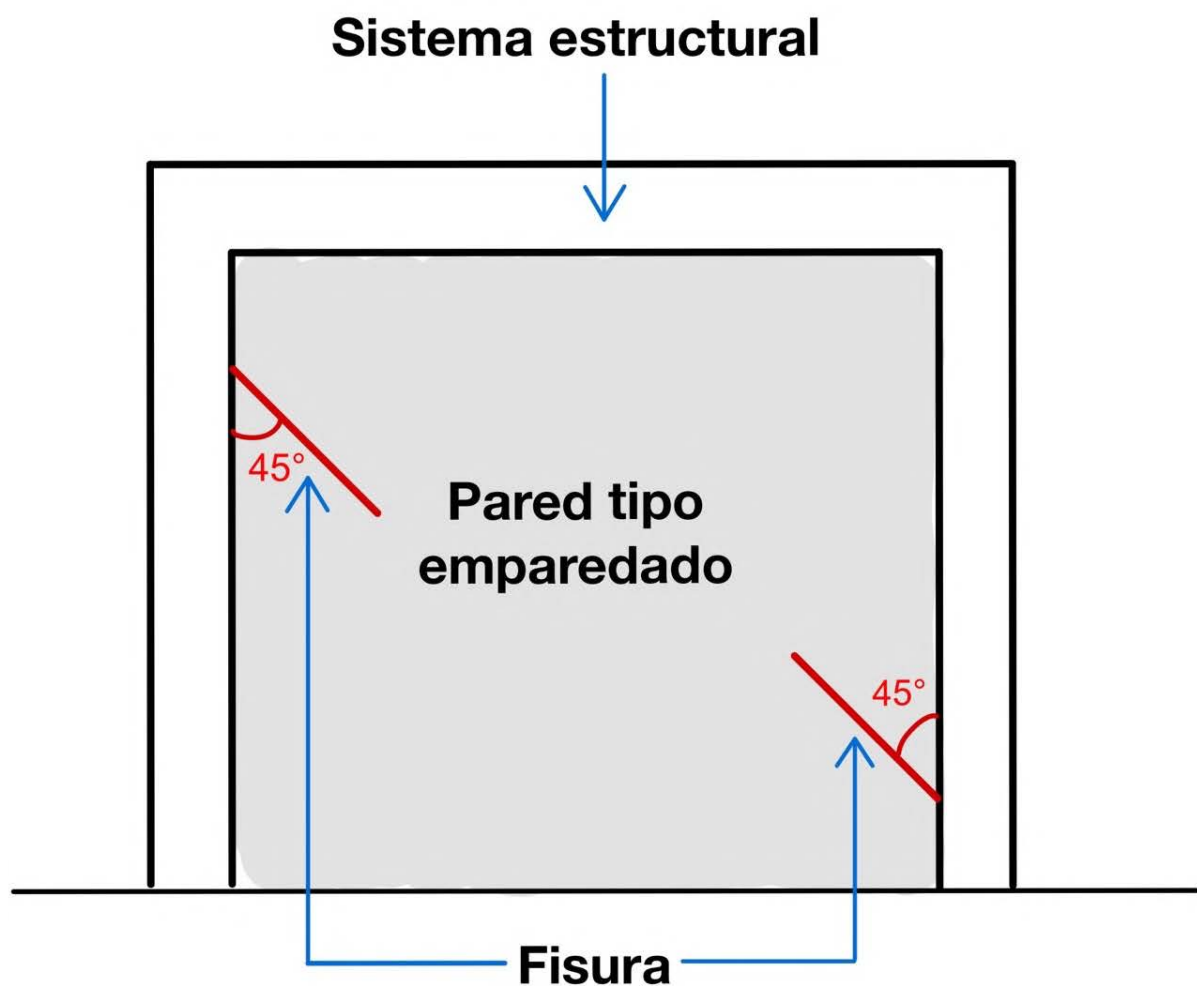


Figura 32. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo 45E
Fuente: Elaboración propia

En la **Error! Reference source not found.** se presenta un proyecto terminado y entregado, donde ya se le ha aplicado pasta y pintura, mientras que en la Figura 34 se muestra evidencia de un proyecto que se encontraba en etapa de empastado, mientras que. En la Figura 33 se

puede observar una longitud de fisura prolongada, pero esta no se extiende a lo largo de todo el paño de la pared de esta sección del edificio, ni se origina en las esquinas de la pared, por lo que no se puede inferir acerca de la presencia de transferencia de esfuerzos cortantes desde la losa de entrepiso que pudieran contribuir a la aparición de este tipo de daño.

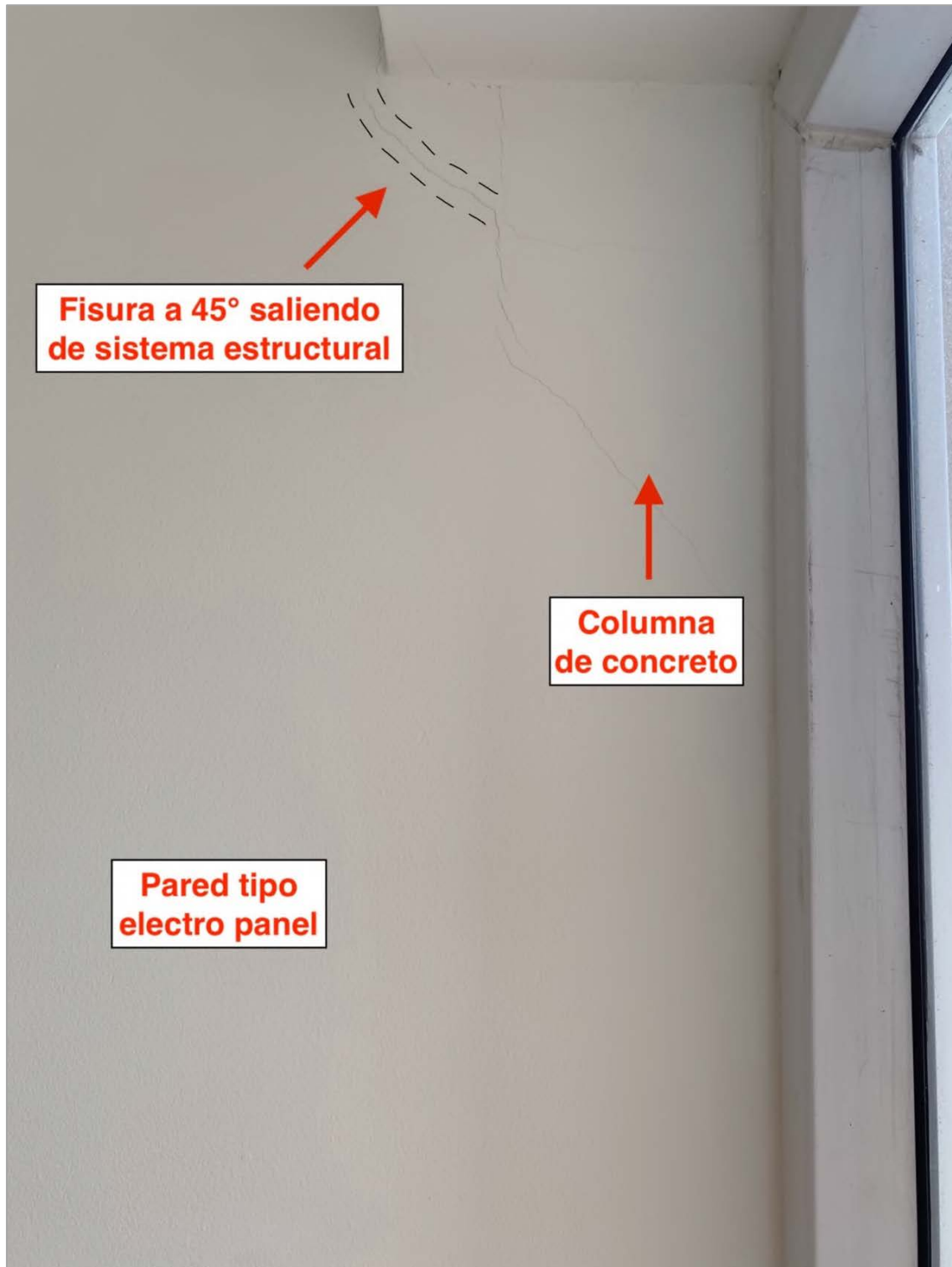


Figura 33. Muestra 2 de daño tipo 45E dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

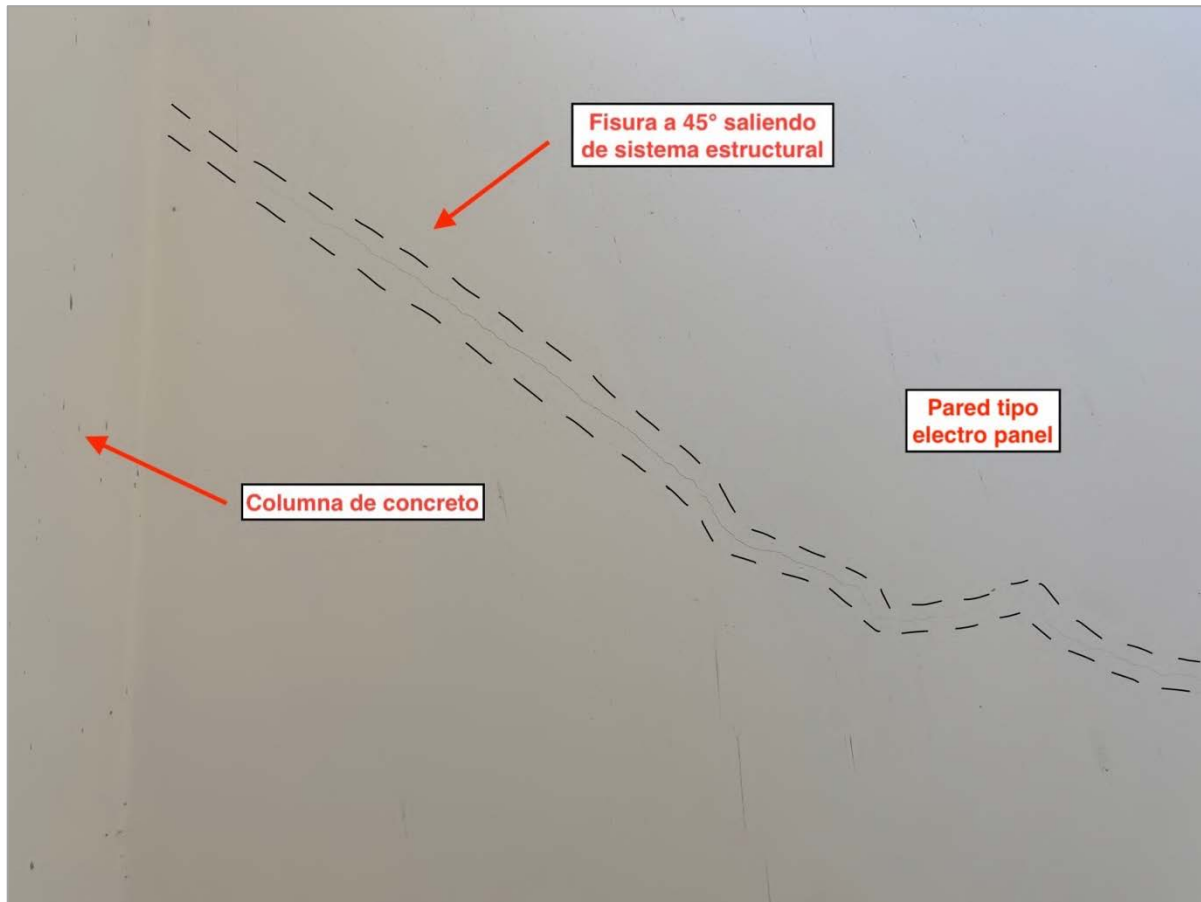


Figura 34. Muestra 1 de daño tipo 45E dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Fisura horizontal desde unión con sistema estructural (HE)

La clasificación tipo HE corresponde a una fisura horizontal que sale desde la unión entre el sistema estructural del edificio y la pared tipo emparedado. Al igual que las fisuras tipo PE, las fisuras clasificadas como tipo HE presentan de las frecuencias de aparición más altas dentro de la muestra que se estudió. En la Figura 35 se observa el diagrama ilustrativo correspondiente a este tipo de fisuras.

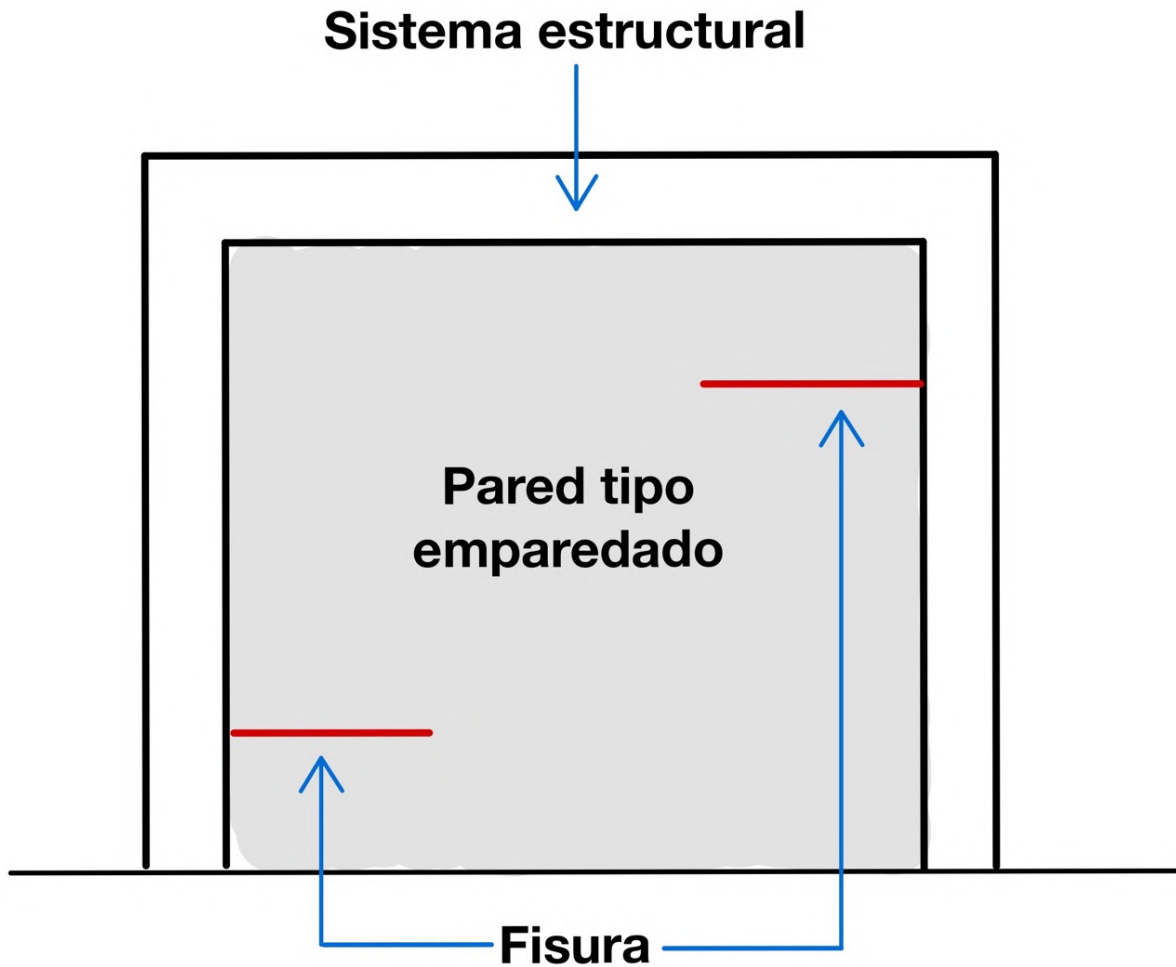


Figura 35. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo HE
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la Figura 36 y Figura 37, este tipo de daño se manifiesta de forma principalmente horizontal. Además, se denota que se presenta tanto en paredes externas como internas de la edificación.

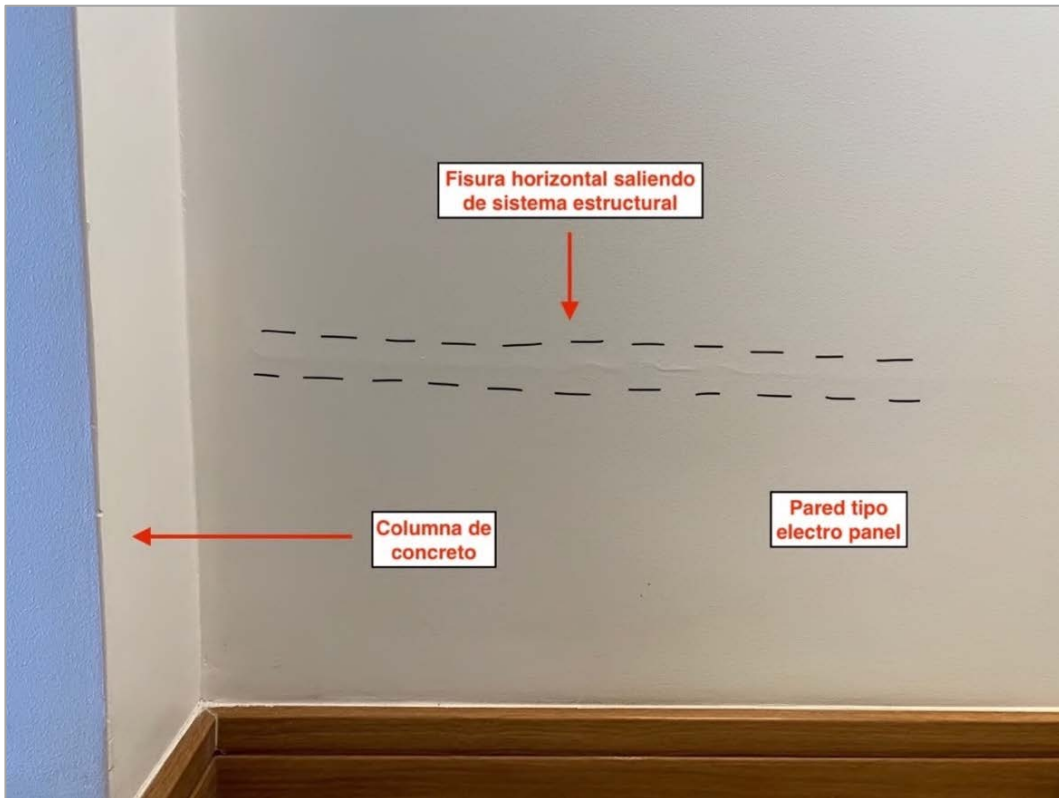


Figura 36. Muestra 1 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

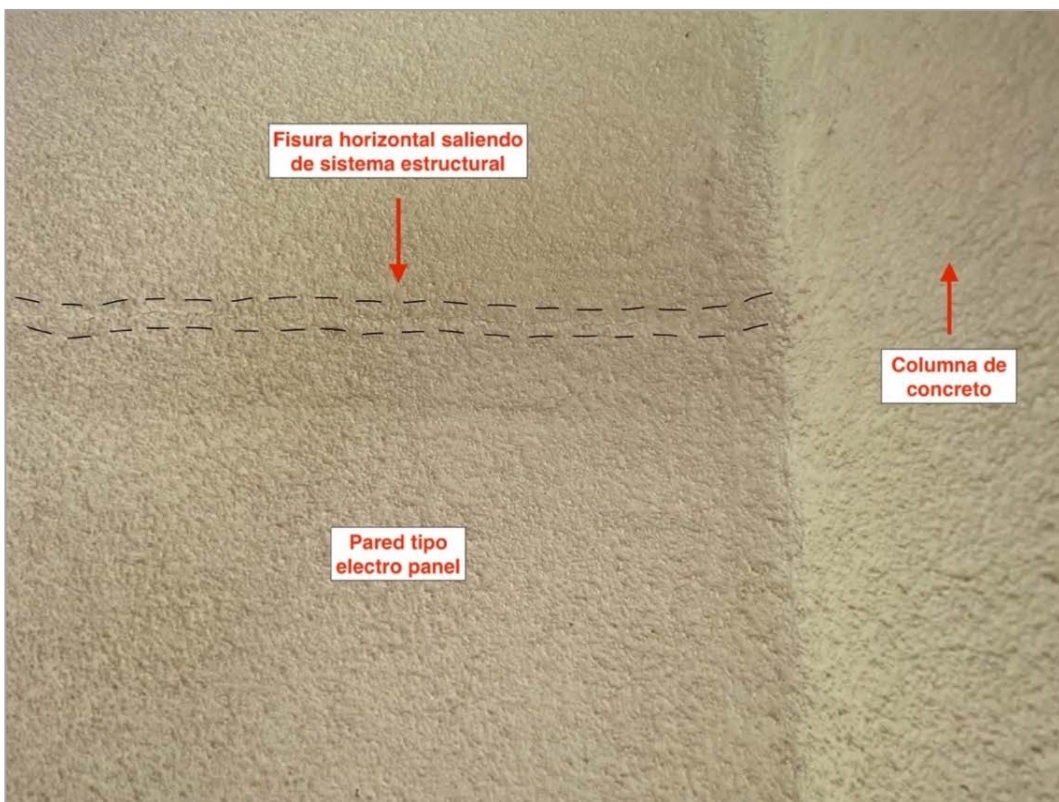


Figura 37. Muestra 2 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

De forma contraria, en algunos proyectos no se encontraban fisuras exactamente paralelas al plano del entrepiso/contrapiso pero, de igual forma, se consideraron dentro de la misma clasificación por tener una forma casi horizontal (ver Figura 38, Figura 39, y Figura 40). Las fisuras que se encontraron para esta categoría varían en tamaño, sin tener un patrón de longitud definida, por lo que no se consideró como un factor a medir.

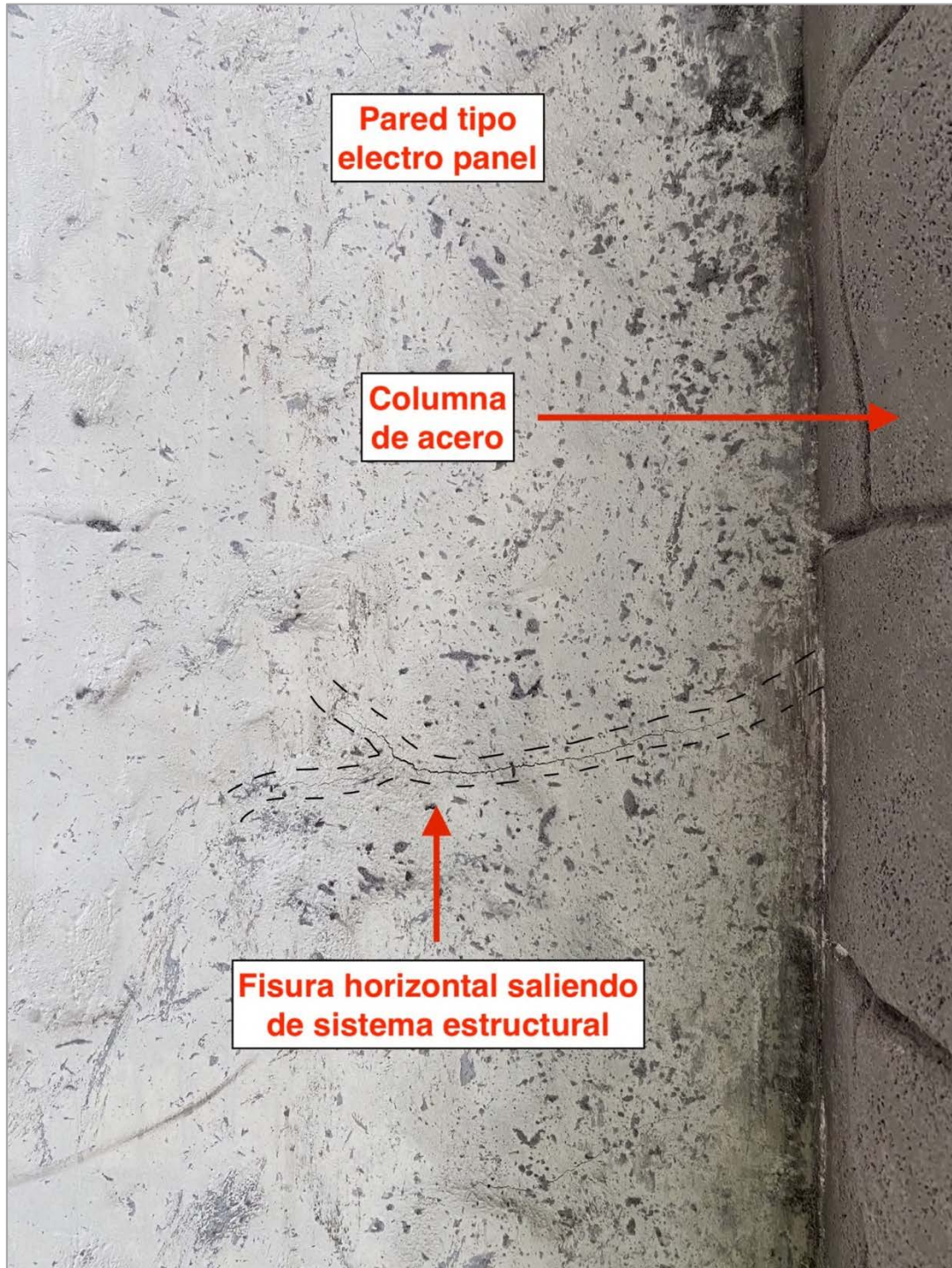


Figura 38. Muestra 3 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

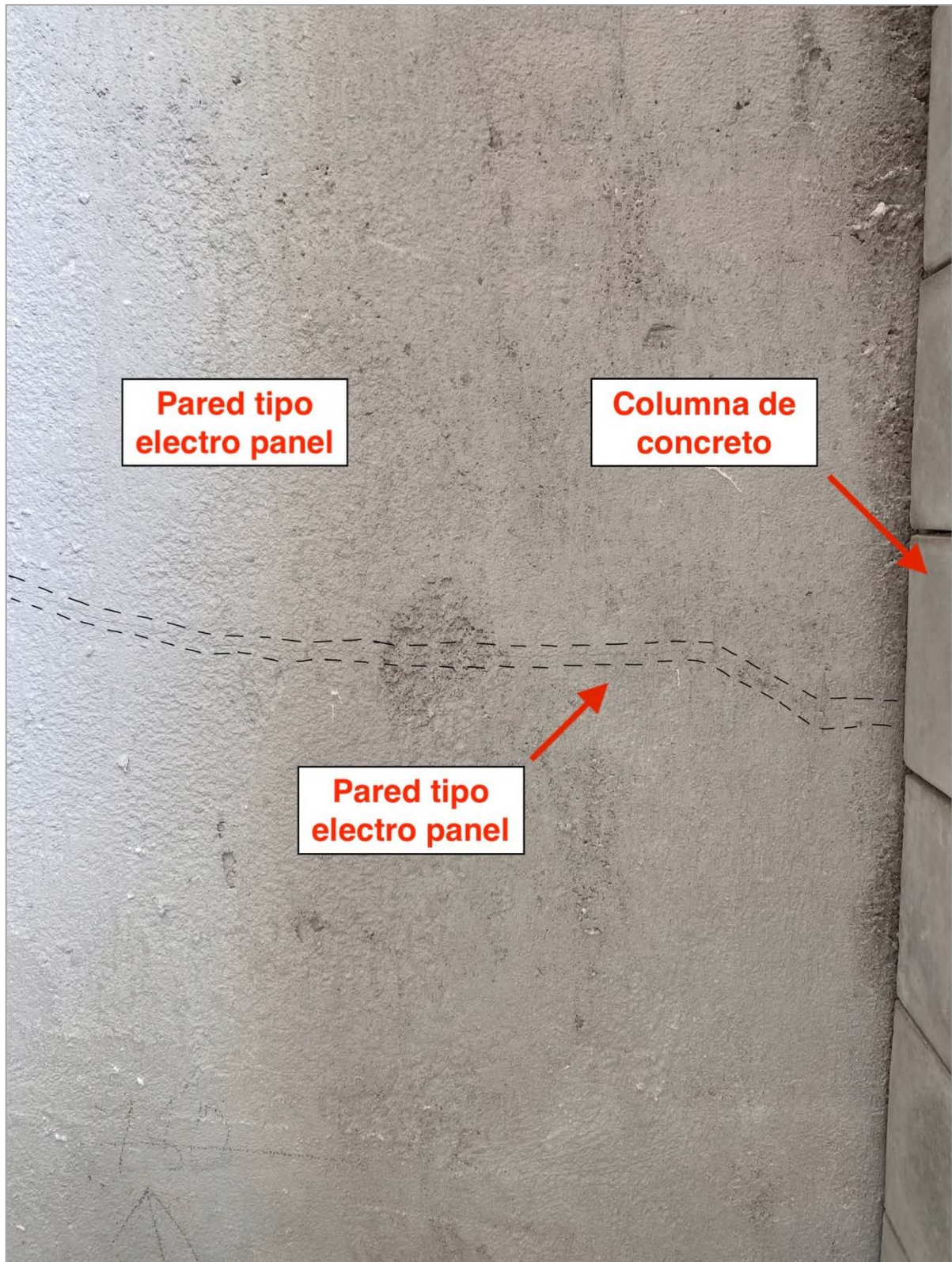


Figura 39. Muestra 4 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

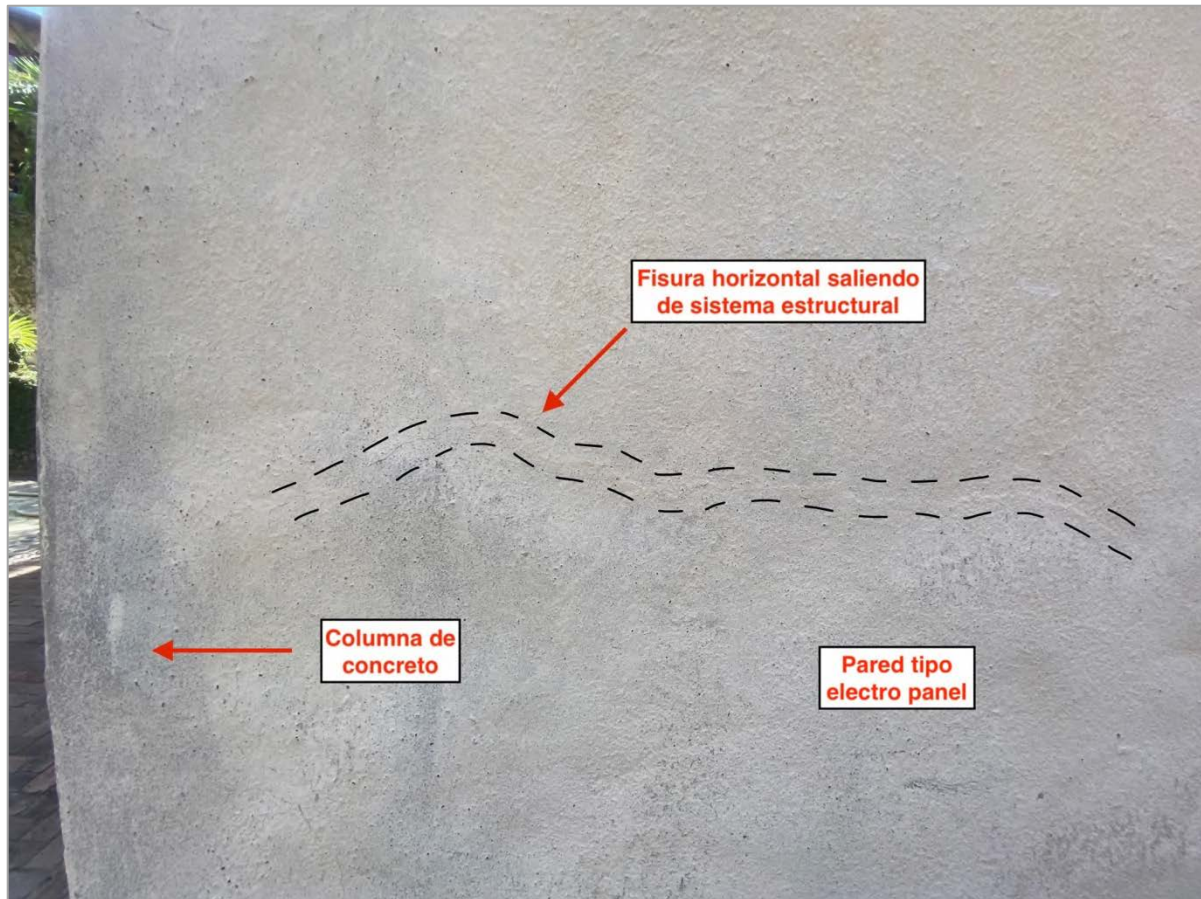


Figura 40. Muestra 5 de daño tipo HE dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Fisura a 45° desde buques o conexiones electromecánicas (45B)

La clasificación de daños siguiente se describió como 45B debido a que consiste en fisuras a 45° saliendo desde buques de puertas, ventanas o conexiones electromecánicas. Se refiere a este tipo de fisura como una clasificación por aparte de la clasificación 45SE ya que, se conoce exactamente el punto de inicio de la fisura, el cual se ubica en las esquinas de los recortes mencionados anteriormente. Añadido a esto, se tiene una cantidad de apariciones significativas dentro de la muestra en estudio, por lo que se considera importante incluir dentro de la tipificación. En Figura 41 a continuación, se muestra un diagrama de este tipo de daño.

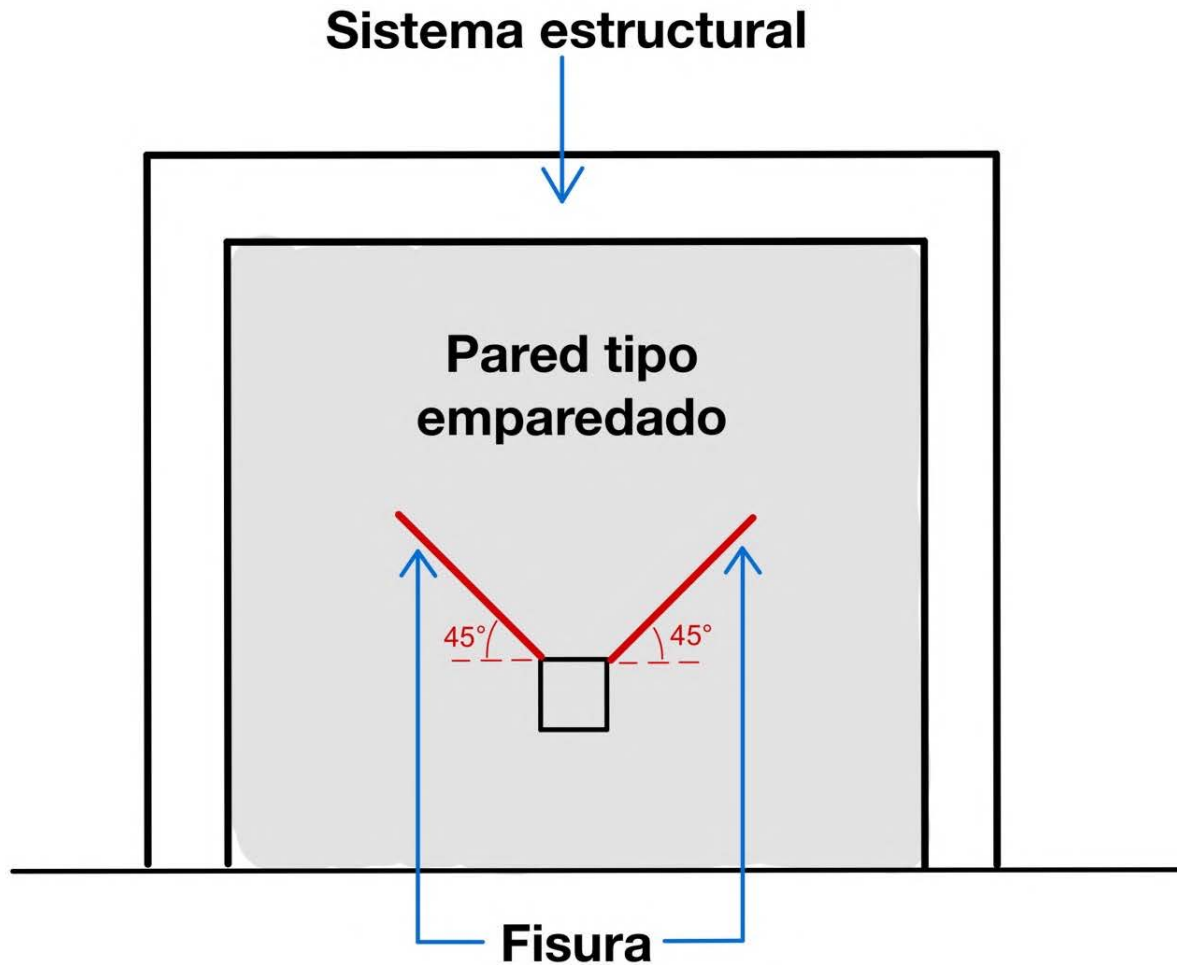


Figura 41. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo 45B

Fuente: Elaboración propia

En Figura 42 se puede observar una fisura iniciando en la esquina del buque de una ventana, en un proyecto finalizado y entregado. Esta fotografía ejemplifica el daño descrito en una pared exterior. Similar a esto, la Figura 43 describe el mismo tipo de fisura, con la diferencia de que esta se origina desde la instalación de una caja eléctrica. En este ejemplo, el proyecto se encontraba en obra gris, en etapa de empastado. Cabe mencionar que, aunque lo que se está observando en la Figura 43 es una fisura en la capa de pasta de acabado, esta capa es lo suficientemente delgada como para asumir que la fisura también se encuentra presente en el mortero de repello que colocado en la capa inferior.



Figura 42. Muestra 1 de daño tipo 45B dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia



Figura 43. Muestra 2 de daño tipo 45B dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Fisura vertical (V)

La siguiente clasificación corresponde a fisuras que presentan un patrón vertical. De esta clasificación es de suma importancia recalcar que las fisuras verticales no se presentan saliendo desde una parte específica del panel, sino que se incluyeron todos los daños observables que presentaron ese patrón. Las fisuras encontradas se observaron saliendo desde la unión con el entepiso, unión con el contrapiso, a mitad de pared, desde unión con viga corona, etc. Cabe mencionar que el diagrama mostrado en la Figura 44 a continuación no refleja todas las ubicaciones descritas anteriormente, únicamente algunas, a manera de ejemplo.

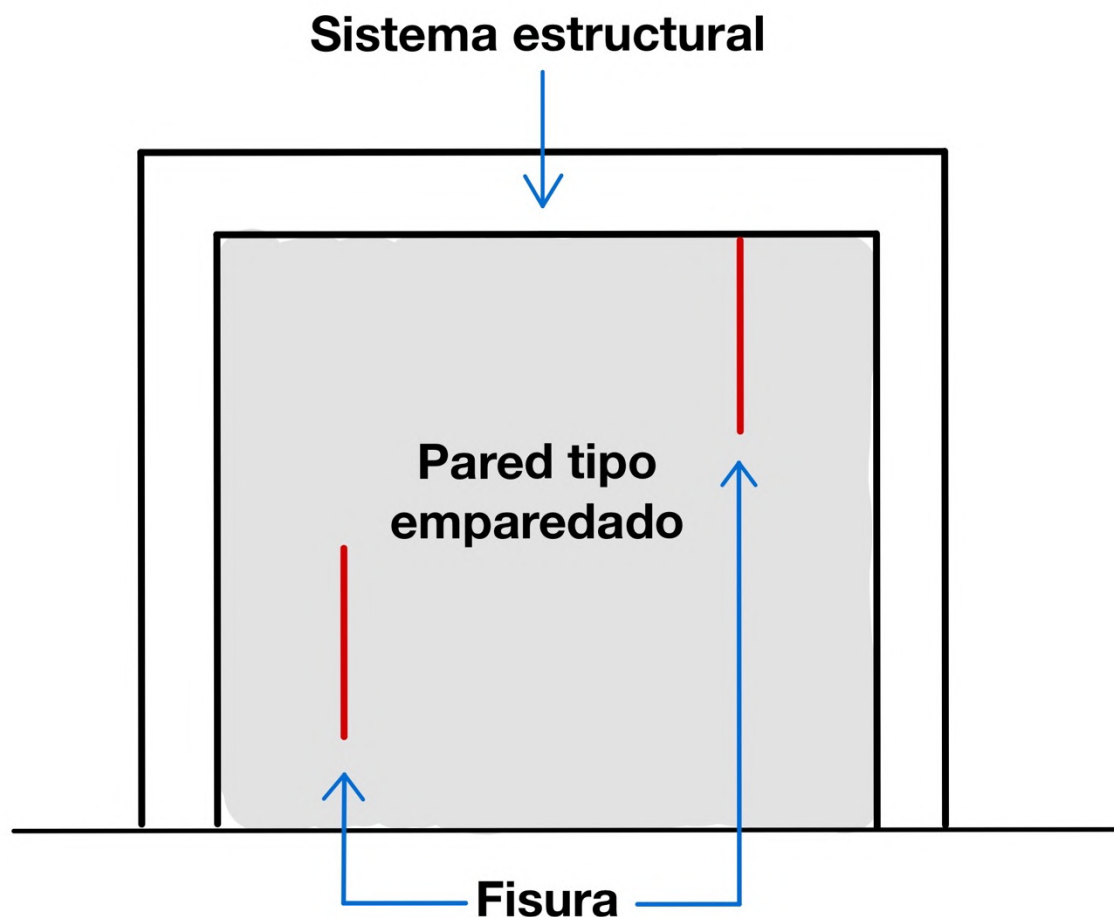


Figura 44. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo V
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se observan ejemplos de este tipo de daño encontrado en campo, las cuales se presentan tanto en paredes internas como externas. El largo de las fisuras presentes en esta clasificación varía desde los 30 cm hasta los 1,5 m. Es importante mencionar que, en este grupo de fisuras específicamente, no en todas se muestra la unión con el sistema estructural porque, al tener que acercarse la fotografía para captar la fisura, no se logra captar el sistema estructural. Lo anterior significa que estas pueden tener su origen tanto de esta unión como de un lugar aleatorio en la pared. Como se puede ver en Figura 45, esta imagen muestra un ejemplo del patrón observado para este tipo de fisuras, en una pared interior, ya empastada y pintada.

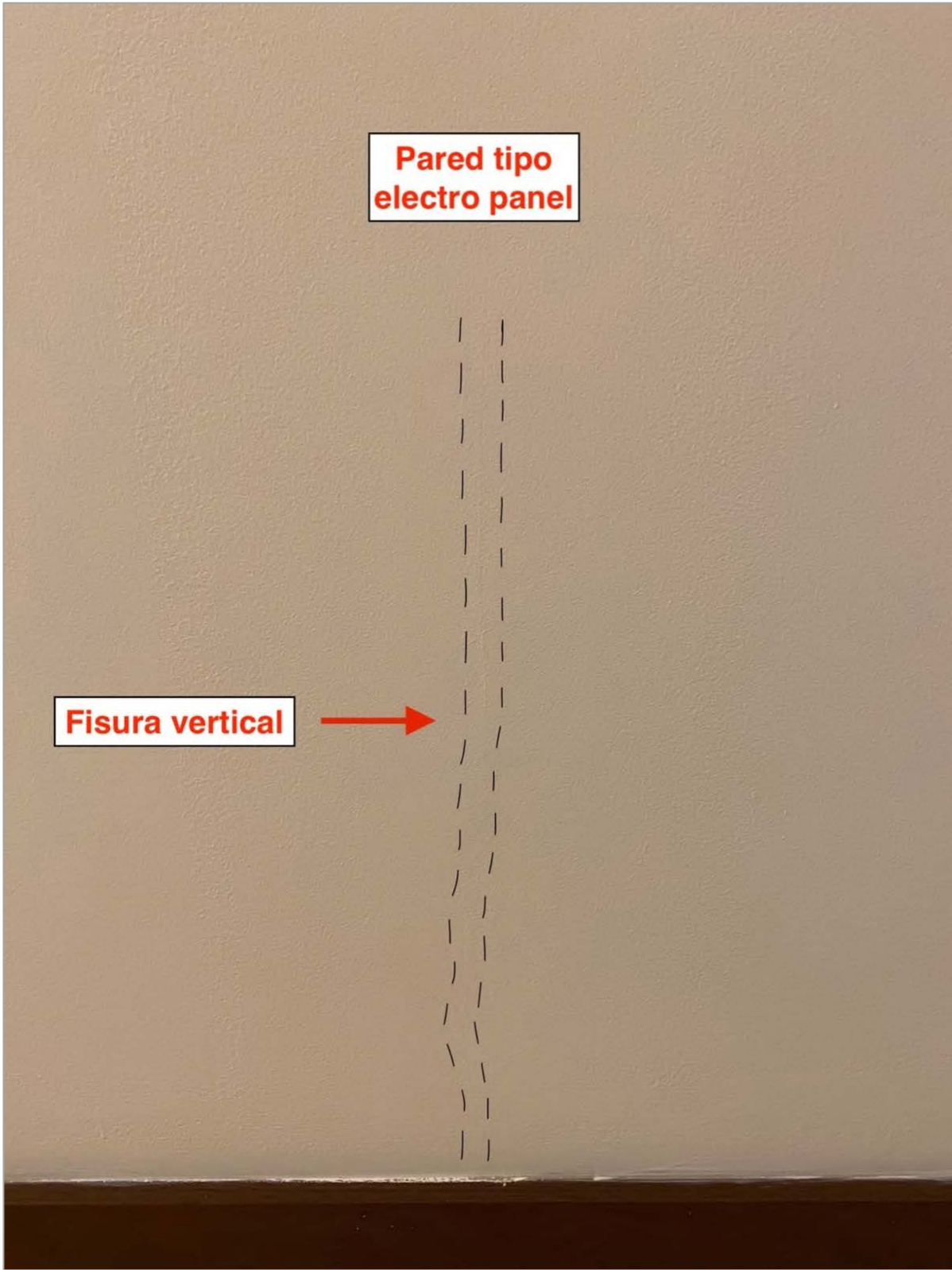


Figura 45. Muestra 1 de daño tipo V dentro de los objetos de estudio

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de fisura también se muestra en paredes exteriores, donde se observan naciendo del contrapiso (ver Figura 46), desde el entrepiso de la edificación (ver Figura 47) y la última se forma a mitad de pared (ver Figura 48).

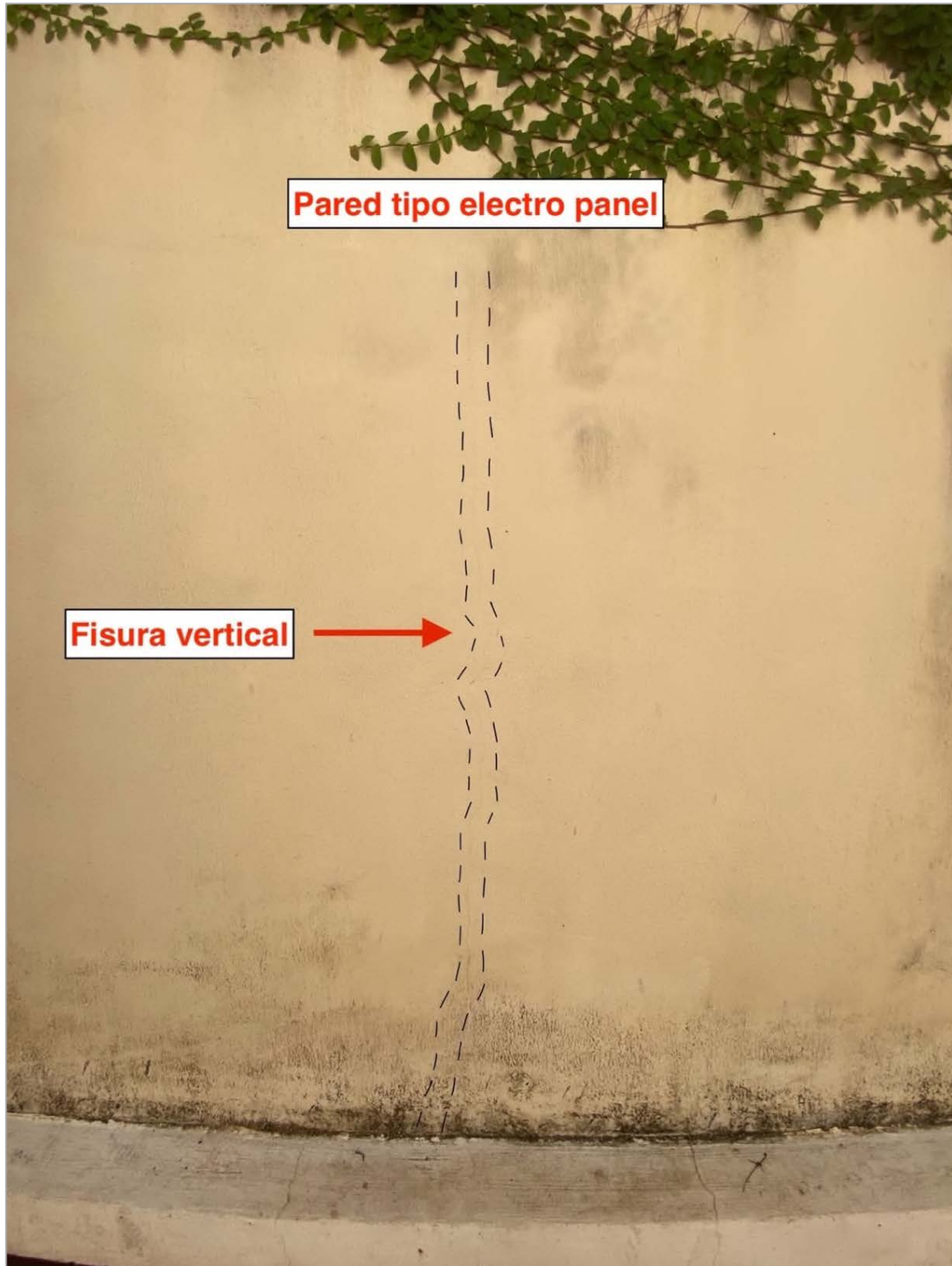


Figura 46. Muestra 2 de daño tipo V dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

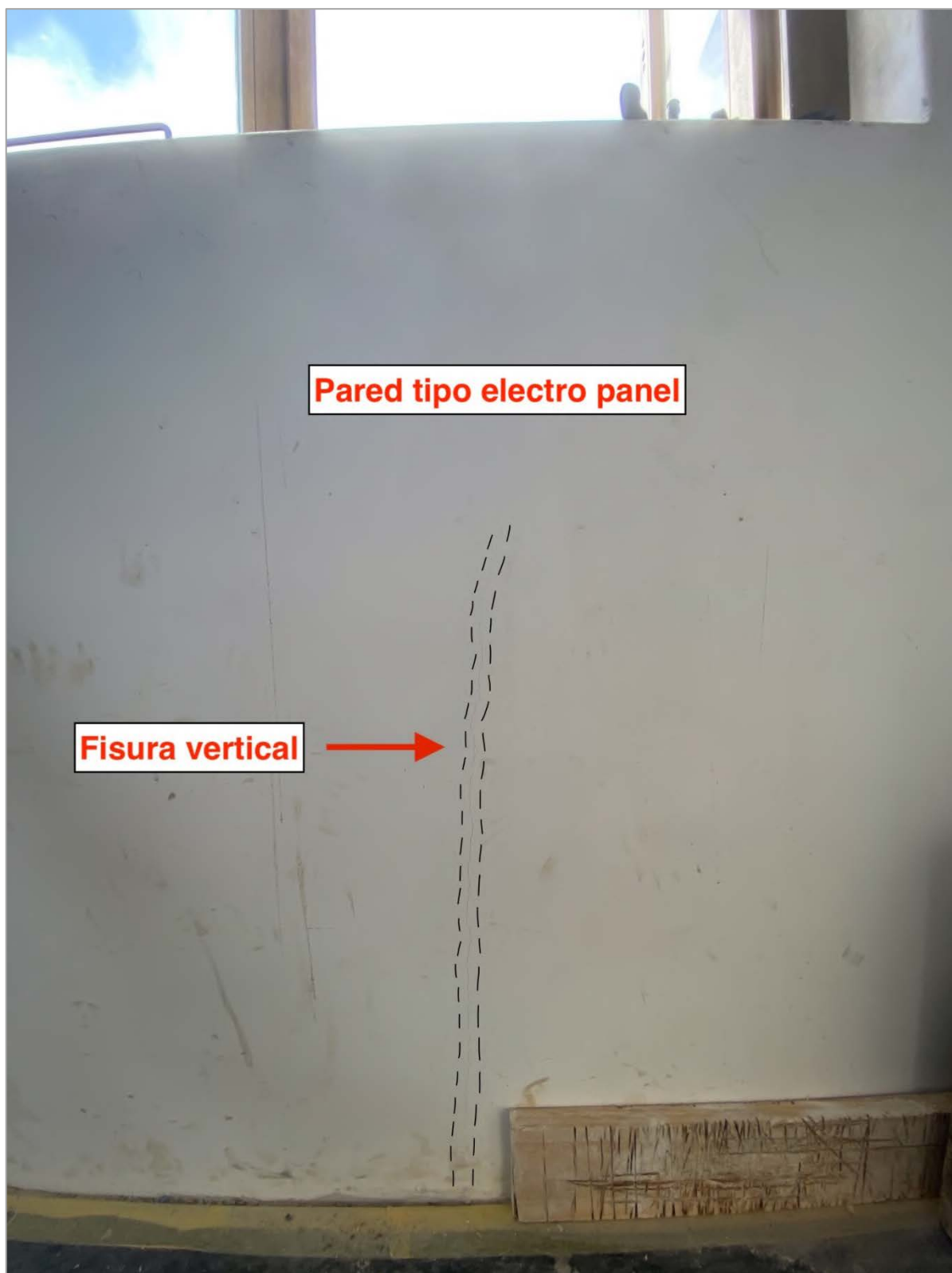


Figura 47. Muestra 3 de daño tipo V dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

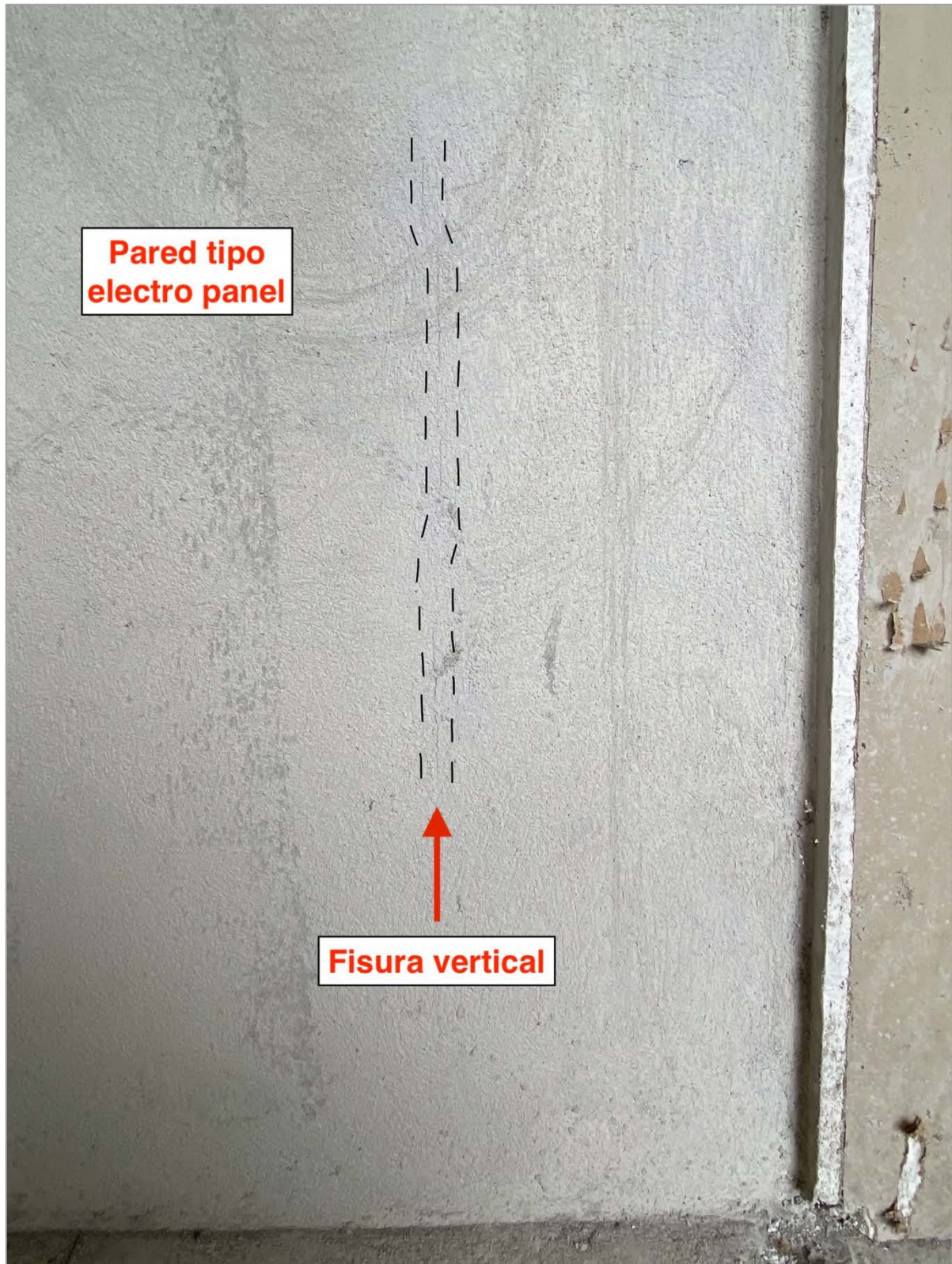


Figura 48. Muestra 4 de daño tipo V dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Fisura en cruz (C)

La siguiente clasificación de fisuras describe un patrón en forma de cruz, donde se observan daños verticales y horizontales que se intersecan entre sí. A diferencia de las clasificaciones anteriores, las fisuras de este tipo no se presenta de forma similar entre los casos encontrados, por lo que no se determina la distancia de separación entre las fisuras horizontales ya que, en campo se determinaron separaciones entre los 20 cm y los 2 m. En la Figura 49 se muestra un diagrama ilustrativo de las fisuras tipo C.

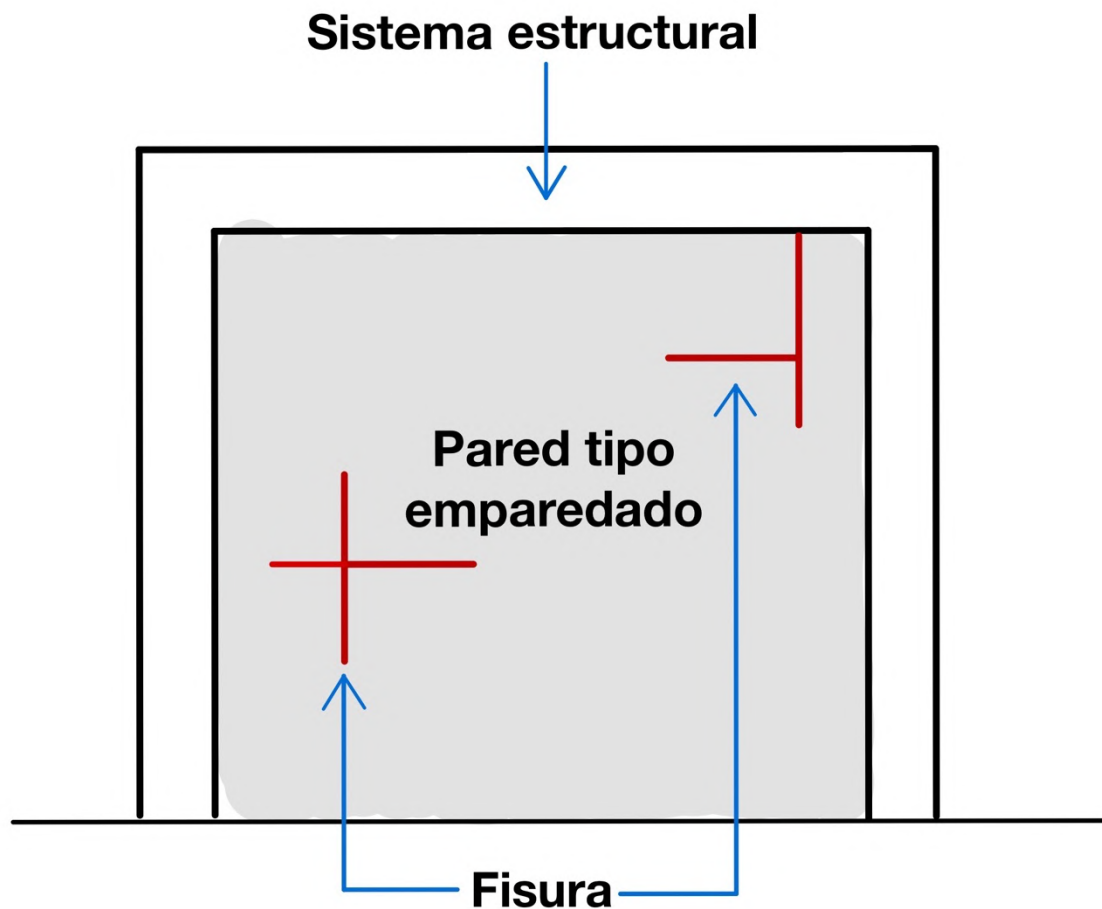


Figura 49. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo C
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 50 se muestra un patrón el patrón en cruz característico de esta clasificación, donde se puede observar una fisura vertical de unos 1,5 m de extensión, de la cual se originan fisuras horizontales, las cuales se extienden en magnitudes de entre 5 cm y 15 cm aproximadamente. Un caso diferente se muestra en la Figura 51, donde se presenta una única fisura horizontal que se extiende a lo largo de la pared fotografiada hacia la izquierda.

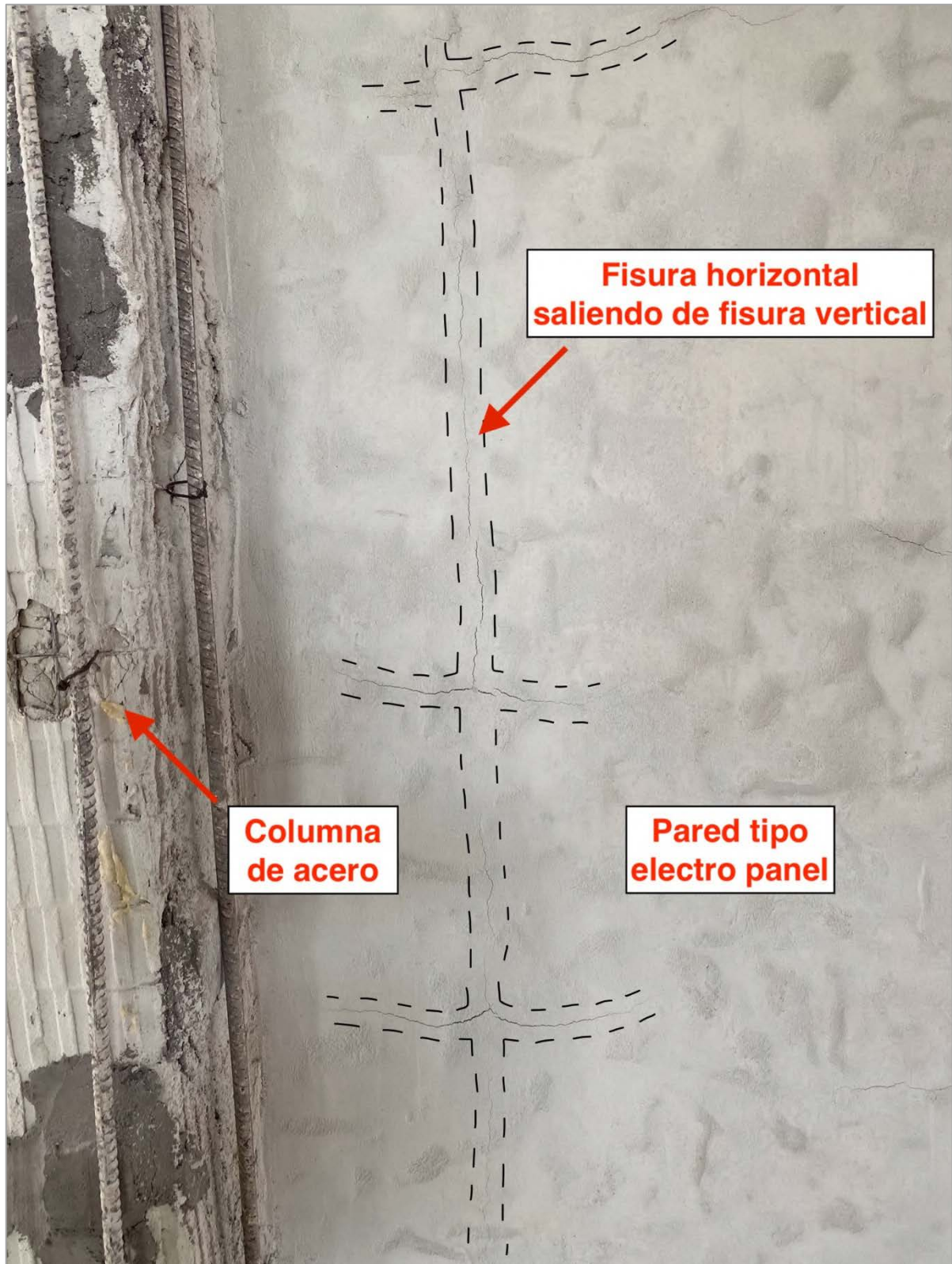


Figura 50. Muestra 1 de daño tipo C dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

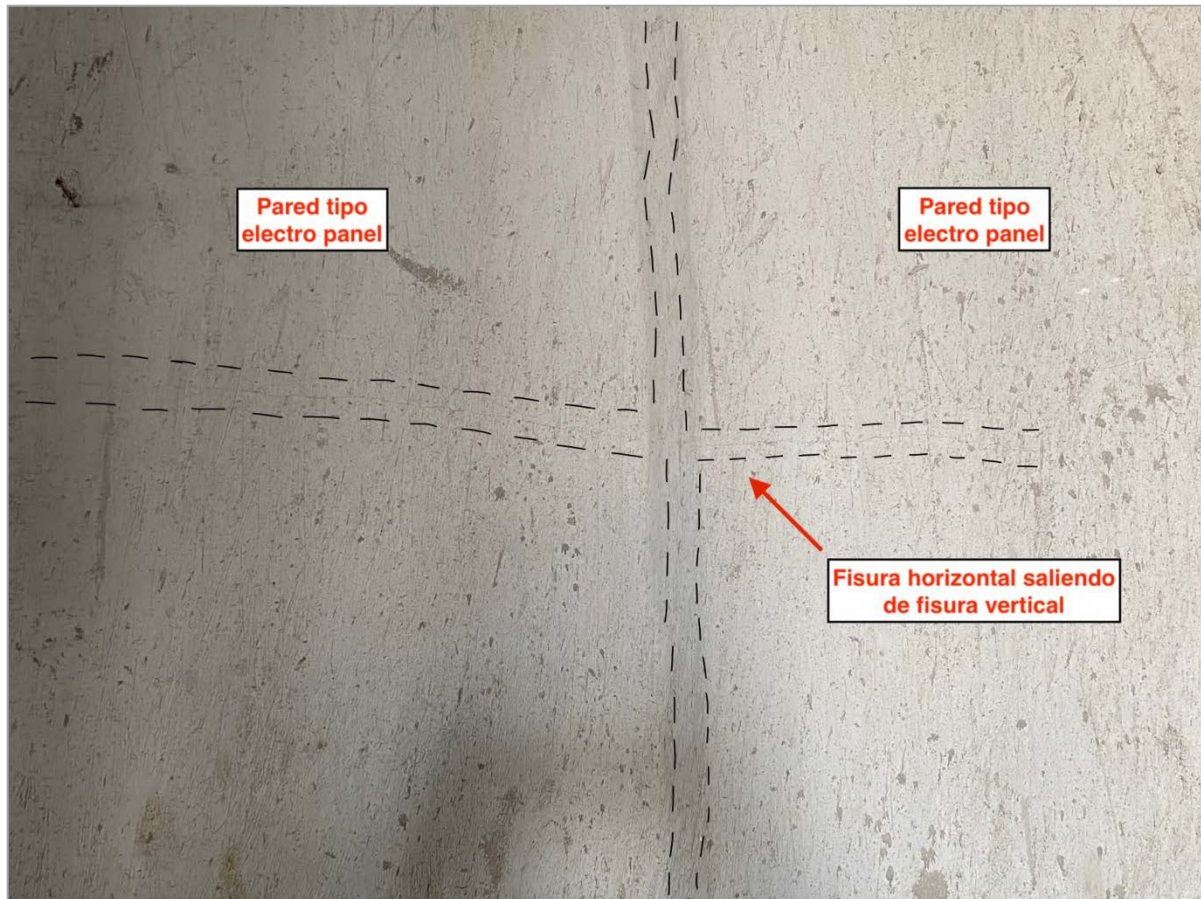


Figura 51. Muestra 2 de daño tipo C dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Fisura de unión entre paneles (SP)

Como último grupo se tienen daños clasificados como separación entre paneles (SP). Este grupo posee una frecuencia de aparición de tres (valor intermedio entre todas las apariciones documentadas), por lo que se considera importante de clasificar. Un diagrama de lo representado en este grupo se muestra en la Figura 52.

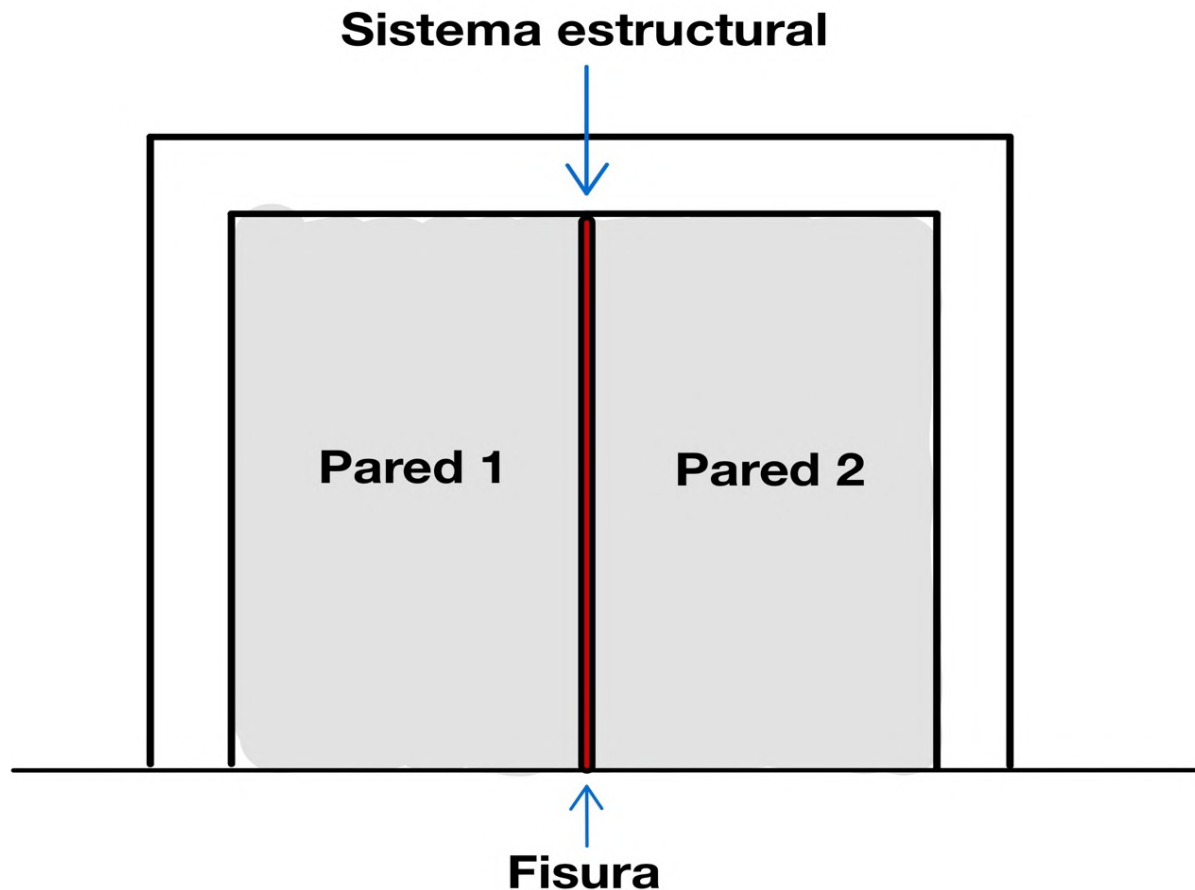


Figura 52. Diagrama ilustrativo para clasificación de daños tipo SP
Fuente: Elaboración propia

Se tiene constancia de que este tipo de fisuras se dan en la unión entre paneles ya que, se extienden en la totalidad de la altura de la pared. Además, estas se ubican aproximadamente a mitad del paño de la pared o distancias cercanas a la mitad ($\sim 30\text{cm}$ de la unión con el sistema estructural). Este tipo de fisura se diferencia de las que componen el grupo SP en que estas presentan un daño definido en secciones medias de los paños y no exactamente en la unión con el sistema estructural. Para una comprensión más clara de las ubicaciones mencionadas, se pueden ver la Figura 53 y Figura 54 a continuación.

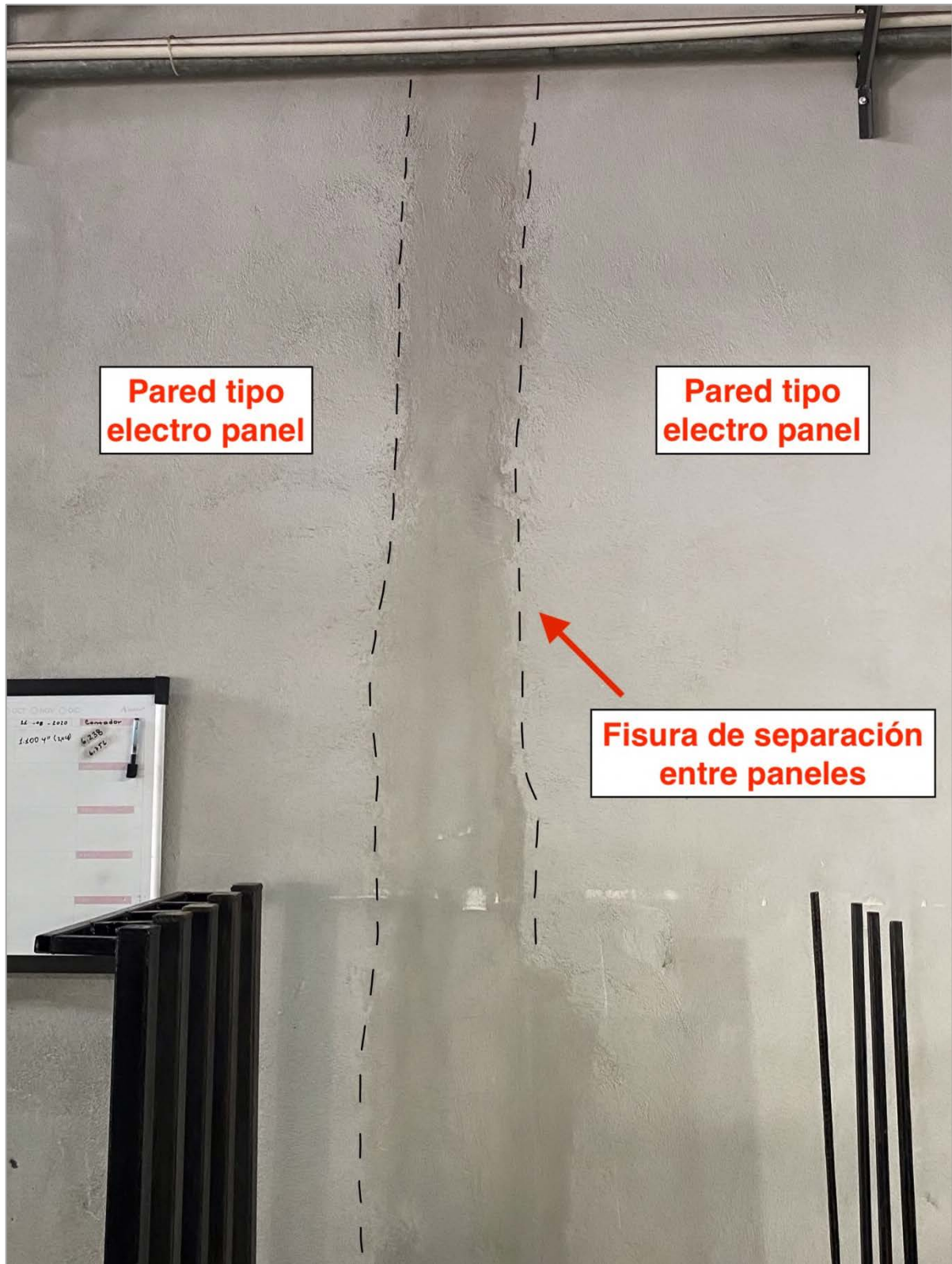


Figura 53. Muestra 1 de daño tipo SP dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

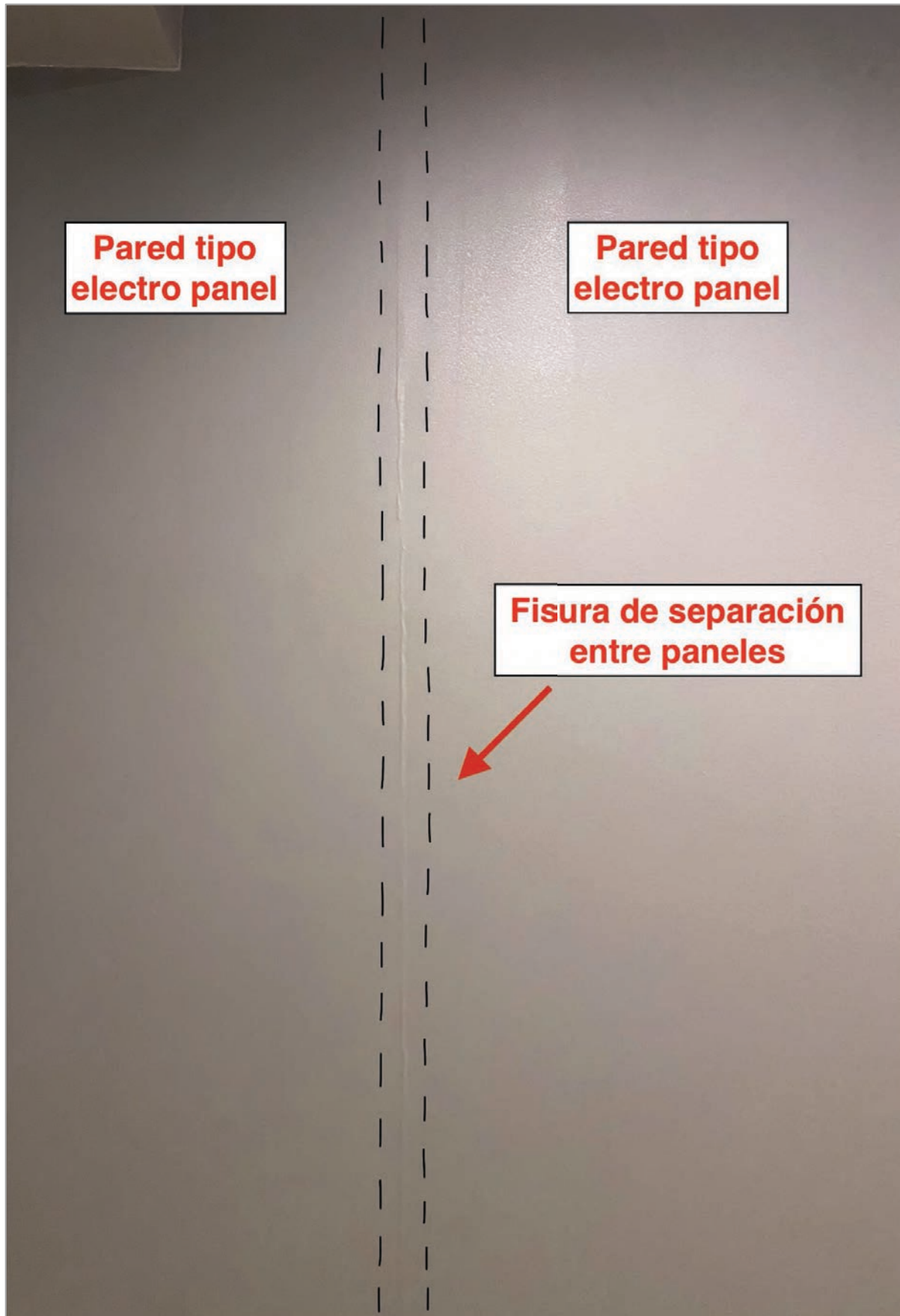


Figura 54. Muestra 2 de daño tipo SP dentro de los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

Considerando la clasificación propuesta, se determina la frecuencia de aparición de cada uno de los daños dentro de la muestra observada, lo cual se puede ver en el Cuadro 2 a continuación.

Cuadro 2. Frecuencia de aparición de daños dentro de la muestra en estudio

CLASIFICACIÓN DE DAÑOS	FRECUENCIA DE APARICIÓN
PE	6
45E	2
45B	3
HE	6
V	6
C	2
SP	3

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos anteriormente se determina que los daños tipo PE, HE y V poseen la misma frecuencia de seis apariciones, los daños tipo 45B y tipo SP cuentan con tres apariciones cada uno, y, por último, se tiene que los daños tipo 45E y tipo C se presentan únicamente en dos objetos. A partir de la frecuencia de aparición de daños mostrada en el Cuadro 2 se obtiene el gráfico que se puede observar en la Figura 55 a continuación.

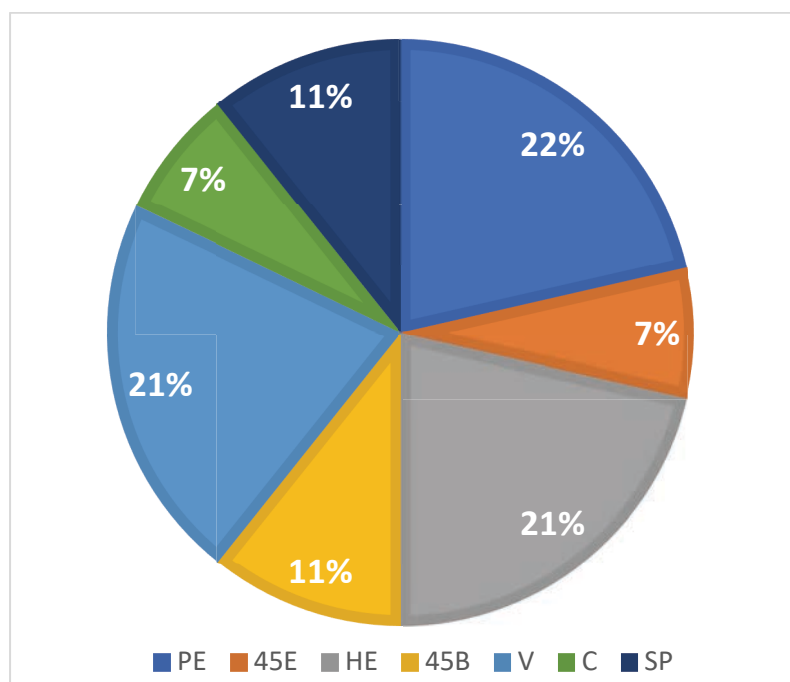


Figura 55. Distribución de tipos de daños dentro de la muestra en estudio
Fuente: Elaboración propia

3.3 Variables de los objetos de estudio

Tomando en cuenta los dos elementos principales que componen un cerramiento liviano tipo emparedado (electro panel y mortero de recubrimiento), se proponen los siguientes factores de posible influencia de aparición de fisuras: condiciones climáticas, tipo de sistema estructural de unión, tipo de mortero, ubicación de la pared dentro de la edificación y errores durante el proceso constructivo.

A partir del tamaño de la muestra y los datos encontrados en campo, se definen rangos de cantidad de fisuras, con el fin de ofrecer valores promedio de cada uno, siempre que el factor que se está analizando lo permita. Tanto los rangos definidos como la cantidad de objetos dentro de cada uno se muestran en el Cuadro 3 a continuación.

Cuadro 3. Rango de cantidad de fisuras y objetos dentro de cada rango

CANTIDAD DE FISURAS	CANTIDAD DE OBJETOS POR RANGO
1 A 7	5
8 A 14	1
15 A 21	3
22 A 30	3

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Temperatura ambiental

A partir de datos del Atlas Climatológico del Instituto Meteorológico Nacional (1985), se determinan valores de temperatura mínima anual, temperatura media anual y temperatura máxima anual para cada objeto (Ver Figura 56, Figura 57, Figura 58, respectivamente). En cada figura se muestra la ubicación geográfica de todos los proyectos, donde se puede identificar el rango de temperatura en la que se encuentra cada uno según la leyenda que se muestra a la izquierda de cada mapa.

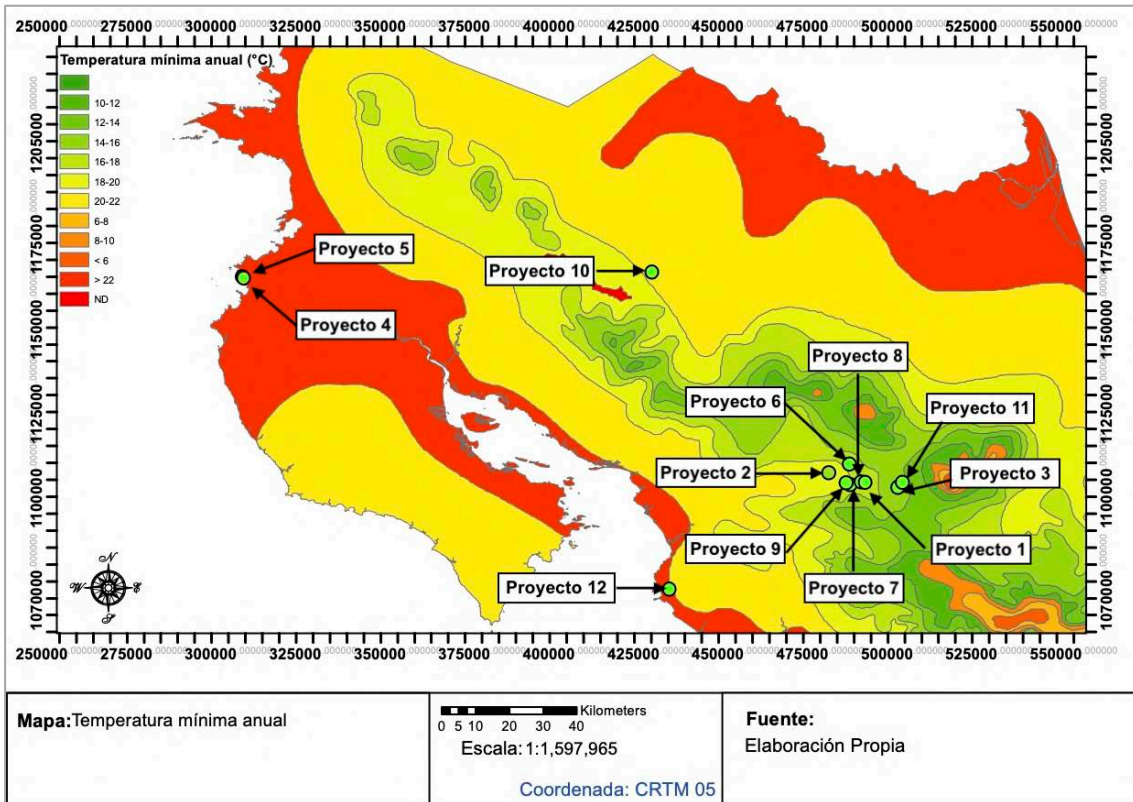


Figura 56. Mapa de temperatura mínima media anual
Fuente: Elaboración propia

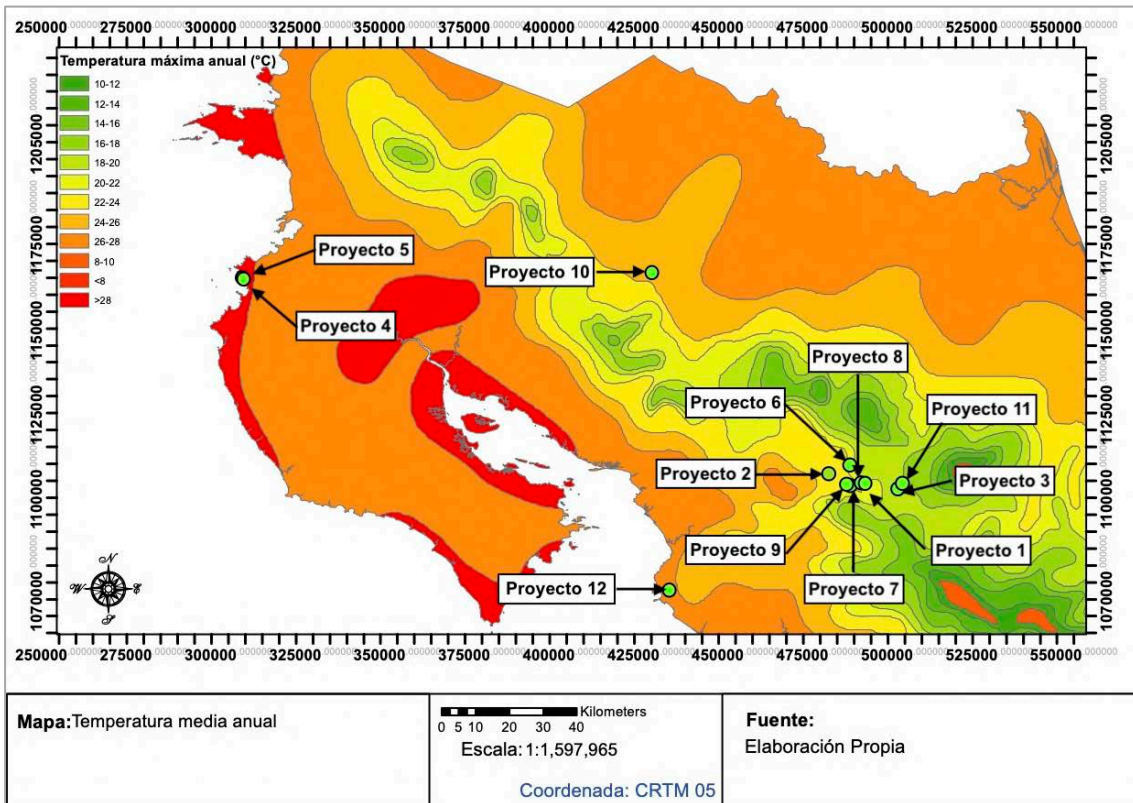


Figura 57. Mapa de temperatura media anual
Fuente: Elaboración propia

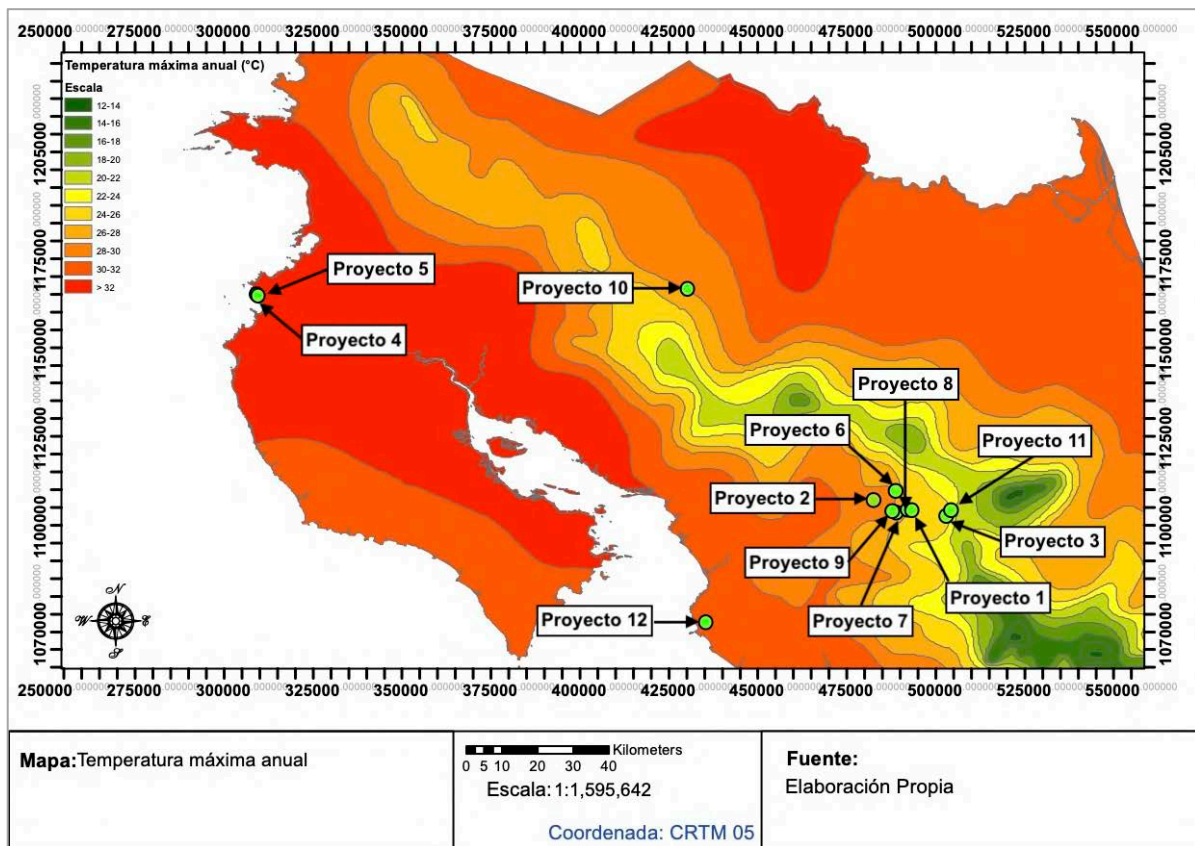


Figura 58. Mapa de temperatura máxima media anual
Fuente: Elaboración propia

Partiendo de los rangos definidos en el Cuadro 3 de la Sección 3.3, se calcula el valor promedio de cada una de las temperaturas mencionadas anteriormente, para cada rango descrito en el Cuadro. A partir de este cálculo, se hacen los gráficos mostrados en la Figura 59, Figura 60 y Figura 61 a continuación, en los que se puede observar que a medida en que aumenta la temperatura, aumenta la cantidad de fisuras presentes en los objetos. De lo anterior se podría inferir una posible relación entre la temperatura ambiental del objeto y la aparición de fisuras en el sistema en estudio.

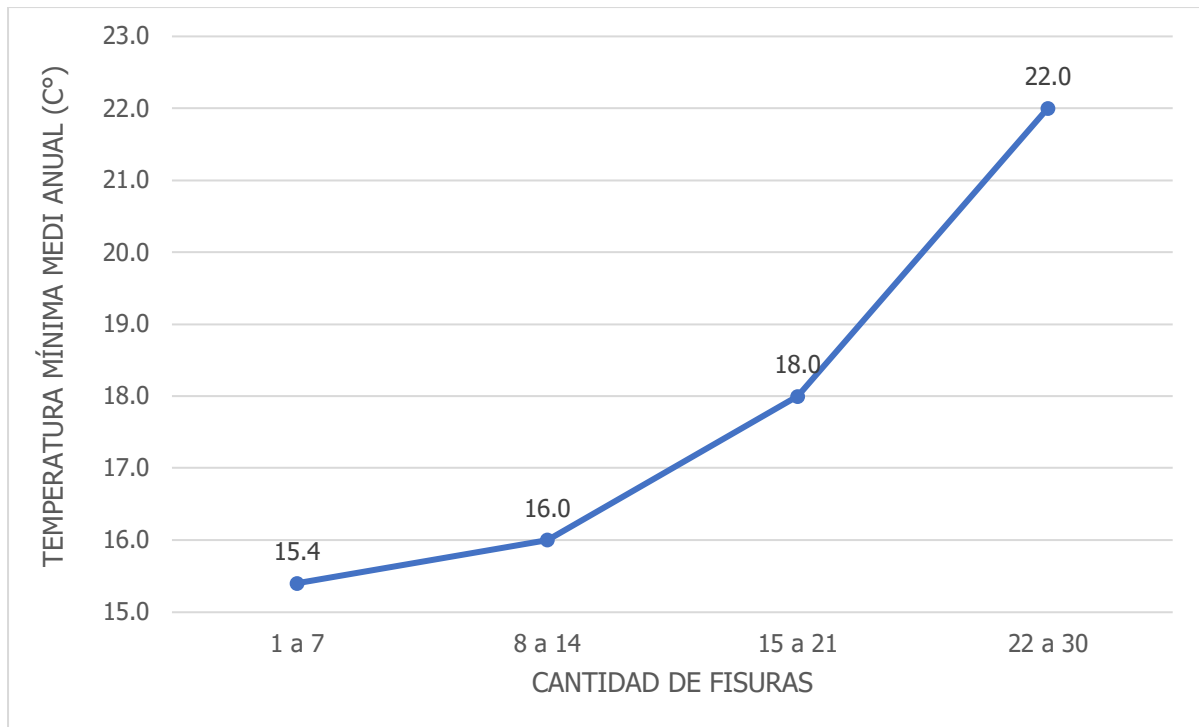


Figura 59. Temperatura mínima media anual promedio según cantidad de fisuras en los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

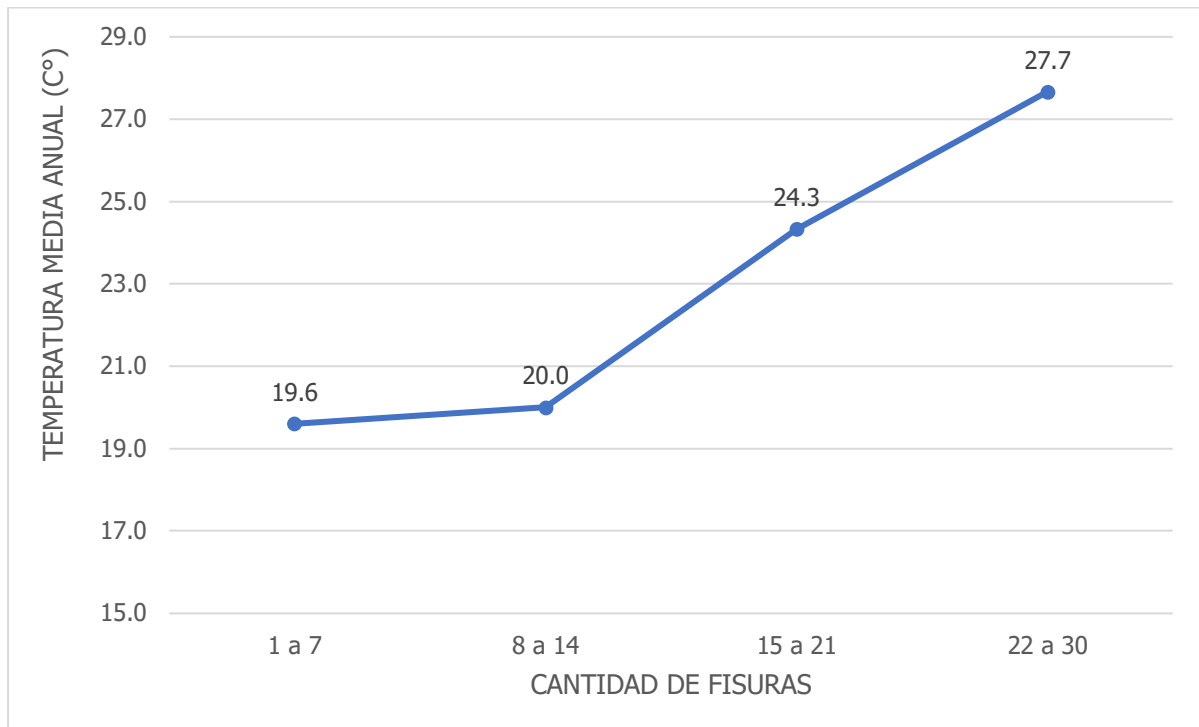


Figura 60. Temperatura media anual promedio según cantidad de fisuras en los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

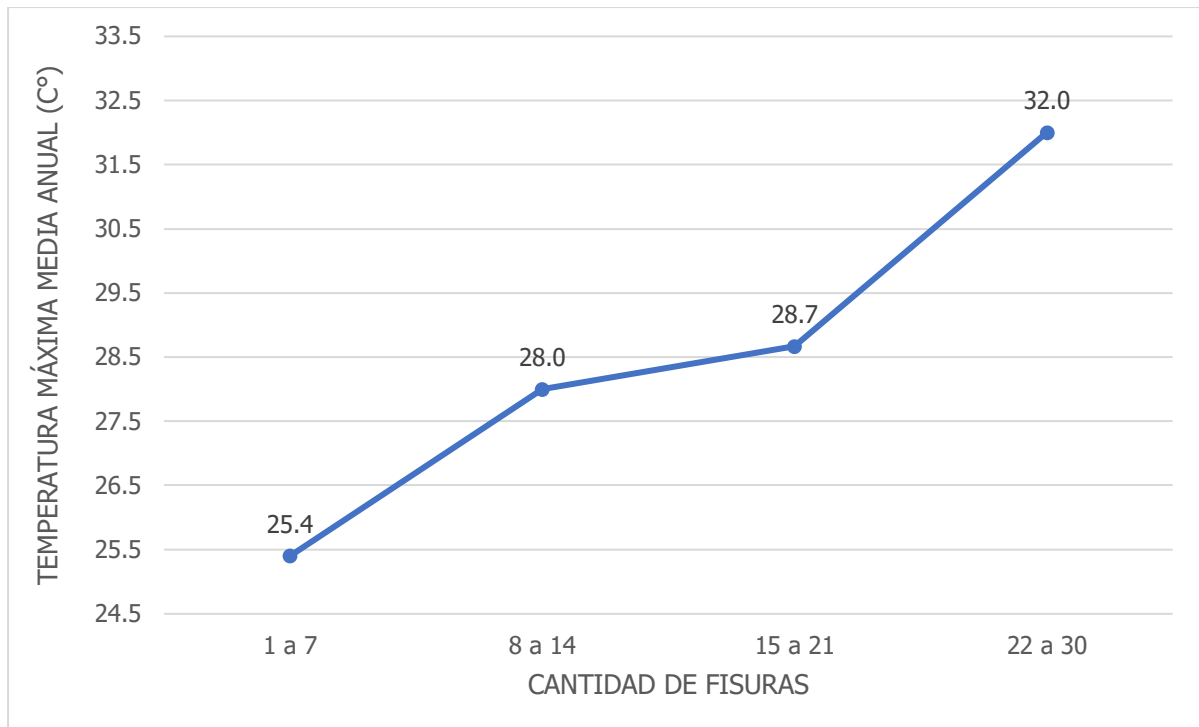


Figura 61. Temperatura máxima anual promedio según cantidad de fisuras en los objetos de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Tipo de sistema estructural

En la muestra estudiada, se identificaron dos tipos de sistema estructural presentes: marcos de concreto y marcos de acero. De lo anterior se entiende por marcos de concreto al sistema de columnas de concreto armado unidas a vigas de concreto armado y por marcos de acero se tienen vigas I o vigas H en columnas junto con vigas I o vigas H horizontales.

Según lo encontrado en campo, en el Cuadro 4 se observa la siguiente distribución de sistemas estructurales dentro a la muestra. Dada la baja variabilidad de este factor, no hay evidencia suficiente para determinar si este posee una influencia directa en la aparición de fisuras en el sistema en estudio. De lo encontrado en campo se determina que los marcos de acero presentan una cantidad promedio de fisuras de tres por proyecto, mientras que se define un promedio de 10 fisuras para los marcos de concreto.

Cuadro 4. Sistema estructural asociado a cada uno de los objetos dentro de la muestra en estudio

OBJETOS	TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL
Proyecto 1	Marcos de concreto
Proyecto 2	Marcos de acero
Proyecto 3	Marcos de concreto
Proyecto 4	Marcos de concreto
Proyecto 5	Marcos de concreto
Proyecto 6	Marcos de concreto
Proyecto 7	Marcos de concreto
Proyecto 8	Marcos de concreto
Proyecto 9	Marcos de concreto
Proyecto 10	Marcos de acero
Proyecto 11	Marcos de concreto
Proyecto 12	Marcos de concreto

Fuente: Elaboración propia

Es de suma importancia recalcar que no se tiene información suficiente acerca del sistema de entrepiso utilizado para cada uno de los objetos que se estudiaron. Lo anterior se debe a que, al ser proyectos entregados, el permiso de distribución de planos constructivos por parte de los desarrolladores o empresas constructoras no se otorga fácilmente. Se llevó a cabo la gestión para obtener los planos, pero no se obtuvo respuesta a tiempo para la ejecución de este estudio.

3.3.3 Forma de colocación y tipo de mortero

Se determinó que el mortero utilizado para la mayoría de los proyectos es del tipo predosificado y en la mayoría de casos (a excepción de uno de los objetos) se colocó con una máquina proyectora. Se utilizaron dos tipos de morteros distintos: el primero sugiere una resistencia a la compresión mínima de 80 kg/cm² (RPP80) y el segundo una resistencia a la compresión mínima de 180 kg/cm² (RPP180). En el Cuadro 5 se muestra la distribución de los tipos de mortero utilizados para cada uno de los objetos.

En promedio, se presenta una cantidad de fisuras para el tipo de mortero tipo RPP180 de 1,75 y de 11,25 para el mortero tipo RPP80. Cabe destacar que uno de los morteros utilizados presenta una resistencia a la compresión menor a la de 120 kg/cm² que requiere el sistema constructivo para este material. La situación anterior sugiere que el uso de morteros de menor

resistencia podría atribuir a la aparición de daños como los observados a lo largo de esta investigación.

Cuadro 5. Distribución de tipos de mortero utilizados en cada uno de los objetos de estudio

OBJETOS	TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL
Proyecto 1	RPP80
Proyecto 2	RPP80
Proyecto 3	RPP80
Proyecto 4	RPP80
Proyecto 5	RPP80
Proyecto 6	RPP80
Proyecto 7	RPP80
Proyecto 8	RPP80
Proyecto 9	RPP80
Proyecto 10	RPP180
Proyecto 11	RPP80
Proyecto 12	RPP80

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Ubicación del panel dentro de la edificación

Dependiendo de la ubicación de las paredes tipo emparedado dentro de la edificación, estos se ven expuestos a distintos factores climáticos, de tránsito, de acabado y otros. Dado esto, se estudió la ubicación donde se colocaron los paneles en cada uno de los objetos, de lo cual se encontró que existe una relación entre la aparición de fisuras y la ubicación del panel, donde los paneles exteriores (no techados) presentan una mayor cantidad de fisuras que los paneles interiores (techados). En la Figura 62 se muestra lo descrito anteriormente, donde en el eje horizontal se muestran la cantidad de fisuras presentes y en el eje vertical se presenta la distribución de paredes interiores/exteriores según la cantidad de objetos dentro de cada rango.

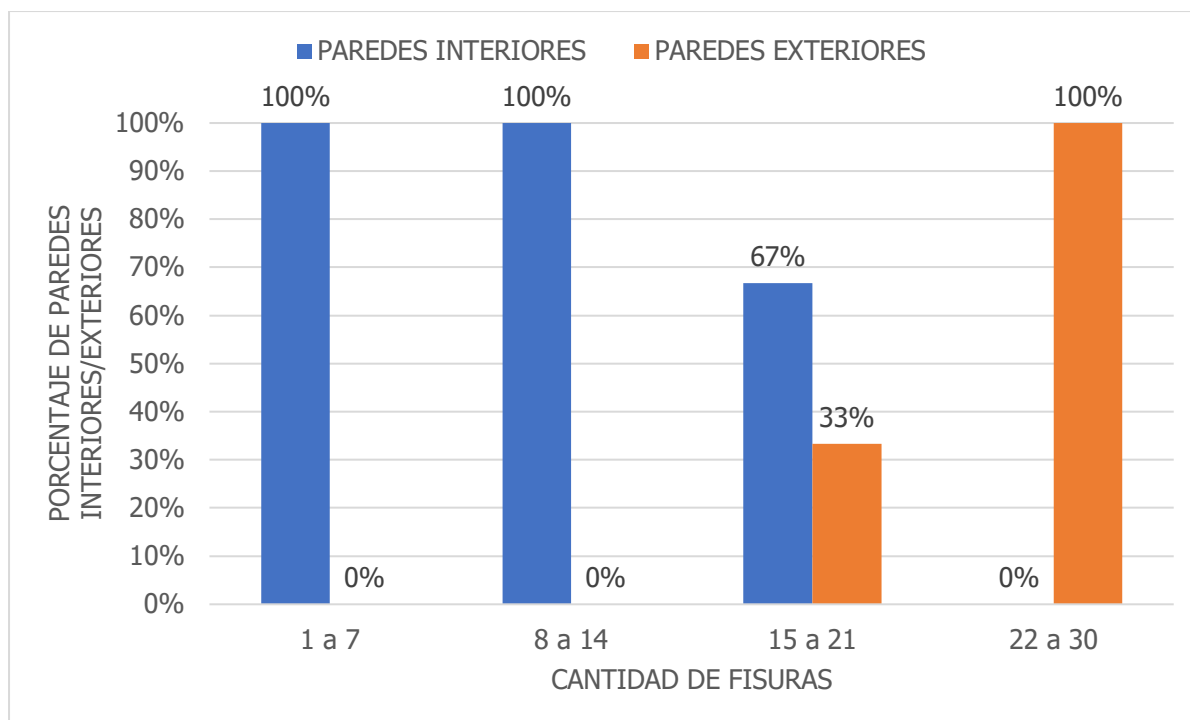


Figura 62. Distribución de paredes internas/externas según cantidad de fisuras
Fuente: Elaboración propia

Del gráfico anterior se puede evidenciar que, los primeros dos rangos de cantidad de fisuras (1 a 7 y 8 a 14) no cuentan con paredes exteriores. En el rango de 15 a 21 cantidad de fisuras se presentan ambos tipos de ubicaciones espaciales dentro de la edificación, donde el 33% de los objetos dentro de ese rango son conformados por paredes únicamente exteriores, mientras que el 67% de los objetos presentan únicamente paredes interiores.

Por último, se puede ver que en el rango de mayor cantidad de fisuras encontradas (22 a 30) se determinó que estos poseen solamente paredes ubicadas en el exterior del edificio. De lo anterior se evidencia que podría existir una relación entre la ubicación espacial de las paredes dentro de la edificación y la aparición de fisuras en el mortero, tomando en cuenta factores ambientales (como los mencionados en la sección 3.3.1 de este estudio) y otros factores de influencia.

3.3.5 Proceso constructivo

Como último posible factor considerado se tienen las variantes en el proceso constructivo. Errores constructivos e inspección deficiente son factores que podrían aportar a la aparición de los daños que se han estudiado en esta investigación. Es importante mencionar que, al no

observar el proceso constructivo de todos los objetos de la muestra, no se puede concluir acerca de las prácticas constructivas que se hayan dado en cada uno de estos. Sin embargo, se logró ir a dos proyectos que estaban en proceso de construcción al momento de la visita, en los que se encontraron algunos errores.

En uno de los proyectos visitados se presenta la situación en la que se coloca el panel para delimitar un área social, donde este se une a un marco de perfiles de hierro negro. En la Figura 63, se puede observar que la unión entre el panel que se ubica a ambos lados del perfil se fija únicamente con alambre negro alrededor del perfil, atravesando una sección sumamente pequeña de la cercha. Esta instalación es incorrecta dado que, como se detalla en la Figura 14 de la Sección 2.3.1 de este estudio, la instalación en columnas de acero debería llevar una varilla #3 dentro de un tubo de PVC embebido en la columna, lo cual no sucede en este ejemplo.



Figura 63. Ejemplo 1 de instalación incorrecta de paredes tipo electro panel
Fuente: Elaboración propia

En este mismo proyecto se observa que se coloca la pared tipo emparedado sobre una losa de concreto sin ningún anclaje a la misma a nivel inferior del panel. Como se detalla en la Figura 14 de la Sección 2.3.1, el anclaje a la losa con varilla #3 debería darse intercaladamente entre ambos lados del panel, donde la varilla debe tener una longitud de 40 cm, dejando 10 cm embebidos en la losa y 30 cm dentro de la malla que compone el panel. En la Figura 64 se presenta un claro ejemplo donde este anclaje no se lleva a cabo de la manera correcta, lo cual podría generar mucha inestabilidad en la pared ya que, esta quedaría prácticamente desligada en esta sección inferior y podría dañarse rápidamente al no estar restringido el movimiento del panel.



Figura 64. Ejemplo 2 de instalación incorrecta de paredes tipo electro panel
Fuente: Elaboración propia

En el otro proyecto que se visitó en etapa de instalación del sistema, se observa en una ocasión donde las varillas #3 que se utilizan para fijar el panel al murete (ver Figura 65)

presentan una leve deformación hacia de la pared que se está instalando. Esta situación podría generar que se den concentraciones de esfuerzos donde la varilla se encuentra más deformada, los cuales podrían generar tensiones superficiales en el mortero y llevar a posibles fisuras del mismo.



Figura 65. Ejemplo 3 de instalación incorrecta de paredes tipo electro panel
Fuente: Elaboración propia

4 HIPÓTESIS DE CAUSALES DE AGRIETAMIENTO Y MECANISMOS DE MITIGACIÓN

4.1 Hipótesis sobre posibles causales de agrietamiento

A partir de lo encontrado en la investigación y presentado en el Capítulo 3, se lleva a cabo la formulación de hipótesis que podrían ayudar a comprender la patología de las fisuras encontradas a lo largo de este estudio.

4.1.1 Contracción por secado

Las fisuras de contracción por secado representan uno de los principales motivos de agrietamiento superficial en materiales cementicios. Esto se presenta debido a que, en edades tempranas del concreto o mortero, estos aumentan su temperatura superficial producto de las reacciones químicas exotérmicas que se dan durante el proceso de fraguado del material. Este aumento de temperatura lleva a que las partículas de agua de la superficie del mortero se evaporen con rapidez, lo cual genera esfuerzos de tensión en el material lo suficientemente altos como para generar fisuras en el mismo (Calle Delgado, 2018).

Al estudiar el mortero de repello como material de acabado para las paredes tipo emparedado, se presenta la situación en que este se debe colocar en una capa bastante delgada (2,5 cm aproximadamente), lo cual propicia la aparición de fisuras descrita anteriormente ya que, la cantidad de agua que esta delgada capa de mortero es capaz de almacenar es baja y, por ende, se evapora con mayor facilidad.

Asimismo, en la Sección 3.3.1 de este estudio, se evidencia que existe una mayor aparición de fisuras en el mortero a medida en que la temperatura ambiental aumenta. Este factor podría propiciar las fisuras de contracción por secado dado que, a medida en que aumenta la temperatura, la velocidad de evaporación del agua en el mortero también aumenta.

Añadido a esto, durante la investigación se determinó que existe una relación entre la aparición de daños y la ubicación espacial de los paneles, donde la cantidad de fisuras es mayor cuando las paredes se ubican en zonas exteriores de la edificación y disminuyen cuando se analizan paredes en zonas interiores. Lo descrito anteriormente refuerza la importancia de considerar la influencia de este fenómeno a la aparición de daños siendo que, usualmente,

las paredes exteriores de una edificación se ven expuestas a diferentes factores climáticos que deshidratan el mortero (velocidad del viento, brillo solar, días con lluvia) de forma más agresiva que en paredes internas.

Aunque las fisuras correspondientes al proceso de contracción por secado normalmente se manifiestan en forma reticular y este no es uno de los daños tipificados en esta investigación, el hecho de que se esté estudiando un sistema que trabaja con materiales cementicios que pasan un proceso de fraguado, es motivo suficiente para considerar este fenómeno como relevante en la incidencia de fisuras.

4.1.2 Concentración y transmisión de esfuerzos en unión entre sistemas

Tal como se muestra en la Figura 14 de la Sección 2.3.1, se detalla que la unión entre el sistema de paredes tipo emparedado y el sistema estructural se lleva a cabo soldando varilla #3 o inyectando las mismas con pegamento epóxico dentro de elementos de concreto (dependiendo del sistema estructural), lo cual describe lo que se definió en la Sección 2.5 de este documento como una unión rígida. En el caso específico de las uniones del sistema en estudio, las uniones no se construyen de forma que estas aporten a la capacidad resistiva del sistema estructural de la edificación, pero, dada la naturaleza de la unión, estas son capaces de transmitir pequeñas cantidades de esfuerzos cortantes hacia el panel.

La posible transmisión de esfuerzos cortantes se ve reflejada en el momento en que se presentan fisuras a 45° saliendo de la unión con el panel y el sistema estructural. Sin embargo, se evidencia que no pareciera existir una transmisión directa desde el sistema estructural hacia el panel ya que, no se encontraron fisuras a 45° que atravesaran toda la extensión de la pared de un lado a otro, sino que estas se presentan en longitudes entre 30 cm y 1 m, justo donde se podría encontrar un anclaje rígido al sistema estructural. Lo anterior orienta a pensar que las fisuras se presentan por el tipo de unión recomendada por el fabricante, más que por una transmisión de esfuerzos desde el sistema estructural (Rivas Ortiz, 2017).

Un tema importante con respecto a las uniones es que, el método de instalación típico sugiere que se coloquen juntas de expansión compuestas por un material flexible, cuando se están construyendo los cerramientos con electro paneles. El propósito de las juntas flexibles recae en el punto que se menciona en el párrafo anterior, que se evite la transmisión de esfuerzos entre el sistema estructural y el no estructural de la edificación, así como aumentar la

flexibilidad de la estructura al momento de recibir cargas laterales. Como se evidenció en este estudio, en ningún objeto del levantamiento se observa que tal junta exista, por lo que se podría decir que esta situación hace que la transmisión de esfuerzos se refleje en el mortero, lo que llevaría a que este se fisure.

4.1.3 Concentración de esfuerzos por recorte de secciones

Un caso similar al anterior se evidencia cuando se conforman buques de puertas y ventanas e instalaciones mecánicas. En este caso, la concentración de esfuerzos dada el corte del panel, se traduce a fisuras a 45° justo en las esquinas de los buques, como las que se observaron en el levantamiento de campo (fisuras tipo 45B). Típicamente se indica cómo se deben llevar a cabo los refuerzos en este tipo de configuraciones (ver Figura 18, Figura 19, Figura 20 de la sección 2.3.3 y 2.3.4) pero la aparición de estas fisuras podría ser resultado de una deficiencia en el procedimiento de refuerzo de los buques.

4.1.4 Tensiones en la superficie del panel

Como se menciona en la Sección 3.3.5, el proceso constructivo del sistema de paredes tipo emparedado puede influir en la aparición de fisuras en el mortero de acabado de diferentes maneras. Dada la naturaleza de la instalación del sistema, en casos donde se necesite doblar varilla #3 que se coloca para realizar los anclajes al sistema estructural de la edificación, pueden existir momentos donde la varilla no se doble correctamente. Si lo anterior se presenta, por las propiedades mecánicas que posee el acero, este tiende a buscar mantener su estado original no deformado, lo cual lleva a que estas varillas generen esfuerzos de tensión contra la malla electro soldada, pudiendo llegar a afectar la integridad del mortero.

Una situación similar se da en casos donde, al realizar el anclaje de los paneles, no se elimina la cantidad correcta del núcleo de poliestireno y la varilla se termina colocando de forma muy externa con respecto al eje central del panel. Esto podría llevar a que la varilla genere esfuerzos de tensión de una forma similar a la mencionada en el párrafo anterior.

Conociendo que los materiales cementicios no poseen altos valores de resistencia a la tensión, sería válido pensar que estos esfuerzos por parte de las varillas de anclaje podrían llevar a que se exceda la capacidad resistiva del mortero y este se agriete.

4.1.5 Acabado prematuro o exceso de acabado

El acabado prematuro puede tener un papel importante dentro de la aparición de fisuras en el mortero dado que, si no se permite que la primera capa de mortero alcance la capacidad de resistencia a la compresión suficiente antes de colocar la segunda capa de mortero, se puede dar el caso en que la primera capa no es capaz de soportar a la segunda, generando de esta forma acabados deficientes y, por ende, fisuras en la superficie del panel.

Otro factor importante a considerar sería que se colocaran capas de mortero de mayor grosor al que normalmente recomiendan los fabricantes. Lo anterior recae en una situación similar a la del acabado prematuro donde, al colocarse capas muy gruesas de mortero, estas no sean capaces de soportar su propio peso ni el peso de la capa que se le tenga que colocar encima. Cuando esto sucede, la resistencia del mortero colocado se compromete y puede propiciar la aparición de fisuras en el mismo.

4.2 Mecanismos de mitigación

Al analizar las posibles hipótesis mencionadas en la sección anterior de este capítulo y demás factores de influencia analizados en esta investigación, se proponen los siguientes mecanismos de mitigación para la aparición de daños en las paredes tipo electro panel como cerramiento liviano.

4.2.1 Juntas flexibles

Como se ha mencionado a lo largo de esta investigación, los fabricantes del sistema de electro paneles hacen la recomendación de generar una junta flexible en la unión entre este y el sistema estructural de las edificaciones. La estética de estas no suele ser la más agradable y, como se evidenció en este documento, no se construyeron en ninguno de los proyectos visitados. Sin estas juntas, la unión entre dos materiales diferentes se verá comprometida en el momento en que la edificación se enfrente a movimientos laterales y deflexiones, por lo que resulta sumamente importante que estas sean colocadas cuando se utiliza este sistema como cerramiento liviano.

Este procedimiento se puede fomentar al ofrecer capacitaciones, demostraciones y asesoría técnica (por parte de los fabricantes) a los usuarios sobre este tema, con el fin de que se les

informe de la importancia de estas juntas en el desempeño adecuado del sistema y de los posibles efectos negativos que podrían surgir al no colocarlas.

4.2.2 Precauciones sobre condiciones climáticas

Como se mostró en la Sección 3.3 de este documento, las condiciones climáticas juegan un rol importante en el desempeño del mortero de acabado del sistema en estudio. En sectores del país donde las condiciones de temperatura tienden a ser mayores a los 24°C, se recomienda tener presente la afectación que estas temperaturas pueden tener en la aparición de daños. En estos casos, sería ideal reforzar tiempos de curado de la superficie del mortero.

4.2.3 Determinar un procedimiento de curado explícito

En los manuales de instalación del sistema en estudio, se detalla la forma en que se debe llevar a cabo el acabado del panel, así como las características mecánicas que debe tener el mortero para un desempeño adecuado. Sin embargo, no se especifican tiempos de curado, los cuales son vitales para evitar la evaporación del agua superficial del mortero. Con el fin de evitar la deshidratación del mortero durante la etapa de acabado, se puede usar el curado constante como una forma de mitigar la formación de daños, donde se establezca un periodo de ejecución constante de este procedimiento.

De la mano con el curado, se debe gestionar una inspección rigurosa en obra donde se asegure que el procedimiento se lleve a cabo de manera correcta y durante todo el tiempo que se llegue a establecer. Las consideraciones anteriores no se encuentran explícitamente en las recomendaciones del fabricante, por lo que resulta elemental colocarlas y enfatizar en la importancia de este procedimiento.

4.2.4 Alineamiento de elementos de acero

Como se menciona en la Sección 4.1.4, se pueden presentar situaciones donde el procedimiento de doblado de varillas para anclar los paneles resulta en posibles tensiones en la superficie del panel. Lo anterior no solo compromete la capacidad del mortero de resistir estos esfuerzos de tensión, sino que puede generar imperfecciones en las paredes y elementos descuadrados. Hacer hincapié sobre la necesidad de alinear los elementos de acero (en la

medida de lo posible) puede mitigar la aparición de fisuras que puedan explicarse a partir de este escenario.

4.2.5 Hacer una revisión práctica del procedimiento de instalación del sistema de paredes tipo emparedado

Tomando en consideración los factores de influencia, las hipótesis de patología de fisuras, y los métodos de mitigación mencionados a lo largo de este documento, sería fundamental para el desempeño de este sistema constructivo que se dedique una investigación práctica que logre verificar que el método de instalación recomendado es el óptimo. Lo anterior recae en que, a partir de lo evidenciado en este estudio, cabe la posibilidad de que la forma en que se haya definido la instalación del sistema constructivo presente características que propicien la aparición de fisuras.

Investigar de forma más detallada sobre el procedimiento de instalación, no sólo significa una contribución valiosa a un sistema constructivo del cual no se investiga con tanta frecuencia en comparación con otros sistemas convencionales, sino que ayuda a fomentar otras alternativas constructivas que puedan significar menores impactos ambientales, mejores tiempos constructivos y mayor flexibilidad de diseño arquitectónico.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De los resultados y el análisis que se hicieron durante esta investigación, se concluye lo siguiente:

- Se realizó con éxito el estudio cualitativo de paredes tipo emparedado, del cual se logró definir y caracterizar ocho tipos de daños: fisuras de separación vertical entre panel y sistema estructural, fisuras a 45° desde unión con sistema estructural, fisuras a 45° desde buques o conexiones electromecánicas, fisuras horizontales desde unión con sistema estructural, fisuras verticales, fisuras en cruz y fisuras de separación entre paneles.
- Se logró documentar una muestra de doce objetos que utilizan el sistema de paredes tipo electro panel como cerramiento liviano, con características climatológicas, constructivas y estructurales distintas entre sí, donde se realizó un levantamiento fotográfico de todos los daños encontrados en cada uno de los proyectos.
- Los tipos de daños que presentan la mayor frecuencia de aparición corresponden a los de fisuras de separación vertical entre panel y sistema estructural, fisuras horizontales desde unión con sistema estructural y fisuras verticales, con un valor de seis apariciones por tipo.
- Los tipos de daños que presentan la menor frecuencia de aparición corresponden a los de fisuras a 45° iniciando en el sistema estructural y fisuras en cruz, con un valor de dos apariciones por cada tipo.
- Partiendo de la distribución de cantidad de daños por objeto, se determinaron valores promedio de temperatura mínima anual, temperatura media anual y temperatura máxima anual para cada uno de los rangos definidos. Los valores se calcularon según esta distribución para obtener que, a medida en que aumentan los valores en todas las temperaturas analizadas, aumenta la aparición de fisuras, por lo que se propone que la temperatura ambiental es un factor de influencia en la aparición de fisuras.
- Se obtuvo información acerca del sistema estructural al cual se une el cerramiento en estudio y se logran determinar dos tipos: marcos de concreto y marcos de acero. En el 83,33% de los objetos de estudio se utilizan marcos de concreto, mientras que en 16,67% el sistema estructural corresponde a marcos de acero. A partir de esto se determina que no se presenta una variabilidad suficiente de este factor dentro de la

muestra, por lo que no se puede concluir en esta investigación que el tipo de sistema estructural atribuya directamente a la aparición de daños.

- En términos del mortero de repello, se encontró que se utilizaron únicamente dos tipos diferentes para los doce objetos: mortero con resistencia mínima a la compresión de 80 kg/cm^2 (1) y de resistencia mínima a la compresión de 180 kg/cm^2 (2), donde el primero se presenta en el 91,67% de los objetos, mientras que el segundo únicamente se encuentra en el 8,33%. De forma similar que para factor *sistema estructural*, el mortero de repello tipo 1 se presenta en la mayoría de los objetos estudiados, por lo que no se puede concluir que este influya en la incidencia de daños en el sistema estudiado. Añadido a esto, el sistema de electro paneles sugiere que el mortero de repello debe tener una resistencia mínima a la compresión de 120 kg/cm^2 , requerimiento que se incumple para los objetos en que se usa el mortero tipo 1. Lo anterior sugiere que existe el escenario en que el mortero utilizado en dichos objetos no obtuviese el valor mínimo de resistencia que se necesita para un comportamiento adecuado del sistema.
- La ubicación de las paredes tipo emparedado dentro de la edificación es un factor que aparenta influir en la incidencia de daños en el sistema. Se logró observar una relación entre la ubicación de los paneles (interiores/exteriores) y el aumento en la aparición de fisuras. En proyectos donde las paredes analizadas se encontraban únicamente en secciones interiores del edificio, la cantidad de fisuras aparentes es menor a la cantidad de fisuras que se observan cuando las paredes se ubican en secciones estrictamente externas del edificio. Lo anterior responde a que, al tener paredes en la intemperie, estas experimentan cambios de temperatura más altos que paredes interiores gracias a la exposición directa a la luz solar, viento, lluvia, entre otros factores.
- Las prácticas constructivas durante la instalación de las paredes tipo electro panel como cerramiento liviano pueden tener una influencia importante en el desempeño de las mismas. En las visitas que se realizaron en edades tempranas de la obra, se evidencian casos donde la instalación de los paneles se da de forma incorrecta, lo que podría atribuir a una afectación del comportamiento del sistema.
- A partir del análisis de resultados, se formulan cinco hipótesis de causales de agrietamiento, las cuales se definieron como: contracción por secado, concentración y transmisión de esfuerzos en unión entre sistemas, concentración de esfuerzos por recorte de secciones, tensiones en la superficie del panel y acabado prematuro o exceso de acabado. Estas se logran definir a partir de los factores de influencia

definidos en la Sección 3.3 de esta investigación y pretenden sugerir la patología de los daños encontrados.

- Los mecanismos de mitigación que se proponen buscan solventar lo presentado en las hipótesis de causales de agrietamiento, los cuales se definieron como: determinar un procedimiento de curado explícito y constante, fomentar buenas prácticas constructivas y considerar una revisión del manual técnico de instalación del sistema de paredes tipo emparedado.
- A través de los doce objetos estudiados en esta investigación, no se observa que se coloquen juntas flexibles en la unión entre el sistema estructural de la edificación y las paredes tipo electro panel. Esta situación fomenta la transmisión de esfuerzos en las uniones entre sistemas y la afectación por deflexiones y movimientos inherentes a los materiales.

5.2 Recomendaciones

Al concluir este estudio se recomienda lo siguiente:

A los fabricantes del sistema tipo emparedado,

- Someter los manuales técnicos del sistema a exhaustiva revisión, con el fin de determinar si el procedimiento de instalación puede tener deficiencias que propicien la aparición de daños en el mortero de repello. Añadido a esto, incluir indicaciones más específicas y claras acerca del proceso de curado del mortero ya que, los manuales técnicos no presentan información clara sobre este procedimiento y este podría influir grandemente en el desempeño del sistema constructivo.
- Con respecto a la unión entre sistemas estructurales y paredes tipo emparedado, se sugiere hacer una revisión sobre el diseño de las juntas que en este momento se recomiendan, con base en los resultados obtenidos durante esta investigación. Hacer una investigación práctica, donde se sometan especímenes a pruebas de resistencia al cortante, podría evidenciar si la unión que se indica en los manuales es óptima para este sistema.

A la Universidad de Costa Rica,

- Para futuras investigaciones, coordinar visitas a campo donde se pueda asistir en edades tempranas de la edificación, con el fin de obtener mayor información acerca

de la forma en que se instalan los paneles y sobre el proceso de curado que se lleva a cabo en sitio. Adelantarse al proceso de resane y empastado significa estudiar el sistema en un estado más prematuro, donde la aparición de fisuras puede ser más notoria y, por ende, proporcionar más evidencia sobre el fenómeno estudiado en esta investigación.

- Llevar a cabo trabajos de investigación donde se estudie el desempeño de este sistema constructivo entre diferentes proveedores, con el fin de poder comparar esta variable.
- De forma similar, investigar en futuros trabajos de graduación, los distintos sistemas o métodos de curado para determinar el más efectivo para evitar la aparición del problema de fisuras descrito a lo largo de esta investigación.
- Para futuros estudios, continuar esta investigación ejecutando ensayos de laboratorio, donde se sometan a prueba en condiciones controladas, tanto los factores de influencia mencionados en este estudio, como otros posibles causales en la aparición de daños en las paredes tipo emparedado. Esta recomendación es de suma importancia ya que, estos ensayos serán los que logren determinar si, en efecto, estos factores poseen o no, una influencia real en el desempeño del sistema de electro paneles.

A constructores, diseñadores e inspectores,

- Por parte de los usuarios del sistema constructivo, contar con rigurosa inspección durante el proceso de instalación y de acabado del sistema, con el fin de prevenir la aparición de daños asociados a malas prácticas constructivas.

Por más que se utilice como cerramiento liviano y no se considere dentro de los elementos que aportan a la distribución de cargas de las edificaciones, considerar si, dado que la unión que se da en el caso de los sistemas estructurales de concreto son rígidas, este tipo de vinculación entre sistemas lleva a que las paredes tipo electro panel formen parte del sistema estructural y cómo esto podría afectar al desempeño estructural de la edificación.

6 FUENTES DE INFORMACIÓN

- Acker, P. (1997). Creep and Shrinkage of Concrete: Physical Origins, Practical Measurements. Join Wano/OECD-NEA Workshop Prestress loss in NPP Containments. Poitiers Francia.
- AF Comunicación estratégica. (2017). Nuevas tendencias en la construcción: beneficios de los sistemas livianos. Recuperado el 18 de setiembre 2019 de <https://afcomunicacion.com/nuevas-tendencias-en-la-construccion-beneficios-de-los-sistemas-livianos/>
- Alejandro, D. Rodríguez, A. (2011). Caracterización de fisuras y flechas en elementos de concreto armado. (Trabajo especial de grado). Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- Altoubat, S. A., & Lange, D. A. (2001). Creep, shrinkage, and cracking of restrained concrete at early age. *ACI Materials Journal*, 98(4), 323-331.
- Barrantes, J. A., Liao, A., & Rosales, A. (1985). Atlas Climatológico de Costa Rica (No. AT 360 G-4 1985). Instituto Meteorológico Nacional, San José (Costa Rica).
- Barreto, T. M. F. (2011). Estudio del control de rótulas plásticas en pórticos de concreto armado. Pontificia Universidad Católica del Perú-CENTRUM Católica (Perú).
- Cesín, J. (2005). Detallado de Estructuras de Mampostería.
- Calle Delgado, M. A. (2018). Influencia de la granulometría y el tipo de cemento en la contracción por secado de morteros estructurales.
- Cansario Pérez, M. D. M. (2005). Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial: estudio estructural y optimización. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Carrillo, J., & González, G. (2007). Influencia de la mampostería no reforzada en el comportamiento inelástico de pórticos de concreto. *Dyna*.
- Carrillo León, W. J. (2004). Modelación del comportamiento inelástico de pórticos de concreto con mampostería no reforzada (Master's thesis, Uniandes).
- Castillo-Barahona, R., & Johanning-Cordero, D. (2015). Código de viento para Costa Rica. Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR.

- Cruz, A. (2012). Dossier de los sistemas constructivos. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua.
- de Ingenieros, C. F. (2002). Código Sísmico de Costa Rica. COSTA RICA. Editorial: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Gómez, G. (s.f.). ¿De bloques o prefabricada? Recuperado el 20 de setiembre 2019 de <http://www.nacion.com/ambitos/2004/mayo/01/nota1.html>
- González Garcia, F., Sampaio, E. M., Neves, A. F., & Oliveira, M. G. D. (2008). Evaluación de la adherencia de uniones adhesivas metálicas con adhesivos epoxídicos modificados. *Polímeros*, 18(1), 30-44.
- Hernández, E. P. (2007). QUALYPANEL Covintec una alternativa en la edificación de vivienda.
- Herrera Lazarte, S. R., & Polo Roca, M. E. (2017). Estudio de las Propiedades Mecánicas del Concreto en la Ciudad de Arequipa, Utilizando Fibras Naturales y Sintéticas, Aplicado para el Control de Fisuras por Retracción Plástica.
- Ibañez, J. (2017). Construcciones livianas una nueva tendencia. Recuperado el 17 de setiembre 2019 de <http://www.construccionesgomo.com/construcciones-livianas-una-nueva-tendencia/>
- Jirón, M. (2014). Uso y aplicación del método constructivo electro panel. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Julián, C., William, A., & Fabián, E. (2015). Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social. *Ingeniería, investigación y tecnología*.
- Kim, J. K., & Lee, C. S. (1998). Prediction of differential drying shrinkage in concrete. *Cement and Concrete Research*, 28(7), 985-994.
- López, W. (2012). Teoría de Estructuras II: Marcos rígidos.
- Marella, M. (2005). Fisuras en la mampostería de ladrillos por movimientos reológicos de las estructuras de hormigón. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, (4), 113-116.
- Martínez Sánchez, C. B. (2014). Aplicación de la solución constructiva Termomuro obra Barrio El Patagual IV.
- Moya-Chavarría, L. F. (2011). Análisis y determinación teórica de la rigidez de muros de mampostería reforzada en edificios de hasta dos niveles.

- Murillo, J. A. P., Sandoval, Y. C. G., Santafé, J. I. L., Maldonado, J. J. C., & Figueroa, O. H. (2018). Estudio del comportamiento de muestras de mortero natural sometidas a esfuerzo de compresión.
- Palomino Lazo, K. D. P., & Gutierrez Ramos, M. M. (2015). Análisis de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno y acero, y su uso en el control de fisuras por contracción plástica.
- Patricia, F. G. (2019). Patologías y soluciones de intervención en fachadas ligeras metálicas.
- Rossi, P., & Richer, S. (1987). Numerical modelling of concrete cracking based on a stochastic approach. *Materials and Structures*, 20(5), 334-337.
- Rivas Ortiz, L. Y. (2017). Análisis experimental y analítico de las propiedades estructurales ante cargas laterales de una mampostería confinada y una mampostería reforzada (Bachelor's thesis, Quito, 2017.).
- Rivera Cordero, F. A., & Arellano Ramos, E. (2014). Comportamiento del panel Covintec con distintas dosificaciones de mortero para el estuco de un muro cortafuego construido en la Escuela Municipal de Rauco (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Ingeniería en Construcción
- Ruiz Quezada, I. M., & Morales, R. J. (2013). Panel Convintec alternativa para la industria de la construcción (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua).
- Sosa, M. E. (2018). Estudio de la contracción por secado en morteros y hormigones con agregados finos reciclados (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Salud, O. P. (2010). Guía para la evaluación de establecimientos de salud de mediana y baja complejidad.
- Sánchez, J. A., Sevilla, J. B., Padura, Á. B., & de Arellano Agudo, A. R. (1997). La retracción en los morteros de cal. *Materiales de construcción*.
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción: grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. *Ciencia y sociedad*.
- Vidaud, E. (2013). Fisuras en el concreto ¿Síntoma o enfermedad? *Construcción y Tecnología en concreto*.
- Vilda Muxi, Á. (2020). Análisis y estudio de diferentes tipos de uniones soldadas para su optimización y mejora (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Vergara, E. (2014). Paneles Covintec: sistema de paneles estructurales con barrera térmica y acústica. Recuperado el 16 de setiembre de 2019 de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/623632/en-detalle-sistema-de-paneles-covintec>

Volio, N. (2009). Comparación de cerramientos no estructurales en edificios iguales o menores a cuatro pisos. (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.