

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

**DETERMINACIÓN DE VULNERABILIDAD DE LAS PAREDES DE MAMPOSTERÍA TÍPICAS DE
CUENCA POR MEDIO DE ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Arquitecto

Autor:

Walter Marcelo Bueno Yunga

Jonnathan David Pulla Palaguachi

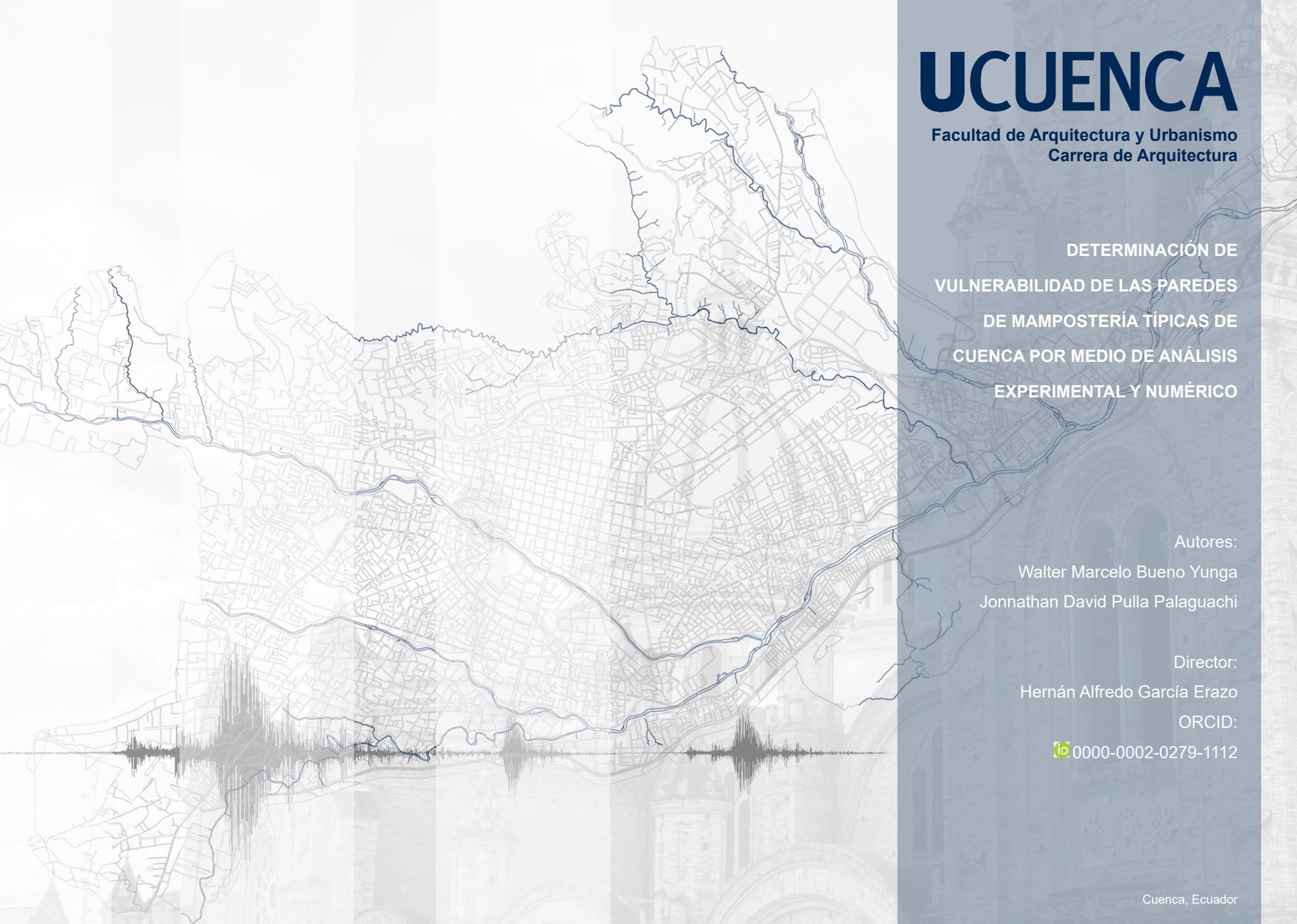
Director:

Hernán Alfredo García Erazo

ORCID:  0000-0002-0279-1112

Cuenca, Ecuador

2024-07-16



UCUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Carrera de Arquitectura

DETERMINACIÓN DE
VULNERABILIDAD DE LAS PAREDES
DE MAMPOSTERÍA TÍPICAS DE
CUENCA POR MEDIO DE ANÁLISIS
EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO

Autores:

Walter Marcelo Bueno Yunga
Jonnathan David Pulla Palaguachi

Director:

Hernán Alfredo García Erazo

ORCID:

 0000-0002-0279-1112

Resumen

Con el objetivo de medir la influencia del material de construcción utilizado de manera típica en edificaciones de la ciudad de Cuenca, Ecuador, en su capacidad sismorresistente y respuesta ante un evento sísmico. Esta investigación se enfoca en el análisis del ladrillo panelón como material principal, proponiendo un método de micro modelado obteniendo las propiedades homogenizadas computacionalmente que servirán para definir macro modelos y caracterizar paredes y edificios. El procedimiento inicia por hacer análisis experimental sobre ladrillos, morteros y muretes, para determinar las propiedades básicas del ladrillo y mortero que sirven para calibrar un micro modelo. Luego, a nivel macro, se modelan y simulan tres casos de estudio los cuales son representativos de viviendas con configuración típica es decir de dos pisos con muros de mampostería de ladrillo panelón y adosadas a sus extremos, pertenecientes al sector de Totoracocha en Cuenca. Los análisis realizados en estos casos de estudio incluyen un análisis modal y no lineal (pushover) únicamente en fachadas, para comparar con curvas de capacidad y espectros inelásticos de la ciudad y estimar el daño probable que sufrirían las edificaciones ante un sismo. Los resultados permiten identificar de manera más precisa las zonas más vulnerables de la estructura, permitiendo anticipar posibles daños, mejorar las estrategias de refuerzo y mitigación de riesgos. Este estudio busca concientizar sobre la importancia de realizar un análisis estructural más completo, enfocado en la mampostería, y considerar el uso de elementos más resistentes durante la ejecución del proyecto, ya que la mampostería es particularmente vulnerable a los daños sísmicos.

Palabras clave del autor: análisis sísmico, mampostería de ladrillo, panelón, vulnerabilidad en paredes



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

With the objective of measuring the influence of the construction material typically used in buildings in the city of Cuenca, Ecuador, in its seismic resistance and response to a seismic event. This research focuses on the analysis of the panel brick as the main material, proposing a micro-modeling method to obtain the computationally homogenized properties that will serve to define macromodels and characterize walls and buildings. The procedure starts by performing experimental analysis on bricks, mortars and walls, to determine the basic properties of the brick and mortar that serve to calibrate a micro model. Then, at the macro level, three case studies are modeled and simulated, which are representative of typical two-story houses with masonry walls of brick paneling and attached to their ends, belonging to the sector of Totoracocha in Cuenca. The analyses performed in these case studies include a modal and nonlinear (pushover) analysis only in facades, to compare with capacity curves and in-elastic spectra of the city and estimate the probable damage that the buildings would suffer in an earthquake. The results allow for a more accurate identification of the most vulnerable areas of the structure, allowing for the anticipation of possible damage and the improvement of reinforcement and risk mitigation strategies. This study seeks to raise awareness of the importance of performing a more complete structural analysis, focused on masonry, and to consider the use of more resistant elements during project execution, since masonry is particularly vulnerable to seismic damage.

Author Keywords: seismic analysis, brick masonry, panelón, vulnerability walls



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVOS.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA	14
1.1. DEFINICIONES GENERALES SOBRE SISMICIDAD.....	15
1.3. SISMICIDAD.....	16
1.4. SISMICIDAD EN ECUADOR.....	17
1.7.1. Fallas geológicas más destacadas en el país.....	17
1.7. AMENAZA SÍSMICA.....	18
1.7.1. AMENAZA SÍSMICA ECUADOR.....	18
1.7.2. AMENAZA SÍSMICA CUENCA.....	19
1.5 VULNERABILIDAD.....	20
1.5. EVENTOS DE SISMICIDAD EN ECUADOR.....	21
1.6. EVENTOS DE SISMICIDAD EN LA CIUDAD DE CUENCA.....	22
1.8. OBJETO DE ESTUDIO.....	23
1.9. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC)	24
1.10. INTRODUCCIÓN A SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE INTERÉS	27
1.10. METODOLOGÍA.....	31
1.10.1. FASE DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	33
1.10.2. FASE DE DEFINICIÓN DE PROPIEDADES MACRO A PARTIR DE RESULTADOS DE ANÁLISIS EXPERIMENTALES Y NUMÉRICOS.....	33
1.10.3. DEFINICIÓN DE ESTRUCTURAS TIPO EN FACHADAS DE 3 CASOS DE ESTUDIO.....	34
1.10.4. ANÁLISIS MODAL EN FACHADAS DE 3 CASOS DE ESTUDIO	34

1.10.5. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL EN FACHADAS DE 3 CASOS DE ESTUDIO	35
1.10.6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	35

CAPÍTULO II PRUEBAS EXPERIMENTALES.....

2.1. ZONA DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS	37
2.2. NORMAS UTILIZADAS.....	38
2.3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	38
2.4. MATERIALES	39
2.5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.....	39
2.6. PROCEDIMIENTO GENERAL.....	40
2.7. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LABORATORIO.....	41
2.7.1. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN DE UNIDADES DE LADRILLO PANELÓN.....	41
2.7.2. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CÚBICOS DE 5CM DE MORTERO.....	42
2.7.3. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.....	45
2.7.4. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ESFUERZO A CORTANTE EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.....	48
2.8. CÁLCULOS.....	50
2.8.1. CÁLCULOS ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN DE UNIDADES DE LADRILLO PANELÓN.....	53
2.8.2. CÁLCULOS ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CÚBICOS DE 5CM DE MORTERO.....	65
2.8.3. CÁLCULOS ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.....	66
2.8.4. CÁLCULOS ENSAYO DE ESFUERZO A CORTANTE EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.....	73

CAPÍTULO III MODELACIÓN NUMÉRICA DE PAREDES TÍPICAS DE EDIFICACIONES CONFINADAS	77
3.1. VALIDACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	78
3.2. MICRO-MODELACIÓN DEL ELEMENTO TIPO RVE, MODELO DE DAÑO.....	79
3.3. MICRO-MODELACIÓN DE PAREDES TÍPICAS CON MAMPOSTERÍA DE LADRILLO PANELÓN.....	81
3.4. MACRO-MODELACIÓN DE PAREDES TÍPICAS CON MAMPOSTERÍA DE LADRILLO PANELÓN.....	91
CAPÍTULO IV SELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO.....	93
4.1. SELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	94
4.2. IDENTIFICACIÓN DE PAREDES TÍPICAS DE EDIFICACIONES CONFINADAS ZONA DE TOTORACOCHA.....	95
4.2.1. CASO DE ESTUDIO 1.....	96
4.2.2. CASO DE ESTUDIO 2.....	99
4.2.3. CASO DE ESTUDIO 3.....	102
4.2.4. MODELACIÓN DE PAREDES TÍPICAS DE CASOS DE ESTUDIO.....	105
CAPITULO V MACRO ANÁLISIS.....	106
5.1. ANÁLISIS MODAL PARA DETERMINACIÓN CARGAS LATERALES	107
5.1.1. CÁLCULO DE CARGA MUERTA PARA EL ANÁLISIS MODAL....	108
5.1.2. ANÁLISIS MODAL EN CASOS DE ESTUDIO.....	108
5.2. MODELO DE PAREDES TÍPICAS BAJO EL ANÁLISIS DE PUSHOVER.....	112
5.3. DETERMINACIÓN DE DAÑO.....	114
5.4. DETERMINACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD.....	120

5.5. MÉTODO DEL ESPECTRO IN ELÁSTICO.....	122
5.5.1. CÁLCULOS PARA TODOS LOS CASOS DE ESTUDIO.....	123
5.5.2. ESPECTRO DE DISEÑO CASO 1.....	124
5.5.3. ESPECTRO DE DISEÑO CASO 2.....	125
5.5.4. ESPECTRO DE DISEÑO CASO 3.....	126
5.6. CÁLCULO PARA ENCONTRAR LA DEFORMACIÓN REAL.....	127
CAPITULO VI DETERMINACIÓN DE VULNERABILIDAD.....	128
6.1. PUNTOS DE VULNERABILIDAD PARA CADA CASO.....	129
6.1.1. CASO 1.....	129
6.1.2. CASO 2.....	131
6.1.3. CASO 3.....	133
6.2. COMPARACIÓN Y RESULTADOS.....	135
6.2.1. ANÁLISIS MODAL.....	135
6.2.2. ANÁLISIS VULNERABILIDAD.....	136
CAPITULO VII CONCLUSIONES Y LINEAMIENTOS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....	141
7.1. CONCLUSIONES.....	142
7.2. LINEAMIENTOS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES.....	144
Referencias	145
Anexos.....	149

Índice de figuras

Figura 1.01	Hipocentro y epicentro de un sismo	15	Figura 2.10	Muestra de cemento y muestra de arena	42
Figura 1.02	Mapa del Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico	16	Figura 2.11	Orden de compactación en el modelo de especímenes de mortero	43
Figura 1.03	Mapa de diseño sísmico del Ecuador	17	Figura 2.12	Compactación en moldes metálicos	44
Figura 1.04	Fallas geológicas en Ecuador	18	Figura 2.13	Muestra de mortero en proceso de curado	44
Figura 1.05	Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias del Ecuador	19	Figura 2.14	Muestra de mortero sometida a esfuerzo a compresión	44
Figura 1.06	Niveles de desempeño de una estructura dúctil	20	Figura 2.15	Sellado y curado de muretes de ladrillos	46
Figura 1.07	Mapa de epicentros de sismos registrados	21	Figura 2.16	Murete de ladrillo panelón y mortero sometido a esfuerzo compresión	46
Figura 1.08	Sismicidad registrada en el mes de febrero en Ecuador	22	Figura 2.17	Esquemas de modo de falla en muretes	47
Figura 1.09	Afecciones a viviendas en Cuenca y sus parroquias	23	Figura 2.18	Modo de falla muestra M1	47
Figura 1.10	Tipos de materiales en paredes exteriores de casas	23	Figura 2.19	Modo de falla muestra M2	47
Figura 1.11	Tipos de viviendas según sus retiros	24	Figura 2.20	Modo de falla muestra M3	47
Figura 1.12	Continuidad en elevación para edificaciones	25	Figura 2.21	Modo de falla muestra M4	47
Figura 1.13	Planeamiento regular en edificaciones	25	Figura 2.22	Modo de falla muestra M5	47
Figura 1.14	Localización de aberturas	25	Figura 2.23	Sellado y curado de muretes de ladrillos	49
Figura 1.15	Aberturas puertas y ventanas	25	Figura 2.24	Murete de ladrillo panelón y mortero	50
Figura 1.16	Juntas constructivas de casas adosadas	26	Figura 2.25	Muestra tipo ladrillo panelon,	51
Figura 1.17	Relación largo ancho de una edificación	26	Figura 2.26	Gráfica esfuerzo y deformación unitaria para calculo de módulo de Yong	52
Figura 1.18	Diseño de pared simétrico	26	Figura 2.27	Deformación de material de ladrillo sometido a una carga	52
Figura 1.19	Plano de planta que ilustra la ubicación de las columnas	26	Figura 2.28	Murete a cortante	53
Figura 1.20	Zonas en las que se esperan deformaciones inelásticas	27	Figura 2.29	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L1B	54
Figura 1.21	Edificaciones de mampostería confinada	28	Figura 2.30	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L1B	54
Figura 1.22	Edificio típico de mampostería confinada	28	Figura 2.31	Muestra L1B	54
Figura 1.23	Edificio de mampostería confinada	29	Figura 2.32	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L2B1	55
Figura 1.24	Columnas y cadenas de amarre	30	Figura 2.33	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L2B1	55
Figura 1.25	Sección constructiva típica de Cuenca	30	Figura 2.34	Muestra L2B1	55
Figura 1.26	Metodología propuesta para la investigación	32	Figura 2.35	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L2C2	56
Figura 1.27	Casos de estudio	34	Figura 2.36	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L2C2	56
Figura 1.28	Vivienda tipo adosada, análisis eje no gobernante	34	Figura 2.37	Muestra L2C2	56
Figura 2.01	Lugar de obtención de muestras Racar	37	Figura 2.38	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L3D1	57
Figura 2.02	Sitio de obtención de muestras Racar	37	Figura 2.39	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L3D1	57
Figura 2.03	Equipos y herramientas del laboratorio de la facultad	39	Figura 2.40	Muestra L3D1	57
Figura 2.04	Materiales utilizados para las pruebas de laboratorio	39	Figura 2.41	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L3D2	58
Figura 2.05	Elementos de protección personal	38	Figura 2.42	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L3D2	58
Figura 2.06	Muestras de ladrillo panelon	40	Figura 2.43	Muestra L3D2	58
Figura 2.07	Muestra tipo ladrillo panelon	40	Figura 2.44	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L4E2	59
Figura 2.08	Proceso de refrentado de ladrillos panelón	40	Figura 2.45	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L4E2	59
Figura 2.09	Procedimiento de ensayo a compresión de ladrillo panelón	41	Figura 2.46	Muestra L4E2	59
			Figura 2.47	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L5B	60

Figura 2.48	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L5B	60	Figura 3.01	Estrategias de modelado de mampostería	80
Figura 2.49	Muestra L5B	60	Figura 3.02	Estrategias de modelado de mampostería RVE	81
Figura 2.50	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L6A	61	Figura 3.03	Muro compuesto (Murete) de ladrillo panelón y junta de mortero	81
Figura 2.51	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L6A	61	Figura 3.04	Esquema de modelado de 5 muretes	82
Figura 2.52	Muestra L6A	61	Figura 3.05	Murete M1, curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental y simulación corregida	83
Figura 2.53	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L6B	62	Figura 3.06	Daño murete M1	84
Figura 2.54	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L6B	62	Figura 3.07	Esfuerzo murete M1	84
Figura 2.55	Muestra L6B	62	Figura 3.08	Murete M2, curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental y	85
Figura 2.56	Gráfica experimental esfuerzo y deformación L7B	63	Figura 3.09	Daño murete M2	85
Figura 2.57	Gráfica analítica esfuerzo y deformación L7B	63	Figura 3.10	Esfuerzo murete M2	85
Figura 2.58	Muestra L7B	63	Figura 3.11	Murete M3, curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental y	86
Figura 2.59	Cubos de mortero sometido a ensayo de compresión en laboratorio	65	Figura 3.12	Daño murete M3	87
Figura 2.60	Cinco muretes sometidos a ensayo de compresión,	66	Figura 3.13	Esfuerzo murete M3	87
Figura 2.61	Gráfica experimental esfuerzo y deformación M1	67	Figura 3.14	Murete M4, curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental y	88
Figura 2.62	Gráfica analítica esfuerzo y deformación M1	67	Figura 3.15	Daño murete M4	88
Figura 2.63	Muestra M1	67	Figura 3.16	Esfuerzo murete M4	88
Figura 2.64	Gráfica experimental esfuerzo y deformación M2	68	Figura 3.17	Murete M5, curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental y	89
Figura 2.65	Gráfica analítica esfuerzo y deformación M2	68	Figura 3.18	Daño murete M5	90
Figura 2.66	Muestra M2	68	Figura 3.19	Esfuerzo murete M5	90
Figura 2.67	Gráfica experimental esfuerzo y deformación M3	69	Figura 3.20	Gráfica Esfuerzo-Deformación. Área bajo la curva	91
Figura 2.68	Gráfica analítica esfuerzo y deformación M3	69	Figura 4. 01	Zona de Totoracocha Cuenca	94
Figura 2.69	Muestra M3	69	Figura 4. 02	Zona de estudio E-7 Totoracocha Cuenca	95
Figura 2.70	Gráfica experimental esfuerzo y deformación M4	70	Figura 4. 03	Perspectiva Caso de estudio 1	96
Figura 2.71	Gráfica analítica esfuerzo y deformación M4	70	Figura 4. 04	Ubicación y emplazamiento Caso de estudio 1	96
Figura 2.72	Muestra M4	70	Figura 4. 05	Elevación frontal caso 1	97
Figura 2.73	Gráfica experimental esfuerzo y deformación M5	71	Figura 4. 06	Secciones caso 1	97
Figura 2.74	Gráfica analítica esfuerzo y deformación M5	71	Figura 4. 07	Planta baja y planta alta caso 1	97
Figura 2.75	Muestra M5	71	Figura 4. 08	Análisis formal Caso estudio 1	98
Figura 2.76	Cinco muretes sometidos a ensayo de esfuerzo a cortante	73	Figura 4. 09	Análisis tecnológico Caso estudio 1	98
Figura 2.77	Gráfica esfuerzo y carga M1	73	Figura 4. 10	Perspectivas Caso de estudio 2	99
Figura 2.78	Murete M1 y carga máxima	73	Figura 4. 11	Ubicación y emplazamiento Caso de estudio 2	99
Figura 2.79	Gráfica esfuerzo y carga M2	74	Figura 4. 12	Elevación frontal y posterior caso 2	100
Figura 2.80	Murete M2 y carga máxima	74	Figura 4. 13	Secciones caso 2	100
Figura 2.81	Gráfica esfuerzo y carga M3	74	Figura 4. 14	Planta baja y planta alta caso 2	100
Figura 2.82	Murete M3 y carga máxima	74	Figura 4. 15	Análisis formal Caso de estudio 2	101
Figura 2.83	Gráfica esfuerzo y carga M4	75	Figura 4. 16	Análisis tecnológico Caso de estudio 2	101
Figura 2.84	Murete M4 y carga máxima	75			
Figura 2.85	Gráfica esfuerzo y carga M5	75			
Figura 2.86	Murete M5 y carga máxima	75			

Figura 4. 17	Perspectivas Caso de estudio 3	102	Figura 5.30	Punto de intersección entre la curva de capacidad y el espectro in-elástico	124
Figura 4. 18	Ubicación y emplazamiento Caso de estudio 3	102	Figura 5.31	CASO 1. Curva de capacidad entre aceleración y desplazamiento	124
Figura 4. 19	Elevación frontal caso 3	103	Figura 5.32	CASO 1. Punto de choque entre proyección de la curva de capacidad y espectro elástico	124
Figura 4. 20	Secciones caso 3	103	Figura 5.33	CASO 1. Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca	125
Figura 4. 21	Planta baja y planta alta caso 3	103	Figura 5.34	CASO 1. Punto de intersección entre espectro de diseño in-elástico con curva de capacidad	125
Figura 4. 22	Análisis formal Caso de estudio 3	104	Figura 5.35	CASO 2. Curva de capacidad entre aceleración y desplazamiento	125
Figura 4. 23	Análisis tecnológico Caso de estudio 3	104	Figura 5.36	CASO 2. Punto de choque entre proyección de la curva de capacidad y espectro elástico	125
Figura 4. 24	Macro-modelado casos de estudio utilizando el software AutoCAD	105	Figura 5.37	CASO 2. Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca	126
Figura 5.01	Ladrillos tipo por metro cuadrado	108	Figura 5.38	CASO 2. Punto de intersección entre espectro de diseño in-elástico con curva de capacidad	126
Figura 5.02	Análisis modal caso 1. Modo = 1	109	Figura 5.39	CASO 3. Curva de capacidad entre aceleración y desplazamiento	126
Figura 5.03	Análisis modal caso 1. Modo = 2	109	Figura 5.40	CASO 3. Punto de choque entre proyección de la curva de capacidad y espectro elástico	126
Figura 5.04	Análisis modal caso 1. Modo = 30	109	Figura 5.41	CASO 3. Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca	127
Figura 5.05	Análisis modal caso 2. Modo = 1	110	Figura 5.42	CASO 3. Punto de intersección entre espectro de diseño in-elástico con curva de capacidad	127
Figura 5.06	Análisis modal caso 2. Modo = 2	110	Figura 6.01	CASO 1. Curva de capacidad entre cortante basal y desplazamiento (vulnerabilidad)	129
Figura 5.07	Análisis modal caso 2. Modo = 64	110	Figura 6.02	CASO 1. Curva de capacidad entre aceleración y desplazamiento (vulnerabilidad)	129
Figura 5.08	Análisis modal caso 3. Modo = 1	111	Figura 6.03	CASO 1. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería (vulnerabilidad)	130
Figura 5.09	Análisis modal caso 3. Modo = 2	111	Figura 6.04	CASO 1. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería (vulnerabilidad)	130
Figura 5.10	Análisis modal caso 3. Modo = 28	111	Figura 6.05	CASO 2. Curva de capacidad entre cortante basal y desplazamiento (vulnerabilidad)	131
Figura 5.11	Aplicación de carga en la losa	112	Figura 6.06	CASO 2. Curva de capacidad entre aceleración y desplazamiento (vulnerabilidad)	131
Figura 5.12	Modelado de fachada caso 1	113	Figura 6.07	CASO 2. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería (vulnerabilidad)	132
Figura 5.13	Modelado de fachada caso 2	113	Figura 6.08	CASO 2. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería (vulnerabilidad)	132
Figura 5.14	Modelado de fachada caso 3	113			
Figura 5.15	CASO 1, curva Pushover	114			
Figura 5.16	CASO 1. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería	115			
Figura 5.17	CASO 1. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería	116			
Figura 5.18	CASO 2, curva Pushover	116			
Figura 5.19	CASO 2. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería	117			
Figura 5.20	CASO 2. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería	117			
Figura 5.21	CASO 3, curva Pushover	118			
Figura 5.22	CASO 3. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería	119			
Figura 5.23	CASO 3. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería	119			
Figura 5.24	CASO 1. Curva de capacidad entre cortante basal y desplazamiento	121			
Figura 5.25	CASO 2. Curva de capacidad entre cortante basal y desplazamiento	121			
Figura 5.26	CASO 3. Curva de capacidad entre cortante basal y desplazamiento	121			
Figura 5.27	Curvas de capacidad cortante basal y desplazamiento y relación entre aceleración y desplazamiento	123			
Figura 5.28	Gráfica de como hallar el factor de reducción	123			
Figura 5.29	Espectro in-elástico, con el factor de reducción mayor o menor a 1	124			

Figura 6.09	CASO 3. Curva de capacidad entre cortante basal y desplazamiento (vulnerabilidad)	133
Figura 6.10	CASO 3. Curva de capacidad entre aceleración y desplazamiento (vulnerabilidad)	133
Figura 6.11	CASO 3. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería (vulnerabilidad)	134
Figura 6.12	CASO 3. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería (vulnerabilidad)	134
Figura 6.13	Comparación de desplazamientos para cada caso de estudio.	136
Figura 6.14	Daño en muros mampostería en fachada en punto de vulnerabilidad Caso 1	137
Figura 6.15	Daño en muros mampostería en fachada en punto de vulnerabilidad Caso 2.	138
Figura 6.16	Daño en muros mampostería en fachada en punto de vulnerabilidad Caso 3	138
Figura 6.17	Curva de capacidad CASO 1 y su relación con niveles de desempeño de una estructura	140
Figura 6.18	Curva de capacidad CASO 2 y su relación con niveles de desempeño de una estructura	140
Figura 6.19	Curva de capacidad CASO 3 y su relación con niveles de desempeño de una estructura	140

Índice de tablas

Tabla 1.01	Valores del factor Z en función de la zona sísmica del Ecuador	19
Tabla 1.02	Valoración técnica de viviendas según el daño, MIDUVI	22
Tabla 2.01	Las cantidades de materiales de mortero, 9 cubos	42
Tabla 2.02	Las cantidades de materiales de mortero	42
Tabla 2.03	Regla de 3 para las cantidades de materiales de mortero	42
Tabla 2.04	Las cantidades de materiales de mortero	45
Tabla 2.05	Volumen total de mortero para 9 cubos	45
Tabla 2.06	Volumen total de mortero para un murete	45
Tabla 2.07	Las cantidades de materiales para 5 muretes	45
Tabla 2.08	Las cantidades de materiales de mortero	48
Tabla 2.09	Volumen total de mortero para 9 cubos	49
Tabla 2.10	Volumen total de mortero para un murete	49
Tabla 2.11	Las cantidades de materiales para 5 muretes	49
Tabla 2.12	Resistencia mínima a compresión y a flexión de los ladrillos	50
Tabla 2.13	Resistencia a compresión de muestras	51
Tabla 2.14	Resistencia a compresión de muestras	51
Tabla 2.15	Resultados de las 10 unidades de ladrillo panelón	53
Tabla 2.16	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L1B	54
Tabla 2.17	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L1B	54
Tabla 2.18	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L2B1	55
Tabla 2.19	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L2B1	55
Tabla 2.20	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L2C2	56
Tabla 2.21	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L2C2	56
Tabla 2.22	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L3D1	57
Tabla 2.23	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L3D1	57
Tabla 2.24	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L3D2	58
Tabla 2.25	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L3D2	58
Tabla 2.26	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L4E2	59
Tabla 2.27	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L4E2	59
Tabla 2.28	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L5B	60
Tabla 2.29	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L5B	60
Tabla 2.30	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L6A	61
Tabla 2.31	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L6A	61
Tabla 2.32	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L6B	62
Tabla 2.33	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L6B	62
Tabla 2.34	Resultados experimentales esfuerzo y deformación L7B	63

Tabla 2.35	Resultados analíticos esfuerzo y deformación L7B	63	Tabla 4.01	Datos generales sector de planeamiento E-7	95
Tabla 2.36	Resultados experimentales modulo elástico, esfuerzo, deformación unitaria	64	Tabla 4.02	Datos generales Caso de estudio 1	96
Tabla 2.37	Resultados analíticos modulo elástico, esfuerzo, deformación unitaria	64	Tabla 4.03	Datos generales Caso de estudio 2	99
Tabla 2.38	Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad	64	Tabla 4.04	Datos generales Caso de estudio 3	102
Tabla 2.39	Resultados de las 10 unidades de ladrillo panelón	65	Tabla 5.01	calculo de masa total por metro cuadrado en losa	108
Tabla 2.40	Propiedades del mortero, resistencia a compresión y modulo elástico	65	Tabla 5.02	calculo de masa total en losa	108
Tabla 2.41	Tabla de resultados de ensayo a compresión, pruebas experimentales	66	Tabla 5.03	calculo de masa total por metro cuadrado en mamposteria	108
Tabla 2.42	Resultados experimentales esfuerzo y deformación M1	67	Tabla 5.04	calculo de masa total en mamposteria	108
Tabla 2.43	Resultados analíticos esfuerzo y deformación M1	67	Tabla 5.05	Análisis modal caso 1	109
Tabla 2.44	Resultados experimentales esfuerzo y deformación M2	68	Tabla 5.06	Análisis modal caso 2	110
Tabla 2.45	Resultados analíticos esfuerzo y deformación M2	68	Tabla 5.07	Análisis modal caso 3	111
Tabla 2.46	Resultados experimentales esfuerzo y deformación M3	69	Tabla 5.08	Intersección espectro elástico y curva de capacidad de casos de estudio	127
Tabla 2.47	Resultados analíticos esfuerzo y deformación M3	69	Tabla 5.09	Deformación real de los casos de estudio	127
Tabla 2.48	Resultados experimentales esfuerzo y deformación M4	70	Tabla 6.01	Caso 1, Punto de vulnerabilidad	128
Tabla 2.49	Resultados analíticos esfuerzo y deformación M4	70	Tabla 6.02	Caso 2, Punto de vulnerabilidad	130
Tabla 2.50	Resultados experimentales esfuerzo y deformación M5	71	Tabla 6.03	Caso 3, Punto de vulnerabilidad	132
Tabla 2.51	Resultados analíticos esfuerzo y deformación M5	71	Tabla 6.04	Comparación entre resultados de análisis modal	134
Tabla 2.52	Resultados experimentales de muretes	72	Tabla 6.05	Comparación entre resultados del análisis de vulnerabilidad	135
Tabla 2.53	Resultados analíticos de muretes	72			
Tabla 2.54	Resultados esfuerzo de adherencia M1	73			
Tabla 2.55	Resultados esfuerzo de adherencia M2	74			
Tabla 2.56	Resultados esfuerzo de adherencia M3	74			
Tabla 2.57	Resultados esfuerzo de adherencia M4	75			
Tabla 2.58	Resultados esfuerzo de adherencia M5	75			
Tabla 2.59	Resultados esfuerzo de adherencia de ensayos a cortante	76			
Tabla 3.01	Relación entre kb y k1	79			
Tabla 3.02	Propiedades de materiales muretes M1 a M5	82			
Tabla 3.03	Propiedades para macro-modelos obtenidos a partir de simulacion y experimentación	91			
Tabla 3.04	Propiedades resultado de experimentación sobre muretes de ladrillo panelón sin rotar (100 muestras)	92			
Tabla 3.05	Propiedades para macro-modelos	92			

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios por brindarnos salud, guía espiritual y fortaleza durante nuestra vida estudiantil, pues gracias a su ayuda y bendición logramos culminar con éxito.

A nuestras familias, pilares fundamentales que nos alentaron e impulsaron a continuar ante cualquier obstáculo a lo largo de esta ardua travesía.

Al Ing. Hernán García, nuestro tutor de tesis, por compartir sus valiosos conocimientos, experiencia y paciencia durante su enseñanza, factores claves para el desarrollo de este trabajo investigativo.

A los docentes de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, quienes aportaron con sus conocimientos y nos guiaron durante nuestra formación profesional.

A nuestros amigos, por su apoyo incondicional, compañía y afecto en los momentos difíciles y gratos vividos en esta etapa universitaria.

Dedicatoria

A mis amados padres, María Y. y Ángel B., ejemplos invaluable de fe, amor y sacrificio inigualable. Sus enseñanzas y espíritu de grandeza se convirtieron en mi mayor inspiración, dándome fuerzas para seguir adelante y lograr esta anhelada meta.

A mis queridos hermanos José, Claudio, Herlinda, Fabián, Wilson, Iván, Edgar, John, Jenifer y Steve, por su apoyo moral incondicional y aliento constante incluso en los momentos más difíciles motivándome a superarlo.

A mi pequeña familia, en especial a ti, Heidi B., por esa sonrisa que iluminó mi camino y te convertiste en una parte esencial de mi vida.

A mí mismo, por no rendirme ante las adversidades, levantarme de cada tropiezo y perseverar en este camino hasta alcanzar el objetivo.

WALTER MARCELO BUENO YUNGA

A mis padres, Rosario P. y Miguel P., quienes, con su consejo y ejemplo de sacrificio, paciencia, dedicación y amor, me han enseñado a enfrentar los desafíos de la vida y a perseverar con determinación en la búsqueda de mis metas. Logré encontrar en ellos la fuerza necesaria para alcanzar este logro. A mis hermanos, Ismael P. y Emily P., por su ánimo y apoyo.

A mi esposa, Mery M., mi compañera de vida y apoyo ante cualquier adversidad. Mi fortaleza en cada paso de este trayecto, contando con su mano para sostenerme si caigo. Con paciencia, esfuerzo incansable y amor, me ha acompañado a lo largo de esta travesía llamada vida, cumpliendo esta y otras metas. Sin ella, nada de esto sería posible.

A mis hijos, Nicolás P. y Tomás P., quienes transformaron mi mundo por completo. Cada día me enseñan a ser mejor para ellos. Son la mayor bendición y motivación para alcanzar cada una de mis metas.

JONNATHAN DAVID PULLA PALAGUACHI

INTRODUCCIÓN

Ecuador, situado en una zona de alto riesgo sísmico debido a su intensa actividad sísmica y volcánica y a un sistema de fallas locales, ha experimentado eventos catastróficos a lo largo de su historia (Rivadeneira et al., 2007). El terremoto del 16 de abril de 2016 fue el más reciente y devastador, causando 700 muertes y daños por 1.032 millones de dólares, según el “Instituto Geofísico de la escuela politécnica nacional” IG EPN (2020). Este desastre reveló serios problemas en la construcción debido a la falta de cumplimiento de las normas básicas de seguridad. Es urgente mejorar las normas de construcción en Ecuador, para hacer edificios más resistentes a los terremotos siendo, crucial seguir estrictos estándares de seguridad sísmica en nuevas construcciones y renovaciones para proteger tanto las estructuras como las vidas de las personas que nos ayude a prevenir futuras tragedias y crear un entorno más seguro.

Según el INEC (2022), el 86 % de edificaciones se encuentran elaborados con materiales de ladrillo, bloque y hormigón, bajo este contexto Cuenca se caracteriza por la utilización ladrillo panelón en la configuración de sus edificaciones. La Norma Ecuatoriana de la construcción, seguridad estructural y diseño sismo resistente NEC-SE-DS, (2015), ubica a Cuenca en una zona de moderado peligro sísmico, siendo la mampostería confinada un sistema constructivo amplia mente utilizado.

Esta investigación sobre el análisis sísmico de estructuras de mampostería de ladrillo panelón debe ser esencial en la planificación de proyectos arquitectónicos, ya que actualmente no hay una normativa que considere adecuadamente las propiedades mecánicas del material, por lo tanto, permitiría evaluar mejor el riesgo sísmico de edificaciones en Cuenca.

Este trabajo de investigación se desarrolla en 6 etapas:

1. **Marco teórico:** aborda de manera general los aspectos relacionados con la sismicidad, las normativas pertinentes y la información relevante al objeto de estudio.
2. **Pruebas experimentales:** se realizaron ensayos a laboratorio con el ladrillo panelón para encontrar sus propiedades mecánicas esenciales para nuestra investigación.
3. **Micro análisis:** se realiza un análisis numérico con simulaciones en el software STKO, para posterior a ello comparar con las pruebas experimentales hechas en laboratorio y validar las propiedades macro.
4. **Casos de estudio:** se escogen 3 casos de estudio para posterior a ello realizar el análisis en las fachadas.
5. **Macro análisis:** se realiza dos tipos de análisis siendo, el análisis modal y el análisis Pushover, donde determinaremos las zonas de daño y las curvas de capacidad de la estructura.
6. **Vulnerabilidad:** se evaluará que tan vulnerables son las fachadas al momento de un sismo, identificando su desempeño sísmico así como también, las zonas con mayor daño sin llegar al colapso.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la vulnerabilidad sísmica de las paredes de mampostería típicas por medio de análisis experimental y numérico de la ciudad de Cuenca.

Objetivos Específicos

1. Calibrar un modelo numérico utilizando resultados de análisis experimental en ladrillos panelón y muretes de mampostería.
2. Determinar las características homogéneas de la mampostería típica construidas con ladrillo panelón para realizar un análisis macro de edificaciones tipo.

Planteamiento del problema

Es de conocimiento que Ecuador es un territorio de alto grado sísmico debido a diferentes factores como, su ubicación dentro del cinturón de fuego del Pacífico, además de su localización dentro de la zona activa de la placa de Nazca. La ciudad de Cuenca además posee un factor de riesgo de gran preocupación, conocida como la falla geológica de Girón localizada a 30 km, al Sur de la provincia del Azuay, la cual se extiende a lo largo de un radio aproximado de 200 km el cual se encuentra en constante monitoreo debido al alto grado de peligrosidad (Bustos, 2010). Si bien se conoce que para la construcción dentro del país existen diferentes normativas como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014) el cual dicta normas para una adecuada construcción sísmo resistente, estas no se cumplen durante los procesos de diseño y construcción, a pesar de existir entes reguladores dentro de cada provincia. Dentro de la ciudad de Cuenca el diseño de las edificaciones debe cumplir con normativas y parámetros según el sector al que pertenezca, y si bien existen diferentes variables las cuales afectan el comportamiento sísmico de una edificación como: distribución de las plantas arquitectónicas, fachadas, disposición de paredes, vanos en losas y mampostería, según un estudio realizado en el 2002 de 64.200 edificaciones de mampostería y hormigón dentro de la ciudad de Cuenca, el 60 % no cumple con las normas de construcción para resistir sismos mayores a seis grados en la escala de Richter (Bustos, 2010). Con lo ocurrido durante el terremoto registrado del 18 de marzo del 2023 con una magnitud de 6.64 Mw y epicentro a 29,12 km de Balao en la provincia de Guayas (Informe Sísmico Especial No. 2023-003 - Instituto Geofísico - EPN, s. f.), se tiene un claro ejemplo del riesgo al que se somete la población, el daño dentro de la ciudad de Cuenca no se encuentra estimado en su totalidad si nos referimos en edificaciones de vivienda. Sin embargo, en edificaciones públicas y privadas dentro del centro histórico se

observan daños con múltiples fisuras e incluso llegando a tener un riesgo de colapso, un caso lamentable registrado donde ocurrió una falla fuera de plano, al caer la cornisa de una vivienda sobre un automóvil en movimiento dejando una víctima fatal y un herido, esto nos demuestra que existe la posibilidad de que, ante un sismo de similar o mayor magnitud, el daño aumente considerablemente.

Para este entorno el proyecto forma parte de los temas de investigación del grupo “Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado de Cuenca”, que en simultáneo con investigaciones relacionadas, se pretende determinar la vulnerabilidad de edificaciones representativas dentro de la Ciudad, con la variación en la materialidad con la que estas son edificadas. Para este proyecto se tomarán como caso de estudio edificaciones ubicadas dentro del sector de Totoracocha en el cantón Cuenca y se realizará un análisis detallado de edificaciones con mampostería típica de ladrillo panelón, mientras que otro grupo de investigación similar se enfocará en edificaciones de mampostería típicas de ladrillo tochana. Para lograr determinar esta vulnerabilidad se considera diferentes puntos como: fachadas, materialidad y vanos. Se utilizará un modelo numérico calibrado a partir de pruebas experimentales en ladrillo panelón y muretes, todo esto para llegar a medir la influencia en la tipología y la materialidad dentro de la capacidad sismorresistente de las edificaciones.

**MARCO TEÓRICO Y
METODOLOGÍA**

1

1.1. DEFINICIONES GENERALES SOBRE SISMICIDAD

Sismo: es un fenómeno natural que consiste en la liberación súbita de energía acumulada en forma de ondas sísmicas, generada por el movimiento brusco de una falla en la corteza terrestre, Kramer Steven, (1996).

Placas tectónicas: grandes bloques de la corteza terrestre que se mueven e interactúan entre sí, causando actividad sísmica.

Ondas sísmicas: Son las vibraciones que se propagan a través de la Tierra como resultado de la liberación de energía en un terremoto.

Magnitud: es una medida de la cantidad de energía liberada en la fuente del terremoto.

Intensidad: describe la severidad de los efectos y daños producidos por un sismo en una ubicación en particular.

Epicentro: Punto de la superficie terrestre ubicado justo sobre el hipocentro.

Amenaza sísmica: se puede definir como la probabilidad de que ocurra un sismo de cierta magnitud en un área geográfica definida y en un período de tiempo determinado.

Vulnerabilidad sísmica: según Arteaga (2016), es el daño que sufre una edificación en un sismo ya que depende de qué tan frágil sea ese edificio.

Escalas sísmicas: permiten medir diferentes aspectos de los terremotos como su tamaño, energía y efectos en las edificaciones y el terreno.

- Escala de Richter: se expresa con números decimales y su escala es logarítmica, conocido también como magnitud local (ML).

- **Magnitud de Momento (M_w):** utilizada por la comunidad científica similar a la escala de Richter, no se satura con valores altos, fabricada en 1979 Thomas C. Hanks e Hiroo Kanamor.
- Escala Mercalli Modificada (M.M) que va desde I= muy débil hasta llegar a XII= catastrófico

Factores influyentes en un sismo

Los factores que influyen en la intensidad y los efectos de un sismo son variados. En primer lugar, la magnitud e intensidad del evento determinan la energía liberada y su potencial destructivo. Además, la ubicación del hipocentro (punto de inicio de la ruptura) y el epicentro (punto en superficie) en relación a las áreas pobladas, así como la profundidad del hipocentro, condicionan la propagación y amplificación de las ondas sísmicas. La duración de la ruptura, su direccionalidad y el tipo de suelo en la zona afectada también son determinantes, ya que suelos blandos o rellenos tienden a amplificar los movimientos. Finalmente, la vulnerabilidad de las edificaciones, determinada por su diseño sismorresistente, y el nivel de preparación ante sismos de la población son factores clave que influyen en la magnitud de los daños y el número de víctimas.

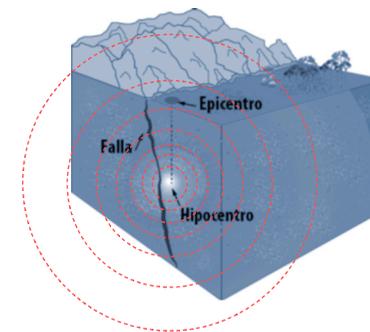


Figura 1.01. Hipocentro y epicentro de un sismo. Red sísmica de Puerto Rico, 2022.

1.2. SISMICIDAD

Movimiento sísmico

Un movimiento sísmico, también conocido como terremoto o sismo, es un fenómeno natural que ocurre cuando las placas tectónicas que forman la corteza terrestre se mueven, chocan o se deslizan entre sí, provocando la liberación de energía, que se propaga a través de la Tierra en forma de ondas sísmicas y también pueden ser causados por diferentes factores como los deslizamientos de tierra, las explosiones atómicas y otros factores.

La acumulación y liberación de esfuerzos entre placas tectónicas es el motor que genera los terremotos, provocando una ruptura violenta que libera energía en forma de ondas sísmicas. La magnitud del sismo depende de la extensión de la ruptura. Factores como el tipo de falla, la dirección del movimiento de las placas, la topografía y las condiciones locales del suelo influyen en la intensidad y el impacto del temblor.

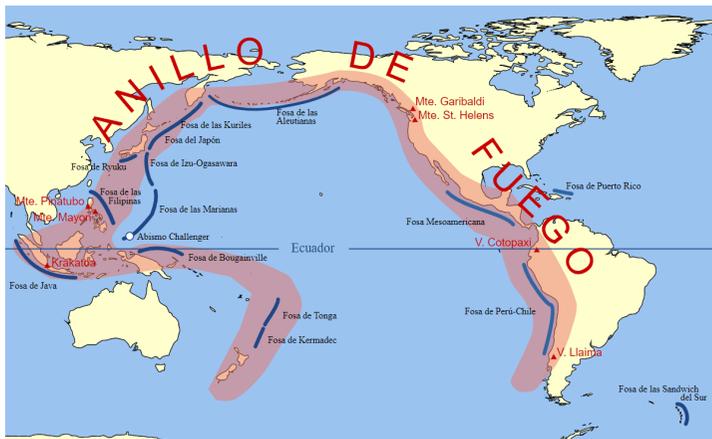


Figura 1.02. Mapa del Cinturón o Anillo de Fuego del Pacífico. Anillo De Fuego Del Pacífico.svg, 2011.

Según Kramer Steven (1996), existen dos tipos de ondas sísmicas que se generan en un terremoto:

Ondas de cuerpo:

Las ondas de cuerpo son las que viajan a través del interior de la Tierra y se dividen en ondas primarias (P) y ondas secundarias (S).

Las ondas P son ondas de compresión que causan movimientos de las partículas en la misma dirección de propagación de la onda. Las ondas S son ondas de corte que generan movimientos de las partículas perpendiculares a la dirección de propagación. Las ondas P viajan más rápido que las ondas S y pueden propagarse a través de materiales sólidos, líquidos y gaseosos, mientras que las ondas S solo se transmiten a través de medios sólidos (Kramer, 1996, p. 19).

Ondas superficiales:

“Las ondas superficiales son aquellas que se propagan a lo largo de la superficie de la Tierra y son de dos tipos: ondas de Rayleigh y ondas de Love. Las ondas de Rayleigh causan un movimiento de partículas elíptico en un plano vertical, mientras que las ondas de Love producen un movimiento horizontal perpendicular a la dirección de propagación”. Estas ondas superficiales viajan más lentamente que las ondas de cuerpo (P y S), pero son las que causan la mayor parte de los daños en la superficie debido a sus grandes amplitudes de movimiento del suelo (Kramer, 1996, p. 20).

1.3. SISMICIDAD EN ECUADOR

Ecuador se encuentra en una región de alto riesgo sísmico, y a lo largo de su historia ha experimentado una significativa actividad sísmica que ha resultado en la destrucción de ciudades a lo largo del tiempo. Ya que se encuentra en una zona conocida como el "Cinturón de Fuego del Pacífico". En esta región, la placa de Nazca se subduce bajo la placa Sudamericana, lo que genera una alta actividad sísmica (Lagos, 2015). En promedio, se registran alrededor de mil movimientos sísmicos al año en esta área (Rivadeneira et al., 2007).

Los terremotos causan daños irreparables, sufrimiento y desolación en las comunidades, especialmente en aquellas que son altamente vulnerables. Estos fenómenos naturales están asociados con problemas socioculturales y tienen consecuencias inimaginables de respuesta por una población (Heredia Tapia & Román Álvarez, 2014).

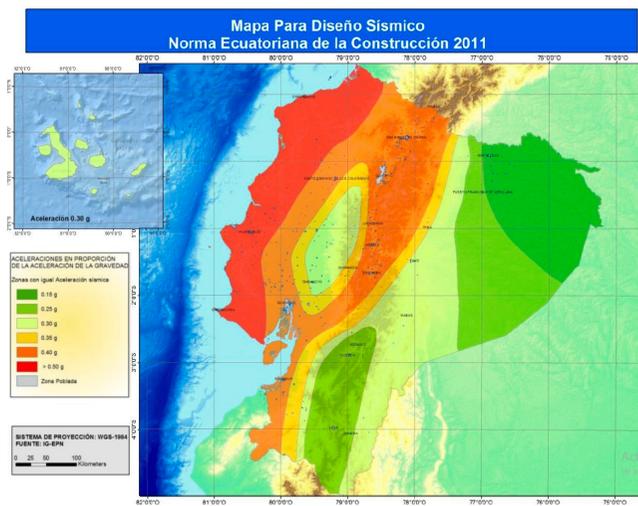


Figura 1.03. Mapa de diseño sísmico del Ecuador, según su valor del factor Z. NEC, 2011.

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente [NEC-SE-DS] (2015), el territorio ecuatoriano se divide en seis zonas sísmicas, caracterizadas por el valor de la aceleración máxima en roca para el sismo de diseño (factor Z).

En Ecuador, hay varias fallas geológicas importantes debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico y la interacción de las placas tectónicas.

1.3.1. Fallas geológicas más destacadas en el país

Falla de Guayaquil-Caracas: Es una falla muy grande que se extiende por toda la costa de Ecuador y Venezuela. Es responsable de muchos de los terremotos más destructivos de la región, como el terremoto de 1906 que destruyó Guayaquil.

Falla de Quito-Latacunga: Es una falla que se extiende por la región andina de Ecuador. Es responsable de muchos de los terremotos que han afectado a esta región, como el terremoto de 1698 que destruyó Quito.

Falla de Paute: Es una falla que se extiende por la región sur de Ecuador. Es responsable de algunos de los terremotos que han afectado a esta región, como el terremoto de 1958 que destruyó Cuenca.

Falla de Loja: es una grieta en la corteza terrestre que corre desde Loja, en el sur de Ecuador, hasta Zamora, en la frontera con Perú. Esta falla ha sido responsable de algunos de los terremotos más destructivos de la historia de Loja, incluidos los terremotos de 1698 y 1797.

La falla de Girón: Falla geológica activa, ubicada en la provincia del Azuay, se extiende aproximadamente 50 km en dirección norte-sur, pasando cerca de las ciudades de Girón, Nabón y Cochapamba.

Es importante destacar que la actividad sísmica y las fallas geológicas ya que son áreas de estudio activas para los científicos y las autoridades ecuatorianas. La monitorización y el análisis continuo de estas fallas son esenciales para comprender y mitigar los riesgos sísmicos en el país por lo tanto hay que tomar precauciones y estar preparado para posibles terremotos y eventos relacionados.

A lo largo de los años, Ecuador se ha enfrentado a fuertes sacudidas sísmicas que han dejado huellas profundas. Desde el terremoto de 1797 hasta el impactante suceso en Pedernales en 2016, estos eventos nos recuerdan la importancia de estar preparados y ser fuertes ante a la actividad sísmica, Por lo tanto, debemos mejorar las medidas preventivas y nuestra capacidad de respuesta ya que mirar hacia el pasado nos brinda lecciones valiosas para construir un futuro más seguro y resistente ante estos fenómenos naturales.

1.4. AMENAZA SÍSMICA

Ortiz (2013), define la amenaza sísmica como el enfoque de probabilidad estadística en producirse un sismo o terremoto de una cierta magnitud y duración en un área geográfica determinada durante un período de tiempo definido.

1.4.1. Amenaza sísmica Ecuador

Según Arteaga (2016), el Ecuador, incluyendo la ciudad de Cuenca, está ubicado en una región con mucha actividad sísmica conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico. Esta zona es propensa a sufrir terremotos y movimientos telúricos debido a que la Placa de Nazca, ubicada bajo el Océano Pacífico, se mueve debajo de la Placa Sudamericana, generando una presión geológica que de repente se libera en forma de energía produciendo sismos.

El acontecimiento más reciente el terremoto de Pedernales dejando alrededor de 700 muertos, más de 7000 heridos, 22000 personas refugiadas, miles de edificaciones destruidas y pérdidas económicas considerables (IG EPN, 2016).

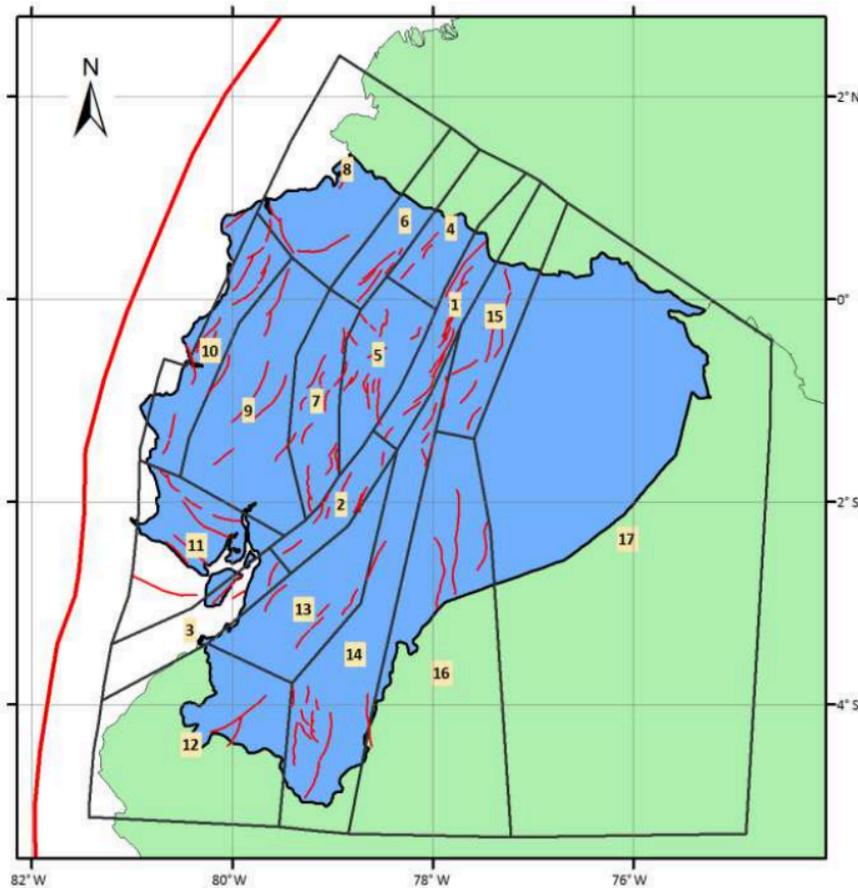


Figura 1.04. Fallas geológicas en Ecuador. Ilustración a partir de "Sismotectónica y peligrosidad sísmica del Ecuador". Ortiz, 2013.

La NEC, en su sección sobre "Diseño Sísmico Resistente" (NEC-SE-DS, 2015, págs. 13, 27), clasifica las zonas sísmicas en todo el país en base al análisis del riesgo sísmico, para un evento que tiene un 10% de probabilidad de ocurrir en 50 años (un periodo de retorno de 475 años). El valor del factor Z asignado a cada zona sísmica indica la máxima aceleración esperada en roca durante un terremoto de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 1.01 . Valores del factor Z en función de la zona sísmica del Ecuador, Peligro sísmico diseño sismo resistente. NEC, 2015.

1.4.2. Amenaza sísmica Cuenca

En Ecuador, con la información obtenida y publicada por el "Instituto Geofísico de la escuela politécnica nacional" (IGEPN), hay alrededor de 120 fallas activas. Algunas de ellas representan un riesgo significativo, como la falla de Pisayambo, la cual fue responsable de los terremotos en Ambato en 1949 y 1698. Otro ejemplo es la falla de Girón en la provincia de Azuay, que es la principal fuente de actividad sísmica en la ciudad de Cuenca. Esta falla se vincula con la ocurrencia de terremotos significativos en el sur del país (IGEPN, 2010).

Esta falla geológica comienza ubicándose 30 km al sur del cantón Girón. Tiene una extensión total aproximada de 200 km a lo largo de su trazado. En su recorrido cruza completamente la ciudad de Cuenca. Luego la falla continúa extendiéndose más al norte pasando por la provincia del Cañar, hasta finalizar en el sector sur de la provincia de Chimborazo (Bustos, 2010).

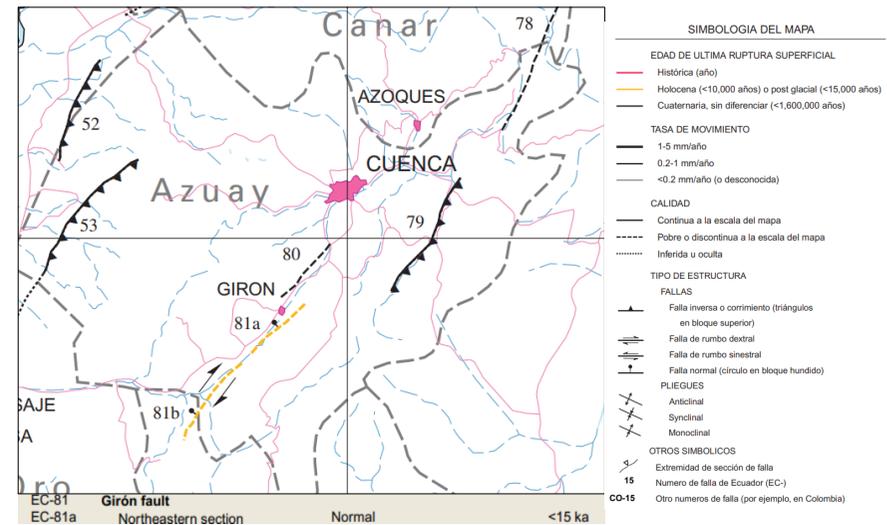


Figura 1.05. Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias del Ecuador y Regiones Oceánicas Adyacentes, Egeuz et al., 2003.

1.5. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad de las edificaciones se refiere a la facilidad con la que una estructura puede ser dañada por eventos naturales (sismos o terremotos). Para evaluar la vulnerabilidad, se consideran aspectos como la calidad de los materiales, el diseño del edificio, su estado de mantenimiento y su ubicación según Torres et al., (1995).

Métodos de Evaluación de la Vulnerabilidad

Evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones es crucial, para identificar y medir los riesgos que pueden afectar su integridad. Los métodos más usados son los métodos Cualitativos y Cuantitativos.

Método Cualitativo

Índices de vulnerabilidad: Usan formularios para evaluar parámetros como materiales, estructura, edad y mantenimiento.

Inspecciones técnicas: Evaluaciones in situ por expertos.

Método Cuantitativo

Simulaciones computacionales: Modelos digitales que predicen respuestas ante eventos adversos, método utilizado para este trabajo de investigación.

Entre ellos podemos encontrar diferentes análisis como:

- Análisis estático lineal.
- **Análisis estático no lineal.**
- Análisis dinámico.

La vulnerabilidad de una edificación depende de la capacidad de la estructura y el nivel de amenaza sísmica donde está construido o emplazado, por lo tanto, está en relación de un sistema el cual es capaz de resistir en términos de fuerza de un agente externo con el desplazamiento

de la estructura, por lo tanto, este factor es el encargado de evaluar la resistencia de la estructura ante algún evento sísmico.

Según la NEC (2015), en “Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras” en el apartado 3.9 “Niveles de desempeño de una estructura dúctil”, describe 4 niveles de desempeño mismo que describe el comportamiento de una estructura brindando información útil, a partir de la curva cortante basal - desplazamiento, los cuales utilizaremos para este trabajo de investigación siendo los siguientes:

1. **Operacional (O):** totalmente seguro y ya que se encuentra en su zona elástica.
2. **Ocupación inmediata (IO):** el edificio sufre poco o ningún daño, las personas pueden volver a usar el edificio casi de inmediato en general se mantiene segura y funcional.
3. **Seguridad de vida (LS):** el edificio experimenta daños moderados, pero sigue siendo lo suficientemente seguro como para evitar lesiones graves a sus ocupantes, puede requerir reparaciones y no está en peligro de colapsar
4. **Prevención de colapso (CP):** En este nivel, el edificio sufre daños significativos sin llegar al colapso y está cerca de sus límites estructurales.

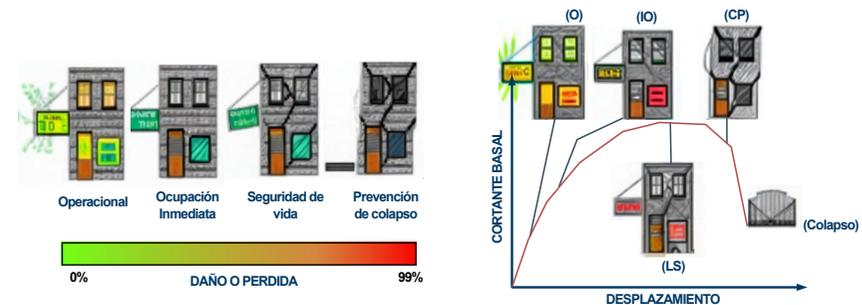


Figura 1.06. Niveles de desempeño de una estructura dúctil. NEC, 2015.

1.6. EVENTOS DE SISMICIDAD EN ECUADOR

Ecuador, ubicado en una región marcada por su notable actividad sísmica, ha experimentado a lo largo de su historia una serie de eventos sísmicos significativos. Esta actividad se debe a diversos factores geológicos que han dejado una marca indeleble en la geografía y la historia del país. Estos fenómenos sísmicos han afectado a comunidades enteras, contribuyendo de manera considerable a la configuración del paisaje ecuatoriano. Esta introducción busca explorar la historia de la sismicidad en Ecuador, destacando algunos de los eventos más notables que han dejado una marca imborrable en la memoria colectiva del país, creando a continuación en orden cronológico los sismos más relevantes registrados en el Ecuador.

1797, 4 de febrero: una magnitud de 8,3 Mw, lo que lo convierte en el más fuerte registrado en Ecuador con epicentro en Riobamba. La destrucción fue generalizada, y se estima que más de 12 mil personas murieron, (IG EPN, 2012).

1986, 16 de agosto: una magnitud de 7.0 y 7.3 Mw, dos fuertes terremotos ocurrieron en la provincia de Imbabura, se estimó entre 15000 y 20000 muertos como resultado de este desastre sísmico, que dejó una marcada devastación en la región, (IG EPN, 2017).

1906, 31 de enero: una magnitud 8.8 Mw sacudió la región del océano Pacífico, cerca de la frontera entre Ecuador y Colombia, las poblaciones más afectadas estaban en la provincia de Esmeraldas donde sufrieron graves daños, (IG EPN, 2012).

1949, 5 de agosto: una magnitud estimada de 6.8 Mw, Terremoto de Ambato al nororiente de Pelileo, más de 6000 personas perdieron la vida, alrededor de 100000 quedaron sin hogar y una extensa área de 1920 km² resultó afectada causó devastación con un alto potencial destructivo, (IG

EPN, 2013).

1987, 5 de marzo: dos terremotos una magnitud de 6.1 y 6.9 Mw, sacudieron las laderas orientales de los Andes en el NE del Ecuador, cerca de Quito, epicentro cerca del volcán el Reventador - Napo, dejó como resultado 1000 fallecidos y grandes daños materiales, (IG EPN, 2013).

2016, 16 de abril: con una magnitud 7.8 Mw, con epicentro en Pedernales, sentido incluso en Bogotá, Colombia, y Cajamarca, Perú. El terremoto dejó alrededor de 700 muertos, más de 7000 heridos, 22000 personas refugiadas, miles de edificaciones destruidas o inhabilitables, y pérdidas económicas considerables, (IG EPN, 2020).

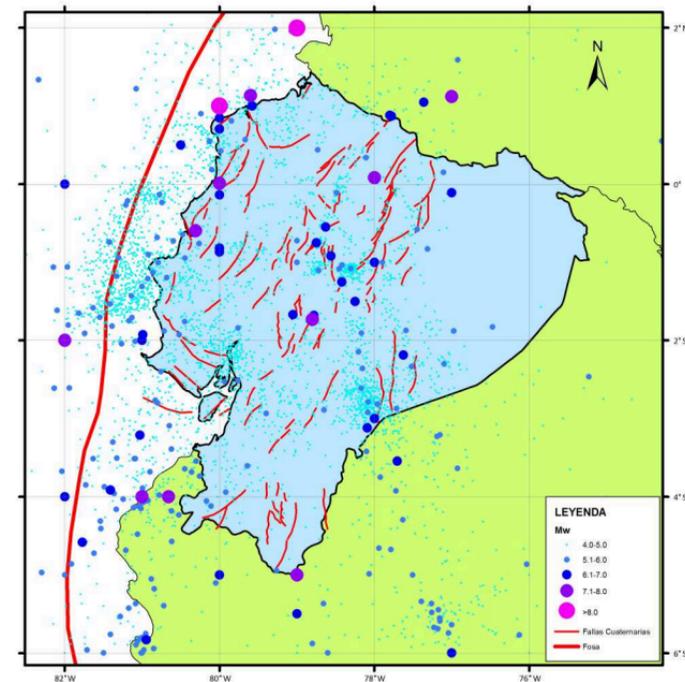


Figura 1.07. Mapa de epicentros de sismos registrados superficial (<40 Km) de "Sismotectónica y peligrosidad sísmica del Ecuador". Ortiz, 2013.

1.7. EVENTOS DE SISMICIDAD EN LA CIUDAD DE CUENCA

La sismicidad en Cuenca, Ecuador, ha sido objeto de estudio y preocupación en los últimos años. El Instituto Geofísico de Ecuador ha venido registrando sismos a lo largo del tiempo dentro de esta región.

Como por ejemplo solo en los últimos seis meses, la Red Sísmica del Austro (RSA) en la Universidad de Cuenca ha detectado un incremento en la cantidad de sismos en Cuenca y Azuay. Solo en el mes de febrero del 2023 se a registrado los siguientes sismos especificados en la figura 1.08.

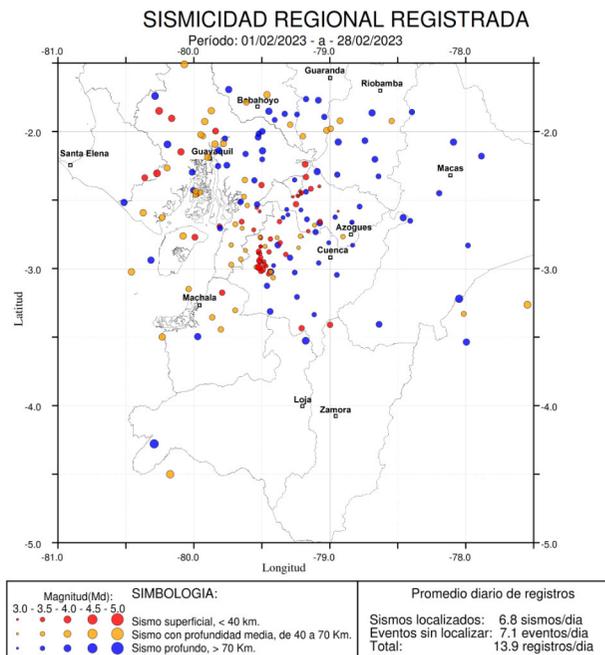


Figura 1.08. Sismicidad registrada en el mes de febrero en el Ecuador. Informe red sísmica del austro, 2023.

A continuación, describiremos en orden cronológico los sismos más relevantes registrados en la ciudad de cuenca:

1887, 29 de junio: un sismo significativo sacudió la provincia del Azuay en Ecuador. Este terremoto causó daños severos, fue registrado por Johannes B. Stiehle, reconocido por haber diseñado la catedral nueva de Cuenca.

1913, 23 de febrero: un terremoto gran magnitud al sur del país ocasiono las peores consecuencias entre Molleturo y Jesús María, donde algunas comunidades de Loja, El Oro, Guayas y Azuay sufrieron la pérdida completa de viviendas y daños significativos, (IG EPN, 2023).

1970, 10 de diciembre: sismo de magnitud 7.2 Mw, epicentro en la costa norte del Perú, que ocasiono considerables daños al sur de ecuador en las provincias del El Oro y Azuay, pero los daños mayores ocurrieron en los poblados de Cariamanga y Gonzanamá pertenecientes a la provincia de Loja (IG EPN, 2023).

2007, 16 de noviembre: sismo en las provincias de Zamora Chinchipe, Azuay, Morona Santiago y Loja, causando daños de poca consideración (IG EPN, 2023).

2016, 16 de abril: un sismo de magnitud 7.8 Mw, con epicentro en Pedernales, el sismo dejo daños leves a infraestructuras y algunas ciudades más alejadas entre ellas Cuenca (IG EPN, 2020).

2023, 18 de marzo: se registró un sismo con una magnitud de 6.64 Mw, con epicentro en Balao, Guayas, siendo las provincias más afectadas El Oro, Guayas y Azuay.

Según el informe de la secretaria de gestión de riesgo ocurrieron las siguientes afecciones tanto en viviendas como a personas, dando como resultando 14 personas fallecidas, 494 heridos y 1017 personas

damnificadas. Así como también 1050 viviendas afectadas y 291 viviendas destruidas.

El suceso más lamentable tuvo lugar en una casa del centro histórico de Cuenca (figura 1.09), donde se desplomó la fachada de la edificación debido al sismo, dejando un muerto y un herido (IG EPN, 2023).

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), llevo a cabo la inspección y análisis técnico de las viviendas ubicadas en las áreas que sufrieron daños, teniendo la recopilación de datos sobre el levantamiento a dichas viviendas especificados en la tabla 1.02.

Provincia	Cantón	Viviendas	Semáforo	Semáforo	Semáforo
Azuay	Cuenca	44	11	11	22
	Pucará	40	28	9	3
	Nabón	100	48	39	13
	Santa Isabel	53	8	20	25
Cañar	Girón	20	0	7	13
	Camilo Ponce Enríquez	21	5	10	6
	Cañar	5	0	5	0
Guayas	Déleg	2	0	0	2
	Balao	2	1	0	1
	Guayaquil	66	12	22	32
	Naranjal	36	3	22	11
El Oro	Machala	243	46	91	106
	Pasaje	218	61	80	77
	EL Guabo	52	0	2	50
	Santa Rosa	59	11	24	24
	Arenillas	6	1	3	2
Total		967	235	345	387

Tabla 1.02. Valoración técnica de viviendas según el daño. MIDUVI SGR, 2023.



Figura 1.09. Afecciones a viviendas en Cuenca y sus parroquias debido al sismo (18 de marzo). a) Casa del centro histórico. Xavier Caivinagua, 2023. b) Colapso de vivienda en la parroquia Baños, Nero. ECU 911, 2023.

1.8. OBJETO DE ESTUDIO

Edificaciones de dos pisos (uso mixto)

Las edificaciones arquitectónicas de mediana altura forman parte esencial de la vida diaria de las personas, siendo el espacio central para realizar la mayoría de las actividades cotidianas, estos sitios destinados al descanso, comercio, resguardo o actividades de ocio son comunes dentro de la ciudad de Cuenca.

Según, (NEC 2015), las edificaciones de vivienda son conjuntos de casas o apartamentos que están unidos formando una estructura única, ya sea de manera independiente o separados entre sí mediante juntas sísmicas para mayor seguridad, siendo este su uso mas predominante.

En Ecuador, las edificaciones más comunes son las casas o villas, que representan el 64.1% del total, viviendas tipo para nuestro caso de estudio, seguidas por los departamentos, que constituyen el 21.1%. Desde 2010, se ha observado un aumento en los departamentos, (INEC, 2022).

El INEC (2022), menciona que la construcción de las paredes exteriores de las edificaciones se realiza mayoritariamente con materiales como hormigón, ladrillo o bloque, abarcando más del 86% del total. Este índice se eleva a un 93.3% en las zonas urbanas y alcanza el 75% en las áreas rurales (figura 1.10).



Figura 1.10. Tipos de materiales en paredes exteriores de edificaciones en el área urbana y rural. INEC - Censos Ecuador Cuenta Conmigo, 2022.

Edificaciones de hasta dos pisos: Según su tipo de agrupamiento

Existen 3 tipos de edificaciones que son:

1. Edificación aislada.
2. Edificación pareada.
3. Edificación continua.

Las Edificaciones pareadas y continuas también se pueden clasificar por sus retiros según como está emplazado la construcción de un sitio, con relación a la vía de acceso que son:

- a. Continua con retiro frontal y posterior.
- b. Continua sin retiro frontal.
- c. Pareada con retiro frontal.
- d. Pareada sin retiro frontal.

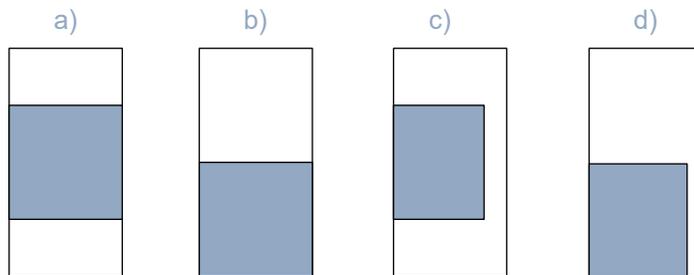


Figura 1.11. Tipos de viviendas según sus retiros, Bueno & Pulla, 2024.

En nuestro trabajo de investigación, nos enfocaremos principalmente en las edificaciones confinadas, caracterizadas por estar adosadas en sus laterales y contar con retiros frontales y/o posteriores. Específicamente, centraremos nuestro análisis en dos tipologías de construcción: edificaciones continuas con retiro frontal y edificaciones continuas sin retiro frontal, ambas ilustradas en la figura 1.11.

1.9. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC)

La NEC en Ecuador es el organismo de normas técnicas y requisitos mínimos que se aplican para el diseño, construcción y supervisión de edificaciones y obras de ingeniería civil en el país por lo tanto, es de vital importancia revisar esta norma vigente.

SEGÚN LA NORMA NEC EN “GUÍA PRACTICA DE DISEÑO DE VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS CON LUCES DE HASTA 5 M”.

Requisitos de resistencia sísmica del sistema estructural

Los requisitos de resistencia sísmica del sistema estructural, según la (NEC-SE-VIVIENDA, 2015), tienen como objetivo asegurar que las casas sean sólidas y resistentes tanto individualmente como en conjunto. Esto significa que deben poder soportar diferentes fuerzas, como el peso de la estructura, movimientos sísmicos, vientos fuertes o lluvias intensas, para garantizar la estabilidad y seguridad de las viviendas.

- A. Los muros y pórticos que soportan cargas deben estar ubicados estratégicamente para resistir fuerzas horizontales de sismos en cualquier dirección.
- B. En edificios de más de 2 pisos, se necesitan muros verticales trabajando junto con los pórticos, bien conectados entre sí, para resistir fuerzas laterales.
- C. La cimentación debe transmitir las cargas verticales y laterales directamente al suelo, sin hundimientos diferenciales.
- D. Hay que asegurar conexiones efectivas entre todos los elementos estructurales, desde la cubierta hasta los cimientos, para transmitir tanto las cargas verticales como los empujes horizontales.

Configuración estructural

- Continuidad vertical

Continuidad vertical desde su base hasta la cubierta.

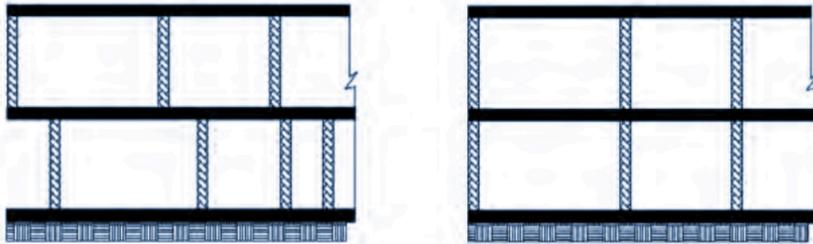


Figura 1.12. Continuidad en elevación para edificaciones. NEC-SE-VIVIENDA, 2015.

- Regularidad en planta

Forma regular y simétrica del piso, preferiblemente rectangular, con dimensiones controladas.

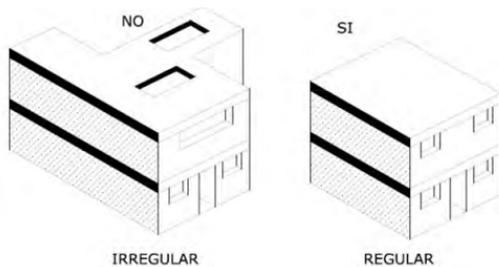


Figura 1.13. Planteamiento regular en edificaciones. NEC-SE-VIVIENDA, 2015.

- Regularidad en elevación

Evitar las irregularidades geométricas en alzado.

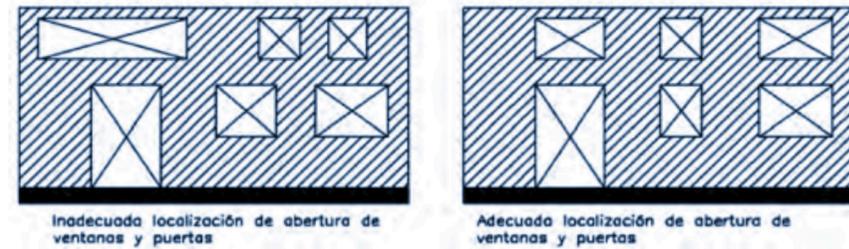


Figura 1.14. Localización de aberturas. NEC-SE-VIVIENDA, 2015.

- Muros

El área total de las aberturas no debe exceder el 35% de la superficie total del muro.

La separación mínima entre aberturas será de 50 centímetros. Adicionalmente, esta distancia deberá superar la mitad del ancho de la abertura más pequeña.

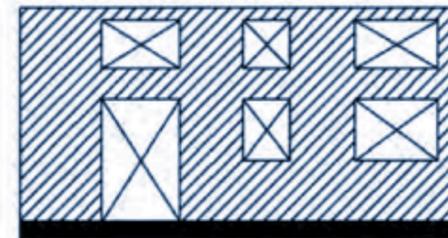


Figura 1.15. Aberturas puertas y ventanas. NEC-SE-VIVIENDA, 2015.

- Juntas constructivas

El ancho mínimo para juntas debe ser 2.5 cm y dimensión mayor NO exceda los 30 m de longitud o separación de edificación con otra.



Figura 1.16. Juntas constructivas de casas adosadas, NEC-SE-DS-VIVIENDA, 2015.

A CONTINUACIÓN, SE COMPLEMENTARÁ CON ALGUNOS REQUISITOS SOBRE LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL SEGÚN BRZEZ (2007).

- Relación largo ancho

La relación largo-ancho no debe superar 4 veces su ancho.

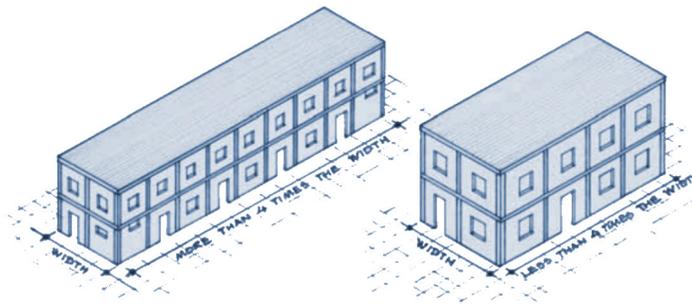


Figura 1.17. Relación largo ancho de una edificación. Brzez, 2007.

- Distribución de paredes

Las paredes deben construirse de manera simétrica.

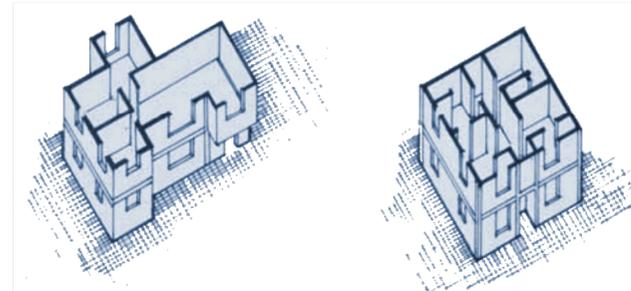


Figura 1.18. Diseño de pared simétrico. Brzez, 2007.

- Elementos de confinamiento

Vigas de amarre en cada nivel del piso no exceder los 3m, columnas de amarre distancia máxima de 4 m y colocar en intersecciones de paredes, en extremo libre de una pared y confinar los vanos.

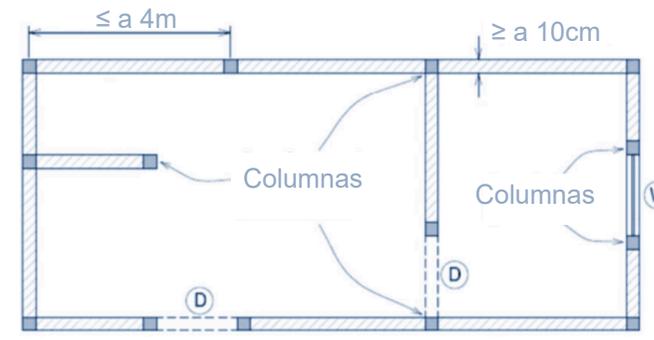


Figura 1.19. Plano de planta que ilustra la ubicación de las columnas de amarre. Brzez, 2007.

1.10. INTRODUCCIÓN A SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE INTERÉS

Sistema constructivo

Existe el Manual para la Regulación de Procesos Constructivos (MRPC, 2019), busca optimizar los diseños estructurales y los procesos de construcción con el fin de mejorar el comportamiento sísmico de las construcciones. Su objetivo es disminuir los riesgos de accidentes y pérdida de vidas humanas producto del colapso de estructuras cuando ocurren fenómenos naturales adversos. Para ello, propone la aplicación de una adecuada gestión y supervisión de los procesos constructivos que permita garantizar los estándares de calidad en las construcciones para hacerlas más seguras y resilientes ante eventos sísmicos fabricado por el MIDUVI.

- **PÓRTICOS**

Los componentes estructurales de concreto reforzado en una edificación deben cumplir los requisitos y normativas técnicas establecidas en la versión más actualizada del Código ACI 318 (NEC-SE-HM, 2015).

Pórticos de hormigón armado, formado por vigas horizontales de sección transversal uniforme y columnas conectadas rígidamente entre si, llegando

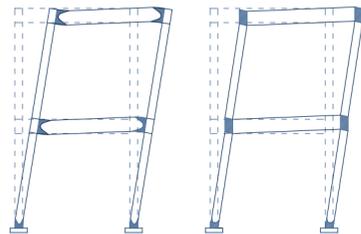


Figura 1.20. Zonas en las que se esperan deformaciones inelásticas en un PEM. NEC - SE - AC, 2014.

hasta la cimentación, formando parte del esqueleto sismorresistente de las edificaciones (NTE, 1988).

Un pórtico resistente a momento es una estructura compuesta por vigas y pilares unidos de forma rígida. Las vigas y los pilares están diseñados para resistir las fuerzas de flexión, cortante y axial (NEC, 2015).

- **MAMPOSTERÍA**

Mampostería confinada

La mampostería es un conjunto trabado de piezas asentadas con mortero, (NEC-SE-MP, 2015). La construcción de mampostería confinada ha evolucionado de manera informal, impulsada por su éxito en resistir terremotos anteriores. La primera aplicación registrada de este método ocurrió durante la reconstrucción después del devastador terremoto de 1908 en Messina, Italia (magnitud 7.2), resultante en el fallecimiento de más de 70000 personas. La práctica de construir con mampostería confinada comenzó en Chile en la década de 1930, en respuesta al terremoto de Talca de 1928 (magnitud 8.0), que afectó considerablemente a edificaciones de mampostería no reforzada. Este enfoque ha evolucionado con el tiempo, guiado por la experiencia exitosa en situaciones sísmicas previas.

En los últimos 30 años, la construcción de mampostería confinada ha sido común en diversas partes del mundo, como Europa mediterránea, América Latina, Medio Oriente, sur de Asia y Lejano Oriente. “Es importante señalar que la construcción de mampostería confinada se practica en los países y regiones de riesgo sísmico extremadamente alto”, Brzev, Meli, Mebarki & Farsi (2012). La Enciclopedia Mundial de la Vivienda (EERI/IAEE, 2000) presenta ejemplos de esta construcción de mampostería confinada en países como Argentina, Chile, Irán, Perú, Serbia y Eslovenia.

La mampostería confinada consiste en muros de albañilería rodeados o enmarcados por elementos de borde de concreto armado que actúan como confinamiento estructural (NEC-SE-MP, 2015).

La construcción de mampostería confinada implica la formación de muros de mampostería rodeados por elementos de refuerzo horizontal y vertical de concreto armado en los cuatro lados de un panel de muro. Se pueden utilizar diferentes tipos de unidades de mampostería, como ladrillos macizos de arcilla o bloques de hormigón. Las columnas de amarre, equivalentes a las columnas en la construcción de marcos de concreto, tienen secciones transversales más pequeñas y se construyen después del muro de mampostería (Brzev, Meli, Mebarki & Farsi, 2012).

La mampostería confinada se utiliza globalmente para construcciones de baja y mediana altura (uno a cuatro pisos), sin necesidad de habilidades de construcción avanzadas NEC (2015). Esta estructura puede ser una alternativa eficiente tanto a la mampostería no reforzada como a la construcción con marcos de concreto armado (Brzev, Meli, Mebarki & Farsi, 2012).

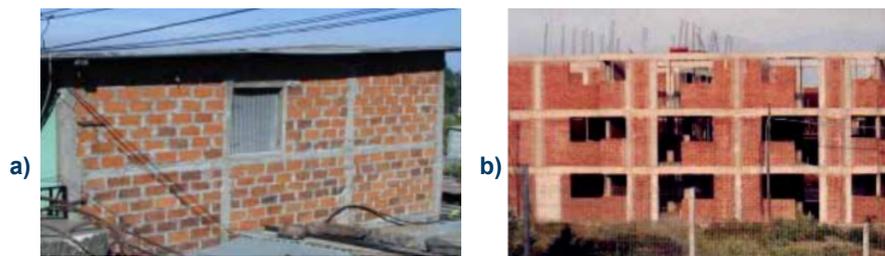


Figura 1.21. Edificaciones de mampostería confinada. a) Edificación en poca altura El Salvador. b) Edificación en media altura, Chile. Brzev, Meli, Mebarki & Farsi, 2012.

Un edificio de mampostería confinada consta de varios elementos estructurales esenciales:

- Muros de mampostería: Estos muros transmiten la carga de gravedad desde la parte superior del edificio hasta la base.
- Elementos de confinamiento (columnas y vigas de unión): Proporcionan contención a los muros de mampostería, protegiéndolos contra desintegraciones, especialmente en eventos sísmicos significativos.
- Losas de piso y techo: Transmiten tanto las cargas laterales como las de gravedad a los muros. En situaciones sísmicas, estas losas actúan como vigas horizontales conocidas como diafragmas.
- Cadenas de amarre: Transmite la carga desde los muros hasta los cimientos y también resguarda las paredes de la planta baja del asentamiento en suelos blandos.
- Cimentación: Su función es transferir las cargas de la estructura al suelo, proporcionando una base sólida y estable.

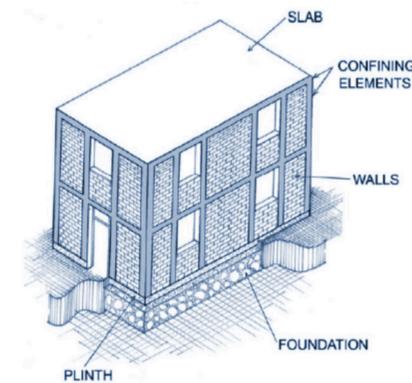


Figura 1.22. Edificio típico de mampostería confinada. Brzev, 2007.

Según Brzev (2007), existen dos tipos de falla en las edificaciones de mampostería confinada.

Modo de falla por corte: se manifiesta mediante grietas diagonales que se propagan hacia las columnas de amarre bajo cargas sísmicas.

Modo de falla por flexión: se caracteriza por grietas horizontales en las juntas de mortero en el lado de tensión de la pared.

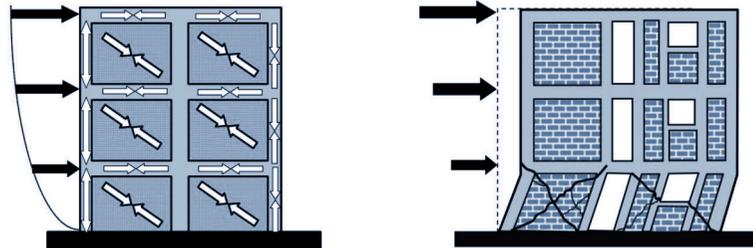


Figura 1.23. Edificio de mampostería confinada : modelo de armadura vertical. Brzev, 2007.

Factores que influyen en la resistencia sísmica los edificios de mampostería confinada

El sistema constructivo a unión dentada es recomendable debido a que se anclan barras de refuerzo de acero tanto verticales como horizontales, las cuales quedan parcialmente embebidas en la mampostería y parcialmente dentro de las columnas de confinamiento, (NEC-SE-VIVIENDA, 2015). Estas barras de acero refuerzan la conexión, permitiendo una adecuada transferencia de esfuerzos sísmicos entre los elementos de concreto y la albañilería, también se debe tener en cuenta los siguientes aspectos importantes.

- Densidad de la pared: se puede determinar como el área transversal de las paredes en cada dirección principal dividida por el área total del piso del edificio.

- Unidades de mampostería y mortero: las paredes construidas con ladrillos de baja resistencia o unidades huecas sin rellenar son más débiles, mientras que las construidas con unidades sólidas.
- Columnas de amarre: tienen un impacto importante en la ductilidad y estabilidad de las paredes de mampostería confinada después de la aparición de grietas.
- Refuerzo de pared horizontal: el refuerzo en mampostería está formada de uno o dos alambres colocados en las juntas del lecho de mortero conocidos como bandas sísmicas.

Para una buena construcción de edificaciones con mampostería confinada Brzev (2007) y COPSSTEC (2017), recomienda:

1. **Cimientos y cadenas:** se debe construir una cadena sobre la cimentación, ya que es esencial para evitar efectos de asentamiento, con 4 varillas de 10 a 12 mm y estribos de 6 a 8 mm con una longitud de traslape de 60 veces el \varnothing de la varilla.
2. **Construcción de muros:** el espesor viga igual al espesor del muro, la relación entre la altura de la pared no debe exceder 25 veces espesor de la pared y estar contruidos sobre las cadenas de amarre, también se debe utilizar ladrillos de arcilla cocida.
- Bordes dentados: es necesario dejar bordes dentados en cada lado de la pared con una separación mínima de 3 cm entre la columna y la mampostería, 1 hora antes mojar los bloques o ladrillo, el espesor de las juntas de mortero de 1 a 1.5 cm, la construcción de los muros no debe superar 1.2 m por día.
3. **Columnas de amarre:** debe ser ensamblado antes de que comience la construcción de la cimentación, debe contener cuatro barras

verticales de 10 a 12 mm y estribos de 6 a 8 mm a 45° alternando la posición de los ganchos.

- El acero de refuerzo requerido para las columnas depende del número de pisos y la actividad sísmica del lugar. Las barras verticales deben empalmarse con una longitud mínima de 60 veces el \varnothing de la varilla. Las uniones deben realizarse a la mitad de la altura de la columna, excepto en el nivel del suelo (donde no se permite empalmar).
- Las dimensiones de la columna debe ser igual o mayor al espesor de la pared ilustradas en la figura 1.24 (a).

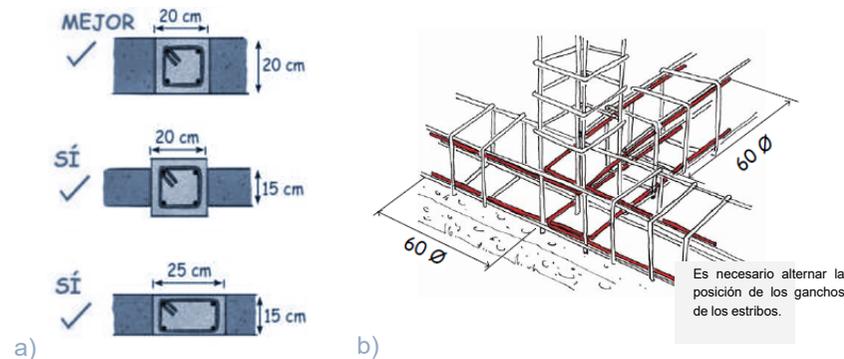


Figura 1.24. a) Dimensiones de las columnas de amarre. b) Unión de columnas y cadenas de amarre. COPSSTEC, 2017.

4. **Vigas de amarre:** se colocan vigas de amarre sobre las paredes estas contribuyen al confinamiento de las paredes de cada nivel, las barras longitudinales deben tener anclajes en gancho de 90° en las intersecciones de las vigas, con una longitud mínima de gancho de 60 veces el \varnothing de la varilla
5. **Unión viga y columna:** Es fundamental que las barras de refuerzo estén debidamente ancladas. Se muestra un ejemplo en la figura 1.24 (b).

6. **Vigas dintel:** vanos hasta 90 cm, alto del dintel 10 cm con 2 varillas de \varnothing 8mm. Vanos hasta 150 cm alto del dintel 15cm con 4 varillas de \varnothing 10 mm y utilización de bandas sísmicas con refuerzos verticales COPSSTEC (2017).

Sistema constructivo en mampostería confinada

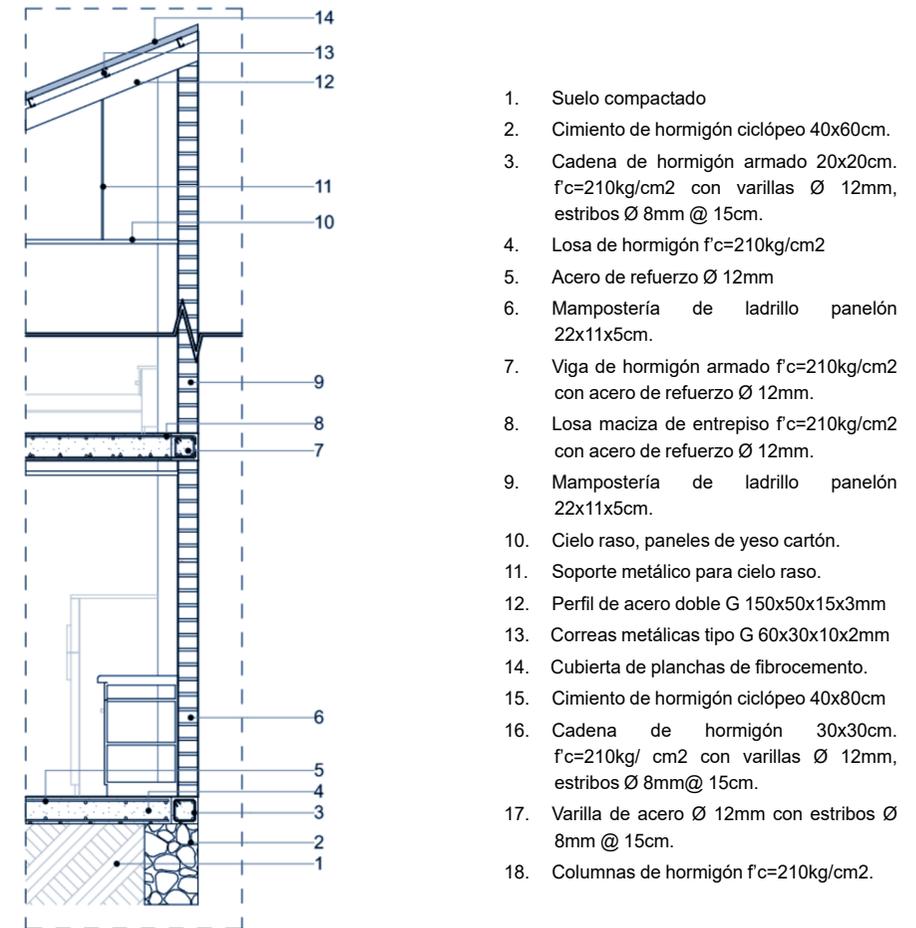


Figura 1.25. Sección constructiva típica de Cuenca, sistema constructivo de mampostería confinada. Quinde & Salinas, 2019.

1.11. METODOLOGÍA

En todo el mundo se utiliza el sistema constructivo con muros de mampostería confiada, según el INEC (2022), en Ecuador al rededor del 80% de las edificaciones se hacen con materiales de ladrillo o bloque. En la ciudad de Cuenca, se encuentran más de 60.000 edificaciones, y el 43% de ellas son construcciones de Albañilería Confinada, lo que las posiciona como las más susceptibles a sufrir daños en caso de eventos sísmicos.

La exploración en cuanto a la mampostería continúa siendo restringida en términos de investigación, desde finales de 2017, el equipo de investigación enfocado en la Vulnerabilidad Sísmica del Patrimonio Edificado de Cuenca, en su investigación con el tema “Caracterización del patrimonio edificado del centro histórico de Cuenca-Ecuador” (Quezada, Jiménez & García, 2021), ha estado dedicado al análisis de la vulnerabilidad sísmica de los edificios en Cuenca, trabajando en conjunto con la Red Sísmica del Austro. El propósito principal de este grupo es ampliar la cantidad de datos disponibles y disminuir la incertidumbre mediante la realización de pruebas experimentales en dos tipos de unidades de ladrillo y mortero.

Es crucial investigar el comportamiento sísmico y la resistencia de los edificios de mampostería confinada para fortalecer su estructura ante terremotos. El análisis de la mampostería presenta desafíos debido a su naturaleza heterogénea y características no lineales. La modernización basada en investigaciones más profundas no solo fortalecerá la infraestructura existente, sino que también guiará el diseño de futuras construcciones, contribuyendo a mitigar el riesgo sísmico y desarrollar tecnologías innovadoras para abordar los desafíos específicos de la mampostería confinada.

En la construcción de mampostería, se suele organizar ladrillos, bloques y mortero en un tipo de entramado, siendo la resistencia y propiedades de los materiales determinantes para la efectividad de la pared. A menudo, las investigaciones emplean procesos simplificados, como el método de elementos finitos (FEM) con altos costos computacionales, para

representar la mampostería en estructuras. Por ello se busca una solución intermedia precisa y de fácil implementación.

Petracca (2016), propone un método innovador basado en la energía de fractura para homogeneizar computacionalmente micro estructuras casi frágiles. Aunque permite analizar tanto las longitudes características de los elementos finitos a nivel micro y macro como el tamaño del elemento de volumen representativo (RVE), presenta el desafío de una carga computacional al resolver un problema de valor de frontera a escala micro en cada paso macro, una problemática común en métodos multi escala.

Esta investigación propone un método simplificado para estimar las propiedades homogeneizadas de la mampostería. Esta metodología utiliza un micro modelo RVE, para obtener propiedades promedio del material en diferentes direcciones. Los RVE se analizan mediante un modelo de daño mejorado desarrollado por Petracca (2016), donde propone soluciones basadas en trabajos previos de Cervera et al, Faria et al, y Wu et al. Para lograr un modelo orto-trópico homogéneo de mampostería, se aplica una envoltura de material orto-trópico utilizando valores experimentales de resistencia a la compresión y deformación de unidades de ladrillo y mortero. Utilizando el FEM, donde se analizarán los RVE bajo diversas fuerzas, promediando las tensiones y deformaciones resultantes para obtener las propiedades efectivas del material.

Por lo tanto, nuestra metodología está respaldada en algunas fases que se detallaremos a continuación:

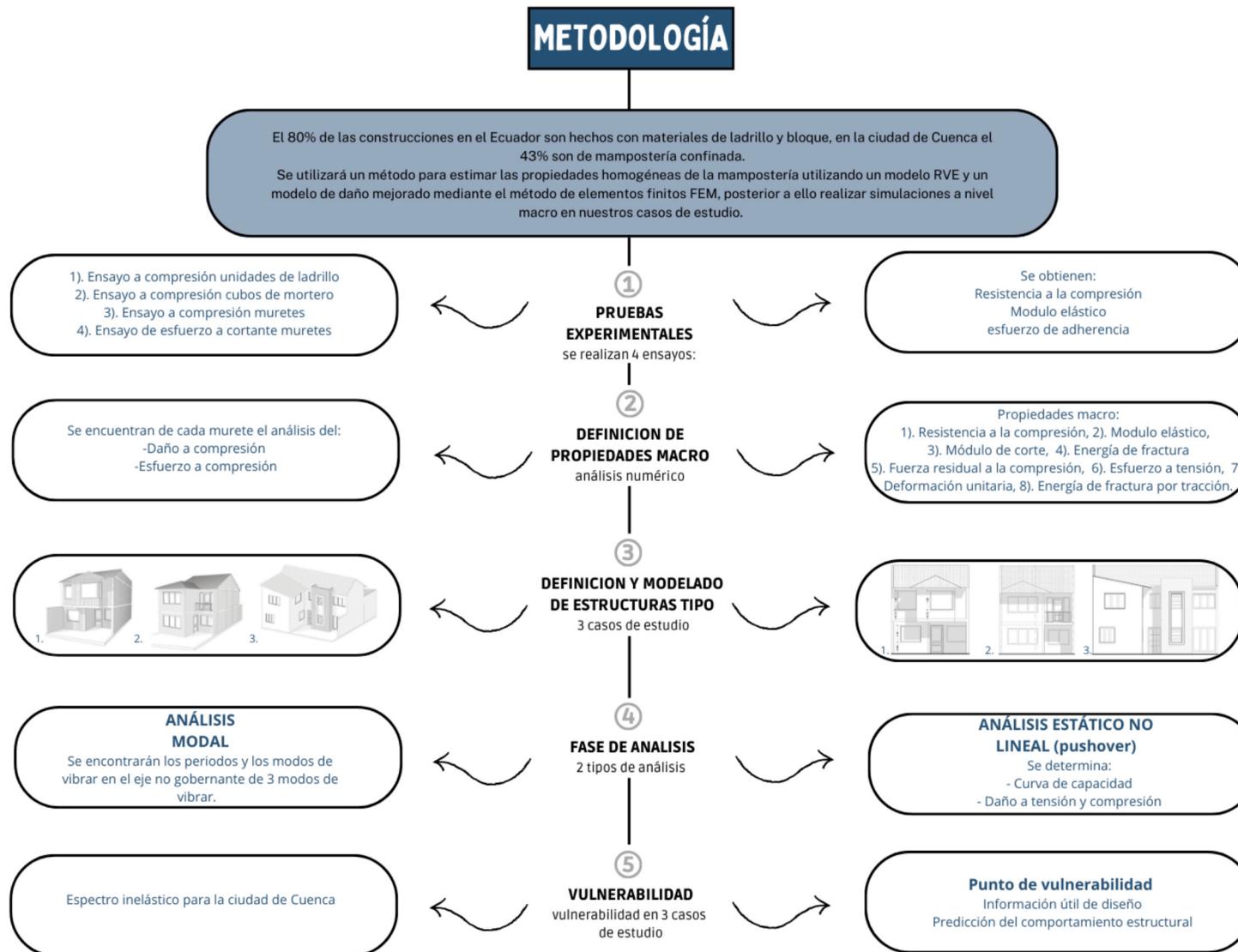


Figura 1.26. Metodología propuesta para la investigación. Bueno & Pulla, 2024.

1.10.1. FASE DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se realizarán 4 tipos de ensayo de laboratorio con ladrillo panelón y mortero:

2. Ensayo de esfuerzo a compresión de unidades de ladrillo panelón.
3. Ensayo de esfuerzo a compresión en especímenes cúbicos de 5cm de mortero.
4. Ensayo de esfuerzo a compresión en muretes de ladrillo panelón.
5. Ensayo de esfuerzo a cortante en muretes de ladrillo panelón.

A partir de los ensayos de las unidades de ladrillo, cubos de mortero y muretes, se obtienen las siguientes propiedades:

- **Esfuerzo de compresión:** es la fuerza por unidad de área lo que causa que el ladrillo se acorte y deforme.
- **Modulo elástico:** rigidez o capacidad del ladrillo para resistir la deformación cuando se aplica una fuerza.
- **Esfuerzo de adherencia:** fuerza que resiste al deslizamiento entre dos superficies en contacto.

Se encuentran dos tipos de resultados en los ensayos de compresión de las unidades de ladrillo y los muretes de ladrillo:

2. **Resultados experimentales:** son los resultados registrados directamente de la máquina de ensayo de compresión.
3. **Resultados analíticos:** son los mismos datos experimentales con la diferencia que están desplazados eliminando la fase de acomodado, los cuales escogeremos para nuestro trabajo de investigación.

1.10.2. FASE DE DEFINICIÓN DE PROPIEDADES MACRO A PARTIR DE RESULTADOS DE ANÁLISIS EXPERIMENTALES Y NUMÉRICOS.

A partir de los ensayos a compresión de las unidades de ladrillo panelón y cubos de mortero, calculamos el esfuerzo máximo a compresión (f_c) y el módulo elástico (E), tanto de las unidades de ladrillo como del mortero. Para posterior a ello encontrar las propiedades mecánicas adicionales del ladrillo y mortero utilizando expresiones matemáticas derivadas de las pruebas de experimentación, las cuales son:

2. Aproximación de comportamiento elástico (f_{co}).
3. Fuerza residual a la compresión (f_r).
4. Esfuerzo a tensión (f_t).
5. Deformación unitaria (ep).
6. Energía de fractura por tracción (G_t).
7. Energía de fractura por compresión (G_c).

Realizamos un análisis numérico en el software Scientific ToolKit for OpenSees (STKO), con la ayuda del artículo "STKO user manual" elaborado por Petracca et al. (2017). Donde se explica de mejor manera la utilización de dicho software. Nuestro análisis parte de asignar propiedades a cada elemento conformado por ladrillos panelón y mortero según los resultados del análisis experimental, obteniendo el daño a compresión y esfuerzo a compresión.

Comparamos el análisis numérico del murete con las propiedades definidas por el análisis experimental. Comparamos la resistencia a compresión (f_c), entre el análisis experimental y numérico revisando que este no tenga una variación mayor al 5%, en caso de que este exista se calibra el límite de compresión hasta que se encuentre dentro de este rango.

Una vez realizado la calibración del análisis numérico con en análisis experimental de los muretes, se encontrarán las propiedades macro del material, siendo estas: f_c , E , f_{co} , G , G_c , f_r , f_t , ep y G_t .

1.10.3. DEFINICIÓN DE ESTRUCTURAS TIPO EN FACHADAS DE 3 CASOS DE ESTUDIO

En esta investigación se utilizará información relevante sobre la selección de casos de estudio del trabajo de investigación de Quinde y Salinas, 2019, el sector de estudio es el E-7, ubicado en el sector de Totoracocha en una zona urbana y con una alta densidad poblacional. A través de la subdivisión, levantamiento y caracterización de viviendas, junto con la aplicación de filtros, debe cumplir con las siguientes características: uso de suelo vivienda, adosada a sus laterales, número de pisos 2, y su tipología constructiva debe ser mampostería confinada.

Por lo tanto, se tomarán sus tres casos de estudio (ver figura 1.27), solo las fachadas para nuestros análisis de vulnerabilidad, ya que también cumplen los requerimientos para nuestro trabajo de investigación, los cuales son:

- Sistema constructivo de mampostería confinada de ladrillo.
- Numero de pisos 2
- Uso de suelo vivienda.
- Adosada.

Posterior a ello se modelarán las fachadas en el programa AutoCAD para realizar el macro análisis de la estructura.



Figura 1.27. Casos de estudio. Quinde & Salinas, 2019.

FASE DE ANÁLISIS

Para comenzar la fase de análisis se debe asignar las propiedades macro de la mampostería, se considerará para la simulación una losa rígida desde un punto referencia central de la fachada.

Con la ayuda del programa STKO se realizarán los siguientes análisis:

1.10.4. ANÁLISIS MODAL EN FACHADAS DE 3 CASOS DE ESTUDIO

Se realizará un análisis modal para tres casos diferentes, con el objetivo de determinar los modos de vibración naturales y sus correspondientes periodos. La simulación considerará los desplazamientos en el eje no gobernante "Y" donde se obtendrán los modos necesarios para alcanzar una participación de masa modal acumulada superior al 80%. Además, se identificará el modo con la mayor contribución de masa modal, el cual representa el patrón de deformación predominante, junto con los dos primeros modos de vibración, que son fundamentales para evaluar el comportamiento sísmico de la estructura. Esta información modal brindará una comprensión profunda de las características dinámicas inherentes a cada caso de estudio, lo cual es esencial para el diseño sismorresistente, el control de vibraciones y el monitoreo de la integridad estructural.

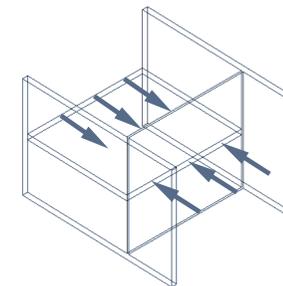


Figura 1.28. Vivienda tipo adosada, análisis eje no gobernante "Y". Bueno & Pulla, 2024.

1.10.5. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL EN FACHADAS DE 3 CASOS DE ESTUDIO

Se realizarán un análisis Pushover en los 3 casos de estudio cada uno con su geometría y características únicas para ello se utilizó el software STKO, donde configuraremos condiciones de borde, las propiedades de los materiales, peso propio de cada uno de los materiales como losa, paredes de mampostería y vigas de hormigón, y lo primordial en este análisis es la definición de carga lateral sobre la losa ya que servirá para simular el movimiento sísmico donde la magnitud de la carga se incrementa gradualmente.

DETERMINACION EN CURVAS DE CAPACIDAD

Durante el análisis Pushover, el software registra los desplazamientos laterales en un punto de control preestablecido (típicamente el centro de masa del último nivel) y las correspondientes fuerzas cortantes en la base para cada incremento de carga aplicado. Se construye la curva de capacidad graficando la relación entre el cortante basal y el desplazamiento lateral del punto de control. Esta curva muestra el comportamiento de la estructura, exhibiendo su zona elástica inicial y su posterior comportamiento inelástico.

MODELO DE DAÑO

También el análisis estático no lineal ayuda con la simulación de daño tanto a tensión como a compresión, para identificar las zonas donde ocurrirá el daño en la estructura durante la aplicación de la carga lateral en su eje no gobernante “Y”.

1.10.6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Luego de haber obtenido la curva de capacidad (Pushover) y el análisis modal se podrá empezar con el análisis de vulnerabilidad.

Se obtendrá el espectro de demanda sísmica inelástico para la ciudad de Cuenca, derivado del espectro elástico, según las normativas vigentes.

Intersección de espectros: Se graficará la curva de capacidad obtenida del análisis Pushover, con el espectro de demanda sísmica inelástico de cada estructura. Se determinará el punto de intersección entre ambas curvas, el cual representará el punto de vulnerabilidad donde se podrá encontrar la deformación real de la estructura ante la demanda sísmica considerada.

En el punto de vulnerabilidad obtenido, se analizará el estado de deformación, daños tanto a tensión como a compresión en los elementos estructurales, evidenciando así el estado de la estructura que sufrirá al momento de un sismo.

La vulnerabilidad se basará en Perform Based Seismic Design “PBSD” descritas en la “Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras” en la NEC (2015), donde da a conocer varios límites de desempeño (daño).

Siendo como objetivo de este método realizar un análisis **NO lineal**, para evaluar y llevar a cabo un diseño estructural de cada caso de estudio encontrando:

- Datos útiles de diseño.
- Predicción del comportamiento de la estructura.

PRUEBAS EXPERIMENTALES

2

2.1. ZONA DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS

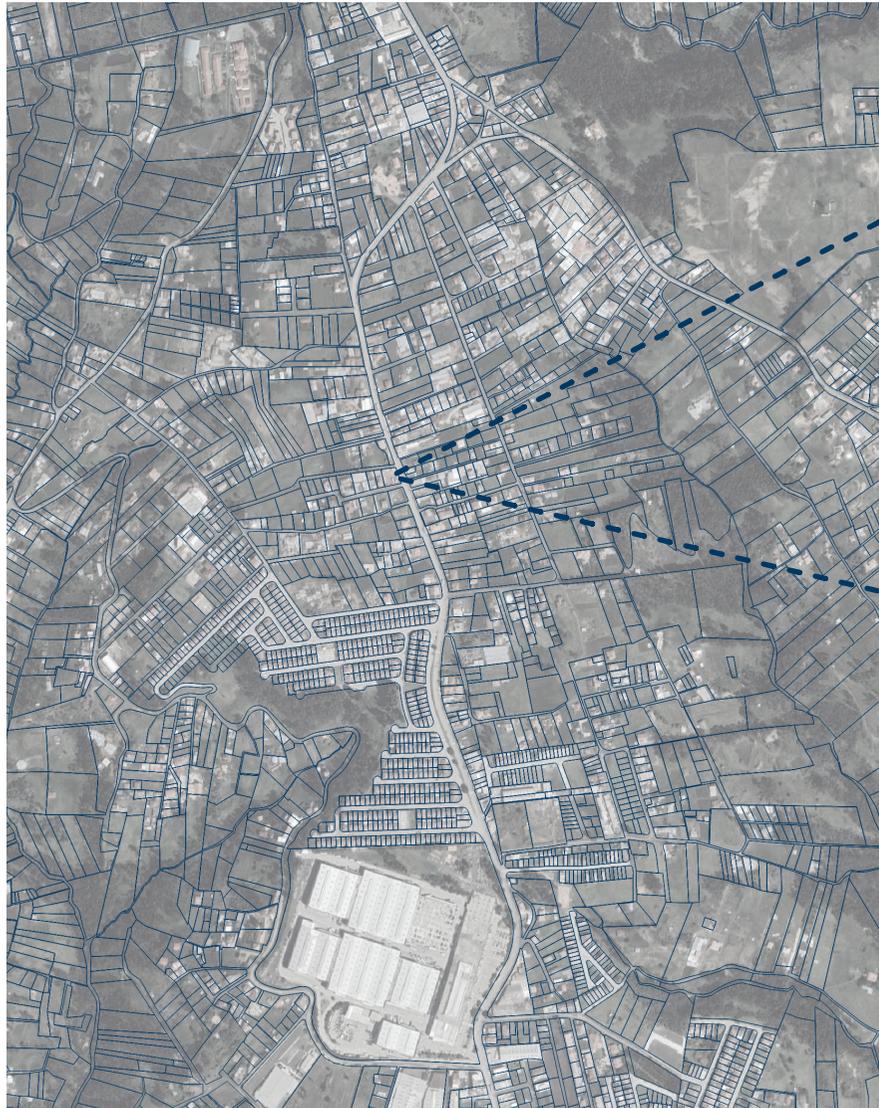


Figura 2.01. Lugar de obtención de muestras Racar, Bueno & Pulla, 2024.

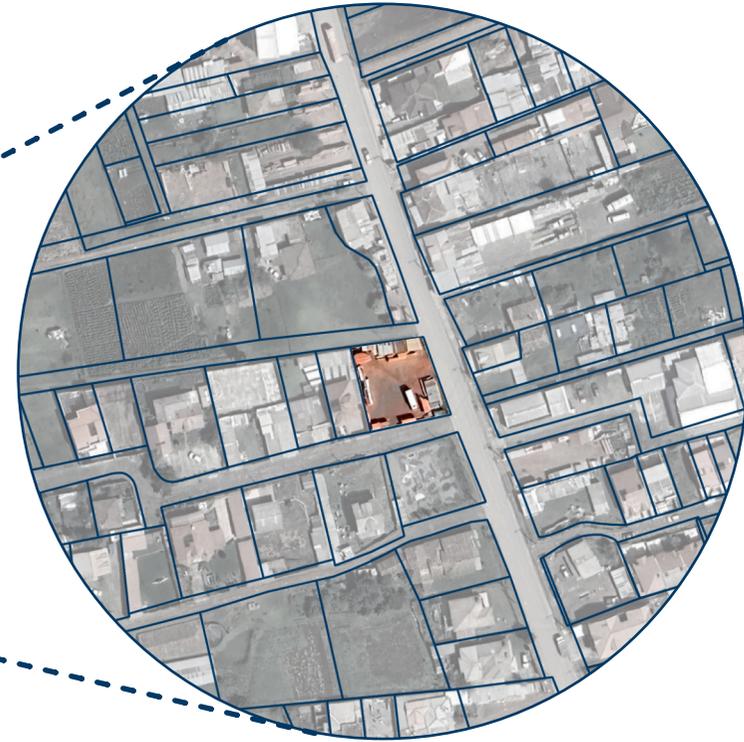


Figura 2.02. Sitio de obtención de muestras Racar, Bueno & Pulla, 2024.

2.2. NORMAS UTILIZADAS

ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN DE UNIDADES DE LADRILLO PANELÓN.

- NTE INEN 292.
- NTE INEN 294.
- NTE INEN 297.
- NTP 399.613.
- NTP E 070.
- ASTM C 1314.

ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CÚBICOS DE 5CM DE MORTERO.

- NTE INEN 2 518
- NTE INEN 488
- ASTM C109/C109M-11b.
- ASTM C305 (mezclado).
- NTG 41003 H4.

ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.

- NTE INEN 292.
- NTE INEN 294.
- NTP 399.605.
- NTP 399.613.
- NTP E 070.
- ASTM C 1314.
- NORMA MEXICANA NMX-C-464-ONNCCE-2010.

ENSAYO DE ESFUERZO A CORTANTE EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.

- La Norma Mexicana (NMX-C-082-1974).
- Art_2013_Propiedades mecánicas de la mampostería MÉXICO.

2.3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

1. **Cortadora de ladrillo:** en la construcción para cortar ladrillos y bloques de manera precisa y eficiente, son esenciales para obtener cortes limpios y uniformes en materiales de albañilería.
2. **Balanzas de Pesaje:** deben estar en conformidad con los estándares de la Especificación ASTM C 1005.
3. **Mezcladora eléctrica:** se requiere una mezcladora mecánica con activación eléctrica, equipada con una paleta y un tazón de mezclado.
4. **Máquina de compresión:** la máquina de ensayo debe ser de tipo hidráulico o de tornillo, con suficiente distancia entre la superficie superior de carga y la inferior.
5. **Moldes de Especímenes:** los moldes para especímenes cúbicos de 5 cm x 5 cm, deben ajustarse herméticamente.
6. **Apisonador metálico:** el apisonador debe fabricarse con un material no absorbente, no abrasivo y no frágil. La cara de apisonamiento debe ser uniforme y perpendicular a la longitud del apisonador.
7. **Probeta Graduada:** las probetas deben estar subdivididas, con divisiones al menos cada 5 ml. Se permite omitir las líneas de graduación para los primeros 10 ml en probetas de 250 ml y los primeros 25 ml en probetas de 500 ml.

8. **Espátula:** Se requiere una espátula con una hoja de acero de 10 cm a 15 cm de longitud, con los cantos rectos.
9. **Bailejo:** Soja de acero con filos curvos.
10. **Nivel:** Utilizado para determinar la horizontalidad y verticalidad del murete.
11. **Mesa y Molde de Ensayo de Flujo:** Deben cumplir con los requisitos establecidos en la Especificación ASTM C 230/C 230M.



Figura 2.03. Equipos y herramientas del laboratorio de la facultad de arquitectura y urbanismo de la universidad de Cuenca. Bueno & Pulla, 2024.

2.4. MATERIALES

1. **Arena:** La arena utilizada debe ser arena de sílice natural, graduada según la especificación ASTM C 778.
2. **Cemento:** Guapan Portland Puzolánico Tipo I p
3. **Agua:** Debe ser agua potable y no contener sustancias dañinas, ni ser ácida o alcalina, y tampoco contener materia orgánica.
4. **Ladrillo panelón:** Fabricado con una mezcla de arcilla, agua y paja, secado y horneado en moldes de forma rectangular.



Figura 2.04. Materiales utilizados para las pruebas de laboratorio. Bueno & Pulla, 2024.

2.5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

1. Mandil. 2. Guantes. 3. Jafas. 4. Mascarilla.



Figura 2.05. Elementos de protección personal. Bueno & Pulla, 2024.

2.6. PROCEDIMIENTO GENERAL

1. Seleccionar un lote de ladrillos que sea representativo de la producción, sus dimensiones promedio son $l=25$ cm, una altura $h=7$ cm, y un ancho $b=12$ cm, (ver figura 2.07).
2. Examinar cada ladrillo de forma individual.
3. Eliminar los ladrillos que no cumplan con las características visuales especificadas.

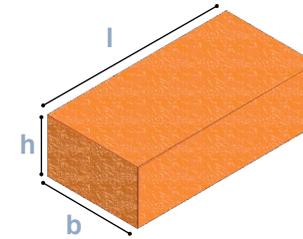


Figura 2.07. Parámetros geométricos ladrillo panelón. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.06. Muestras de ladrillo panelon, Bueno & Pulla, 2024.

Recomendaciones para el muestreo de las unidades de ladrillo

Características visuales:

- Que tenga una superficie lisa y uniforme.
- Que este bien quemado (se evidenciará en el color).
- Que no presente defectos, fisuras profundas, ni lesiones (esquinas golpeadas, ondulaciones, abolladuras, etc.).
-

Proceso de refrentado: Si las muestras presentan irregularidades en su forma o sus caras presentan surcos o estrías, se someterán a un tratamiento de refrentado, pero solo a las caras que estarán en contacto con la maquina a compresión.

- “Este tratamiento consiste en cubrir las caras de la probeta que estará en contacto con la máquina con una capa compuesta por una mezcla que contiene azufre en una proporción del 40 al 60% (en masa) o con arcilla, ceniza volcánica u otro material inerte” (NTE INEN 294, 1978). Después aplicadas las capas de la mezcla de azufre, las muestras deben dejarse enfriar durante un mínimo de dos horas antes de realizar más pruebas o manipulación. Este tratamiento de preparación es crucial para asegurar un adecuado funcionamiento de la maquinaria y la precisión de los resultados obtenidos de las muestras.



Figura 2.08. Proceso de refrentado de ladrillos panelón, Bueno & Pulla, 2024.

2.7. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LABORATORIO

2.7.1. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN DE UNIDADES DE LADRILLO PANELÓN.

Las muestras a utilizarse consisten en 10 mitades de ladrillos.

1. **Cortado:** Mediante una cortadora se corta por la mitad las unidades de ladrillo evitando deterioro en aristas dejando caras planas y paralelas.
2. **Secado:** Las muestras de ladrillos se secan en un horno ventilado de 105 °C a 115 °C, por 24 horas, para eliminar la humedad.
3. **Enfriado:** Después del secado se almacenan por separado, no apilado las muestras, a una temperatura de 24°C ± 8°C, con una humedad relativa entre 30% y 70%, durante un tiempo mínimo de 4 horas.
4. **Estimación de peso y dimensiones:** Una vez secado y enfriado, registrar sus respectivas medidas y pesar cada muestra en una balanza.
5. **Proceso de refrentado:** Se realiza el proceso de refrentado descrito en la sección 3.05, con todas sus especificaciones técnicas y procedimiento, según la norma (NTE INEN 294).
6. **Proceso en la maquina a compresión:**
 - Colocación de pletinas de acero de un espesor de 2 cm, tanto en la parte de inferior y superior de la muestra, esto para minimizar el desgaste de las placas de la máquina.
 - Ajustar la muestra en el centro de la maquina a compresión con respecto a la rótula, donde sus caras de mayor área entren en contacto

con la máquina.

- Una vez la maquina haya comenzado a marcar, se detiene para colocar el deformímetro configurado en (mm), el cual se tomarán datos cada 0.254 mm.
- Se aplica hasta la mitad de la carga máxima a cualquier velocidad, la carga faltante se distribuye en un tiempo máximo de 60 a 120 segundo.
- La resistencia máxima se determinará cuando se presenten alguna de las siguientes condiciones: aparición de grietas profundas en el material, desprendimiento del material o la indicación de la máquina de ensayo señale el punto de resistencia máxima.



Figura 2.09. Procedimiento de ensayo a compresión de ladrillo panelón. Bueno & Pulla, 2024.

2.7.2. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CÚBICOS DE 5CM DE MORTERO.

Recomendaciones

- **Temperatura:** La temperatura de todos los materiales y equipos debe mantenerse entre $23,0 \pm 3,0$ °C. La temperatura del agua debe estar ajustada a 23 ± 2 °C.
- **Moldes:** Se aplica un desencofrante y se utiliza un paño impregnado con aceites o grasas en el interior del molde para evitar que se pegue las muestras y obtener resultados controlados y constantes.
- **Humedad:** La humedad relativa del laboratorio debe ser adecuada para un trabajo óptimo.
- **Especímenes:** Se prepara tres o cuatro especímenes de una amasada de mortero para cada período de ensayo.

Dosificación

“La mezcla consiste en una parte de cemento por 2.75 partes de arena, por peso. Se utiliza una proporción de agua-cemento de 0.485 para cada cemento Portland estándar y 0.460 para cada cemento Portland con incorporadores de aire” (NTE INEN 488, 2009). (ver tabla 2.01).

MATERIAL	NÚMERO DE ESPECÍMENES	
	6	9
Cemento, g	500	740
Arena, g	1 375	2 035
Agua, cm ³		
- Portland (a/c = 0,485)	242	359
- Portland con incorporador de aire (a/c = 0,460)	230	340
- Otros (para un flujo de 110 ± 5)	-----	-----

Tabla 2.01. Las cantidades de materiales de mortero para hacer de 6 y 9 especímenes de ensayo. NTE INEN 488, 2009.

CANTIDAD CUBOS 50x50x50mm	9 cubos
CEMENTO (g)	740
ARENA (g)	2035
AGUA (ml)	359

Tabla 2.02. Las cantidades de materiales de mortero para hacer 9 especímenes de ensayo. NTE INEN 488, 2009.

Se procedió a hacer una regla de 3 para realizar 12 cubos de mortero por seguridad o imprevistos ya que en la norma (NTE INEN 488, 2009), especifica 9 cubos de mortero (ver tabla 2.03).

CANTIDAD CUBOS 50x50x50mm	12 cubos
CEMENTO (g)	986.67
ARENA (g)	2713.33
AGUA (ml)	478.67

Tabla 2.03. Regla de 3 para las cantidades de materiales de mortero para hacer 12 especímenes de ensayo. Bueno & Pulla, 2024.

Procedimiento de cubos de mortero de 5 cm

1. Preparación de materiales:

- Se realiza la medición de la cantidad de arena, agua y cemento, derivada del cálculo de la dosificación. Para llevar a cabo este proceso, se emplean herramientas y equipos tales como la balanza de precisión, el recipiente de aluminio y probetas.



Figura 2.10. Muestra de cemento y muestra de arena según cálculo de dosificación. Bueno & Pulla, 2024.

2. Proceso de mezclado:

Los materiales se introducen en la mezcladora con el objetivo de obtener el mortero, utilizando herramientas y equipos como la paleta y el recipiente de aluminio, con el siguiente procedimiento específico del mezclado:

Procedimiento específico para el mezclado:

- Asegure las uniones entre las mitades del molde aplicando una capa delgada de grasa ligera, como petrolato. Asegúrese de que la cantidad sea suficiente para que se desborde ligeramente al juntar las dos mitades. Retire cualquier exceso de grasa con un paño.
- Coloque la paleta mezcladora y el recipiente de mezcla seca en posición en la mezcladora. Luego, introduzca los materiales para una mezcla en el recipiente y mézclase de la siguiente manera.
- Vierta toda el agua de mezcla en el recipiente.
- Agregue el cemento al agua y mezcle durante 30 segundos a baja velocidad (140 ± 5 r/min). Agregue gradualmente toda la arena en un período de 30 segundos mientras mezcla a baja velocidad.
- Detenga la mezcladora, cambie a velocidad media (285 ± 10 r/min) y mezcle durante 30 segundos.
- Detenga la mezcladora y permita que el mortero repose durante 90 segundos. Durante los primeros 15 segundos, utilice un raspador para llevar hacia abajo el mortero adherido a las paredes del recipiente. Durante el resto del intervalo, cierre la caja de la mezcladora o cubra el recipiente con la tapa.
- Finalice mezclando durante un minuto a velocidad media (285 ± 10 r/min).

- Si es necesario realizar un nuevo período de mezclado, asegúrese de arrastrar rápidamente el material pegado a las paredes del recipiente hacia abajo con el raspador antes de comenzar el mezclado adicional.

3. Rellenado de especímenes de mortero:

- Inicio del Moldeado: Comience a dar forma a los especímenes en un plazo máximo de 2 minutos y 30 segundos después de haber terminado de mezclar inicialmente el mortero.
- Aplique una capa de mortero de aproximadamente 2.5 cm (1 pulgada), cubriendo la mitad de la profundidad del molde, en todos los compartimientos del cubo.
- Compactación del Mortero: Apisona el mortero en cada compartimiento cúbico mediante 32 golpes, distribuidos en aproximadamente 10 segundos y divididos en 4 rondas. Cada ronda debe realizarse en ángulos rectos con respecto a las demás y consistir en ocho golpes adyacentes sobre la superficie del espécimen, (figura 2.11).

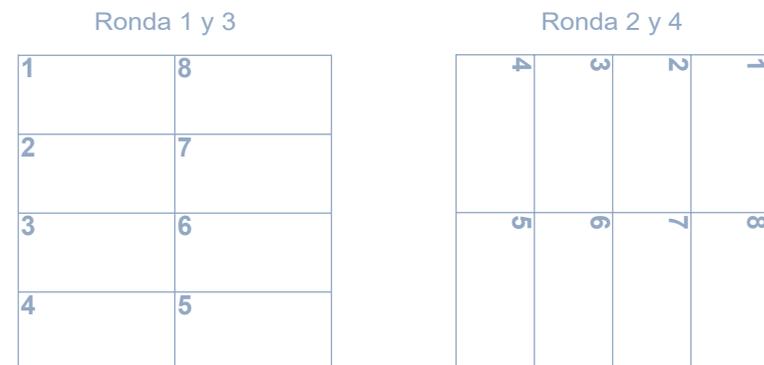


Figura 2.11. Orden de compactación en el modelo de especímenes de mortero Sacado de. NTG 41003 h4, 2012.

- Asegurar el llenado Uniforme: La presión de apisonado debe ser la suficiente para garantizar que los moldes se llenen de manera uniforme. Realice las 4 rondas de apisonado (32 golpes) en un cubo antes de pasar al siguiente.
- Segunda Capa de Mortero: Después de completar la compactación de la primera capa en todos los compartimientos cúbicos, llénalos con el mortero restante y realice la compactación de acuerdo con las especificaciones establecidas para la primera capa.



Figura 2.12. Compactación en moldes metálicos. Bueno & Pulla, 2024.

4. Proceso de curado:

- Después de completar la acción de llenado, se sitúa la agrupación compuesta por los cubos, el molde y la placa en una cámara de curado húmedo durante un periodo de 24 horas. Durante este tiempo, las caras superiores de los cubos quedan expuestas al aire húmedo, pero se resguardan contra la posible caída de gotas de agua.
- Después de transcurridas 24 horas, procedemos a retirar los moldes de especímenes de mortero.
- Posteriormente, sumergimos los especímenes de morteros en tanques de almacenaje llenos de agua saturada de cal, fabricados con materiales no propensos a la corrosión. Es crucial mantener el agua de almacenaje en condiciones limpias, realizando cambios según sea

necesario.



Figura 2.13. Muestra de mortero en proceso de curado. Bueno & Pulla, 2024.

5. Determinación de Resistencia a la Compresión:

- Antes de las pruebas, asegurarse de que los cubos estén secos y sin impurezas en las caras en contacto con la máquina. Verificar la planitud con una regla; se puede corregir curvaturas (limando) o descartar el espécimen si es necesario.
- Cada uno de los cubos será sometido a pruebas dentro de los siguientes límites de tiempo: 3 días \pm 1 hora; a los 7 días \pm 3 horas, a los 28 días \pm 12 horas.
- El espécimen se coloca con precaución en el centro de la máquina de ensayo, sin utilizar amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga encontrando la resistencia a la compresión.



Figura 2.14. Muestra de mortero sometida a esfuerzo a compresión. Bueno & Pulla, 2024.

2.7.3 PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.

Se construirán 5 muretes conformados de ladrillo panelón y mortero.

- 1. Base:** fabricar una base de madera donde se construirá el murete y posterior se trasladará la muestra esto para evitar la manipulación innecesaria del murete.
- 2. Mojado:** sumergir los ladrillos en agua durante aproximadamente 10 a 15 minutos, antes de su uso mejorando su adherencia.
- 3. Proceso de mezclado:** prepare la mezcla de mortero de acuerdo con las especificaciones establecidas en la prueba de cubos de mortero. Luego, colocar el mortero en un recipiente no absorbente para verterlo posteriormente en el ladrillo, manteniendo una junta con un espesor de 15 mm.
- 4. Dosificación:** la tabla 2.04, contiene una dosificación de cemento, arena, y agua por lo tanto, nos ayudaremos de tal dosificación para elaborar los especímenes de mortero para nuestros muretes, (NTE INEN 488, 2009).

MATERIAL	NÚMERO DE ESPECÍMENES	
	6	9
Cemento, g	500	740
Arena, g	1 375	2 035
Agua, cm ³		
- Portland (a/c = 0,485)	242	359
- Portland con incorporador de aire (a/c = 0,460)	230	340
- Otros (para un flujo de 110 ± 5)	-----	-----

Tabla 2.04. Las cantidades de materiales para hacer de 6 y 9 especímenes de mortero. NTE INEN 488, 2009.

VOLUMEN CUBOS DE MORTERO 9 CUBOS	
LARGO (cm)	5
ANCHO (cm)	5
PROFUNDIDAD (cm)	5
VOLUMEN UNIDAD (cm ³)	125
VOLUMEN 9 CUBOS (cm ³)	1125

Tabla 2.05. Volumen total de mortero para 9 cubos. NTE INEN 488, 2009.

- Procedemos a calcular el volumen total de mortero que vamos a utilizar para un solo murete, (ver tablas 2.06).

DIMENSIONES VOLUMEN DE MORTERO	
LARGO (cm)	25
ANCHO (cm)	13
ALTURA DE LA JUNTA (cm)	1.5

VOLUMEN DE MORTERO (cm ³)	# JUNTAS	VOLUMEN TOTAL DE MORTERO (cm ³)
487.5	2	975

Tabla 2.06. Volumen total de mortero para un murete. Bueno & Pulla, 2024.

- Finalmente, realizamos una regla de 3 para cada material y multiplicamos por el número de muretes que son 5 y también por el desperdicio que es 5% de cada material, (ver tabla 2.07).

CANTIDAD DE CEMENTO (g)			mas %5 PERDIDA (g)	# MUROS	TOTAL cemento (g)
1125	740				
975	x=	641.33	673.4	5	3367.00
CANTIDAD DE ARENA (g)			mas %5 PERDIDA (g)	# MUROS	TOTAL arena (g)
1125	2035				
975	x=	1763.67	1851.85	5	9259.25
CANTIDAD DE AGUA (ml)			mas %5 PERDIDA (ml)	# MUROS	TOTAL agua (ml)
1125	359				
975	x=	311.13	326.69	5	1633.45

Tabla 2.07. Las cantidades de materiales para 5 muretes. Bueno & Pulla, 2024.

- 5. Construcción:** construir cada muestra en bolsas de plástico con su respectiva base, para su posterior sellado y curado de los muretes.

6. **Nivelado:** Durante la colocación de las hiladas superiores asegúrese de que los ladrillos estén alineados verticalmente (utilizando un plomo) y que la superficie superior esté nivelada.
7. **Sellado y curado:** Tan pronto como se complete la construcción del murete, selle la bolsa ajustándola herméticamente para retener la humedad alrededor del murete. Guarde estos elementos en un lugar cubierto, evitando la exposición al sol, la lluvia o el viento, y manteniéndolos a una temperatura constante de 24 °C.
 - No interfieras ni muevas los prismas durante las primeras 48 horas después de construirlos.
 - 48 horas antes de la prueba, quite las bolsas de humedad herméticas y continuar almacenando los muretes a una temperatura de 24 °C ± 8 °C y con una humedad relativa por debajo del 80 %.



Figura 2.15. Sellado y curado de muretes de ladrillos, Bueno, W. & David, P. (2023).

8. Proceso en la maquina a compresión:

- Se determinará el ensayo a compresión a la edad de 28 días después de su elaboración.
- Antes de la rotura de los 28 días se procederá a la medición en su longitud, ancho y alto de cada murete. Y también medir con escalímetro

cada junta del muerete y sacar un promedio.

- Colocación de pletinas de acero de un espesor de 2 cm, tanto en la parte de inferior y superior de la muestra, esto para minimizar el desgaste de las placas de la máquina.
- Ajustar el murete en el centro de la maquina a compresión con respecto a la rótula.
- Una vez la maquina haya comenzado a marcar, se detiene para colocar el deformímetro configurado en (mm), el cual se tomarán datos cada 0.254 mm.
- Se aplica hasta la mitad de la carga máxima a cualquier velocidad, la carga faltante se distribuye en un tiempo máximo de 60 a 120 segundo.
- La resistencia máxima se determinará cuando se presenten alguna de las siguientes condiciones: aparición de grietas profundas en el material, desprendimiento del material o la indicación de la máquina de ensayo señale el punto de resistencia máxima.



Figura 2.16. Murete de ladrillo panelón y mortero sometido a esfuerzo a compresión. Bueno & Pulla, 2024.

TIPO DE FALLA

Descripción del modo de falla según los patrones de grieta, y despostillamiento en su cara frontal y posterior que existe en cada murete, según la figura 2.17, donde muestra los modos de falla que pueden existir en prismas de mampostería, (NTP, 2013).

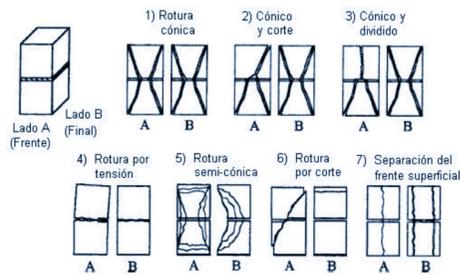


Figura 2.17. Esquemas de modo de falla en muretes. NTP 399.605, 2013.

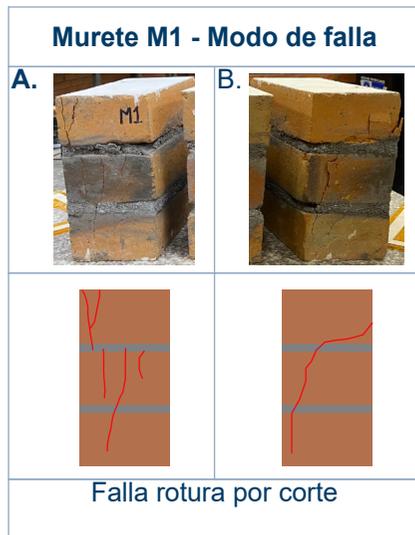


Figura 2.18. Modo de falla muestra M1. Bueno & Pulla, 2024.

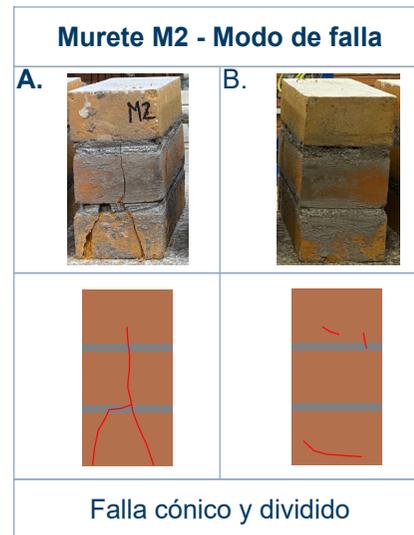


Figura 2.19. Modo de falla muestra M2. Bueno & Pulla, 2024.

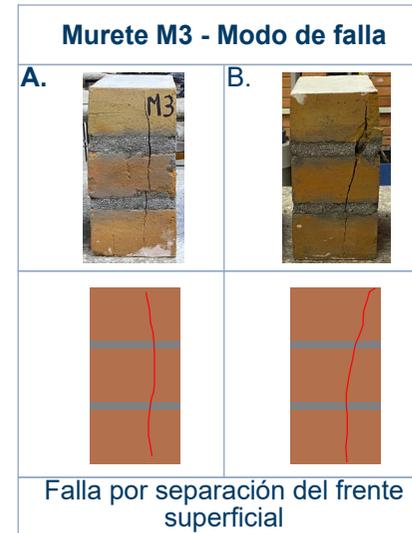


Figura 2.20 Modo de falla muestra M3. Bueno & Pulla, 2024.

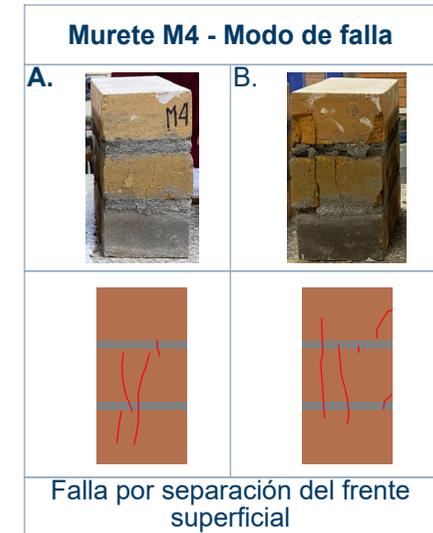


Figura 2.21. Modo de falla muestra M4. Bueno & Pulla, 2024.

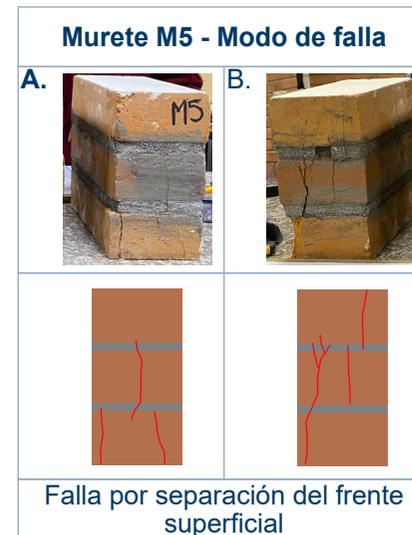


Figura 2.22. Modo de falla muestra M5. Bueno & Pulla, 2024.

DISCUSIÓN DE LO OBSERVADO “TIPO DE FALLA”

Los tipos de falla encontrados en los ensayos a compresión de los muretes de ladrillo y mortero, son de tres tipos los cuales son falla por separación del frente superficial, falla rotura por corte y falla cónico y dividido. De las cuales la falla más repetida en 3 muestras de 5, son la falla por separación del frente superficial donde se puede apreciar una o dos grietas verticales en el mismo sentido el cual se aplicó la carga, tanto en la parte frontal y posterior, apreciando el desprendimiento y casi volcamiento del material a sus laterales.

También se da la falla rotura por corte, evidenciando la grieta en una forma diagonal a la cara posterior, y en la parte frontal queriendo tomar el mismo rumbo. La falla cónico y dividido se logra evidenciar en la cara frontal pareciendo dos grietas de una forma diagonal y uniéndose en la parte central de la cara frontal del murete.

2.7.4. PROCEDIMIENTO ENSAYO DE ESFUERZO A CORTANTE EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN

Se construirán 5 muretes desplazados a la mitad conformados de ladrillo panelón y mortero.

- 1. Fabricación de base:** fabricar una base de madera donde se construirá el murete y posterior se trasladará la muestra esto para evitar la manipulación innecesaria del murete.
- 2. Mojado:** sumergir los ladrillos en agua durante aproximadamente 10 a 15 minutos, antes de su uso mejorando su adherencia.
- 3. Proceso de mezclado:** prepare la mezcla de mortero de acuerdo con las especificaciones establecidas en la prueba de cubos de mortero. Luego, colocar el mortero en un recipiente no absorbente para verterlo posteriormente en el ladrillo, manteniendo una junta con un espesor de 10 mm.
- 4. Dosificación:** La tabla 2.08, contiene una dosificación de cemento, arena, y agua por lo tanto, nos ayudaremos de tal dosificación para elaborar los especímenes de mortero para nuestros muretes, (NTE INEN 488, 2009).

MATERIAL	NÚMERO DE ESPECÍMENES	
	6	9
Cemento, g	500	740
Arena, g	1 375	2 035
Agua, cm ³		
- Portland (a/c = 0,485)	242	359
- Portland con incorporador de aire (a/c = 0,460)	230	340
- Otros (para un flujo de 110 ± 5)	-----	-----

Tabla 2.08. Las cantidades de materiales para hacer de 6 y 9 especímenes de mortero. NTE INEN 488, 2009.

VOLUMEN CUBOS DE MORTERO 9 CUBOS	
LARGO (cm)	5
ANCHO (cm)	5
PROFUNDIDAD (cm)	5
VOLUMEN UNIDAD (cm ³)	125
VOLUMEN 9 CUBOS (cm ³)	1125

Tabla 2.09. Volumen total de mortero para 9 cubos. NTE INEN 488, 2009.

- Procedemos a calcular el volumen total de mortero que vamos a utilizar para un solo murete, (ver tabla 2.10).

DIMENSIONES SUPERFICIE CONTACTO	
LARGO (cm)	12.5
ANCHO (cm)	13
ALTURA DE LA JUNTA (cm)	1

VOLUMEN DE MORTERO (cm ³)	# JUNTAS	VOLUMEN TOTAL DE MORTERO (cm ³)
162.5	2	325

Tabla 2.10. Volumen total de mortero para un murete. Bueno & Pulla, 2024.

- Finalmente, realizamos una regla de 3 para cada material y multiplicamos por le numero de muretes que son 5 y también por el desperdicio que es 5% de cada material, (ver tabla 2.11).

CANTIDAD DE CEMENTO (g)			mas %5 PERDIDA (g)	# MUROS	TOTAL cemento (g)
1125	740				
325	x=	213.78	224.47	5	1122.33
CANTIDAD DE ARENA (g)			mas %5 PERDIDA (g)	# MUROS	TOTAL arena (g)
1125	2035				
325	x=	587.89	617.28	5	3086.42
CANTIDAD DE AGUA (g)			mas %5 PERDIDA (ml)	# MUROS	TOTAL agua (ml)
1125	359				
325	x=	103.71	108.90	5	544.48

Tabla 2.11. Las cantidades de materiales para 5 muretes. Bueno & Pulla, 2024.

- 5. Construcción:** construir cada muestra en bolsas de plástico para su posterior sellado y curado de los muretes.
- 6. Nivelado:** durante la colocación asegurarse de la verticalidad de los ladrillos utilizando un plomo y verificar la nivelación de la superficie

superior mediante un nivel.

- 7. Sellado y curado:** tan pronto como se complete la construcción del murete, selle la bolsa ajustándola herméticamente para retener la humedad alrededor del murete. Guarde estos elementos en un lugar cubierto, evitando la exposición al sol, la lluvia o el viento, y manteniéndolos a una temperatura ambiente.
 - No interfieras ni muevas los prismas durante las primeras 48 horas después de construirlos.
 - 48 horas antes de la prueba, quite las bolsas de humedad herméticas y continuar almacenando los muretes a una temperatura de 24 °C ± 8°C y con una humedad relativa por debajo del 80 %.



Figura 2.23. Sellado y curado de muretes de ladrillos. Bueno & Pulla, 2024.

8. Proceso en la maquina a compresión:

- Se determinará el ensayo a compresión a la edad de 28 días después de su elaboración.
- Antes de la rotura de los 28 días se procederá a la medición en su longitud, ancho y alto de cada murete. Y también medir con escalímetro cada junta del murete y sacar un promedio.

- Colocación de pletina de acero de un espesor de 2 cm, en la parte de inferior, esto para minimizar el desgaste de las placas de la máquina. y en la parte superior dejar que entre en contacto directo la muestra con la rótula de la máquina.
- Ajustar el murete en el centro de la maquina a compresión con respecto a la rótula.
- Una vez la maquina haya comenzado a marcar, se detiene para colocar el deformímetro configurado en (mm), el cual se tomarán datos cada 0.254 mm.
- Se aplica una fuerza de manera gradual sobre el murete, evitando incrementos bruscos.
- Se registrará el valor de la carga máxima una vez que esta logra desprender los ladrillos pegados con mortero.



Figura 2.24. Murete de ladrillo panelón y mortero sometido a esfuerzo de adherencia. Bueno & Pulla, 2024.

2.8. CÁLCULOS

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión es una propiedad crucial de los ladrillos, dado que es la fuerza a la que están sometidos con más frecuencia cuando se usan para construir paredes, entre más resistan la compresión, es probable que los ladrillos sean más fuertes y duraderos en general. Comprender la resistencia a la compresión proporciona información sobre cómo los ladrillos pueden responder a otros tipos de fuerzas, como la tracción y el corte, (Neira Palomeque & Ojeda Siguenza, 1992).

De acuerdo con la normativa INEN 297 (1978), los ladrillos de cerámica, ya sean sólidos o con espacios internos, deben cumplir con los niveles mínimos de resistencia a la compresión y flexión establecidos en la Tabla 2.12.

Tipo De Ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa* (ver nota 1)		Resistencia mínima a la flexión MPa* (Ver nota 1)
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades
macizo tipo A	25	20	4
macizo tipo B	16	14	3
macizo tipo C	8	6	2
hueco tipo D	6	5	4
hueco tipo E	4	4	3
hueco tipo F	3	3	2
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295

Tabla 2.12. Resistencia mínima a compresión y a flexión de los ladrillos. Norma INEN 297, 1978.

Diversos investigadores han llevado a cabo pruebas para evaluar la resistencia a la compresión de los ladrillos producidos en las cercanías de Cuenca. Estos ladrillos son comúnmente empleados en la construcción de edificaciones en dicha zona.

- Neira Palomeque y Ojeda Siguenza, (1992), llevaron a cabo pruebas de compresión en distintos tipos de ladrillos, recopilando la información resultante en la Tabla 2.13.

Procedencia	Dimensiones			Resistencia a Compresión	# Muestras Ensayadas	Desviación standard	Tipo
	Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)				
Mayancela	14	28	9	58.12	8	17.74	Artesanal Panelón
Mayancela	27	14	10	151.45	7	56.58	
Tejar	28	14	9.7	81.19	10	21.79	

Tabla 2.13. Resistencia a compresión de muestras de diferente procedencia. Neira Palomeque y Ojeda Siguenza, 1992.

- Jiménez en (2002), la resistencia a la compresión del ladrillo en la zona de Cuenca generalmente varía entre 50 y 80 kg/cm².
- León y Felipe, (2012) recolectaron ladrillos de tres zonas productoras en Azuay. Estos lugares son conocidos por suministrar abundantemente ladrillos, mayormente utilizados en el cantón Cuenca. Llevaron a cabo pruebas de compresión en estos ladrillos y presentaron los resultados correspondientes en la Tabla 2.14.

Tipo	Fabricante	Dimensiones (cm)	Ensayos	Carga neta de la falla (kgf)	Resistencia Bruta (kg/cm ²)	Resistencia Bruta Promedio (kg/cm ²)
Ladrillo Panelón	Susudel	26.5x7.8x12.5	1	38371	115.84	106.34
			2	40942	123.6	
			3	26367	79.6	
	Oña	25.7x7.5x11.8	1	29657	97.79	96.96
			2	31751	104.7	
			3	26808	88.4	
	Sayausi	27.5x7.7x13.8	1	21380	60.28	63.16
			2	25211	71.08	
			3	20605	58.1	

Tabla 2.14. Resistencia a compresión de muestras de diferente procedencia. León y Felipe, 2012.

Para calcular la resistencia a compresión, utilizaremos la ecuación:

$$C = \frac{P}{A}$$

Ecuación 1. Normas Técnica Ecuatoriana (INEN 294), 1978.

Siendo:

C= Esfuerzo o resistencia a compresión.

P= La carga de rotura.

A= Área de contacto.

- $A = b \times l$.
- b = Ancho de la muestra.
- l = Largo de la muestra.

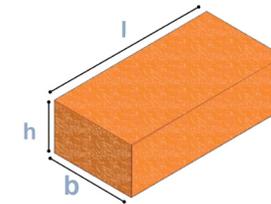


Figura 2.25. Muestra tipo ladrillo panelon, Bueno & Pulla, 2024.

MÓDULO DE ELASTICIDAD

Conocido también como modulo de Young, es la propiedad que cuantifica la rigidez de un material, cuanto más rígido es el material mayor es su módulo de elasticidad, siendo un parámetro característico de cada material (Hibbeler, 2011). Se logra encontrar calculando como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria en la zona elástica, donde el material tiene la capacidad de volver a su forma original cuando se elimina la carga.

Por lo tanto, para el cálculo del módulo de Yong se tomarán los puntos para calcular la pendiente después de la zona de acomod, ya que los valores anteriores no son valores de resistencia real del espécimen ya que surge un reacomodo de la máquina.

Para calcular el módulo elástico, utilizaremos la ecuación:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Ecuación 2. Normas Técnica Ecuatoriana (INEN 294), 1978.

E= Módulo de elasticidad o módulo de Young.

σ = Esfuerzo o resistencia a la compresión.

- σ_1 = Esfuerzo 1 ; σ_2 = Esfuerzo 2.

ε = Deformación Unitaria.

- ε_1 = Deformación unitaria 1 ; ε_2 = Deformación unitaria 2.



Figura 2.26. Gráfica esfuerzo y deformación unitaria para cálculo de módulo de Yong. Bueno & Pulla, 2023.

DEFORMACIÓN UNITARIA

Es la proporción entre el cambio en longitud de un material con respecto a la longitud original, debido a una carga aplicada en un material convirtiéndose en una magnitud adimensional (sin dimensiones ni unidades).

En los ensayos se aplicó una carga a compresión debido a esto el material se deformaba gracias a esa deformación con relación a su longitud inicial se pudo calcular la deformación unitaria.

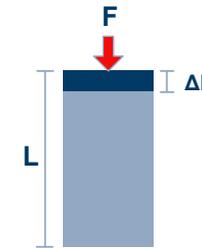


Figura 2.27. Deformación de material de ladrillo sometido a una carga. Bueno & Pulla, 2023.

Para calcular la deformación unitaria, utilizaremos la ecuación:

$$(\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L}$$

Ecuación 3. Fórmula de la deformación unitaria, Normas Técnica Ecuatoriana (INEN 294), 1978.

ε = Deformación unitaria.

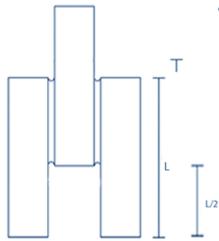
ΔL = Deformación específica o cambio en la longitud.

L= Longitud original de la muestra.

ESFUERZO DE ADHERENCIA

Es la fuerza con que se pegan dos superficies en contacto, por unidad de área común, NMX-C-082-(1974). Es la resistencia a la separación entre el ladrillo y el mortero que lo une.

Para calcular el esfuerzo de adherencia, se divide la fuerza máxima de adherencia sobre el área de la superficie de contacto entre el ladrillo y el mortero mediante la siguiente ecuación:



$$A = \frac{P}{S}$$

$$A = \frac{P}{aL}$$

Figura 2.28. Murete a cortante. Bueno & Pulla, 2024.

Ecuación 4. Fórmula esfuerzo de adherencia, la Norma Mexicana (NMX-C-082-1974).

A= Esfuerzo de adherencia.

P= Carga máxima que logra despegar a los ladrillos.

S= Suma de las dos superficies adheridas al ladrillo central.

- Fórmula de superficies adheridas: (S= a x L).
- a= Ancho del ladrillo.
- L= Largo del ladrillo.

Método del rango intercuartílico (IQR)

Para la comprobación de valores atípicos se utilizó este método para ayudar a detectar datos que podrían afectar nuestros análisis, se confirmó para esta investigación que los datos se mantienen dentro de los límites.

IQR = Q3 - Q1 Lim. inf = Q1 - 1.5 * IQR Lim. sup = Q3 + 1.5 * IQR

Ecuación 5. Fórmula para comprobación de valores atípicos. Hoaglin et al., 1986

Método de las dos desviaciones estándar (Two-sigma rule)

Se comprobó también con este método tradicional y los datos se mantienen en el rango establecido confirmando la veracidad de los datos y resultados.

2.8.1. CÁLCULOS ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN DE UNIDADES DE LADRILLO PANELÓN.

Una vez realizado las pruebas de compresión a las 10 unidades de ladrillo panelón. se procede a realizar los cálculos para encontrar el esfuerzo máximo a compresión, deformación unitaria y módulo de elasticidad con las fórmulas antes mencionadas.

Para realizar los cálculos se debe constar con los siguientes datos:

- Características geométricas largo, ancho y altura del cada ladrillo.
- Área de contacto con la máquina de compresión del cada ladrillo.
- Carga que se aplicada cada 0.254 mm de la deformación del material hasta llegar a la carga máxima de rotura.

Resumen de muestras de ladrillo panelón

En la tabla 2.15, se presentan detalladamente cada una de las muestras que fueron sometidas a un ensayo de compresión, sus características geométricas, carga máxima de rotura y el esfuerzo máximo a compresión.

RESULTADOS LADRILLO PANELÓN									
CODIGO	PESO (g)	DIMENSIONES (mm)			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTURA (mm)	AREA (mm ²)	CARGA (Kgf)	CARGA DE ROTURA (N)	COMPRESIÓN (MPa)	COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
L1B	1851.2	121.0	122.0	72.0	14762.00	23988.70	235329.15	15.94	162.50
L2B1	1781.6	121.5	123.5	68.0	15005.25	22230.10	218077.28	14.53	148.15
L2C2	1803.1	119.5	121.0	69.0	14459.50	25878.70	253870.05	17.56	178.97
L3D1	1775.7	121.0	122.5	69.5	14822.50	17667.20	173315.23	11.69	119.19
L3D2	1753.9	121.5	122.5	69.3	14883.75	18620.50	182667.11	12.27	125.11
L4E2	1822.4	122.0	123.0	70.9	15006.00	23586.70	231385.53	15.42	157.18
L5B	1858	123.0	123.0	71.0	15129.00	21310.90	209059.93	13.82	140.86
L6A	1840.1	119.0	124.0	70.0	14756.00	20345.80	199592.30	13.53	137.88
L6B	1889.5	124.0	123.0	71.0	15252.00	22055.30	216362.49	14.19	144.61
L7B	1759.1	121.0	124.0	68.0	15004.00	22868.90	224343.91	14.95	152.42
PROMEDIO								14.39	146.69

Tabla 2.15. Resultados de las 10 unidades de ladrillo panelón sometido a ensayo de compresión pruebas experimentales. Bueno & Pulla, 2024.

1. MUESTRA L1B

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L1-B				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
121.00	122.00	72.00	1851.20	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.013	638.70	6265.65	0.42	0.0002
0.026	1143.60	11218.72	0.76	0.0004
0.039	1900.30	18641.94	1.26	0.0005
0.052	3112.60	30534.61	2.07	0.0007
0.065	4596.90	45095.59	3.05	0.0009
0.078	6370.00	62489.70	4.233	0.0011
0.090	8300.80	81430.85	5.52	0.0013
0.103	10530.60	103305.19	6.998	0.0014
0.116	13045.30	127974.39	8.67	0.0016
0.129	15470.50	151765.61	10.28	0.0018
0.142	17916.00	175755.96	11.91	0.0020
0.155	20247.40	198626.99	13.46	0.0022
0.168	22283.90	218605.06	14.81	0.0023
0.181	23904.40	234502.16	15.89	0.0025
0.188	23988.70	235329.15	15.94	0.0026

Tabla 2.16. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L1B. Bueno & Pulla, 2024.

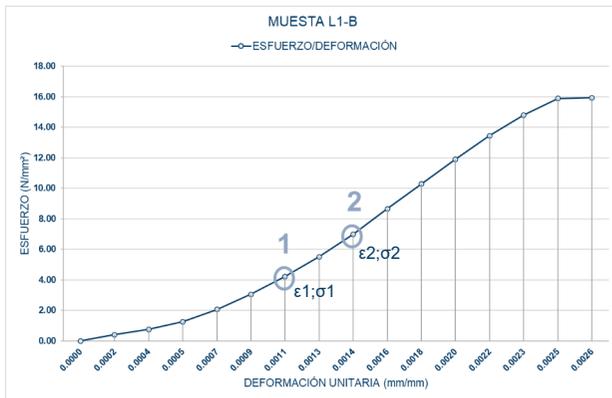


Figura 2.29. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L1B. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L1-B				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
121.00	122.00	72.00	1851.20	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.013	1930.80	18941.15	1.28	0.0002
0.026	4160.60	40815.49	2.76	0.0004
0.039	6675.30	65484.69	4.44	0.0005
0.052	9100.50	89275.91	6.05	0.0007
0.065	11546.00	113266.26	7.67	0.0009
0.078	13877.40	136137.29	9.22	0.0011
0.090	15913.90	156115.36	10.58	0.0013
0.103	17534.40	172012.46	11.65	0.0014
0.110	17618.70	172839.45	11.71	0.0015

Tabla 2.17. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L1B. Bueno & Pulla, 2024.

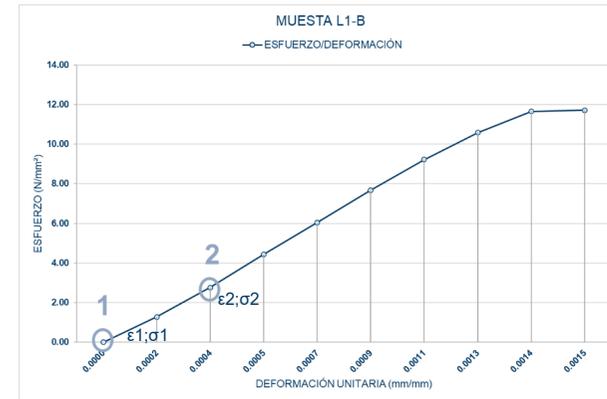


Figura 2.30. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L1B. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 7703.87 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.31. Muestra L1B. Bueno & Pulla, 2024.

2. MUESTRA L2B1

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L2-B1				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	PESO (g)	
121.50	123.50	68.00	1781.60	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.020	780.00	7651.80	0.51	0.0003
0.040	1680.40	16484.72	1.10	0.0006
0.059	2950.60	28945.39	1.93	0.0009
0.079	5136.40	50388.08	3.36	0.0012
0.099	7550.00	74065.50	4.94	0.0015
0.119	10248.30	100535.82	6.70	0.0017
0.139	13183.10	129326.21	8.62	0.0020
0.159	15704.60	154062.13	10.27	0.0023
0.178	18225.00	178787.25	11.91	0.0026
0.198	20143.00	197602.83	13.17	0.0029
0.218	21370.10	209640.68	13.97	0.0032
0.236	22230.10	218077.28	14.53	0.0035

Tabla 2.18. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L2B1. Bueno & Pulla, 2024.

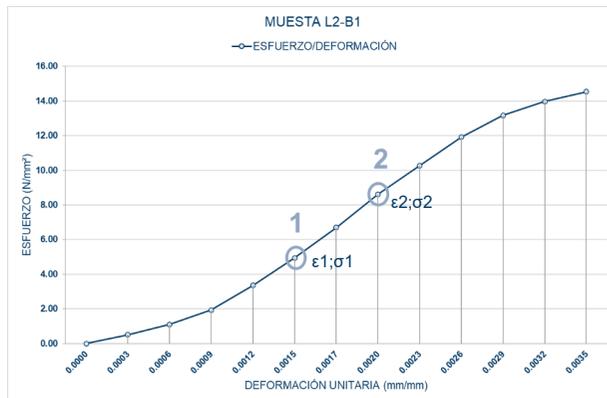


Figura 2.32. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L2B1. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L2-B1				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	PESO (g)	
121.50	123.50	68.00	1781.60	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.020	2698.30	26470.32	1.76	0.0003
0.040	5633.10	55260.71	3.68	0.0006
0.059	8154.60	79996.63	5.33	0.0009
0.079	10675.00	104721.75	6.98	0.0012
0.099	12593.00	123537.33	8.23	0.0015
0.119	13820.10	135575.18	9.04	0.0017
0.137	14680.10	144011.78	9.60	0.0020

Tabla 2.19. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L2B1. Bueno & Pulla, 2024.

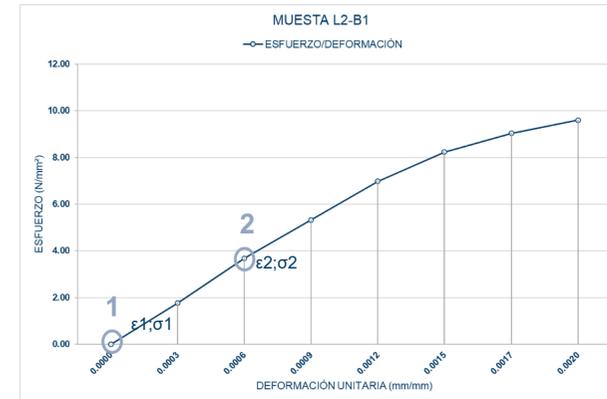


Figura 2.33. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L2B1. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 6315.76 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.34. Muestra L2B1. Bueno & Pulla, 2024.

3. MUESTRA L2C2

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L2-C2				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
119.50	121.00	69.00	1803.10	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.015	836.00	8201.16	0.57	0.0002
0.031	1975.10	19375.73	1.34	0.0004
0.046	3477.00	34109.37	2.36	0.0007
0.062	5564.00	54582.84	3.77	0.0009
0.077	7665.00	75193.65	5.20	0.0011
0.092	10446.60	102481.15	7.09	0.0013
0.108	12983.20	127365.19	8.81	0.0016
0.123	15696.00	153977.76	10.65	0.0018
0.139	18355.00	180062.55	12.45	0.0020
0.154	20755.00	203606.55	14.08	0.0022
0.170	22820.00	223864.20	15.48	0.0025
0.185	24417.50	239535.68	16.57	0.0027
0.200	25268.00	247879.08	17.14	0.0029
0.216	25878.70	253870.05	17.56	0.0031

Tabla 2.20. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L2C2. Bueno & Pulla, 2024.

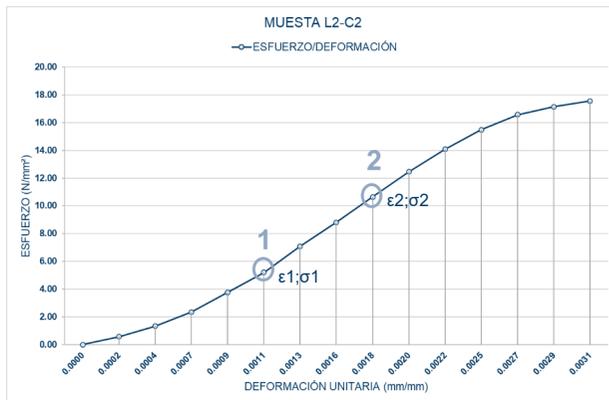


Figura 2.35. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L2C2. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L2-C2				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
119.50	121.00	69.00	1803.10	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.015	2781.60	27287.50	1.89	0.0002
0.031	5318.20	52171.54	3.61	0.0004
0.046	8031.00	78784.11	5.45	0.0007
0.062	10690.00	104868.90	7.25	0.0009
0.077	13090.00	128412.90	8.88	0.0011
0.092	15155.00	148670.55	10.28	0.0013
0.108	16752.50	164342.03	11.37	0.0016
0.123	17603.00	172685.43	11.94	0.0018
0.139	18213.70	178676.40	12.36	0.0020

Tabla 2.21. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L2C2. Bueno & Pulla, 2024.

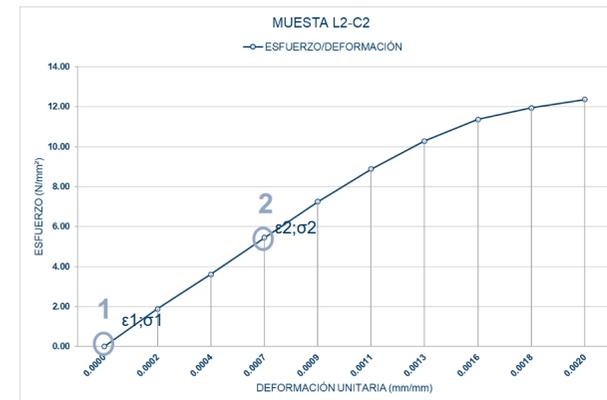


Figura 2.36. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L2C2. Bueno & Pulla, 2024. **Módulo elástico**

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 8131.54 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.37. Muestra L2C2. Bueno & Pulla, 2024.

4. MUESTRA L3D1

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L3-D1				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
121.00	122.50	69.50	1775.70	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.019	465.40	4565.57	0.31	0.0003
0.039	911.10	8937.89	0.60	0.0006
0.058	1536.10	15069.14	1.02	0.0008
0.078	2384.90	23395.87	1.58	0.0011
0.097	3594.60	35263.03	2.38	0.0014
0.117	5027.70	49321.74	3.33	0.0017
0.136	6852.40	67222.04	4.54	0.0020
0.155	8930.00	87603.30	5.91	0.0022
0.175	10831.40	106256.03	7.17	0.0025
0.194	12514.50	122767.25	8.28	0.0028
0.214	14049.30	137823.63	9.30	0.0031
0.233	15978.00	156744.18	10.57	0.0034
0.253	17667.20	173315.23	11.69	0.0036

Tabla 2.22. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L3D1. Bueno & Pulla, 2024.

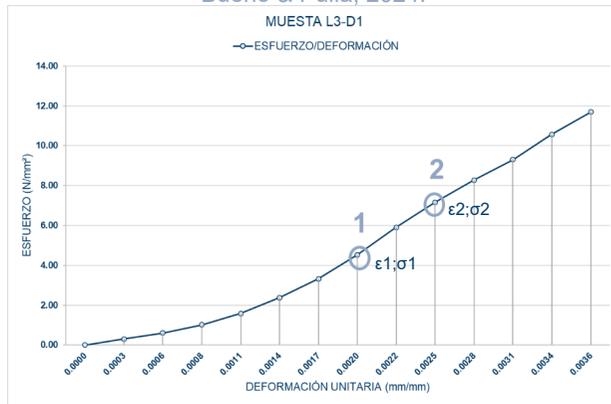


Figura 2.38. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L3D1. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L3-D1				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
121.00	122.50	69.50	1775.70	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.019	2077.60	20381.26	1.38	0.0003
0.039	3979.00	39033.99	2.63	0.0006
0.058	5662.10	55545.20	3.75	0.0008
0.078	7196.90	70601.59	4.76	0.0011
0.097	9125.60	89522.14	6.04	0.0014
0.117	10814.80	106093.19	7.16	0.0017

Tabla 2.23. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L3D1. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.39. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L3D1. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 4710.55 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.40. Muestra L3D1. Bueno & Pulla, 2024.

5. MUESTRA L3D2

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L3-D2				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	1753.90	
121.50	122.50	69.30		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.020	580.20	5691.76	0.38	0.0003
0.039	1235.50	12120.26	0.81	0.0006
0.059	2133.00	20924.73	1.41	0.0009
0.079	3479.10	34129.97	2.29	0.0011
0.098	5264.00	51639.84	3.47	0.0014
0.118	7522.00	73790.82	4.96	0.0017
0.138	10092.90	99011.35	6.65	0.0020
0.157	12748.00	125057.88	8.40	0.0023
0.177	15381.70	150894.48	10.14	0.0026
0.197	17492.00	171596.52	11.53	0.0028
0.216	18620.50	182667.11	12.27	0.0031

Tabla 2.24. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L3D2. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.41. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L3D2. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L3-D2				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	1753.90	
121.50	122.50	69.30		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.020	2258.00	22150.98	1.49	0.0003
0.039	4828.90	47371.51	3.18	0.0006
0.059	7484.00	73418.04	4.93	0.0009
0.079	10117.70	99254.64	6.67	0.0011
0.098	12228.00	119956.68	8.06	0.0014
0.118	13356.50	131027.27	8.80	0.0017

Tabla 2.25. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L3D2. Bueno & Pulla, 2024.

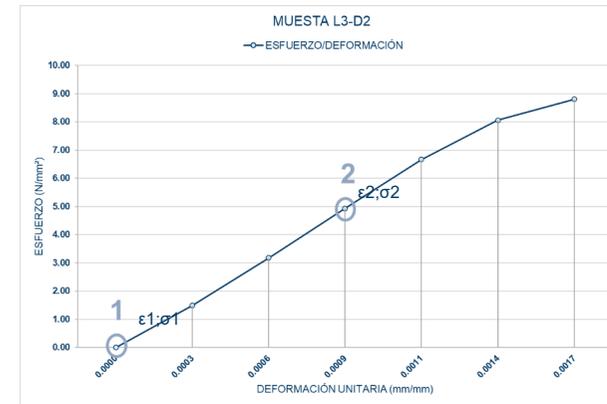


Figura 2.42. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L3D2. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 5789.47 \text{ N/mm}^2$$

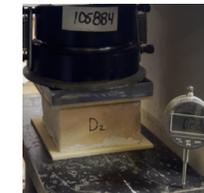


Figura 2.43. Muestra L3D2. Bueno & Pulla, 2024.

6. MUESTRA L4E2

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L4-E2				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
122.00	123.00	70.90	1822.40	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.021	869.80	8532.74	0.57	0.0003
0.041	2438.40	23920.70	1.59	0.0006
0.062	4706.60	46171.75	3.08	0.0009
0.082	7645.30	75000.39	5.00	0.0012
0.103	10598.90	103975.21	6.93	0.0014
0.123	13727.20	134663.83	8.97	0.0017
0.144	17051.40	167274.23	11.15	0.0020
0.164	19933.30	195545.67	13.03	0.0023
0.185	21693.70	212815.20	14.18	0.0026
0.206	22832.40	223985.84	14.93	0.0029
0.226	23365.00	229210.65	15.27	0.0032
0.233	23586.70	231385.53	15.42	0.0033

Tabla 2.26. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L4E2. Bueno & Pulla, 2024.

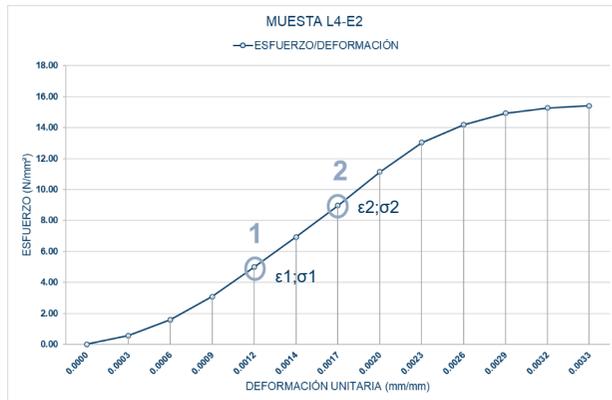


Figura 2.44. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L4E2. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L4-E2				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
122.00	123.00	70.90	1822.40	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.021	2953.60	28974.82	1.93	0.0003
0.041	6081.90	59663.44	3.98	0.0006
0.062	9406.10	92273.84	6.15	0.0009
0.082	12288.00	120545.28	8.03	0.0012
0.103	14048.40	137814.80	9.18	0.0014
0.123	15187.10	148985.45	9.93	0.0017
0.144	15719.70	154210.26	10.28	0.0020
0.151	15941.40	156385.13	10.42	0.0021

Tabla 2.27. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L4E2. Bueno & Pulla, 2024.

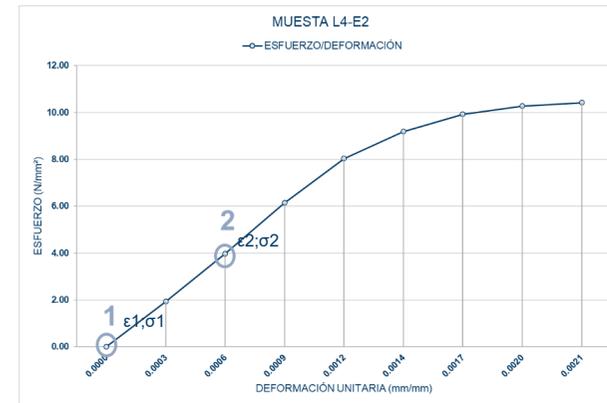


Figura 2.45. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L4E2. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 6855.32 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.46. Muestra L4E2. Bueno & Pulla, 2024.

7. MUESTRA L5B

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L5-B				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
123.00	123.00	71.00	1858.00	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.018	456.10	4474.34	0.30	0.0003
0.036	872.50	8559.23	0.57	0.0005
0.054	1482.90	14547.25	0.96	0.0008
0.072	2278.10	22348.16	1.48	0.0010
0.090	3588.00	35198.28	2.33	0.0013
0.108	5265.40	51653.57	3.41	0.0015
0.126	7324.00	71848.44	4.75	0.0018
0.144	9562.10	93804.20	6.20	0.0020
0.162	11851.70	116265.18	7.68	0.0023
0.180	14309.00	140371.29	9.28	0.0025
0.198	16788.10	164691.26	10.89	0.0028
0.216	18903.50	185380.95	12.25	0.0030
0.234	20688.40	202884.93	13.41	0.0033
0.244	21310.90	208989.60	13.81	0.0034

Tabla 2.28. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L5B. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.47. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L5B. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L5-B				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
123.00	123.00	71.00	1858.00	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.018	2238.10	21955.76	1.45	0.0003
0.036	4527.70	44416.74	2.94	0.0005
0.054	6985.00	68522.85	4.53	0.0008
0.072	9464.10	92842.82	6.14	0.0010
0.090	11579.50	113532.51	7.50	0.0013
0.108	13364.40	131036.49	8.66	0.0015
0.118	13986.90	137141.16	9.06	0.0017

Tabla 2.29. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L5B. Bueno & Pulla, 2024.

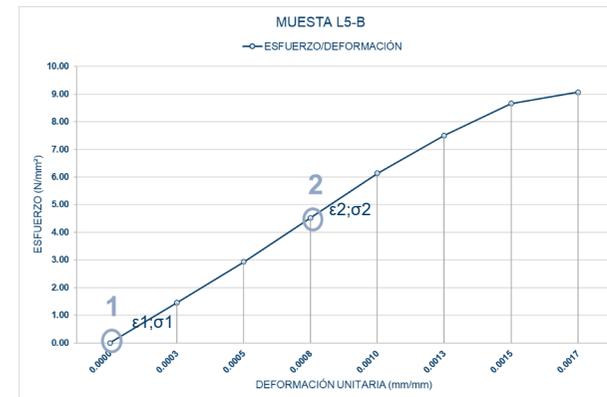


Figura 2.48. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L5B. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 5960.47 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.49. Muestra L5B. Bueno & Pulla, 2024.

8. MUESTRA L6A

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L6-A				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	1840.10	
119.00	124.00	70.00		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.012	435.40	4271.27	0.29	0.0002
0.023	856.30	8400.30	0.57	0.0003
0.035	1488.90	14606.11	0.99	0.0005
0.047	2327.60	22833.76	1.55	0.0007
0.058	3376.60	33124.45	2.24	0.0008
0.070	4594.90	45075.97	3.05	0.0010
0.081	6163.40	60462.95	4.10	0.0012
0.093	7917.30	77668.71	5.26	0.0013
0.105	9757.00	95716.17	6.49	0.0015
0.116	11298.60	110839.27	7.51	0.0017
0.128	12408.80	121730.33	8.25	0.0018
0.140	13815.90	135533.98	9.19	0.0020
0.151	15769.50	154698.80	10.48	0.0022
0.163	17371.60	170415.40	11.55	0.0023
0.174	19246.00	188803.26	12.80	0.0025
0.182	20345.80	199592.30	13.526	0.0026

Tabla 2.30. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L6A. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.50. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L6A. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L6-A				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	1840.10	
119.00	124.00	70.00		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.012	1568.50	15386.99	1.04	0.0002
0.023	3322.40	32592.74	2.21	0.0003
0.035	5162.10	50640.20	3.43	0.0005
0.047	6703.70	65763.30	4.46	0.0007
0.058	7813.90	76654.36	5.19	0.0008
0.070	9221.00	90458.01	6.13	0.0010
0.081	11174.60	109622.83	7.43	0.0012
0.093	12776.70	125339.43	8.49	0.0013
0.105	14651.10	143727.29	9.74	0.0015
0.112	15750.90	154516.33	10.47	0.0016

Tabla 2.31. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L6A. Bueno & Pulla, 2024.

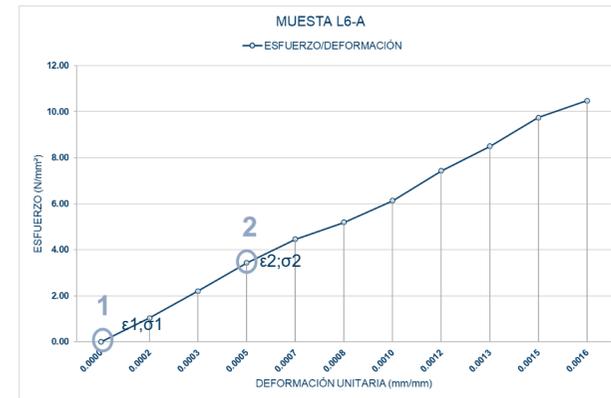


Figura 2.51. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L6A. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 6888.17 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.52. Muestra L6A. Bueno & Pulla, 2024.

9. MUESTRA L6B

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L6-B				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
124.00	123.00	71.00	1889.50	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.011	347.90	3412.90	0.22	0.0002
0.022	520.00	5101.20	0.33	0.0003
0.033	730.60	7167.19	0.47	0.0005
0.044	1082.20	10616.38	0.70	0.0006
0.055	1718.40	16857.50	1.11	0.0008
0.066	2551.80	25033.16	1.64	0.0009
0.077	3657.40	35879.09	2.35	0.0011
0.088	5076.50	49800.47	3.27	0.0012
0.099	6697.90	65706.40	4.31	0.0014
0.110	8374.30	82151.88	5.39	0.0015
0.121	10267.10	100720.25	6.60	0.0017
0.132	11889.30	116634.03	7.65	0.0019
0.143	13327.90	130746.70	8.57	0.0020
0.154	14657.20	143787.13	9.43	0.0022
0.165	16653.30	163368.87	10.71	0.0023
0.176	18463.70	181128.90	11.88	0.0025
0.187	20157.50	197745.08	12.97	0.0026
0.198	21794.00	213799.14	14.02	0.0028
0.200	22055.30	216362.49	14.19	0.0028

Tabla 2.32. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L6B. Bueno & Pulla, 2024.

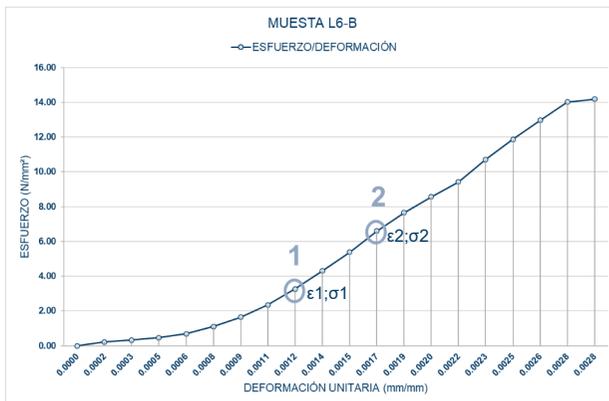


Figura 2.53. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L6B. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L6-B				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
124.00	123.00	71.00	1889.50	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.011	1621.40	15905.93	1.04	0.0002
0.022	3297.80	32351.42	2.12	0.0003
0.033	5190.60	50919.79	3.34	0.0005
0.044	6812.80	66833.57	4.38	0.0006
0.055	8251.40	80946.23	5.31	0.0008
0.066	9580.70	93986.67	6.16	0.0009
0.077	11576.80	113568.41	7.45	0.0011
0.088	13387.20	131328.43	8.61	0.0012
0.099	15081.00	147944.61	9.70	0.0014
0.110	16717.50	163998.68	10.75	0.0015
0.112	16978.80	166562.03	10.92	0.0016

Tabla 2.33. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L6B. Bueno & Pulla, 2024.

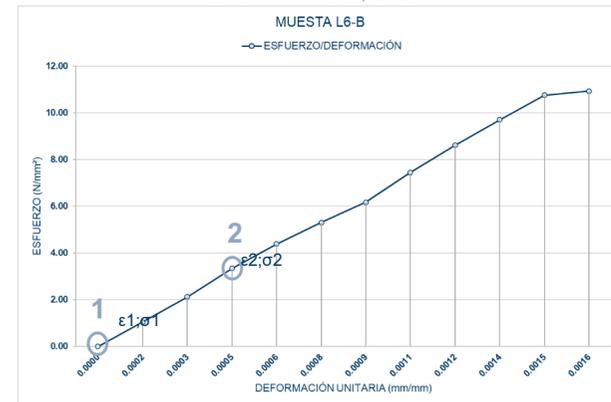


Figura 2.54. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L6B. Bueno & Pulla, 2024. Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 7184.29 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.55. Muestra L6B. Bueno & Pulla, 2024.

10. MUESTRA L7B

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L7-B				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) en mm	ANCHO (a) en mm	ALTURA (h) en mm		
121.00	124.00	68.00	1759.10	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
0.25	690.50	6773.81	0.45	0.004
0.51	1627.10	15961.85	1.06	0.007
0.76	2701.80	26504.66	1.77	0.011
1.02	4313.70	42317.40	2.82	0.015
1.27	6101.90	59859.64	3.99	0.019
1.52	8299.70	81420.06	5.43	0.022
1.78	10768.50	105638.99	7.04	0.026
2.03	13504.20	132476.20	8.83	0.030
2.29	16316.30	160062.90	10.67	0.034
2.54	18732.10	183761.90	12.25	0.037
2.79	19884.80	195069.89	13.00	0.041
3.05	21760.60	213471.49	14.23	0.045
3.28	22868.90	224343.91	14.95	0.048

Tabla 2.34. Resultados experimentales esfuerzo y deformación L7B. Bueno & Pulla, 2024.

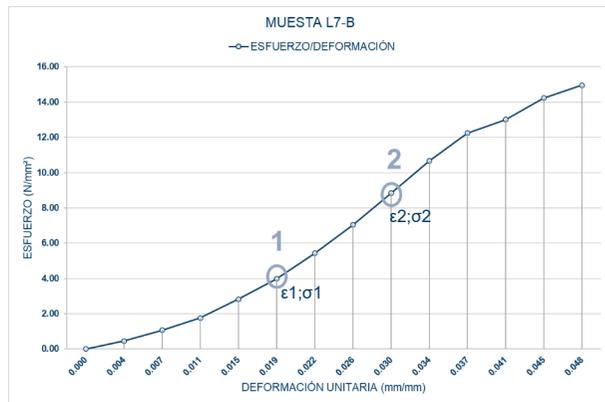


Figura 2.56. Gráfica experimental esfuerzo y deformación L7B. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA L7-B				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) en mm	ANCHO (a) en mm	ALTURA (h) en mm		
121.00	124.00	68.00	1759.10	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
0.25	2197.80	21560.42	1.44	0.004
0.51	4666.60	45779.35	3.05	0.007
0.76	7402.30	72616.56	4.84	0.011
1.02	10214.40	100203.26	6.68	0.015
1.27	12630.20	123902.26	8.26	0.019
1.52	13782.90	135210.25	9.01	0.022
1.78	15658.70	153611.85	10.24	0.026
2.01	16767.00	164484.27	10.96	0.030

Tabla 2.35. Resultados analíticos esfuerzo y deformación L7B. Bueno & Pulla, 2024.

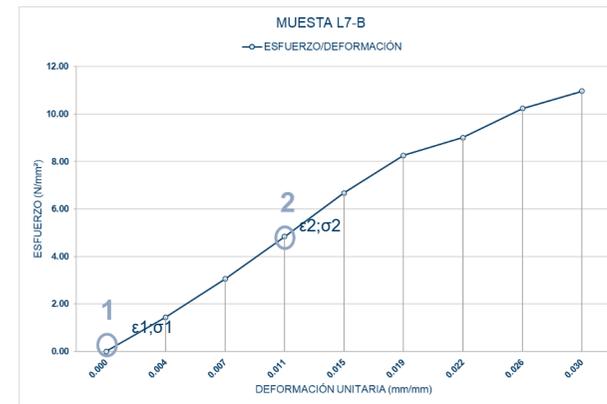


Figura 2.57. Gráfica analítica esfuerzo y deformación L7B. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 7210.52 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.58. Muestra L7B. Bueno & Pulla, 2024.

RESULTADOS ENSAYO UNIDADES DE LADRILLO

Como resultados de cada una de las muestras tenemos el módulo elástico (E), deformación unitaria máxima (ϵ_p), y el esfuerzo a compresión máximo (f_m).

Datos experimentales

Obteniendo resultados experimentales como la media (\bar{x}) del módulo elástico en 6675.00 N/mm², de la deformación unitaria en 0.0029 mm/mm, del esfuerzo máximo a compresión en 14.39 N/mm², luego calculamos la desviación estándar (S), para encontrar el coeficiente de variación (COV), esto para ver la confiabilidad de los datos, y como podemos apreciar los resultados están por debajo del 21% (ver tabla 2.36).

LADRILLOS MITADES A COMPRESIÓN			
MUESTRA	E (N/mm ²)	ϵ_p (mm/mm)	f_m (N/mm ²)
L1B	7703.87	0.0026	15.94
L2B1	6315.76	0.0035	14.53
L2C2	8131.54	0.0031	17.56
L3D1	4710.55	0.0036	11.69
L3D2	5789.47	0.0031	12.27
L4E2	6855.32	0.0033	15.42
L5B	5960.47	0.0034	13.81
L6A	6888.17	0.0018	13.53
L6B	7184.29	0.0022	14.19
L7B	7210.52	0.0025	14.95
\bar{x}	6675.00	0.0029	14.39
S	1004.82	0.001	1.72
COV	0.15	0.21	0.12

Tabla 2.36. Resultados experimentales modulo elástico, esfuerzo max, deformación unitaria max. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

Obteniendo resultados analíticos como la media (\bar{x}) del módulo elástico en 6675.00 N/mm² no existiendo variación debido que es la pendiente y es constante en la zona elástica, de la deformación unitaria en 0.0018 mm/

mm, del esfuerzo máximo a compresión en 10.15 N/mm², luego calculamos la desviación estándar (S), para encontrar el coeficiente de variación (COV), esto para ver la confiabilidad de los datos, y como podemos apreciar los resultados están por debajo del 15% (ver tabla 2.37).

LADRILLOS MITADES A COMPRESIÓN			
MUESTRA	E (N/mm ²)	ϵ_p (mm/mm)	f_m (N/mm ²)
L1B	7703.87	0.0015	11.71
L2B1	6315.76	0.0020	9.60
L2C2	8131.54	0.0020	12.36
L3D1	4710.55	0.0017	7.16
L3D2	5789.47	0.0017	8.80
L4E2	6855.32	0.0021	10.42
L5B	5960.47	0.0017	9.06
L6A	6888.17	0.0016	10.47
L6B	7184.29	0.0016	10.92
L7B	7210.52	0.0018	10.96
\bar{x}	6675.00	0.0018	10.15
S	1004.82	0.000	1.53
COV	0.15	0.12	0.15

Tabla 2.37. Resultados analíticos modulo elástico, esfuerzo max, deformación unitaria max. Bueno & Pulla, 2024.

Tipo de ladrillo

Según el promedio de las 10 unidades de ladrillo sometidas a la prueba de compresión datos experimentales es de **14.39 Mpa**, por lo tanto, según la tabla 2.38, NTE INEN 297, (1975), de requisitos de resistencia mínima a compresión estamos ante un **ladrillo macizo tipo C**.

Tipo De Ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa* (ver nota 1)		Resistencia mínima a la flexión MPa* (Ver nota 1)	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
macizo tipo A	25	20	4	16
macizo tipo B	16	14	3	18
macizo tipo C	8	6	2	25
hueco tipo D	6	5	4	16
hueco tipo E	4	4	3	18
hueco tipo F	3	3	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295	INEN 296

Tabla 2.38. Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos. NTE INEN 297, 1975.

2.8.2. CÁLCULOS ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CÚBICOS DE 5 cm DE MORTERO.

Una vez realizado las pruebas de compresión en el laboratorio a los 12 especímenes cúbicos de 5 cm de mortero, se procede a realizar los cálculos para encontrar el esfuerzo máximo a compresión, módulo de elasticidad.

Para realizar el cálculo del esfuerzo máximo a compresión se utilizarán:

- Características geométricas largo, ancho y altura del cada cubo.
- Área de contacto con la máquina de compresión del cada cubo.
- Carga máxima de rotura.

En la tabla 2.39, se realizarán tres jornadas de roturas: a los 3 días ± 1 hora con 4 cubos; a los 7 días ± 3 horas con 4 cubos; a los 28 días ± 12 horas con 4 cubos. Donde detalla sus características geométricas, carga máxima de rotura y a los 28 días se calculará el esfuerzo máximo a compresión del mortero.

RESULTADOS CUBOS MORTERO										
	CODIGO	PESO (N)	DIMENSIONES (mm)			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
			LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTURA (mm)	AREA (mm ²)	CARGA (Kgf)	CARGA DE ROTURA (N)	COMPRESIÓN (MPa)	COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
3 DÍAS	M1	2.625	50	50	50	2500.00	2631.00	25810.11	10.32	105.24
	M2	2.629	50	50	50	2500.00	2375.50	23303.66	9.32	95.02
	M3	2.633	50	50	50	2500.00	2416.30	23703.90	9.48	96.65
	M4	2.631	50	50	50	2500.00	2798.70	27455.25	10.98	111.95
7 DÍAS	M5	2.627	50	50	50	2500.00	2832.90	27790.75	11.12	113.32
	M6	2.644	50	50	50	2500.00	2799.30	27461.13	10.98	111.97
	M7	2.626	50	50	50	2500.00	2297.40	22537.49	9.01	91.90
	M8	2.583	50	50	50	2500.00	2475.80	24287.60	9.72	99.03
28 DÍAS	M9	0.000	50	50	50	2500.00	4202.27	41224.17	16.49	168.09
	M10	0.000	50	50	50	2500.00	3921.80	38472.86	15.39	156.87
	M11	0.000	50	50	50	2500.00	4164.60	40854.73	16.34	166.58
	M12	0.000	50	50	50	2500.00	4520.40	44345.12	17.74	180.82
PROMEDIO									12.24	124.79

Tabla 2.39. Resultados de las 10 unidades de ladrillo panelón sometido a ensayo de compresión, Bueno & Pulla, 2024.

Para realizar los cálculos del módulo de elasticidad se utilizó la siguiente ecuación, realizando la conversión en el sistema internacional:

$$Ec = 9100\sqrt{f'c} = \text{“PSI”}$$

$$Ec = 755.62\sqrt{f'c} = \text{“MPa”}$$

Ecuación 6. Fórmula para estimar el módulo elástico del mortero, a partir del Esfuerzo máximo a compresión. Quimbay Herrera, R. (1995). Tecnología del control térmico y de madurez del concreto en elementos masivos.

En la tabla 2.40, se muestra las propiedades del mortero la resistencia a compresión y el módulo elástico a los 28 días de 4 cubos, así como el promedio de las 4 muestras el cual se utilizarán para posteriores cálculos.

PROPIEDADES DEL MORTERO			
DIAS	MUESTRA	Resistencia a la compresión (MPa)	Modulo elastico (E) (MPa)
28 DÍAS	M9	16.49	3068.4
	M10	15.39	2964.3
	M11	16.34	3054.4
	M12	17.74	3182.6
PROMEDIO		16.49	3067.4

Tabla 2.40. Propiedades del mortero, resistencia a compresión y modulo elástico. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 59. Cubos de mortero sometido a ensayo de compresión en laboratorio. Bueno & Pulla, 2024.

2.8.3. CÁLCULOS ENSAYO DE ESFUERZO A COMPRESIÓN EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.

Una vez realizado las pruebas de compresión en el laboratorio a los 5 muretes conformados por ladrillo panelón y juntas de mortero de 1,5 cm, se procede a realizar los cálculos para encontrar el esfuerzo máximo a compresión, deformación unitaria y módulo de elasticidad con las fórmulas antes mencionadas.

Para realizar los cálculos se debe constar con los siguientes datos:

- Características geométricas largo, ancho y altura del cada murete.
- Área de contacto con la máquina de compresión del cada murete.
- Carga que se aplicada cada 0.254 mm de la deformación del murete hasta llegar a la carga máxima de rotura.

Resumen de resultados de muretes de ladrillo panelón y mortero

En la tabla 2.41, se presentan detalladamente los resultados de cada una de los muretes que fueron sometidas a un ensayo de compresión, sus características geométricas, carga máxima de rotura y el esfuerzo máximo a compresión.

RESULTADOS MURETES									
CODIGO	PESO (g)	DIMENSIONES (mm)			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTURA (mm)	AREA (mm ²)	CARGA (Kgf)	CARGA DE ROTURA (N)	COMPRESIÓN (MPa)	COMPRESIÓN (Kg/cm ²)
M1	14107.30	245.00	124.00	240.00	30380.00	22952.00	225159.12	7.41	75.55
M2	14346.10	244.00	123.00	244.00	30012.00	25174.70	246963.81	8.23	83.88
M3	14857.10	244.00	123.00	247.00	30012.00	24900.50	244273.91	8.14	82.97
M4	14833.90	245.00	124.00	245.00	30380.00	24620.40	241526.12	7.95	81.04
M5	14122.20	245.00	124.00	236.00	30380.00	31874.40	312687.86	10.29	104.92
PROMEDIO								8.40	85.67

Tabla 2.41. Tabla de resultados de ensayo a compresión de muretes, pruebas experimentales. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.60. Cinco muretes sometidos a ensayo de compresión, Bueno & Pulla, 2024.

1. MURETE M1

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA M1				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	14107.30	
245.00	124.00	240.00		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.024	439.00	4305.14	0.14	0.0001
0.047	617.10	6051.71	0.20	0.0002
0.071	835.70	8195.46	0.27	0.0003
0.094	1059.60	10391.18	0.34	0.0004
0.118	1325.00	12993.88	0.43	0.0005
0.141	1589.50	15587.75	0.51	0.0006
0.165	2041.40	20019.40	0.66	0.0007
0.189	3030.10	29715.28	0.98	0.0008
0.212	4545.00	44571.45	1.47	0.0009
0.236	6146.00	60271.98	1.98	0.0010
0.259	7923.20	77700.45	2.56	0.0011
0.283	10030.60	98367.09	3.24	0.0012
0.306	12170.20	119349.50	3.93	0.0013
0.330	14460.20	141806.84	4.67	0.0014
0.354	16626.20	163048.16	5.37	0.0015
0.377	17956.80	176096.95	5.80	0.0016
0.401	19395.10	190201.93	6.26	0.0017
0.424	20833.90	204311.81	6.73	0.0018
0.448	21938.30	215142.33	7.08	0.0019
0.471	22522.90	220875.32	7.27	0.0020
0.495	22913.00	224700.92	7.40	0.00206
0.499	22952.00	225083.38	7.41	0.00208

Tabla 2.42. Resultados experimentales esfuerzo y deformación M1. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.61. Gráfica experimental esfuerzo y deformación M1. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA M1				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	14107.30	
245.00	124.00	240.00		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.024	1514.90	14856.17	0.49	0.0001
0.047	3115.90	30556.70	1.01	0.0002
0.071	4893.10	47985.16	1.58	0.0003
0.094	7000.50	68651.80	2.26	0.0004
0.118	9140.10	89634.22	2.95	0.0005
0.141	11430.10	112091.56	3.69	0.0006
0.165	13596.10	133332.87	4.39	0.0007
0.189	14926.70	146381.67	4.82	0.0008
0.212	16365.00	160486.65	5.28	0.0009
0.236	17803.80	174596.53	5.75	0.0010
0.259	18908.20	185427.04	6.10	0.0011
0.283	19492.80	191160.04	6.29	0.0012
0.306	19882.90	194985.64	6.42	0.00128
0.311	19921.90	195368.10	6.43	0.0013

Tabla 2.43. Resultados analíticos esfuerzo y deformación M1. Bueno & Pulla, 2024.

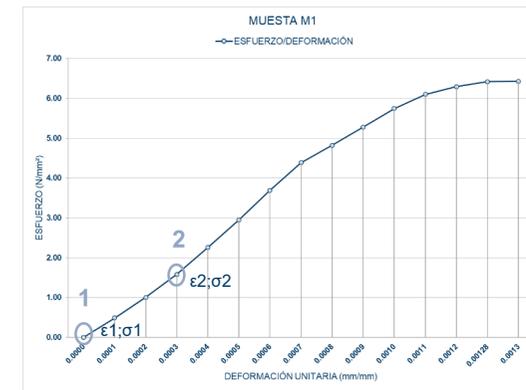


Figura 2.62. Gráfica analítica esfuerzo y deformación M1. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 5360.09 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.63. Muestra M1. Bueno & Pulla, 2024.

2. MURETE M2

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA M2				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
244.00	123.00	244.00	14346.10	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.026	412.00	4040.36	0.13	0.0001
0.052	565.80	5548.63	0.18	0.0002
0.078	815.60	7998.34	0.27	0.0003
0.104	1030.70	10107.77	0.34	0.0004
0.130	1208.90	11855.32	0.40	0.0005
0.156	1576.90	15464.19	0.52	0.0006
0.182	2139.80	20984.38	0.70	0.0007
0.208	3290.90	32272.87	1.08	0.0009
0.234	5000.20	49035.46	1.63	0.0010
0.260	7170.90	70322.87	2.34	0.0011
0.286	9618.10	94321.82	3.14	0.0012
0.311	12375.30	121360.85	4.04	0.0013
0.337	14764.90	144794.94	4.82	0.0014
0.363	17217.50	168846.86	5.63	0.0015
0.389	19560.40	191822.97	6.39	0.0016
0.415	21909.60	214860.87	7.16	0.0017
0.441	23952.30	234893.02	7.83	0.0018
0.467	25061.90	245774.53	8.19	0.0019
0.476	25174.70	246880.73	8.23	0.0020

Tabla 2.44. Resultados experimentales esfuerzo y deformación M2. Bueno & Pulla, 2024.

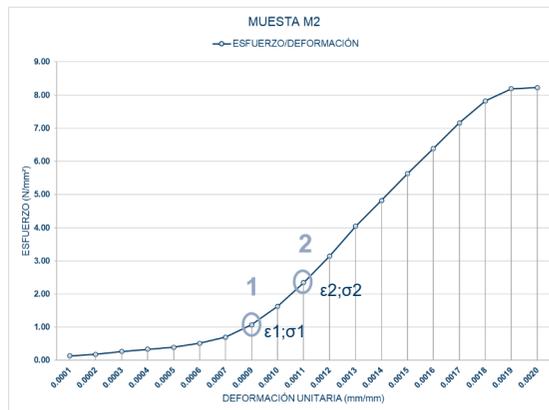


Figura 2.64. Gráfica experimental esfuerzo y deformación M2. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA M2				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
244.00	123.00	244.00	14346.10	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.026	1709.30	16762.59	0.56	0.0001
0.052	3880.00	38050.00	1.27	0.0002
0.078	6327.20	62048.95	2.07	0.0003
0.104	9084.40	89087.99	2.97	0.0004
0.130	11474.00	112522.08	3.75	0.0005
0.156	13926.60	136573.99	4.55	0.0006
0.182	16269.50	159550.11	5.32	0.0007
0.208	18618.70	182588.01	6.08	0.0009
0.234	20661.40	202620.15	6.75	0.0010
0.260	21771.00	213501.67	7.11	0.00106
0.269	21883.80	214607.86	7.15	0.0011

Tabla 2.45. Resultados analíticos esfuerzo y deformación M2. Bueno & Pulla, 2024.

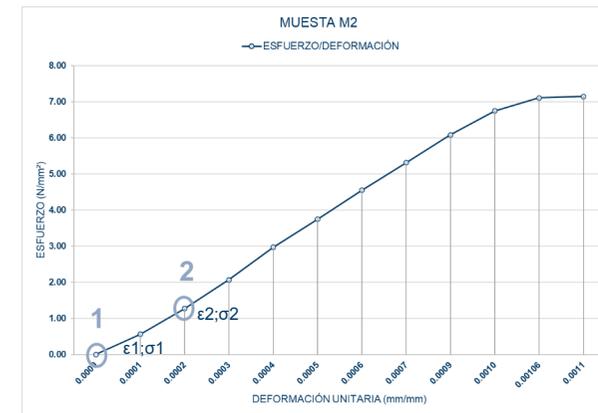


Figura 2.65. Gráfica analítica esfuerzo y deformación M2. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 5958.91 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.66. Muestra M2. Bueno & Pulla, 2024.

3. MURETE M3

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA M3				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	14857.10	
244.00	123.00	247.00		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.016	372.70	3654.96	0.12	0.0001
0.033	508.10	4982.78	0.17	0.0001
0.049	635.40	6231.18	0.21	0.0002
0.066	811.30	7956.18	0.27	0.0003
0.082	952.40	9339.90	0.31	0.0003
0.099	1122.00	11003.12	0.37	0.0004
0.115	1333.90	13081.16	0.44	0.0005
0.132	1633.40	16018.26	0.53	0.0005
0.148	2333.10	22880.01	0.76	0.0006
0.164	3262.50	31994.36	1.07	0.0007
0.181	4256.90	41746.14	1.39	0.0007
0.197	5540.00	54329.12	1.81	0.0008
0.214	6864.50	67318.09	2.24	0.0009
0.230	7820.90	76697.22	2.56	0.0009
0.247	9421.30	92391.86	3.08	0.0010
0.263	11027.00	108138.48	3.60	0.0011
0.280	12729.90	124838.31	4.16	0.0011
0.296	14439.20	141600.90	4.72	0.0012
0.312	15452.40	151537.05	5.05	0.0013
0.329	17354.90	170194.30	5.67	0.0013
0.345	19230.10	188583.82	6.28	0.0014
0.362	21194.20	207845.16	6.93	0.0015
0.378	22745.30	223056.33	7.43	0.0015
0.395	24067.70	236024.71	7.86	0.0016
0.411	24839.80	243596.47	8.12	0.00166
0.414	24900.50	244191.73	8.14	0.00166

Tabla 2.46. Resultados experimentales esfuerzo y deformación M3. Bueno & Pulla, 2024.

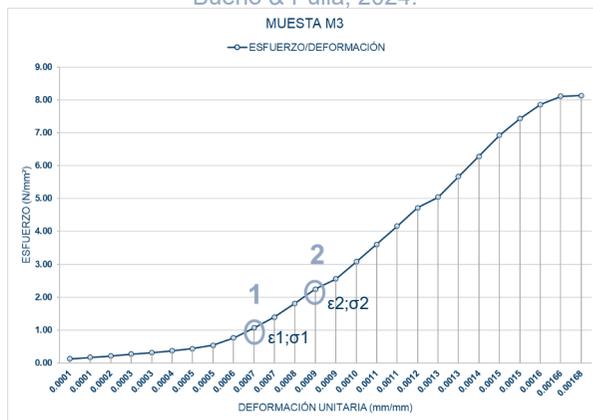


Figura 2.67. Gráfica experimental esfuerzo y deformación M3. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA M3				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	14857.10	
244.00	123.00	247.00		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.016	994.40	9751.78	0.32	0.0001
0.033	2277.50	22334.76	0.74	0.0001
0.049	3602.00	35323.73	1.18	0.0002
0.066	4558.40	44702.86	1.49	0.0003
0.082	6158.80	60397.50	2.01	0.0003
0.099	7764.50	76144.12	2.54	0.0004
0.115	9467.40	92843.95	3.09	0.0005
0.132	11176.70	109606.54	3.65	0.0005
0.148	12189.90	119542.69	3.98	0.0006
0.164	14092.40	138199.94	4.80	0.0007
0.181	15967.60	156589.46	5.22	0.0007
0.197	17931.70	175850.80	5.86	0.0008
0.214	19482.80	191061.97	6.37	0.0009
0.230	20805.20	204030.35	6.80	0.0009
0.247	21577.30	211602.11	7.05	0.0010
0.250	21638.00	212197.37	7.07	0.00101

Tabla 2.47. Resultados analíticos esfuerzo y deformación M3. Bueno & Pulla, 2024.

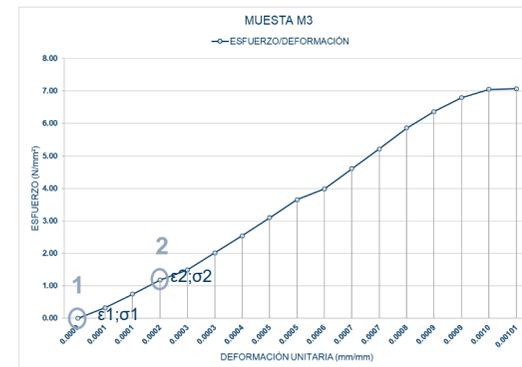


Figura 2.68 Gráfica analítica esfuerzo y deformación M3. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 5891.96 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.69. Muestra M3. Bueno & Pulla, 2024.

4. MURETE M4

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN MUESTRA M4				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
245.00	124.00	245.00	14833.90	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.025	452.00	4432.63	0.15	0.0001
0.050	651.40	6388.08	0.21	0.0002
0.075	928.60	9106.50	0.30	0.0003
0.100	1293.90	12688.89	0.42	0.0004
0.125	1523.00	14935.60	0.49	0.0005
0.150	1991.10	19526.12	0.64	0.0006
0.175	2606.50	25561.16	0.84	0.0007
0.200	3630.20	35600.28	1.17	0.0008
0.225	5429.80	53248.42	1.75	0.0009
0.250	7202.90	70636.68	2.33	0.0010
0.275	9102.00	89260.58	2.94	0.0011
0.300	11304.10	110855.92	3.65	0.0012
0.325	13509.30	132481.65	4.36	0.0013
0.350	15706.50	154028.93	5.07	0.0014
0.375	17583.70	172438.07	5.68	0.0015
0.400	18999.30	186320.44	6.13	0.0016
0.425	20621.20	202225.92	6.66	0.0017
0.450	22216.50	217870.55	7.17	0.0018
0.475	23435.10	229821.00	7.56	0.0019
0.500	24243.80	237751.67	7.83	0.0020
0.525	24606.60	241309.54	7.94	0.0021
0.528	24620.40	241444.88	7.95	0.0022

Tabla 2.48. Resultados experimentales esfuerzo y deformación M4. Bueno & Pulla, 2024.

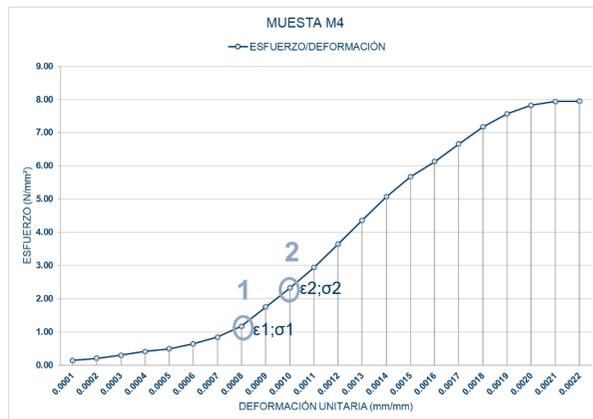


Figura 2.70. Gráfica experimental esfuerzo y deformación M4. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN MUESTRA M4				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm		
245.00	124.00	245.00	14833.90	
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.025	1799.60	17648.14	0.58	0.0001
0.050	3572.70	35036.40	1.15	0.0002
0.075	5471.80	53660.30	1.77	0.0003
0.100	7673.90	75255.64	2.48	0.0004
0.125	9879.10	96881.37	3.19	0.0005
0.150	12076.30	118428.65	3.90	0.0006
0.175	13953.50	136837.79	4.50	0.0007
0.200	15369.10	150720.15	4.96	0.0008
0.225	16991.00	166625.64	5.48	0.0009
0.250	18586.30	182270.27	6.00	0.0010
0.275	19804.90	194220.71	6.39	0.0011
0.300	20613.60	202151.39	6.65	0.0012
0.325	20976.40	205709.26	6.77	0.0013
0.328	20990.20	205844.59	6.78	0.00134

Tabla 2.49. Resultados analíticos esfuerzo y deformación M4. Bueno & Pulla, 2024.

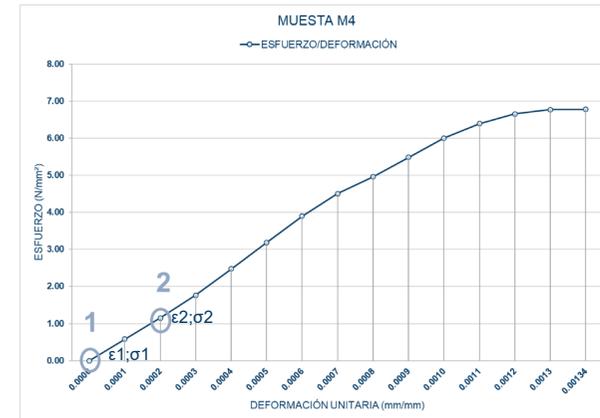


Figura 2.71. Gráfica analítica esfuerzo y deformación M4. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 5646.42 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.72. Muestra M4. Bueno & Pulla, 2024.

5. MURETE M5

Datos experimentales

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA M5				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	14122.20	
245.00	124.00	236.00		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.013	433.90	4255.13	0.14	0.0001
0.026	636.20	6239.02	0.21	0.0001
0.039	862.90	8462.20	0.28	0.0002
0.053	1148.20	11260.05	0.37	0.0002
0.066	1489.90	14611.00	0.48	0.0003
0.079	1946.00	19083.84	0.63	0.0003
0.092	2554.60	25052.20	0.82	0.0004
0.105	3385.00	33195.68	1.09	0.0004
0.118	4622.40	45330.49	1.49	0.0005
0.131	6029.70	59131.46	1.95	0.0006
0.145	7972.00	78179.01	2.57	0.0006
0.158	10106.00	99106.51	3.26	0.0007
0.171	12630.00	123858.62	4.08	0.0007
0.184	15270.70	149755.17	4.93	0.0008
0.197	17906.80	175606.62	5.78	0.0008
0.210	20432.60	200376.38	6.60	0.0009
0.223	23089.80	226434.74	7.45	0.0009
0.237	25424.20	249327.50	8.21	0.0010
0.250	27580.80	270476.63	8.90	0.0011
0.263	29302.10	287356.90	9.46	0.0011
0.276	30492.10	299026.88	9.84	0.0012
0.289	31327.50	307219.39	10.11	0.0012
0.304	31874.40	312582.68	10.29	0.0013

Tabla 2.50. Resultados experimentales esfuerzo y deformación M5. Bueno & Pulla, 2024.

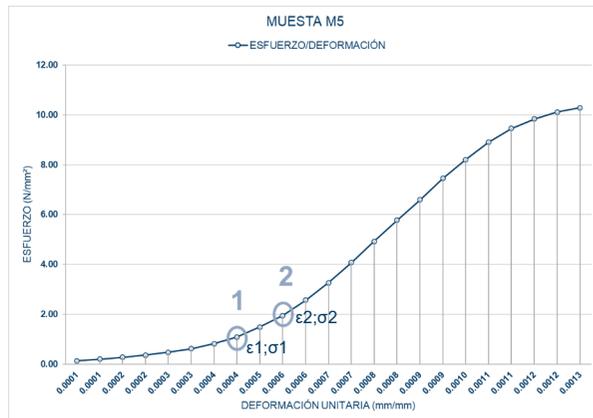


Figura 2.73. Gráfica experimental esfuerzo y deformación M5. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN				
MUESTRA M5				
DIMENSIONES			PESO (g)	
LARGO (l) mm	ANCHO (a) mm	ALTURA (h) mm	14122.20	
245.00	124.00	236.00		
DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.0000
0.013	1237.40	12134.81	0.40	0.0001
0.026	2644.70	25935.78	0.85	0.00011
0.039	4587.00	44983.33	1.48	0.0002
0.053	6721.00	65910.83	2.17	0.0002
0.066	9245.00	90662.94	2.98	0.0003
0.079	11885.70	116559.49	3.84	0.0003
0.092	14521.80	142410.94	4.69	0.0004
0.105	17047.60	167180.70	5.50	0.0004
0.118	19704.80	193239.06	6.36	0.0005
0.131	22039.20	216131.82	7.11	0.0006
0.145	24195.80	237280.95	7.81	0.0006
0.158	25917.10	254161.22	8.37	0.0007
0.171	27107.10	265831.20	8.75	0.0007
0.184	27942.50	274023.71	9.02	0.0008
0.199	28489.40	279387.00	9.20	0.00084

Tabla 2.51. Resultados analíticos esfuerzo y deformación M5. Bueno & Pulla, 2024.

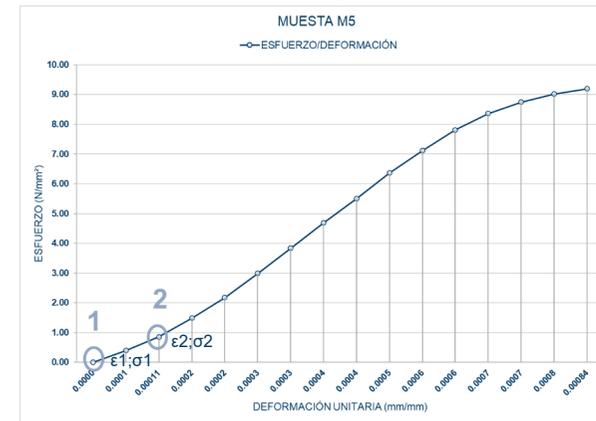


Figura 2.74. Gráfica analítica esfuerzo y deformación M5. Bueno & Pulla, 2024.

Módulo elástico

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = 7663.61 \text{ N/mm}^2$$



Figura 2.75. Muestra M5. Bueno & Pulla, 2024.

RESULTADOS ENSAYO MURETES A COMPRESIÓN

Como resultados de cada una de los muretes de ladrillo y mortero, tenemos el módulo elástico (E), deformación unitaria máxima (ϵ_p), y el esfuerzo a compresión máximo (f_m).

Datos experimentales

La tabla 2.52, muestra los resultados experimentales como la media (\bar{x}) del módulo elástico en 6104.20 N/mm², de la deformación unitaria en 0.0017 mm/mm, del esfuerzo máximo a compresión en 8.24 N/mm², luego calculamos la desviación estándar (S), para encontrar el coeficiente de variación (COV), esto para ver la confiabilidad de los datos, y como podemos apreciar los resultados están por debajo del 25%.

MURETES A COMPRESIÓN			
MUESTRA	E (N/mm ²)	ϵ_p (mm/mm)	f_m (N/mm ²)
M1	5360.09	0.0021	7.41
M2	5958.91	0.0020	8.23
M3	5891.96	0.0013	8.14
M4	5646.42	0.0022	7.95
M5	7663.61	0.0013	10.29
\bar{x}	6104.20	0.0017	8.40
S	902.94	0.00	1.10
COV	0.15	0.25	0.13

Tabla 2.52. Resultados experimentales de muretes, modulo elástico, esfuerzo max, deformación unitaria max. Bueno & Pulla, 2024.

Datos analíticos

La tabla 2.53, muestra los resultados analíticos como la media (\bar{x}) del módulo elástico en 6104.20 N/mm² no existiendo variación debido que es la pendiente y es constante en la zona elástica, de la deformación unitaria

en 0.0011 mm/mm, del esfuerzo máximo a compresión en 7.32 N/mm², luego calculamos la desviación estándar (S), para encontrar el coeficiente de variación (COV), esto para ver la confiabilidad de los datos, y como podemos apreciar los resultados están por debajo del 18%.

MURETES A COMPRESIÓN			
MUESTRA	E (N/mm ²)	ϵ_p (mm/mm)	f_m (N/mm ²)
M1	5360.09	0.0013	6.43
M2	5958.91	0.0011	7.15
M3	5891.96	0.0010	7.07
M4	5646.42	0.0013	6.78
M5	7663.61	0.0008	9.20
\bar{x}	6104.20	0.0011	7.32
S	902.94	0.00	1.08
COV	0.15	0.18	0.15

Tabla 2.53. Resultados analíticos de muretes modulo elástico, esfuerzo max, deformación unitaria max. Bueno & Pulla, 2024.

2.8.4. CÁLCULOS ENSAYO DE ESFUERZO A CORTANTE EN MURETES DE LADRILLO PANELÓN.

Una vez realizado las pruebas a cortante en el laboratorio a los 5 muretes conformados por ladrillo panelón desplazados a L/2 y juntas de mortero de 1 cm, se procede a realizar los cálculos para encontrar el esfuerzo de adherencia y el tipo de falla.

Para realizar los cálculos se debe constar con los siguientes datos:

- Características geométricas largo, ancho, altura y las juntas del cada murete.
- Área de contacto del mortero de las dos juntas del murete.
- Carga que se aplicada cada 0.254 mm de la deformación del murete hasta llegar a la carga máxima de rotura.



Figura 2.76. Cinco muretes sometidos a ensayo de esfuerzo a cortante. Bueno & Pulla, 2024.

1. Murete M1

Datos experimentales

TABLA ESFUERZO DE ADHERENCIA				
MUESTA M1				
DIMENSIONES				
LARGO (L) (mm)	ANCHO (a) (mm)	ALTURA (h) (mm)	JUNTA 1 (mm)	JUNTA 2 (mm)
250.60	123.00	376.00	11.00	13.00
DEFORMACIÓ N (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO DE ADHERENCIA (N/mm ²)	TIPO DE FALLO
0.00	0.00	0.00	0.00	JUNTA
0.25	567.10	5563.25	0.18	
0.51	984.50	9657.95	0.31	
0.57	1088.30	10676.22	0.35	

Tabla 2.54. Resultados esfuerzo de adherencia M1. Bueno & Pulla, 2024.

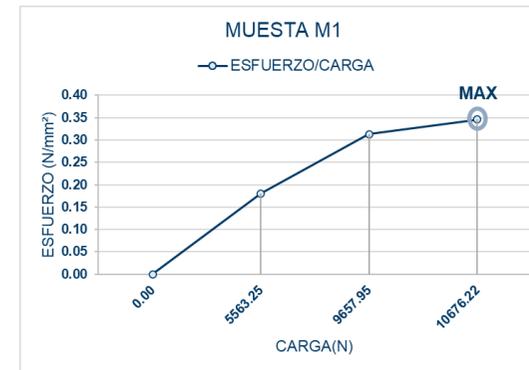


Figura 2.77. Gráfica esfuerzo y carga M1. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.78. Murete M1 y carga máxima. Bueno & Pulla, 2024.

2. Murete M2

Datos experimentales

TABLA ESFUERZO DE ADHERENCIA				
MUESTA M2				
DIMENSIONES				
LARGO (L) (mm)	ANCHO (a) (mm)	ALTURA (h) (mm)	JUNTA 1 (mm)	JUNTA 2 (mm)
240.60	125.00	370.00	15.00	11.00
DEFORMACIÓ N (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO DE ADHERENCIA (N/mm ²)	TIPO DE FALLO
0.00	0.00	0.00	0.00	JUNTA
0.21	680.00	6670.80	0.22	

Tabla 2.55. Resultados esfuerzo de adherencia M2. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.79. Gráfica esfuerzo y carga M2. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.80. Murete M2 y carga máxima. Bueno & Pulla, 2024.

3. Murete M3

Datos experimentales

TABLA ESFUERZO DE ADHERENCIA				
MUESTA M3				
DIMENSIONES				
LARGO (L) (mm)	ANCHO (a) (mm)	ALTURA (h) (mm)	JUNTA 1 (mm)	JUNTA 2 (mm)
248.00	123.00	372.00	15.00	14.00
DEFORMACIÓ N (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	TIPO DE FALLO
0.00	0.00	0.00	0.00	JUNTA
0.25	687.90	6748.30	0.22	
0.41	993.00	9741.33	0.32	

Tabla 2.56. Resultados esfuerzo de adherencia M3. Bueno & Pulla, 2024.

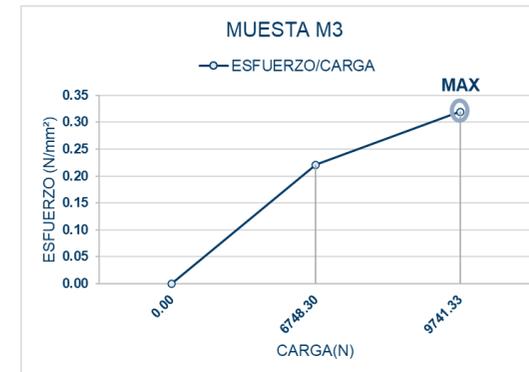


Figura 2.81. Gráfica esfuerzo y carga M3. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.82. Murete M3 y carga máxima. Bueno & Pulla, 2024.

4. Murete M4

Datos experimentales

TABLA ESFUERZO DE ADHERENCIA				
MUESTA M4				
DIMENSIONES				
LARGO (L) (mm)	ANCHO (a) (mm)	ALTURA (h) (mm)	JUNTA 1 (mm)	JUNTA 2 (mm)
249.00	125.00	374.00	11.00	15.00
DEFORMACIÓ N (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	TIPO DE FALLO
0.00	0.00	0.00	0.00	JUNTA
0.25	682.60	6696.31	0.22	
0.45	1128.10	11066.66	0.36	

Tabla 2.57. Resultados esfuerzo de adherencia M4. Bueno & Pulla, 2024.

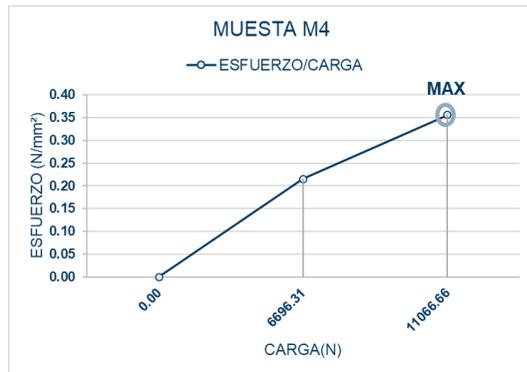


Figura 2.83. Gráfica esfuerzo y carga M4. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.84. Murete M4 y carga máxima. Bueno & Pulla, 2024.

5. Murete M5

Datos experimentales

TABLA ESFUERZO DE ADHERENCIA				
MUESTA M5				
DIMENSIONES				
LARGO (L) (mm)	ANCHO (a) (mm)	ALTURA (h) (mm)	JUNTA 1 (mm)	JUNTA 2 (mm)
241.30	124.00	362.00	16.00	10.00
DEFORMACIÓ N (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	TIPO DE FALLO
0.00	0.00	0.00	0.00	JUNTA
0.25	636.90	6247.99	0.21	
0.45	915.50	8981.06	0.30	

Tabla 2.58. Resultados esfuerzo de adherencia M5. Bueno & Pulla, 2024.

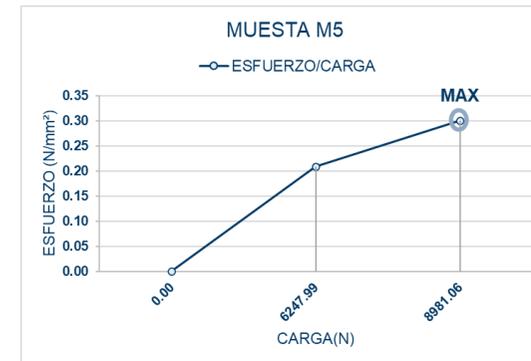


Figura 2.85. Gráfica esfuerzo y carga M5. Bueno & Pulla, 2024.



Figura 2.86. Murete M5 y carga máxima. Bueno & Pulla, 2024.

RESULTADOS ENSAYO MURETES A CORTANTE

Como resultados de cada una de las muestras tenemos el esfuerzo de adherencia máximo, (ver tabla 2.59).

La tabla 2.59, muestra los resultados experimentales como la media (\bar{x}) del esfuerzo de adherencia de 0.31 N/mm², luego calculamos la desviación estándar (S), para encontrar el coeficiente de variación (COV), esto para ver la confiabilidad de los datos, y como podemos apreciar los resultados están por debajo del 17%.

Datos experimentales

MURETES A ESFUERZO DE ADHERENCIA	
MUESTRA	ESFUERZO DE ADHERENCIA (N/mm ²)
M1	0.35
M2	0.22
M3	0.32
M4	0.36
M5	0.30
\bar{x}	0.31
S	0.05
COV	0.17

Tabla 2.59. Resultados esfuerzo de adherencia de ensayos a cortante. Bueno & Pulla, 2024.

**MODELACIÓN NUMÉRICA DE
PAREDES TÍPICAS DE
EDIFICACIONES CONFINADAS**

3

3.1 VALIDACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Para determinar las propiedades del ladrillo panelón, específicamente la resistencia a la compresión y la deformación máxima, se realizaron pruebas experimentales descritas en el Capítulo 2. Los resultados de estas pruebas se utilizarán como datos para el modelado posterior, la resistencia a la compresión media obtenida fue de 14.39 MPa, con una mediana de 14.36 MPa. La desviación estándar fue de 1.72 MPa y el coeficiente de variación del 12%.

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de compresión sobre cubos de mortero exhiben una consistencia uniforme. La resistencia a la compresión media fue 16.49 MPa, con una mediana de 16.42 MPa. La desviación estándar obtenida fue de 0.96 MPa y el coeficiente de variación del 6%.

Para definir las funciones de densidad de probabilidad (PDF), además de obtener resultados de resistencia a la compresión y deformaciones correspondientes durante el proceso de micro modelado y simulación más adelante, se utilizaron los siguientes parámetros estadísticos: Módulo de elasticidad (E), relación de Poisson (ν), resistencia a la tracción (f_t), energía de fractura por tracción (G_t), resistencia elástica a la compresión (f_{c0}), resistencia máxima a la compresión (f_c), fuerza residual a la compresión (f_r), energía de fractura por compresión (G_c), deformación en la fuerza máxima de compresión (ϵ_p), factor de resistencia biaxial (k_b) y factor de reducción de compresión por corte (k_1).

En un siguiente capítulo mediante el Método de Elementos Finitos (MEF) utilizando un modelo de daño, el cual será descrito en detalle posteriormente permitirán caracterizar la respuesta y estimar la resistencia del Elemento de Volumen Representativo (RVE) sometido a fuerzas de compresión, tracción y corte. Los resultados de estos análisis serán clave

para entender el comportamiento de la mampostería bajo diferentes estados de carga y validar las propiedades efectivas. El modelo de daño empleado capturará adecuadamente el agrietamiento del material ante cargas complementando los estudios experimentales y caracterizar completamente el comportamiento mecánico de la mampostería.

Yassin M. (1994) en su publicación *Nonlinear analysis of prestressed concrete structures under monotonic and cyclic loads*, emplea la siguiente ecuación para estimar el módulo de Young de ladrillos y mortero:

$$E = \frac{2 f_c}{\epsilon_p}$$

Ecuación 7. Formula Modulo de Young. Yassim M, 1994.

La cual además se utilizará para encontrar la deformación en la fuerza máxima de compresión.

La relación de Poisson se define en un valor de $\nu = 0.17$ para ladrillos macizos (panelón) y $\nu = 0.20$ para mortero, valores propuestos por Nichols(1997), Page A.W (1981), Pande GN., Liang JX., and Middleton J. (1989), en sus publicaciones.

El valor para la resistencia a la tracción de los ladrillos y el mortero en función de la resistencia a la compresión son elegidos después de analizar las publicaciones de Schubert P. (1998), quien propone un valor de $0.07 f_c$ promedio, y una desviación estándar de $0.007 f_c$. La resistencia elástica a la compresión del ladrillo f_{c0b} y del mortero f_{c0m} , y las resistencias residuales a compresión del ladrillo f_{rb} y el mortero f_{rm} son definidas como $1/3$ y $1/10$ de su correspondiente resistencia a la compresión.

Las energías de fractura se toman a partir de las publicaciones de Lourenco, P.B., and Milani, G. (2014), Lourenco, P.B., Almeida, P.B., and

Barros, J. (2005), Vasconcelos, G., Lourenco, P.B., Alves, C.A.S., and Pamplona, J. (2008) donde proponen que estas se tomen como funciones de resistencia a la compresión y se estimen como relación entre la resistencia y energía (índice de ductilidad), sugieren valores de $G_c = 1.6 f_c$ y $G_t = 0.029 f_t$.

Para los valores de la resistencia a la compresión biaxial k_b y factor de reducción de compresión por corte k_1 se utiliza la tabla 3.01, propuesta por Lourenco, P.B. (1996), Petracca M., Pela L. Rossi, R., Oller, S., Camata, G., And Spacone E. (2017).

Element	k_b [-]	k_1 [-]
Hollow brick	1.10	0
Solid brick	1.10	0
Mortar	1.10	0.20

Tabla 3.01. Relación entre k_b y k_1 . Elaborado a partir de Petracca 2023 (pg 16). Bueno & Pulla, 2024.

3.2 MICRO-MODELACIÓN DEL ELEMENTO TIPO RVE, MODELO DE DAÑO.

Micro modelo de daño

El micro modelado es una técnica que permite simular el comportamiento de materiales complejos considerando su micro estructura. Este enfoque requiere incorporar información detallada de las propiedades de los materiales obtenida mediante técnicas experimentales. Una vez que se define la micro estructura del material, se realizan simulaciones numéricas de su respuesta ante diferentes tipos de carga y condiciones. Los resultados de estas simulaciones se pueden validar comparándolos con datos experimentales. La ventaja del micro modelado es que capta los mecanismos fundamentales que gobiernan el comportamiento a nivel macro del material a partir de su composición y estructura interna. De esta manera, permite entender y predecir la respuesta efectiva del material de una forma más realista.

Estrategias de micro modelado para estructuras de mampostería

La mampostería se considera un material heterogéneo debido a que su micro estructura está formada por ladrillos y juntas de mortero con propiedades mecánicas y disposición geométrica variables. Esta heterogeneidad genera comportamientos complejos y diversos mecanismos de falla. Por ello, se propone un método de modelado a nivel micro capaz de representar el comportamiento mecánico de la mampostería. Este micro modelo discretiza tanto las unidades de ladrillo como las juntas de mortero utilizando elementos continuos. Además, incorpora un modelo de daño continuo en tensión-compresión para reproducir con precisión la respuesta no lineal de la mampostería ante corte además aborda la dilatación a través de criterios de falla adecuados.

Dada la complejidad computacional de modelos 3D para ladrillos, juntas y sus interfaces, se plantea una simplificación 2D en estado plano de tensión para paredes de una sola capa de ladrillos con patrón regular. Esta suposición reduce la carga computacional sin comprometer la relevancia de los resultados.

Micro modelo continuo 2D

En este enfoque de modelado, tanto las unidades de ladrillo como las juntas de mortero se representan mediante elementos planos continuos 2D con comportamiento no lineal. La no linealidad permite capturar respuestas complejas donde la relación entre estrés y deformación en el material no es constante. El uso de elementos continuos 2D es un enfoque más clásico para garantizar la eficiencia y solidez de las simulaciones numéricas. Además, se implementa una evaluación explícita sin procesos iterativos.

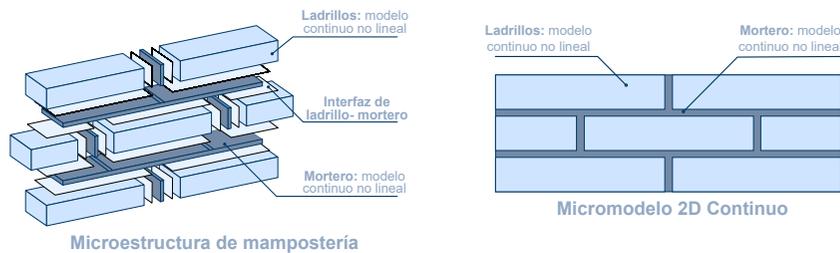


Figura 3.01. Estrategias de modelado de mampostería. Elaborado a partir de Petracca, 2015. (pg 52). Bueno & Pulla, 2024.

Elemento de Volumen Representativo

Los RVE se idealizan como micro modelos con propiedades mecánicas que representan ladrillos y mortero. La resistencia a compresión (f_c) y deformación máxima (E_p) se definen a partir de funciones basadas en datos experimentales siendo cruciales para caracterizar el modelo de daño del material. Para el análisis de los RVE se aplican fuerzas de compresión perpendiculares al plano del mortero obteniendo resultados necesarios

para representar las propiedades ortotrópicas de la mampostería.

Las tensiones y deformaciones promedio de los RVE en régimen elástico e inelástico permiten estimar el módulo de Young (modulo elástico), módulo de cortante, resistencia a compresión y energía de fractura por compresión.

Modelo de Daño

El modelo de daño presentado por Petracca (2016), caracteriza la respuesta de estructuras de mampostería incorporando un efecto unilateral del daño. Este modelo utiliza dos parámetros escalares d_+ y d_- que cuantifican el grado de daño por tracción y compresión respectivamente. Estos parámetros varían entre 0 y 1, donde 0 representa un estado elástico sin daño y 1 indica daño completo.

Criterios de falla

Petracca (2016), introduce dos medidas escalares de tensión equivalente, T_- y T_+ , para identificar las etapas de carga, descarga y recarga bajo estados tensionales multiaxiales. T_- representa la tensión equivalente a compresión, mientras que T_+ representa la tensión equivalente a tracción. Este modelo simula el daño y fractura de materiales bajo presiones y tracciones complejas. Utiliza dos medidas de tensión para distinguir si el material se está cargando, descargando o recargando. Incorpora criterios de falla separados para compresión y tracción, que dependen de las propiedades mecánicas del material.

Leyes de evolución de daño

El modelo simula el daño que sufre un material al ser estirado o comprimido en exceso. Petracca (2016), calcula el daño por tracción d_+ mediante una ecuación exponencial que depende de la energía necesaria para romper el material. Esta ecuación reproduce cómo decae la fuerza después de que el material empieza a agrietarse. Para modelar el daño por compresión d_- , se

utilizan curvas matemáticas llamadas Bézier que se ajustan a los datos experimentales de cómo el material se aplasta. Estas curvas definen cuatro etapas: lineal, endurecimiento, ablandamiento y residual. Sus puntos de control se calibran para coincidir con mediciones reales. Así el modelo replica el comportamiento completo del material, desde la elasticidad inicial hasta la fase residual con daño acumulado.

Definición de RVE

Para definir el elemento RVE a utilizarse se toma en cuenta que este estará formado por ladrillos macizos (panelón) con juntas de mortero, método de construcción utilizado en mayor parte de edificaciones representativas de la ciudad de Cuenca. Las propiedades geométricas utilizadas para representar dichos elementos RVE se definen de tal manera que la réplica y unión de estos se asemejen a un patrón de muro de mampostería típico como se muestra en la figura 3.02. Para la discretización de los elementos tipo RVE se utilizan elementos cuadriláteros de 10mm tanto para ladrillos como juntas de mortero teniendo como resultado una cantidad de 486 nodos y 468 elementos.

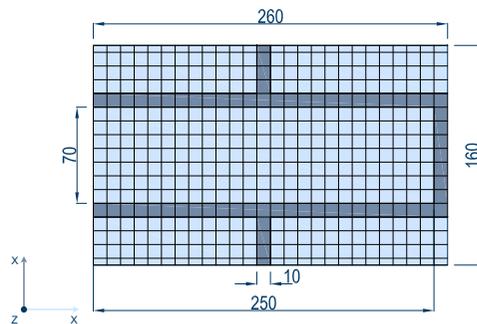


Figura 3.02. Estrategias de modelado de mampostería RVE. Elaborado a partir de Petracca, 2015. (pg 52). Bueno & Pulla, 2024.

3.3 MICRO-MODELACIÓN DE PAREDES TÍPICAS CON MAMPOSTERÍA DE LADRILLO PANELÓN.

Para el análisis RVE se modelaron 5 muestras de muros compuestos por ladrillos panelón con juntas de mortero (figura 3.03). Estas muestras se modelaron utilizando el software AutoCAD construyendo sólidos considerando que cada elemento de ladrillo, como las juntas de mortero, se realiza de manera independiente. Las dimensiones de las muestras a modelar son similares a las de los especímenes ensayados experimentalmente en la sección 2.7.3. Posteriormente, estas muestras se importaron en formato .igs para análisis posteriores.

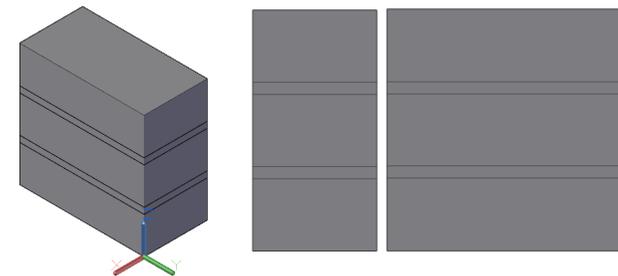


Figura 3.03. Modelo M1. Muro compuesto (Murete) de ladrillo panelón con junta de mortero. Bueno & Pulla, 2024.

Estos modelos se analizan con compilaciones de OpenSees utilizando el software STKO. Las simulaciones del RVE sirven como punto de partida para caracterizar el comportamiento del material ladrillo-mortero que conforma los muros. Las muestras se someten a fuerzas de compresión simuladas dentro de dicho software con el objetivo de definir las propiedades del material.

Para el proceso de simulación los nodos base del murete se fijan en las direcciones de los ejes X, Y, y Z, mientras que los nodos y cara superior se le asigna una carga vertical distribuida en el eje Z con la cual llegue a

La carga inicial a compresión es de -1 N/mm aumentando progresivamente la hasta cumplir 100 pasos de simulación logrando generar la resistencia máxima a compresión y comportamientos de ablandamiento, se asigna un desplazamiento máximo de -3 mm a excepción de la muestra 4 (M4) para la cual se utiliza un desplazamiento máximo de -5 mm .

Para el análisis se asume condiciones de esfuerzo plano y utilizan un método de penalización para imponer restricciones, el equilibrio se alcanza en cada paso utilizando el método de iteración Krylov-Newton. La tolerancia hasta comprobar una convergencia es de 0.001.

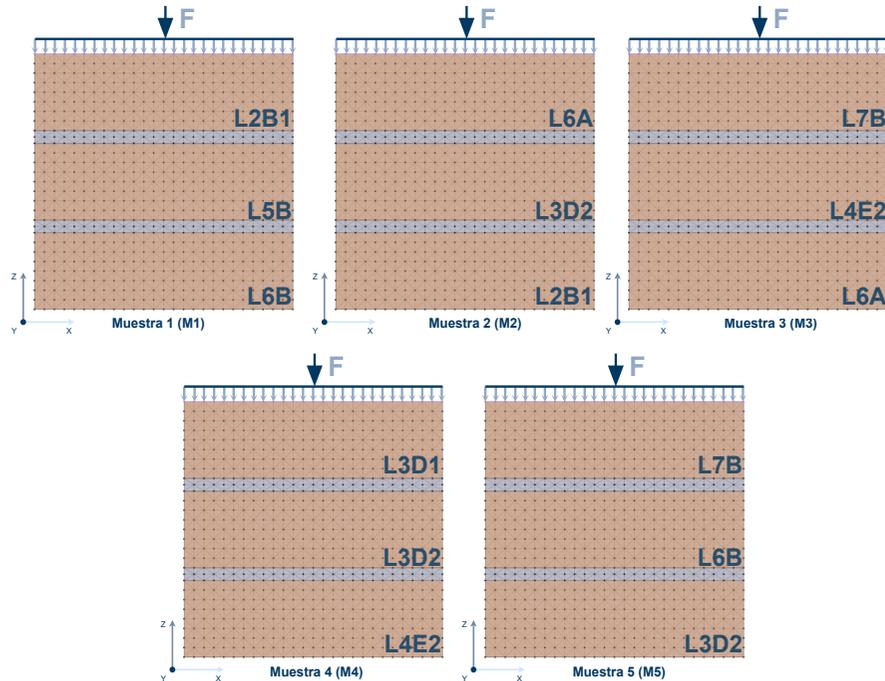


Figura 3.04. Esquema de modelado de 5 muretes, condiciones de contorno para ladrillos panelón bajo fuerzas linealmente distribuidas a compresión, propiedades asignadas a ladrillos panelón. Bueno & Pulla, 2024.

Las propiedades que se asignan para cada ladrillo que conforma la muestra (murete) son elegidos por combinaciones aleatorias como se muestra en la figura 3.02 tomados de los resultados de compresión experimental a mitades de ladrillo elaborados en la sección 2.8.1, para las juntas de mortero se toma la resistencia máxima experimental y modulo elástico calculado para cubos de mortero encontrados en la sección 2.8.2.

M1								
MUESTRA	fcp (N/mm ²)	E (N/mm ²)	fco (N/mm ²)	fcr (N/mm ²)	ft (N/mm ²)	ep (mm/mm)	Gt (N/mm)	Gc (N/mm)
L2B1	6.33	6315.76	1.266	0.633	0.7913	0.002004509	0.02295	10.13
L5B	5.98	5960.47	1.196	0.598	0.7475	0.002006553	0.02168	9.568
L6B	7.21	7184.29	1.442	0.721	0.9012	0.002007157	0.02614	11.54

M2								
MUESTRA	fcp (N/mm ²)	E (N/mm ²)	fco (N/mm ²)	fcr (N/mm ²)	ft (N/mm ²)	ep (mm/mm)	Gt (N/mm)	Gc (N/mm)
L6A	7.54	6888.17	1.508	0.754	0.9425	0.002189261	0.02733	12.06
L3D2	6.34	5789.47	1.268	0.634	0.7925	0.002190183	0.02298	10.14
L2B1	6.91	6315.76	1.382	0.691	0.8638	0.002188177	0.02505	11.06

M3								
MUESTRA	fcp (N/mm ²)	E (N/mm ²)	fco (N/mm ²)	fcr (N/mm ²)	ft (N/mm ²)	ep (mm/mm)	Gt (N/mm)	Gc (N/mm)
L7B	7.02	7210.52	1.404	0.702	0.8775	0.001947155	0.02545	11.23
L4E2	6.67	6855.32	1.334	0.667	0.8337	0.001945934	0.02418	10.67
L6A	6.7	6888.17	1.34	0.67	0.8375	0.001945364	0.02429	10.72

M4								
MUESTRA	fcp (N/mm ²)	E (N/mm ²)	fco (N/mm ²)	fcr (N/mm ²)	ft (N/mm ²)	ep (mm/mm)	Gt (N/mm)	Gc (N/mm)
L3D1	6.30	4710.55	1.26	0.63	0.7875	0.002674847	0.02284	10.08
L3D2	7.75	5789.47	1.55	0.775	0.9688	0.002677274	0.02809	12.4
L4E2	9.17	6855.32	1.834	0.917	1.146	0.002675295	0.03324	14.67

M5								
MUESTRA	fcp (N/mm ²)	E (N/mm ²)	fco (N/mm ²)	fcr (N/mm ²)	ft (N/mm ²)	ep (mm/mm)	Gt (N/mm)	Gc (N/mm)
L7B	9.54	7210.52	1.908	0.954	1.192	0.002646134	0.03458	15.26
L6B	9.50	7184.29	1.9	0.95	1.188	0.002644659	0.03444	15.2
L3D2	7.66	5789.47	1.532	0.766	0.9575	0.002646184	0.02777	12.26

Tabla 3.02. Propiedades de materiales muretes M1 a M5 ajustadas. Bueno & Pulla, 2024.

De estos resultados se toma el límite de compresión (f_c) y el módulo elástico (E) tanto de ladrillos como de mortero y a partir de estos se calcula con la ayuda de expresiones matemáticas en el software Matlab la resistencia elástica a la compresión (f_{c0}), fuerza residual a la compresión (f_{cr}), resistencia a la tracción (f_t), deformación en la fuerza máxima de compresión (ϵ_p), energía de fractura por tracción (G_t) y energía de fractura por compresión (G_c), cabe recalcar que los métodos, formulas y relaciones para encontrar estos parámetros se mencionan en la sección 3.1.

Las simulaciones realizadas a partir de estas propiedades necesitan ser ajustadas ya que los valores resultantes de la simulación se alejan de los resultados analíticos experimentales obtenidos en la sección 2.8.3, el ajuste de propiedades se realiza con la ayuda del software Matlab a partir del límite de compresión (f_c) y el módulo elástico (E), reduciendo a estos valores el porcentaje de exceso hasta llegar a obtener un porcentaje de variación no mayor al 5% con la pendiente inicial obteniendo las propiedades de los materiales mostrados en la Tabla 3.02 para cada elemento que conforma la muestra.

El tiempo de ejecución de la simulación para cada muestra varía según la resistencia máxima a compresión alcanzada en resultados experimentales, teniendo como promedio 30 minutos, utilizando un ordenador con procesador i7-10750H (2,6 GHz) y 16 GB de memoria RAM. Las gráficas resultantes de las simulaciones se presentan a continuación.

MUESTRA M1 (MURETE M1)

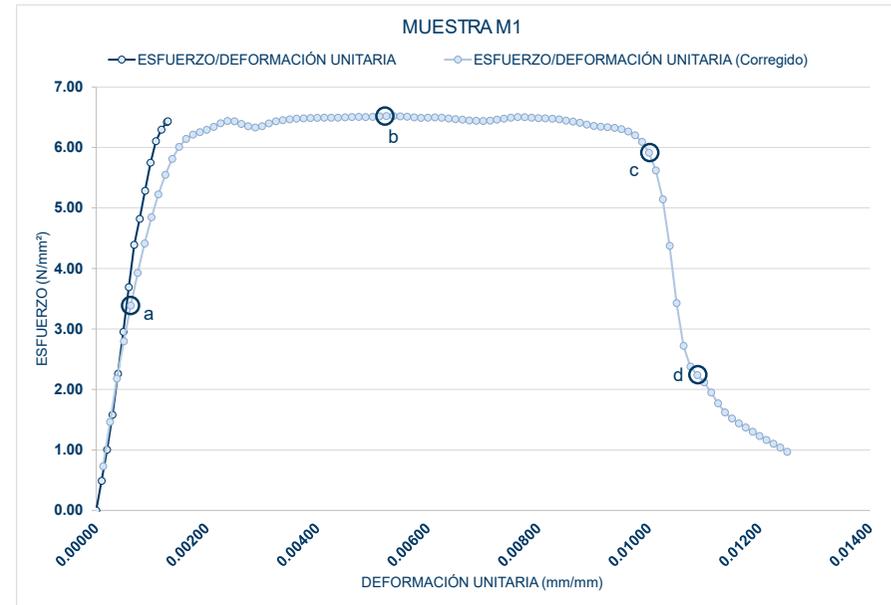


Figura 3.05. Curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental (azul), simulación corregida (celeste). Puntos superpuestos en la curva donde se muestra cambio en la respuesta del murete M1. Bueno & Pulla, 2024.

En la figura 3.05, se presenta la curva Esfuerzo/Deformación unitaria, mostrando el comportamiento del murete M1 bajo fuerzas de compresión. Se presentan cuatro puntos de interés, el primero (a) corresponde al inicio de la respuesta inelástica con una fuerza de 102.81 kN y esfuerzo de 3.38 N/mm². El segundo punto (b) presenta la resistencia máxima o límite de compresión con una fuerza de 198.03 kN esfuerzo de 6.52 N/mm². El tercer punto (c) muestra el murete perdiendo rigidez al ablandarse, mientras el cuarto punto (d) presenta el inicio de la fuerza residual.

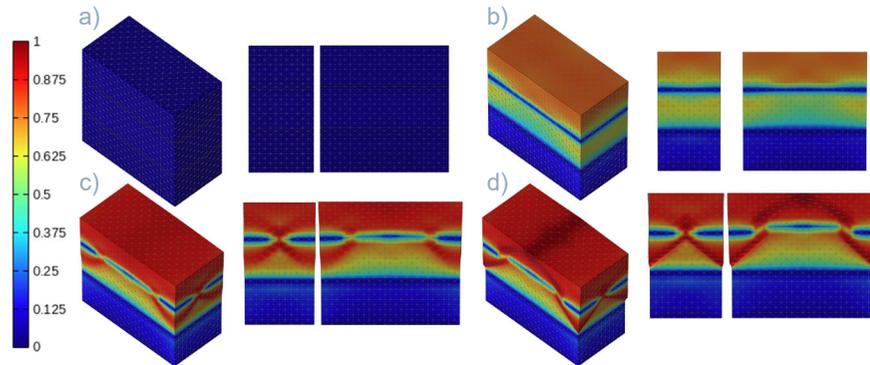


Figura 3.06. Daño murete M1, en puntos de deformación (a) $uz = -0.15$ mm (b) $uz = -1.26$ mm (c) $uz = -2.40$ mm (d) $uz = -2.61$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

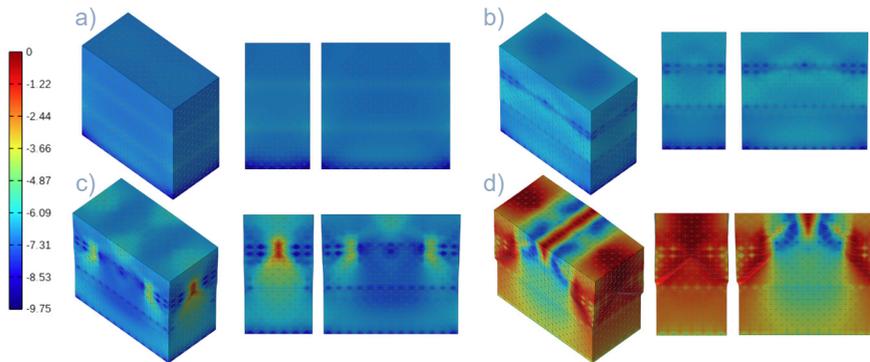


Figura 3.07. Esfuerzo murete M1, en puntos de deformación (a) $uz = -0.15$ mm (b) $uz = -1.26$ mm (c) $uz = -2.40$ mm (d) $uz = -2.61$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

DAÑO A COMPRESIÓN

La figura 3.06, muestra la evolución del daño en los puntos presentados en la curva Esfuerzo/Deformación unitaria del murete M1. En la figura (a) se observa el daño al inicio de la respuesta inelástica, donde no se evidencian áreas marcadas. En la figura (b), que corresponde al momento en que se alcanza la resistencia máxima a la compresión, se aprecia una mayor concentración de daño en el ladrillo superior y central. La figura (c) presenta el estado de daño durante un comportamiento de ablandamiento; se evidencia un aumento de las áreas dañadas previas con una concentración más alta en la zona superior con valores cercanos a uno. Finalmente, en la figura (d), previo a alcanzar la resistencia residual, se observa una rotura del murete en el ladrillo central y superior con valores cercanos a uno. Cabe recalcar que la falla se produce por una fuerza de compresión constante.

ESFUERZO A COMPRESIÓN

En la figura 3.07 se presenta el esfuerzo en el murete M1, la figura(a) al inicio de la respuesta inelástica se presenta un inicio en la concentración de esfuerzos con una menor cantidad en su parte inferior, al alcanzar la resistencia máxima figura (b) se observa mayor cantidad de esfuerzo en los ladrillos debido a que los elementos mas rígidos como el mortero requieren más carga para tener un mismo desplazamiento, al alcanzar el estado de ablandamiento figura (c) se presentan mayores concentraciones de esfuerzos en ciertas zonas debido al aumento de compresión, se observan zonas donde la coloración tiende a ser cercana a cero (rojo) indicando una falla del material, especialmente en su cara lateral en la junta superior, en la figura (d) previo a la resistencia residual, se presenta coloraciones en rojo indicando fallo del material de manera más amplia siendo la parte superior la más afectada debido a ser la zona de concentración de las cargas, la rotura es evidente en su zona lateral y central..

MUESTRA M2 (MURETE M2)

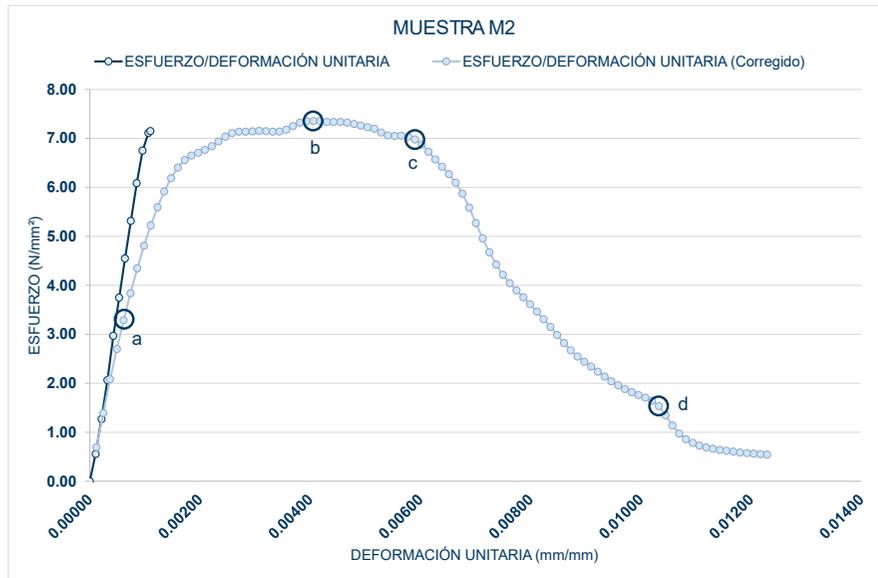


Figura 3.08. Curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental (azul), simulación corregida (celeste). Puntos superpuestos en la curva donde se muestra cambio en la respuesta del murete M2. Bueno & Pulla, 2024.

En la figura 3.08, se presenta la curva Esfuerzo/Deformación unitaria, mostrando el comportamiento del murete M2 bajo fuerzas de compresión. Se presentan cuatro puntos de interés, el primero (a) corresponde al inicio de la respuesta inelástica con una fuerza de 98.72 kN y esfuerzo de 3.29 N/mm². El segundo punto (b) presenta la resistencia máxima o límite de compresión con una fuerza de 220.81 kN esfuerzo de 7.36 N/mm². El tercer punto (c) muestra el murete perdiendo rigidez al ablandarse, mientras el cuarto punto (d) presenta el inicio de la fuerza residual.

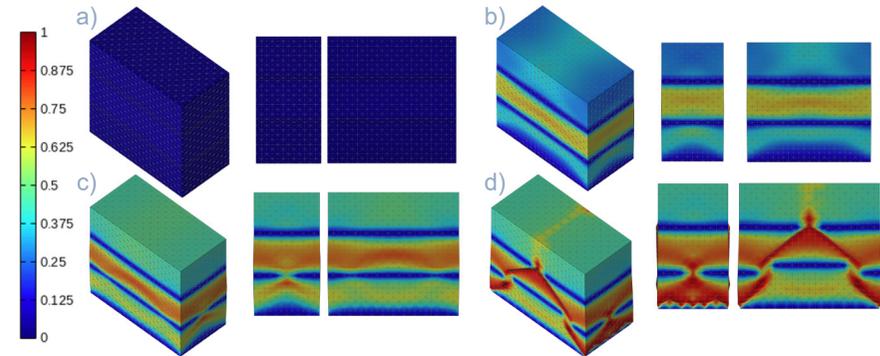


Figura 3.09. Daño murete M2, en puntos de deformación (a) $uz = -0.15$ mm (b) $uz = -0.99$ mm (c) $uz = -1.47$ mm (d) $uz = -2.52$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

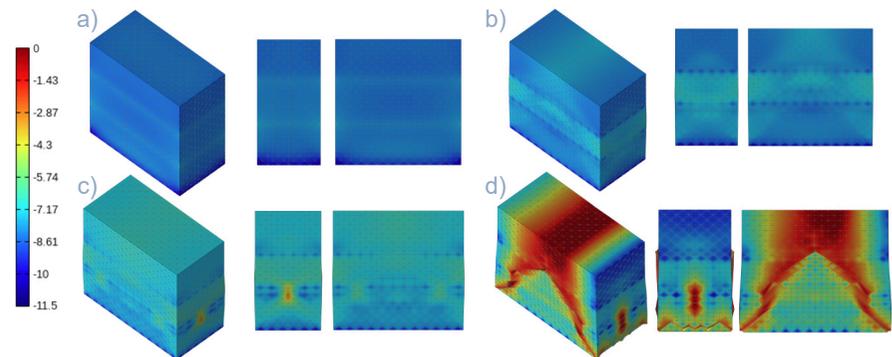


Figura 3.10. Esfuerzo murete M2, en puntos de deformación (a) $uz = -0.15$ mm (b) $uz = -0.99$ mm (c) $uz = -1.47$ mm (d) $uz = -2.52$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

DAÑO A COMPRESIÓN

La figura 3.09, muestra la evolución del daño para los puntos presentados en la curva Esfuerzo/Deformación unitaria del murete M2. En la figura (a) se observa el daño al inicio de la respuesta inelástica, donde no se evidencian áreas marcadas. En la figura (b), momento en que se alcanza la resistencia máxima a la compresión, se aprecia una mayor concentración de daño en el ladrillo central. La figura (c) presenta el estado de daño durante un comportamiento de ablandamiento; se evidencia un aumento de las áreas dañadas previas con una concentración más alta en la zona central e inferior con valores cercanos a uno. Finalmente, en la figura (d), previo a alcanzar la resistencia residual, se observa una rotura del murete en el ladrillo superior, central e inferior con una tendencia de rotura hacia sus esquinas llegando a valores de uno. Cabe recalcar que la falla se produce por una fuerza de compresión constante.

ESFUERZO A COMPRESIÓN

En la figura 3.10, se presenta el esfuerzo en el murete M2, la figura(a) al inicio de la respuesta inelástica se presenta una concentración de esfuerzos con menor cantidad en su parte inferior, al alcanzar la resistencia máxima figura (b) se observa mayor cantidad de esfuerzo en el ladrillo central debido a que elementos más rígidos como el mortero requieren mas carga para tener un mismo desplazamiento, al alcanzar el estado de ablandamiento figura (c) se presentan mayores concentraciones de esfuerzos en ciertas zonas debido al aumento de compresión, observando coloración cercana a cero (rojo) indicando una falla del material en su cara lateral en la junta inferior, en la figura (d) previo a la resistencia residual, se presenta coloraciones amplias en rojo indicando fallo del material siendo la parte superior la más afectada por ser la zona de concentración de las cargas, la rotura es evidente en su zona superior con tendencia hacia las esquinas inferiores.

MUESTRA M3 (MURETE M3)

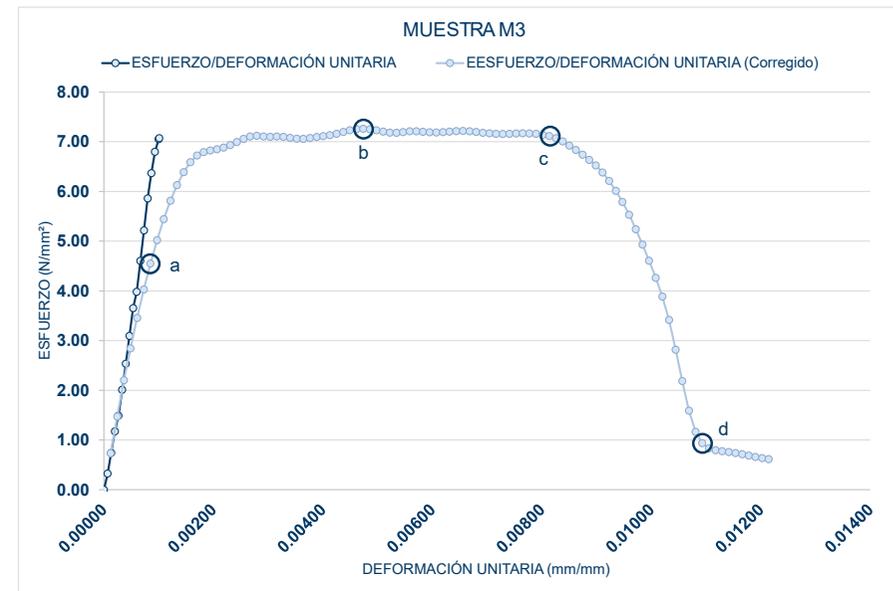


Figura 3.11. Curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental (azul), simulación corregida (celeste). Puntos superpuestos en la curva donde se muestra cambio en la respuesta del murete M3. Bueno & Pulla, 2024.

En la figura 3.11, se presenta la curva Esfuerzo/Deformación unitaria, mostrando el comportamiento del murete M3 bajo fuerzas de compresión. Se presentan cuatro puntos de interés, el primero (a) corresponde al inicio de la respuesta inelástica con una fuerza de 136.55 kN y esfuerzo de 4.55 N/mm². El segundo punto (b) presenta la resistencia máxima o límite de compresión con una fuerza de 217.91 kN esfuerzo de 7.26 N/mm². El tercer punto (c) muestra el murete perdiendo rigidez al ablandarse, mientras el cuarto punto (d) presenta el inicio de la fuerza residual.

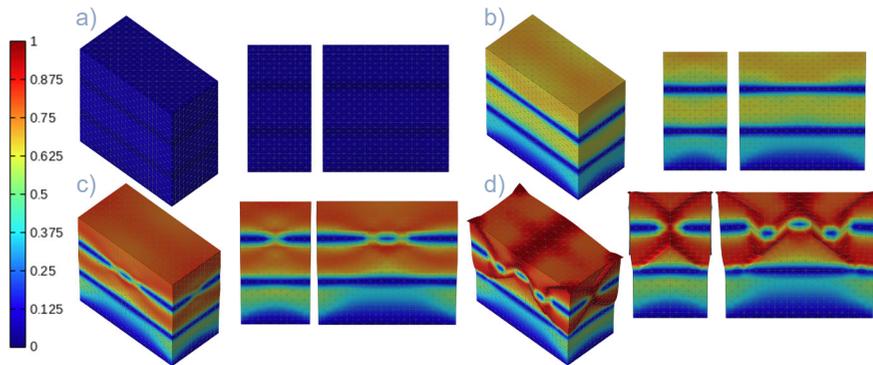


Figura 3.12. Daño murete M3, en puntos de deformación (a) $uz = -0.21$ mm (b) $uz = -1.17$ mm (c) $uz = -2.01$ mm (d) $uz = -2.70$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

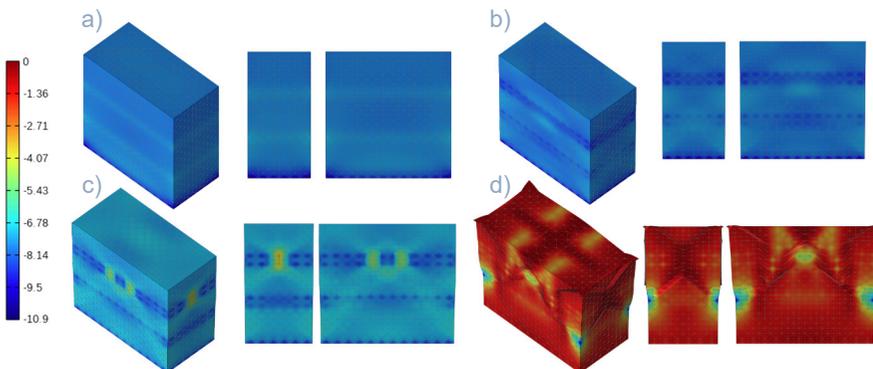


Figura 3.13. Esfuerzo murete M3, en puntos de deformación (a) $uz = -0.21$ mm (b) $uz = -1.17$ mm (c) $uz = -2.01$ mm (d) $uz = -2.70$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

DAÑO A COMPRESIÓN

La figura 3.12, muestra la evolución del daño para los puntos presentados en la curva Esfuerzo/Deformación unitaria del murete M3. En la figura (a) se observa el daño al inicio de la respuesta inelástica, donde no se evidencian áreas marcadas. En la figura (b), momento en que se alcanza la resistencia máxima a la compresión, se aprecia una mayor concentración de daño en el ladrillo central y superior. La figura (c) presenta el estado de daño durante un comportamiento de ablandamiento; se evidencia un aumento de las áreas dañadas previas con una concentración más alta en la zona superior y central con valores cercanos a uno. Finalmente, en la figura (d), previo a alcanzar la resistencia residual, se observa una rotura del murete en el ladrillo superior y central con un mayor daño en las esquinas superiores. central e inferior con una tendencia de rotura hacia sus esquinas llegando a valores de uno. Cabe recalcar que la falla se produce por una fuerza de compresión constante.

ESFUERZO A COMPRESIÓN

La figura 3.13, se presenta el esfuerzo en el murete M3, la figura(a) al inicio de la respuesta inelástica se presenta una concentración de esfuerzos con menor cantidad en su parte inferior, al alcanzar la resistencia máxima figura (b) se observa mayor cantidad de esfuerzo en ladrillos debido a que elementos más rígidos como el mortero requieren más carga para tener un mismo desplazamiento, al alcanzar el estado de ablandamiento figura (c) se presentan mayores concentraciones de esfuerzos en ciertas zonas debido al aumento de compresión, observando coloración cercana a cero (rojo) indicando una falla del material en su cara lateral en la junta superior, en la figura (d) previo a la resistencia residual, se presenta coloraciones amplias en rojo indicando fallo del material siendo la parte superior y esquinas la más afectada por ser la zona de concentración de las cargas, la rotura es evidente con tendencia hacia las esquinas inferiores.

MUESTRA M4 (MURETE M4)

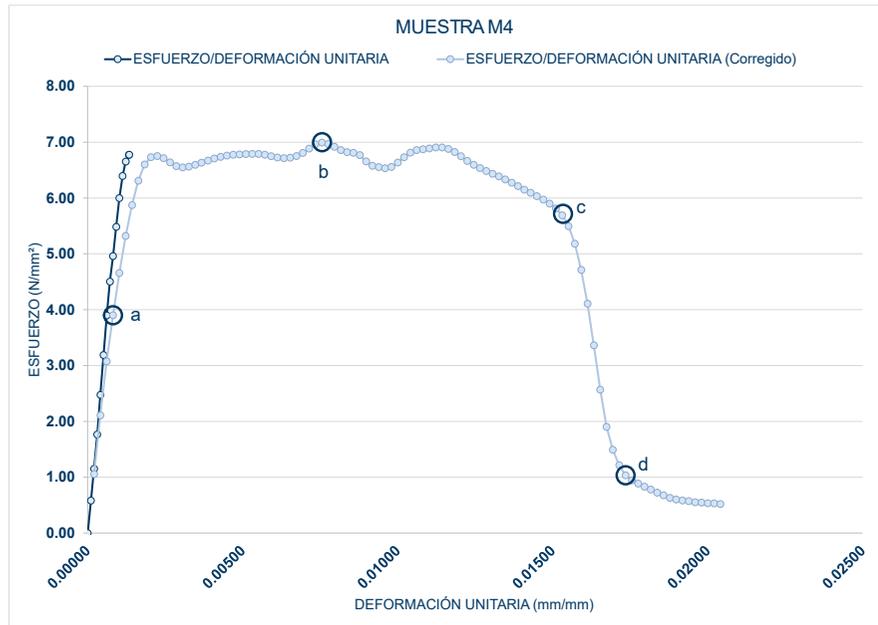


Figura 3.14. Curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental (azul), simulación corregida (celeste). Puntos superpuestos en la curva donde se muestra cambio en la respuesta del murete M4. Bueno & Pulla, 2024.

En la figura 3.14, se presenta la curva Esfuerzo/Deformación unitaria, mostrando el comportamiento del murete M4 bajo fuerzas de compresión. Se presentan cuatro puntos de interés, el primero (a) corresponde al inicio de la respuesta inelástica con una fuerza de 118.52 kN y esfuerzo de 3.90 N/mm². El segundo punto (b) presenta la resistencia máxima o límite de compresión con una fuerza de 212.47 kN esfuerzo de 6.99 N/mm². El tercer punto (c) muestra el murete perdiendo rigidez al ablandarse, mientras el cuarto punto (d) presenta el inicio de la fuerza residual.

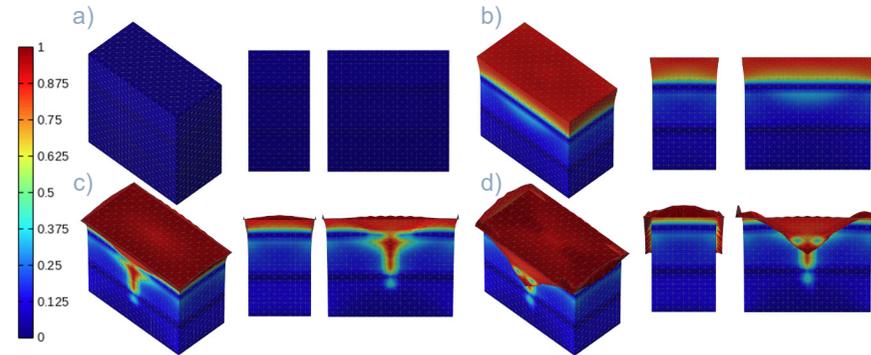


Figura 3.15. Daño murete M4, en puntos de deformación (a) $uz = -0.20$ mm (b) $uz = -1.85$ mm (c) $uz = -3.70$ mm (d) $uz = -4.25$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

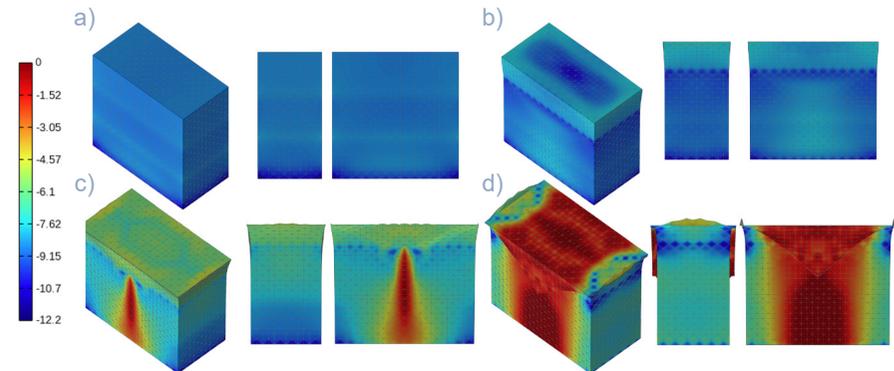


Figura 3.16. Esfuerzo murete M4, en puntos de deformación (a) $uz = -0.20$ mm (b) $uz = -1.85$ mm (c) $uz = -3.70$ mm (d) $uz = -4.25$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

DAÑO A COMPRESIÓN

La figura 3.15, muestra la evolución del daño para los puntos presentados en la curva Esfuerzo/Deformación unitaria del murete M4. En la figura (a) se observa el daño al inicio de la respuesta inelástica, donde no se evidencian áreas marcadas. En la figura (b), momento en que se alcanza la resistencia máxima a la compresión, se aprecia una mayor concentración de daño en el ladrillo superior. La figura (c) presenta el estado de daño durante un comportamiento de ablandamiento; se evidencia un aumento de las áreas dañadas previas con una concentración más alta en la zona superior, además del ladrillo central con valores cercanos a uno. Finalmente, en la figura (d), previo a alcanzar la resistencia residual, se observa una rotura del murete en el ladrillo superior y central llegando a valores de uno con un mayor daño en la cara superior teniendo el ladrillo base como el menos afectado. Cabe recalcar que la falla se produce por una fuerza de compresión constante en su cara superior.

ESFUERZO A COMPRESIÓN

En la figura 3.16, se presenta el esfuerzo en el murete M4, la figura(a) al inicio de la respuesta inelástica se presenta una concentración de esfuerzos con menor cantidad en su parte inferior, al alcanzar la resistencia máxima figura (b) se observa mayor cantidad de esfuerzo en ladrillos debido a que elementos más rígidos como el mortero requieren más carga para tener un mismo desplazamiento, al alcanzar el estado de ablandamiento figura (c) se presentan mayores concentraciones de esfuerzos en ciertas zonas debido al aumento de compresión, observando coloración cercana a cero (rojo) indicando una falla del material en su cara lateral en la junta superior, en la figura (d) previo a la resistencia residual, se presenta coloraciones amplias en rojo indicando fallo del material siendo la parte superior y esquinas la más afectada por ser la zona de concentración de las cargas, la rotura es evidente con tendencia hacia las esquinas inferiores.

MUESTRA M5 (MURETE M5)

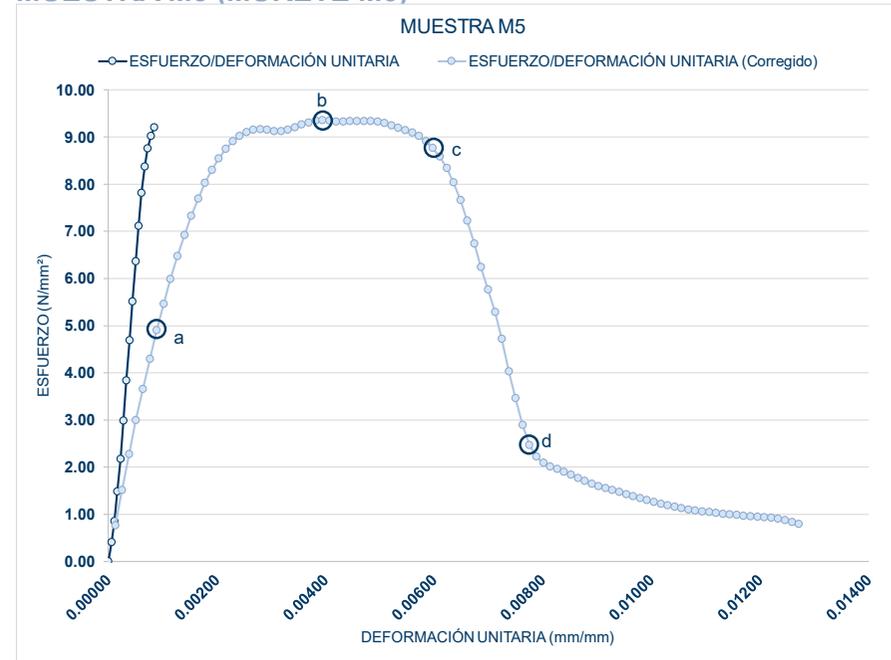


Figura 3.17. Curva Esfuerzo/Deformación unitaria experimental (azul), simulación corregida (celeste). Puntos superpuestos en la curva donde se muestra cambio en la respuesta del murete M5. Bueno & Pulla, 2024.

En la figura 3.17, se presenta la curva Esfuerzo/Deformación unitaria, mostrando el comportamiento del murete M5 bajo fuerzas de compresión. Se presentan cuatro puntos de interés, el primero (a) corresponde al inicio de la respuesta inelástica con una fuerza de 148.73 kN y esfuerzo de 4.90 N/mm². El segundo punto (b) presenta la resistencia máxima o límite de compresión con una fuerza de 284.04 kN esfuerzo de 9.35 N/mm². El tercer punto (c) muestra el murete perdiendo rigidez al ablandarse, mientras el cuarto punto (d) presenta el inicio de la fuerza residual.

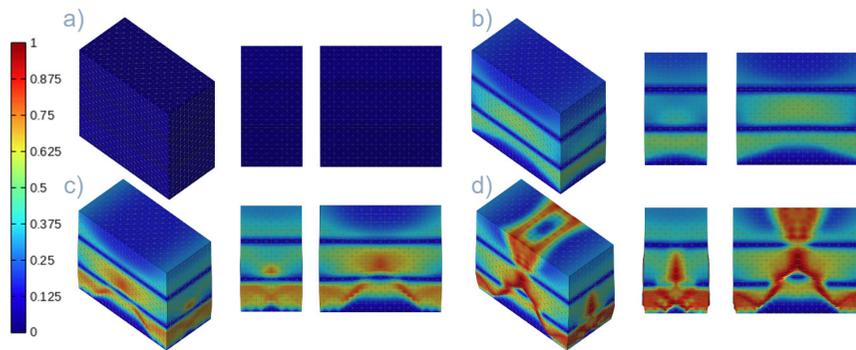


Figura 3.18. Daño murete M5, en puntos de deformación (a) $uz = -0.21$ mm (b) $uz = -0.93$ mm (c) $uz = -1.41$ mm (d) $uz = -1.83$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

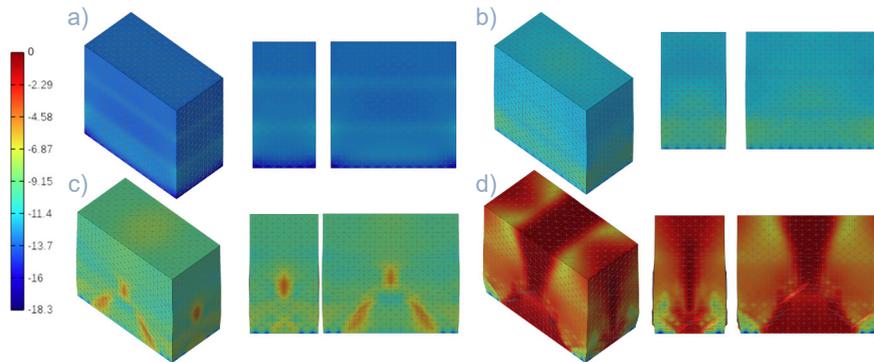


Figura 3.19. Esfuerzo murete M5, en puntos de deformación (a) $uz = -0.21$ mm (b) $uz = -0.93$ mm (c) $uz = -1.41$ mm (d) $uz = -1.83$ mm. Bueno & Pulla, 2024.

DAÑO A COMPRESIÓN

La figura 3.18, muestra la evolución del daño para los puntos presentados en la curva Esfuerzo/Deformación unitaria del murete M5. En la figura (a) se observa el daño al inicio de la respuesta inelástica, donde no se evidencian áreas marcadas. En la figura (b), momento en que se alcanza la resistencia máxima a la compresión, se aprecia una mayor concentración de daño en el ladrillo central e inferior. La figura (c) presenta el estado de daño durante un comportamiento de ablandamiento; se evidencia un aumento de las áreas dañadas previas con una concentración más alta en la zona inferior, además del ladrillo central con valores cercanos a uno. Finalmente, en la figura (d), previo a alcanzar la resistencia residual, se observa una rotura del murete en el ladrillo superior, central e inferior llegando a valores de uno con un mayor daño sus zonas centrales y observando el ladrillo base como el más afectado con una rotura completa. Cabe recalcar que la falla se produce por una fuerza de compresión constante en su cara superior.

ESFUERZO A COMPRESIÓN

En la figura 3.19, se presenta el esfuerzo en el murete M5, la figura(a) al inicio de la respuesta inelástica se presenta una concentración de esfuerzos con menor cantidad en su parte inferior, al alcanzar la resistencia máxima figura (b) se observa mayor cantidad de esfuerzo en ladrillos en especial el ladrillo inferior, al alcanzar el estado de ablandamiento figura (c) se presentan mayores concentraciones de esfuerzos en ciertas zonas debido al aumento de compresión, observando coloración cercana a cero (rojo) indicando una falla del material en el ladrillo central e inferior especialmente en sus puntos medios, en la figura (d) previo a la resistencia residual, se presenta coloraciones amplias en rojo indicando fallo del material, siendo la parte superior con una tendencia hacia la zona inferior la más afectada por ser la zona de concentración de las cargas.

3.4 MACRO MODELACIÓN DE PAREDES TÍPICAS CON MAMPOSTERÍA DE LADRILLO PANELÓN.

Las propiedades que se asignarán a los macro modelos para simulaciones posteriores serán resultado de los análisis previos a muretes. De las cinco simulaciones a muretes realizadas se toma el valor de la resistencia máxima a compresión (f_c) y el módulo elástico (E) y se realiza un promedio para determinar el valor correspondiente de cada uno de estos, la energía de fractura por compresión (G_c) se determina por medio de la gráfica Esfuerzo-Deformación de cada una de las simulaciones tal como se presenta en la gráfica de la figura 3.20, el promedio del área bajo la curva de cada una de estas será la que determine su valor.

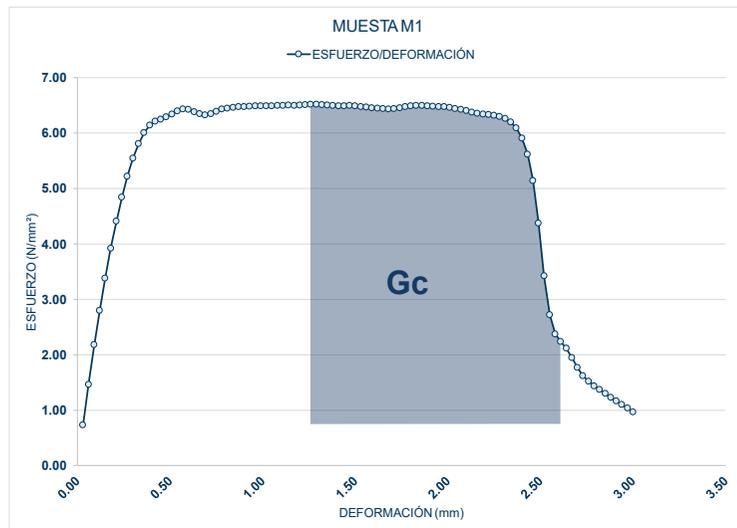


Figura 3.20. Gráfica Esfuerzo-Deformación. Área bajo la curva para encontrar energía de fractura por compresión. Bueno & Pulla, 2024.

Para determinar el módulo de cortante se utilizará la siguiente ecuación:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Ecuación 8. Theory of Elasticity, formula del modulo de corte para materiales isotropos elásticos lineales. Timoshenko, S. P., & Goodier, J. N, 1951.

Donde:

G= Módulo de corte.

E= Módulo de elasticidad o módulo de Young.

ν = coeficiente de Poisson.

Donde el coeficiente de poisson será de $\nu=0.18$, valor utilizado para muros con mampostería de ladrillo panelón. Se determina el módulo de cortante con el módulo elástico de cada uno de los muretes y el promedio de este será el valor a utilizar. Los valores obtenidos se presentan en la tabla 3.03.

	E (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	G _c (N/mm)	G (N/mm ²)
M1	5110.112	6.52	8.78	2165.30
M2	5440.776	7.36	7.74	2305.41
M3	5444.608	7.26	9.74	2307.04
M4	4413.223	6.99	13.50	1870.01
M5	5468.148	9.35	8.53	2317.01
PROMEDIO	5175.374	7.50	9.66	2192.95

Tabla 3.03. Propiedades para macro-modelos obtenidos a partir de simulaciones y experimentación con muretes de mampostería de ladrillo panelón. Bueno & Pulla, 2024.

Las propiedades restantes como (f_r), (f_t), (e_p), (G_t), serán tomadas de resultados realizados por García y Cárdenas (2024), los cuales a partir de experimentación sobre 100 muestras (muretes) con ladrillos macizos de panelón realizando pruebas a tensión y compresión sobre los elementos sin rotar se obtienen los resultados presentados en la tabla 3.04

M1									
	E (MPa)	G (MPa)	ft (MPa)	Gt (N/mm)	fco (MPa)	fc (MPa)	fr (Mpa)	Gc (N/mm)	ep (mm/mm)
x̄	5086	1620.20	0.42	0.015	2.42	5.9	1.16	9.04	0.002
S	1933.8	617.60	0.11	0.002	0.75	1.61	0.31	2.2	0.001
COV	0.4	0.40	0.27	0.166	0.31	0.27	0.27	0.24	0.57

Tabla 3.04. Propiedades resultado de experimentación sobre muretes de ladrillo panelón sin rotar (100 muestras). Elaborado a partir de García 2022. Bueno & Pulla, 2024.

En conclusión, las propiedades macro a utilizar en simulaciones futuras son las siguientes:

1. Modulo elástico (E).
2. Módulo de corte (G).
3. Esfuerzo a tensión (ft).
4. Energía de fractura por tracción (Gt).
5. Aproximación de comportamiento elástico (fco).
6. Resistencia máxima a compresión (fc).
7. Fuerza residual a la compresión recomendación Petracca (fr).
8. Energía de fractura por compresión (Gc)

M1									
E (MPa)	G (MPa)	ft (MPa)	Gt (N/mm)	fco (MPa)	fcp (MPa)	fr (Mpa)	Gc (N/mm)	ep (mm/mm)	
5175.47	2192.95	0.42	0.015	2.42	7.5	1.16	9.66	0.002	

Tabla 3.05. Propiedades para macro modelos. Bueno & Pulla, 2024.

SELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

4

4.1 SELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Quinde y Salinas para definir la zona de estudio toma en cuenta que cumpla con los requisitos para el desarrollo y cumplimiento de esta investigación, las edificaciones dentro de esta zona deben cumplir con los siguientes aspectos:

- **Uso de suelo:** Predominio de edificaciones de vivienda
- **Altura:** De hasta 2 pisos
- **Sistema constructivo:** Muros de mampostería confinada
- **Implantación:** Edificaciones continuas

En investigaciones previas dentro de la Universidad de Cuenca en cooperación entre la Facultad de Arquitectura y Urbanismo y la Municipalidad de Cuenca en 2018 con el proyecto: La construcción irregular acercamiento a sus causas y efectos , análisis en un determinado sector de Cuenca, donde a partir de factores como cartografía, vulnerabilidad del territorio, uso de suelo, análisis de edificaciones, criterios físico espacial funcional, se presentan 11 sectores de estudio seleccionando para esta investigación el sector de planeamiento E-7, ubicado en el sector de Totoracocha en una zona urbana y con una densidad población alta, las características fundamentales según Quinde y Salinas son:

- **Uso:** Vivienda (74.89%).
- **Viviendas adosadas:** 77.75%.
- **Tipo de implantación:** Continua con retiro frontal (65.88%) y pareada con retiro frontal (18.06%).
- **Material de paredes:** Ladrillo o Bloque.
- **Viviendas de dos pisos:** 49.93%.

Entre otros aspectos importantes presentados en el proyecto de investigación se encuentra que, de 4850 edificaciones, el 88.82% tienen una estructura de hormigón armado o estructura metálica en un estado bueno y regular y para sus fachadas un 73% se encuentra en buen estado y un 17% en estado regular.

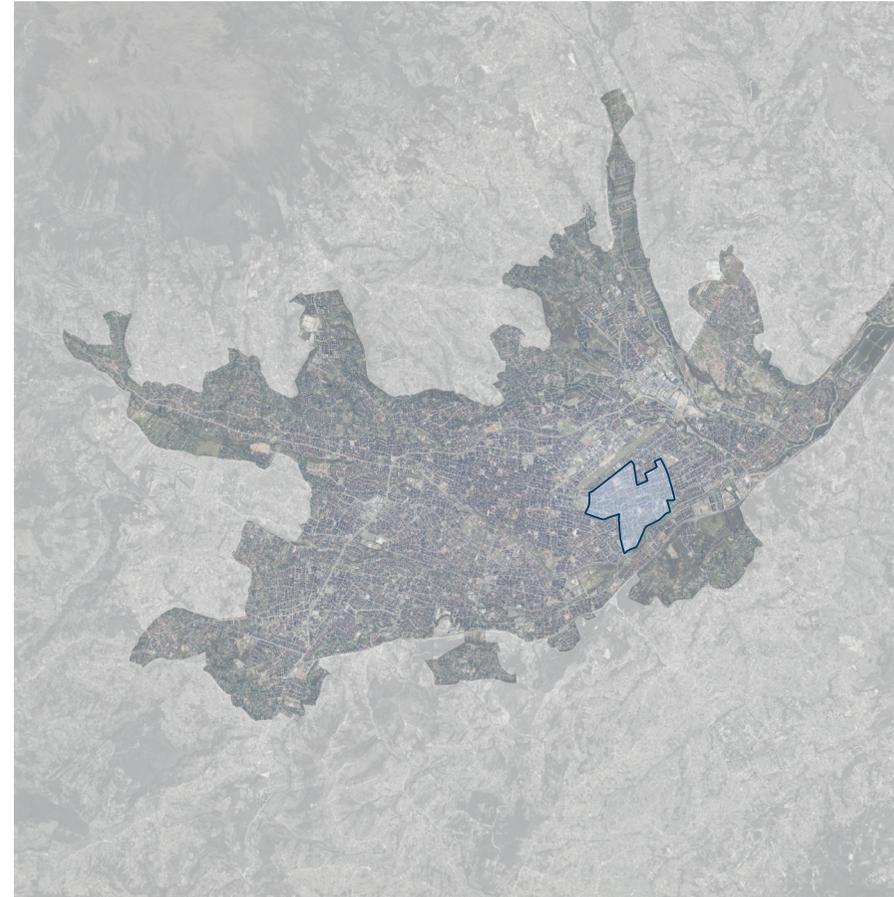


Figura 4.01. Zona de Totoracocha Cuenca, Bueno & Pulla, 2024.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE PAREDES TÍPICAS DE EDIFICACIONES CONFINADAS ZONA DE TOTORACOCHA

Quinde y Salinas (2019), en su tesis: Análisis y propuesta arquitectónica sismo resistente de viviendas adosadas con muros de mampostería en Cuenca, realizan un estudio más profundo del sector E-7 donde por medio de una división, levantamiento de viviendas, caracterización y la aplicación de diferentes filtros, seleccionan tres casos de estudio que cumplen con la condición de ser edificaciones de vivienda adosadas de dos pisos con muros de mampostería, dichos casos de estudio se tomaran para el análisis de esta investigación de vulnerabilidad tomando sus fachadas como elemento principal de análisis en capítulos posteriores.

Altura de la Edificación	Lote mínimo (m ²)	Frente mínimo (m ²)	Densidad Neta de Vivienda (Viv/Ha)	Tipo de implantación	Retiros		
					Frontal	Lateral	Posterior
1 a 3 pisos	120	6	250	Continua con retiro frontal	5	0	3
4 pisos	300	12	320	Aislada	5	3	3
5 a 7 pisos	500	16	Mayor o igual a 40	Aislada	6	4	4

Tabla 4.01. Datos generales sector de planeamiento E-7, PDOT PGUS Cantón Cuenca, 2022

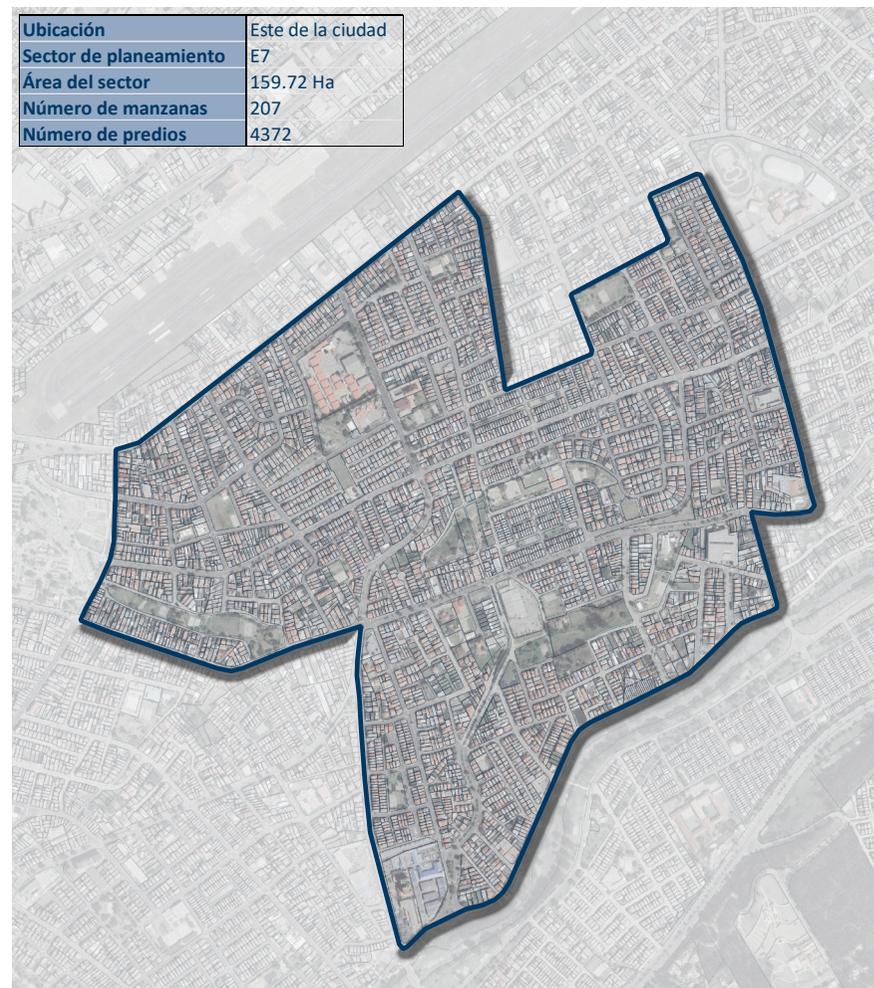


Figura 4.02. Zona de estudio E-7 Totoracocha Cuenca, Bueno & Pulla, 2024.

4.2.1. CASO DE ESTUDIO 1

Este caso de estudio corresponde a una vivienda de dos plantas unifamiliar con un área de 150.61 m². Su método constructivo está formado por una estructura de hormigón armado y paredes de ladrillo tipo panelón con un espesor de 15 cm. Posee un retiro frontal y un único patio interior. Su configuración es continua ubicada en la calle Rumi Urcu zona de carácter residencial, que además posee un parque frente a este.

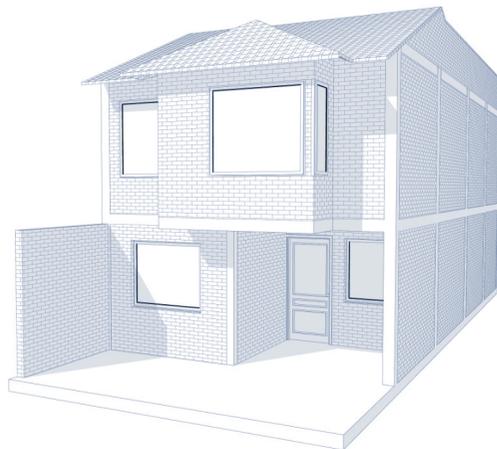


Figura 4.03. Perspectiva Caso de estudio 1. Quinde & Salinas, 2019

CASO DE ESTUDIO 1			
Clave Catastral	0403106021000		
Ubicación	Calle Rumiurco entre Lumbaqui y Coya		
Tipo	Continua con retiro frontal		
Área	Terreno	Vivienda	
		92.94 m ²	150.61 m ²
Uso de suelo	Planta baja	Planta alta	
		Vivienda	Vivienda
Dimensiones	Terreno	Frente	Fondo
		6 m	15.6 m
	Edificación	Frente	Fondo
		6 m	13 m
Retiros	Frontal	2.6 m	
	Posterior	-	

Tabla 4.02. Datos generales Caso de estudio 1. Quinde & Salinas, 2019



Figura 4.04. Ubicación y emplazamiento Caso de estudio 1. Elaborado a partir de Quinde & Salinas, 2019. (pg. 72). Bueno & Pulla, 2024

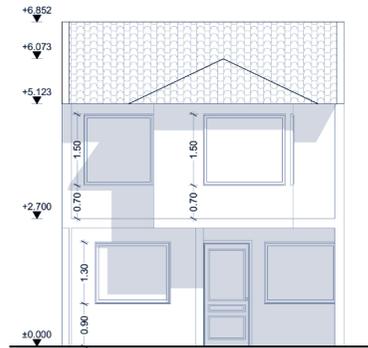
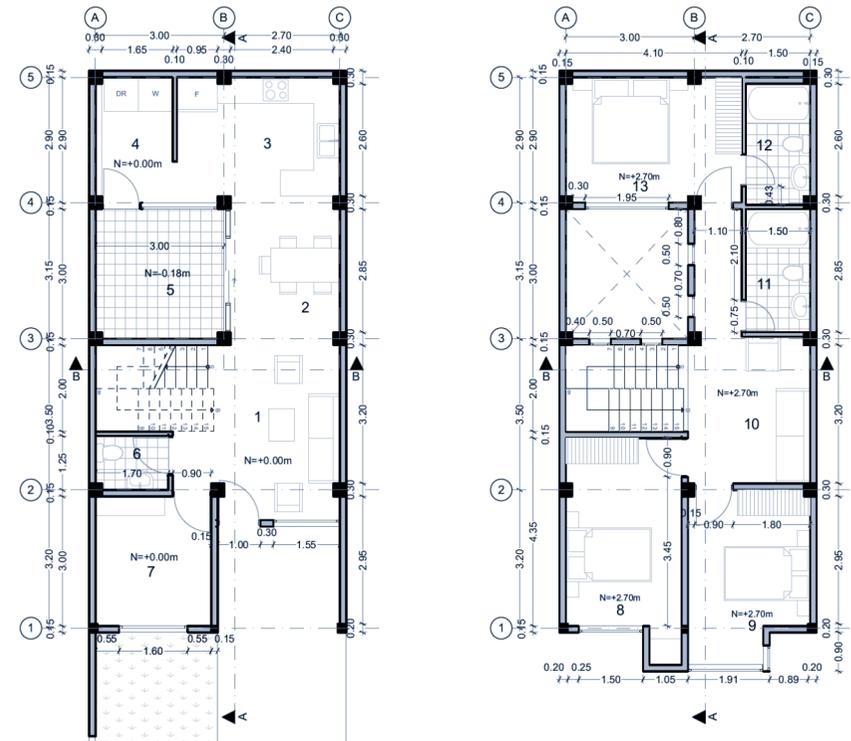


Figura 4.05. Elevación frontal caso 1. Quinde & Salinas, 2019.



Figura 4.06. Secciones caso 1. Quinde & Salinas, 2019.



Planta baja

- 1. Sala
- 2. Comedor
- 3. Cocina
- 4. Lavandería
- 5. Patio
- 6. Baño social
- 7. Estudio

Planta alta

- 8. Dormitorio 1
- 9. Dormitorio 2
- 10. Sala de estar
- 11. Baño compartido
- 12. Baño máster
- 13. Dormitorio máster

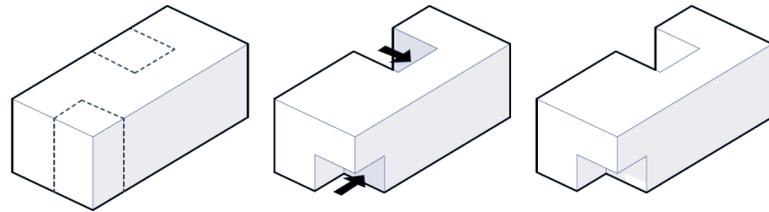
Figura 4.07. Planta baja y planta alta caso 1. Quinde & Salinas, 2019.

Volumen de la edificación: Se generan sustracciones tanto lateral como frontal de una figura regular para cumplir con las necesidades de un patio interior como de un ingreso retranqueado en planta baja.

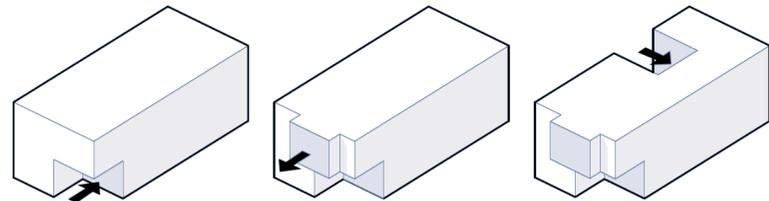
Conformación de la fachada: Conformada por desplazamiento de dos planos en planta alta, una intención de diseño mientras en planta baja un requerimiento formal.

Vanos de la Fachada: Cuenta con 4 aberturas de ventanas y una puerta de ingreso principal sin un sistema de orden específico, relación simétrica o coincidencia de ejes.

Esquema forma de la edificación:



Esquema Fachada de la edificación:



Esquema Puertas y ventanas:

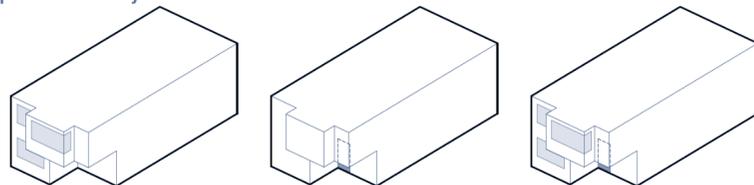


Figura 4.08. Análisis formal Caso estudio 1. Quinde & Salinas, 2019.

Sistema estructural: Hormigón armado con muros de mampostería de ladrillo confinado, cubierta de estructura metálica con recubrimiento de planchas de zinc.

Sistema constructivo: Columnas con sección 0.30 m x 0.30 m. Luces de alrededor 3 m alineadas en sentido horizontal.

Acabados: Paredes interiores y exteriores con acabado de enlucido, empaste y pintura, a excluyendo las zonas húmedas donde se usa revestimiento cerámico. Piso flotante a excepción de zonas húmedas con el uso de porcelanato. Puertas de materialidad MDF y ventanas de aluminio y vidrio.

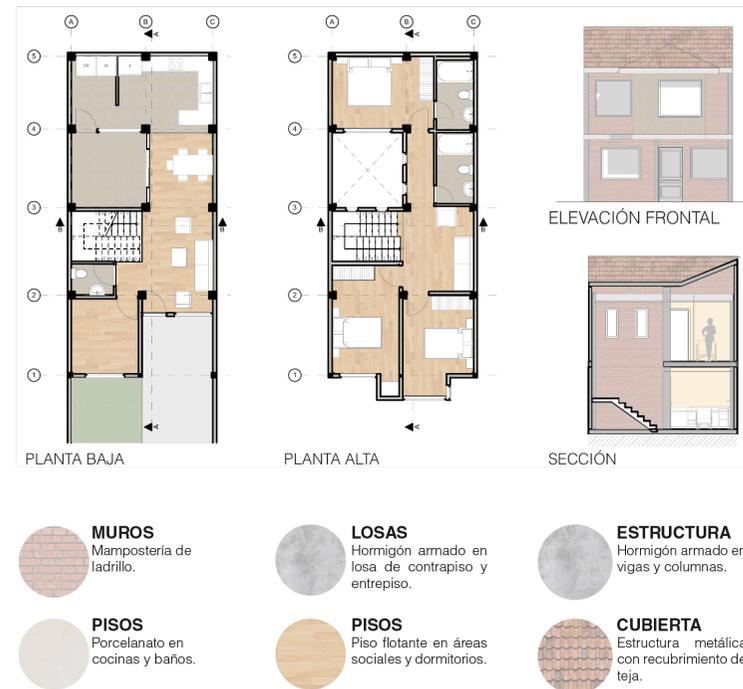


Figura 4.09. Análisis tecnológico Caso estudio 1. Quinde & Salinas, 2019.

4.2.2 CASO DE ESTUDIO 2

Este caso de estudio corresponde a una vivienda de dos plantas unifamiliar con un área de 152.90 m². Su método constructivo está formado por una estructura de hormigón armado y paredes de ladrillo panelón con un grosor de 15 cm. Posee un retranqueo que se toma la parte derecha de la fachada y un retiro posterior. Su configuración es continua ubicada en la calle Guatana en zona residencial, cercana a un parque.

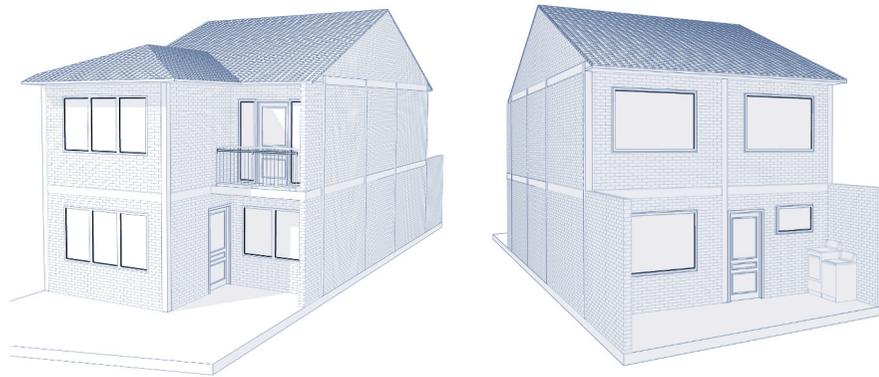


Figura 4.10. Perspectivas Caso de estudio 2. Quinde & Salinas, 2019

CASO DE ESTUDIO 2			
Clave Catastral	0403058120000		
Ubicación	Calle Guatana		
Tipo	Continua con retiro frontal y posterior		
Área	Terreno	Vivienda	
	138.98 m ²	152.90 m ²	
Uso de suelo	Planta baja	Planta alta	
	Vivienda	Vivienda	
Dimensiones	Terreno	Frente	Fondo
		6.4 m	25 m
	Edificación	Frente	Fondo
		6.4 m	13.5 m
Retiros	Frontal	5 m	
	Posterior	3 m	

Tabla 4.03. Datos generales Caso de estudio 2. Quinde & Salinas, 2019



Figura 4.11. Ubicación y emplazamiento Caso de estudio 2. Elaborado a partir de Quinde & Salinas, 2019. (pg. 72). Bueno & Pulla, 2024

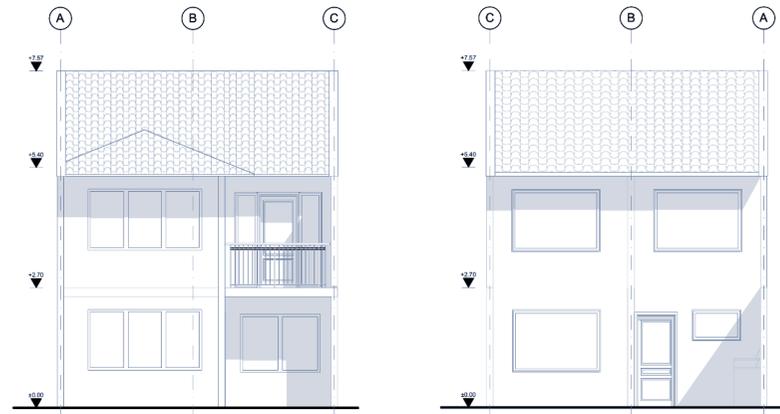


Figura 4.12. Elevación frontal y posterior caso 2. Quinde & Salinas, 2019.

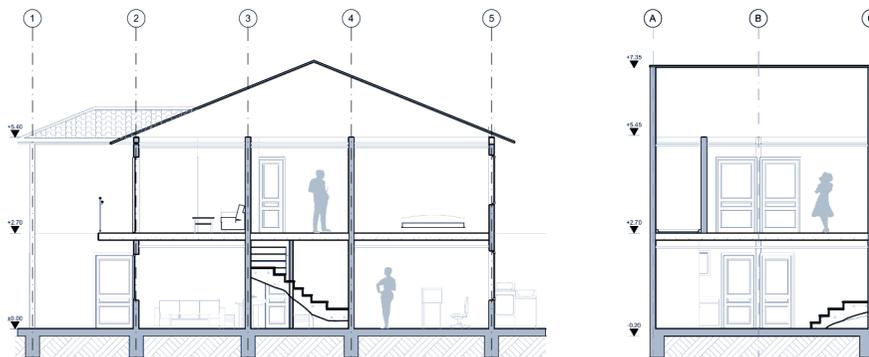


Figura 4.13. Secciones caso 2. Quinde & Salinas, 2019.



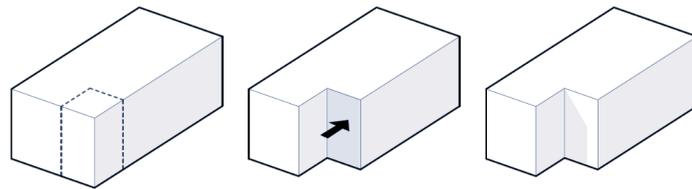
Figura 4.14. Planta baja y planta alta caso 2. Quinde & Salinas, 2019.

Volumen de la edificación: Se generan sustracciones en el lado derecho de la fachada principal generando un acceso a la edificación, además por la existencia de retiro crea un retranqueo posterior.

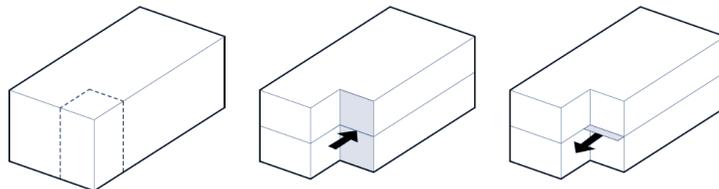
Conformación de la fachada: Conformada por dos fachadas, en la frontal la existencia de un balcón, mientras la posterior manteniéndose como un plano.

Vanos de la Fachada: La fachada frontal formada por 4 vanos para ventanas y dos para los ingresos tanto para balcón como un ingreso principal lateral, mientras su fachada posterior con 4 vanos para ventanas y 1 para puerta hacia patio posterior.

Esquema forma de la edificación:



Esquema Fachada de la edificación:



Esquema Puertas y ventanas:

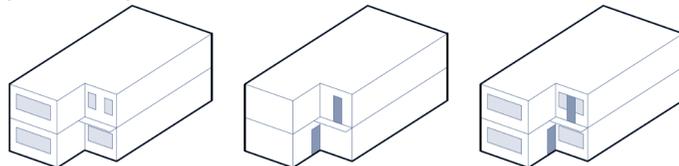


Figura 4.15. Análisis formal Caso de estudio 2. Quinde & Salinas, 2019.

Sistema estructural: Hormigón armado con paredes de mampostería confinada de ladrillo, cubierta de estructura metálica con recubrimiento de planchas de zinc.

Sistema constructivo: Columnas con sección 0.15 m x 0.15 m. Luces alineadas en sentido horizontal y vertical de dimensiones aproximadas a los 3 m.

Acabados: Paredes interiores y exteriores con acabado de enlucido, empaste y pintura, y en las zonas húmedas se usa revestimiento cerámico tanto en paredes como piso. Piso flotante a excepción de zonas húmedas y servicio con el uso de porcelanato. Puertas de materialidad MDF y ventanas de aluminio y vidrio.



- | | | |
|--|--|---|
|  MUROS
Mampostería de ladrillo panelón espesor 15 cm. |  LOSAS
Hormigón armado en losa de contrapiso y entrapiso. |  ESTRUCTURA
Hormigón armado en vigas y columnas. |
|  PISOS
Porcelanato en cocinas y baños. |  PISOS
Piso flotante en áreas sociales y dormitorios. |  CUBIERTA
Estructura metálica con recubrimiento de teja. |

Figura 4.16. Análisis tecnológico Caso de estudio 2. Quinde & Salinas, 2019.

4.2.3 CASO DE ESTUDIO 3

Este caso de estudio corresponde a una vivienda de dos plantas unifamiliar con un área de 146.54 m². Su método constructivo está formado por una estructura de hormigón armado y paredes de ladrillo tipo panelón con un grosor de 15 cm, su diseño presenta una forma de planta cuadrada. Posee un retiro frontal y un patio posterior. Su configuración es continua ubicada en la calle Sangay en la parte posterior de un terreno que alberga dos viviendas, con un ingreso lateral al terreno emplazado conectado a la vía principal.

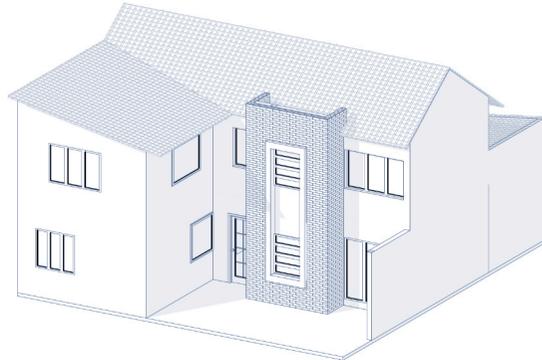


Figura 4.17. Perspectivas Caso de estudio 3. Quinde & Salinas, 2019

CASO DE ESTUDIO 3			
Clave Catastral	0405009006000		
Ubicación	Calle Sangay y Altar Urco		
Tipo	Continua con retiro frontal		
Área	Terreno	Vivienda	
		247.44 m ²	146.54 m ²
Uso de suelo	Planta baja	Planta alta	
		Vivienda	Vivienda
Dimensiones	Terreno	Frente	Fondo
		6.5 m	15 m
	Edificación	Frente	Fondo
		6.5 m	8 m
Retiros	Frontal	7 m	
	Posterior	-	

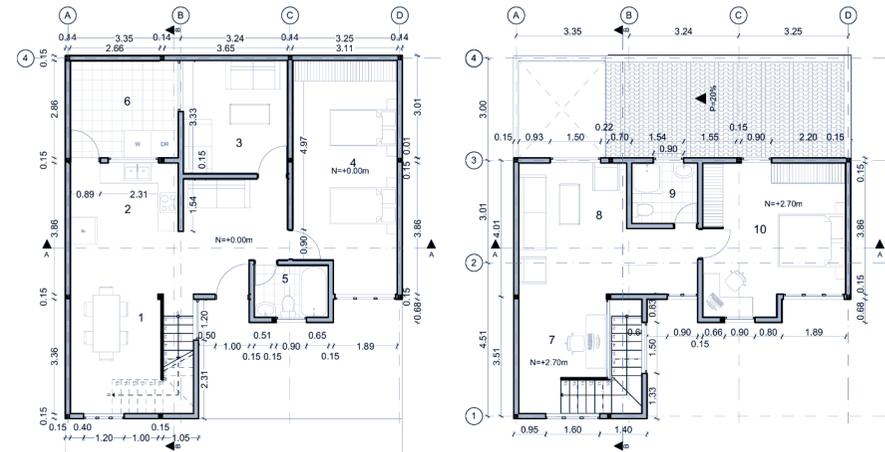
Tabla 4.04. Datos generales Caso de estudio 3. Quinde & Salinas, 2019



Figura 4.18. Ubicación y emplazamiento Caso de estudio 3. Elaborado a partir de Quinde & Salinas, 2019. (pg. 72). Bueno & Pulla, 2024



Figura 4.19. Elevación frontal caso 3. Quinde & Salinas, 2019.



Planta baja

- 1. Comedor
- 2. Cocina
- 3. Sala
- 4. Dormitorio
- 5. Baño social
- 6. Lavandería

Planta alta

- 7. Estudio
- 8. Sala de estar
- 9. Baño máster
- 10. Dormitorio máster

Figura 4.21. Planta baja y planta alta caso 3. Quinde & Salinas, 2019.

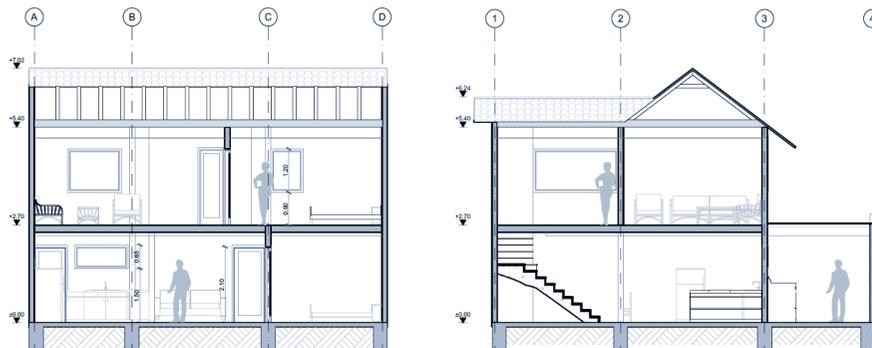


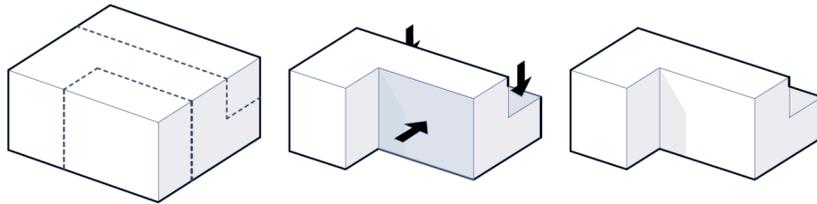
Figura 4.20. Secciones caso 3. Quinde & Salinas, 2019.

Volumen de la edificación: Se generan dos sustracciones tanto lateral como frontal de una figura regular para cumplir con las necesidades de un patio interior como de un ingreso retranqueado en planta baja.

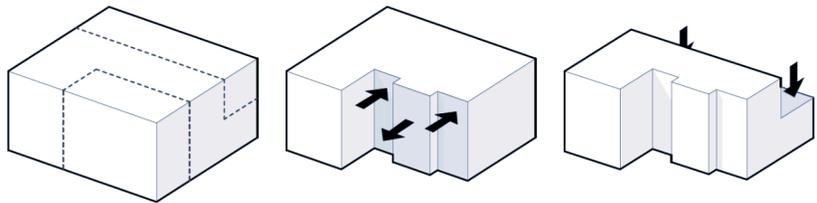
Conformación de la fachada: Conformada por desplazamiento de dos planos, siendo en planta alta una intención de diseño mientras en planta baja un requerimiento formal.

Vanos de la Fachada: Cuenta con 4 aberturas de ventanas y una puerta de ingreso principal sin un sistema de orden específico, relación simétrica o coincidencia de ejes.

Esquema forma de la edificación:



Esquema Fachada de la edificación:



Esquema Puertas y ventanas:

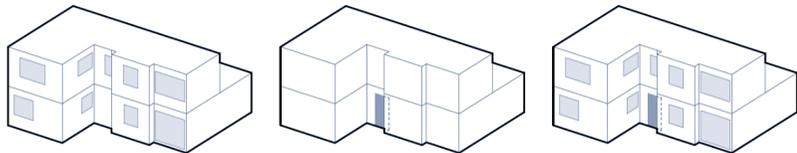


Figura 4.22. Análisis formal Caso de estudio 3. Quinde & Salinas, 2019.

Sistema estructural: Hormigón armado con paredes de mampostería confinada de ladrillo, cubierta de estructura metálica con recubrimiento de planchas de zinc.

Sistema constructivo: Columnas con sección 0.30 m x 0.30 m. Luces de alrededor 3 m alineadas en sentido horizontal.

Acabados: Paredes interiores y exteriores con acabado de enlucido, empaste y pintura, a excepción de zonas húmedas donde se usa revestimiento cerámico. Piso flotante a excepción de zonas húmedas con el uso de porcelanato. Puertas de materialidad MDF y ventanas de aluminio y vidrio.

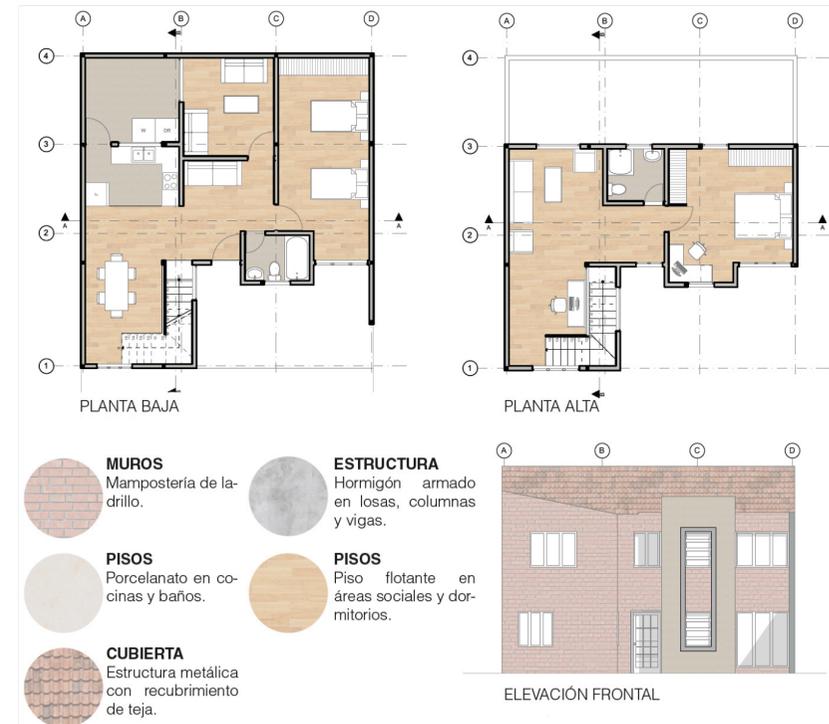


Figura 4.23. Análisis tecnológico Caso de estudio 3. Quinde & Salinas, 2019.

4.3. MODELACIÓN DE PAREDES TÍPICAS DE CASOS DE ESTUDIO

En esta sección se presenta el método utilizado para la representación del macro modelo, tomando en consideración que el alcance de la investigación se centra únicamente en fachadas, estas serán tomadas de los casos de estudio presentados en la sección 4.2, con la ayuda del software AutoCAD, se modelaran a partir de las dimensiones y geometría presentadas en dicha sección y se agregaran las paredes laterales con las que se tenga un adosamiento, teniendo como resultado tres fachadas con las que se realizara las simulaciones futuras.

Durante el proceso de modelación se utilizara el comando 3DFACE teniendo como consideración que cada pared del modelo será seccionada en cuadrantes según la proyección de las rectas de cada una de sus puertas, ventanas y entrepisos dependiendo de su ubicación dentro de la fachada tal como se muestra en la figura 4.22, los modelos deben estar ubicados en el origen, una vez concluida la etapa de modelado se deberá exportar cada fachada en un formato (.igs) el cual servirá para la importación dentro del software STKO con el que se realizara futuros análisis modal y análisis Pushover.

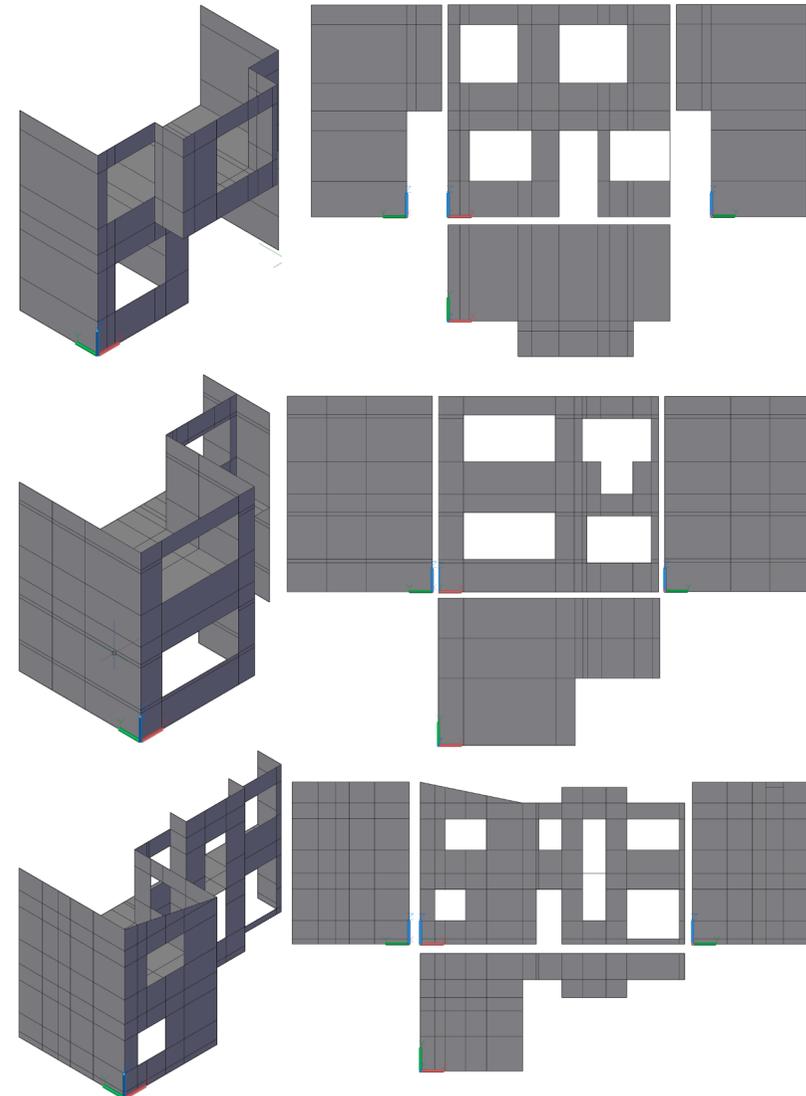


Figura 4.24. Macro-modelado casos de estudio utilizando el software AutoCAD con comando 3DFACE. Bueno & Pulla, 2024.

MACRO ANÁLISIS

5

5.1 ANÁLISIS MODAL PARA DETERMINACIÓN CARGAS LATERALES

Las características de vibración inherentes y los modos naturales de vibración son atributos exclusivos de cada estructura, siendo distintivos y dependientes de la dimensión de las matrices de rigidez y masa asociadas. Cada estructura posee una cantidad única de estos parámetros, equivalente al número de grados de libertad que presenta (Chopra, 2014).

“El análisis modal tiene como objetivo determinar los períodos y modos de vibración de una estructura” (Álvarez y Morocho, 2020).

La norma NEC-SE-SD, (2015) cuenta que para los números de modos se deben considerar en el análisis:

- “Todos los modos de vibración que afecten significativamente la respuesta total de una estructura durante diversos periodos sísmicos” (p. 61).
- “Además, se deben considerar los modos que involucren al menos el 90% de la masa total en cada dirección horizontal principal” (p. 61).

PERÍODOS DE VIBRACIÓN

“Es el tiempo necesario para que una estructura complete un ciclo de oscilación, es decir, el tiempo que tarda en regresar a su posición inicial durante un movimiento vibratorio” (Guzmán, 2015). La norma NEC-SE-DS, (2015), establece que los períodos de una estructura deben situarse en un rango de 0.1 a 1 segundo. Para nuestra investigación, se muestran los fundamentales 10 períodos de vibración iniciales y el periodo donde se concentra la mayor cantidad de masa, con el objetivo de identificar tanto el período máximo como el mínimo en cada caso de estudio.

MODOS DE VIBRACIÓN

En cuanto a los modos de vibración, estos representan distintos escenarios de excitación de una estructura. El número de modos obtenidos es proporcional al tamaño de las matrices de rigidez (K) o masa (M). El primer modo refleja la forma en que una estructura se excita usando la menor cantidad de energía posible, mientras que los modos subsiguientes ilustran diferentes patrones de movimiento con una mayor intervención de energía. Para nuestra investigación, se determinan los diez modos de vibración iniciales, además del modo que mayor aporte de masa desplaza, analizando los dos primeros modos y el de mayor masa en el sentido del eje “Y”, siendo la dirección que más aporta en el análisis, ya que en el sentido x por ser casas adosadas el desplazamiento en este sentido es mínimo por la resistencia que ejerce las edificaciones colindantes.

ANÁLISIS MODAL EN CASOS DE ESTUDIO

Para el análisis modal se debe configurar las propiedades del material que se le asignaran al macro modelado, para la simulación de cada una de las fachadas las propiedades necesarias son el módulo elástico de la mampostería de ladrillo ($E=5175.37$ MPa) y vigas de hormigón ($E=20000$ MPa) y el coeficiente de Poisson tanto para mampostería de ladrillo ($\nu=0.18$) y vigas de hormigón ($\nu=0.2$).

Se debe realizar el cálculo de las cargas muertas que influirán tanto en las fachadas como en la losa de entrepiso, puesto que forman parte del macro modelo. Para garantizar un análisis completo y preciso del modelo estructural se debe considerar el peso de los elementos de mampostería, la losa de hormigón, las instalaciones y acabados presentados en un capítulo previo durante el análisis de casos de estudio.

5.1.1. CÁLCULO DE CARGA MUERTA PARA EL ANÁLISIS MODAL

1. Peso losa

Para calcular la carga de incidencia para el análisis modal se realizara por metro cuadrado con una losa de 20 cm de espesor y un alivianamiento de casetón 40 x 40 cm x 15 cm y un acabado de 1.5cm con piso flotante.

A)

	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)
Losa	1	1	0.2
Acabado de madera	1	1	0.04
Casetón	0.4	0.4	0.15

B)

	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg/m ²
Hormigon	0.2	2400	249.6
Terminados	0.015	2200	33
Instalaciones	(NEC)		40
Masa total			323

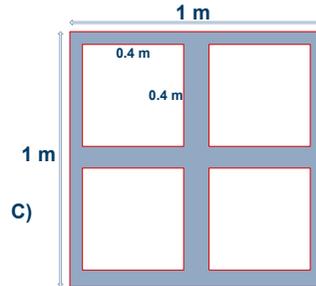


Tabla 5.01. A) Geometrías de la losa. B) calculo de masa total por metro cuadrado. C) Losa de hormigón armado. Bueno & Pulla, 2024.

A)

Conversión de unidades	
1N	kg*m/s ²
1KG	N*s2/m
1m	1000mm

B)

Masa total	Unidades
323	kg/C
323	Ns ² /m ³
0.000000323	Ns ² /mm ³

Tabla 5.02. A) Conversión de unidades. B) calculo de masa total en Ns²/mm³. Bueno & Pulla, 2024.

2. Peso mampostería de ladrillo

Para calcular el peso de la mampostería se consideró un tipo de ladrillo panelón con sus características geométricas que detallando sus dimensiones y juntas en la tabla (A). Se considero el área de un metro cuadrado de mampostería con junta de hormigón sin acabados exterior e interior. Para el cálculo de cantidad de ladrillos por metro cuadrado se utilizó la siguiente ecuación:

Donde:

- CL= cantidad de ladrillos
- l= largo del ladrillo
- a= ancho del ladrillo
- h= altura del ladrillo
- J= espesor de la junta de mortero

$$CL = \frac{1}{(b + J) * (h + J)}$$

Ecuación 9. Formula general cantidad de ladrillos.

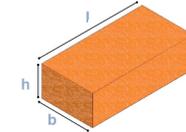


Figura. 5.01. Ladrillo tipo por m². Bueno & Pulla, 2024.

A)

Cantidad de ladrillos en 1 m ² (CL)	
Largo ladrillo "l" (m)	0.25
ancho ladrillo "a" (m)	0.12
altura ladrillo "h" (m)	0.07
espesor junta "J" (m)	0.015
CL (u)	45

B)

	Volumen m ³	Densidad kg/m ³	Masa kg/m ²
Ladrillo	0.0945	1741	164.5245
Mortero	0.0255	2000	51
Masa total			216

Tabla 5.03. A) Cantidad de unidades por m². B) calculo de masa total por metro cuadrado. Bueno & Pulla, 2024.

A)

Conversión de unidades	
1N	kg*m/s ²
1KG	N*s2/m
1m	1000mm

B)

Masa total	Unidades
216	kg/C
216	Ns ² /m ³
0.000000216	Ns ² /mm ³

Tabla 5.04. A) Conversión de unidades. B) calculo de masa total en Ns²/mm³. Bueno & Pulla, 2024.

5.1.2. ANÁLISIS MODAL EN CASOS DE ESTUDIO

Para realizar el análisis modal, se emplea el software STKO con compilaciones OpenSees. Los modelos utilizados en las simulaciones de cada una de las fachadas (casos de estudio) son los presentados en la sección correspondiente. Durante el proceso de simulación, se debe considerar la utilización de vigas de hormigón armado con dimensiones de 150 x 200 mm, siendo este el sistema constructivo más utilizado para edificaciones confinadas de dos pisos típicas con ladrillo panelón en la ciudad de Cuenca. Estas vigas se colocan en la parte superior como vigas de amarre para confinar la mampostería. Dado que se trata de edificaciones confinadas, el eje de análisis será el eje "Y" con un mallado de 100 x 100 mm para la simulación.

MODOS DE VIBRACION CASO 1

La tabla 5.05, muestra los resultados del análisis modal en la dirección "Y" para el Caso 1. Se observa que el primer modo tiene el periodo más largo (0.71 s), lo que lo convierte en el modo de vibración dominante. A medida que aumenta el número de modo, el periodo de vibración disminuye. El modo 30 tiene la mayor cantidad de masa desplazada (20.13%), lo que indica que este modo tiene la mayor influencia en la respuesta dinámica de la estructura.

Las figuras muestran los modos de vibración, donde se observa como el total de la masa se está comportando identificando áreas vulnerables a la excitación. En el primer modo (figura 5.02), se observan afectaciones entre la puerta y la ventana del primer piso de lado derecho de la fachada, y en la ventana de lado izquierdo del segundo piso. En el segundo modo (figura 5.03), la ventana izquierda del primer piso es la más afectada. En el modo 30 (figura 5.04), se destacan daños en el voladizo y la pared derecha del segundo piso.

ANÁLISIS MODAL EN LA DIRECCION "Y" CASO 1			
# MODO	PERIODO "T" (s)	CANTIDAD DE MASA (kg)	PORCENTAJE DE MASA DESPLAZADA
1	0.712	6.8251	0.03%
2	0.660	0.09	0.0004%
3	0.656	37.2688	0.18%
4	0.648	249.528	1.23%
5	0.605	18.6767	0.09%
6	0.596	6.88182	0.03%
7	0.516	689.794	3.42%
8	0.459	227.362	1.12%
9	0.402	283.381	1.40%
10	0.333	1.90205	0.009%
30	0.196	4056.54	20.13%
MASA TOTAL		20147.9	100.00%

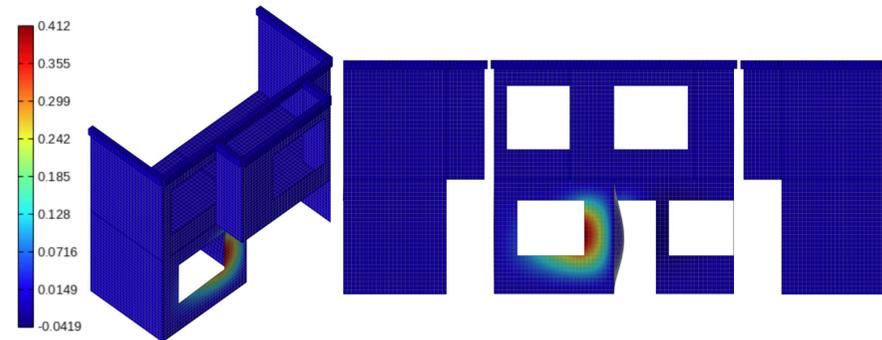


Figura 5.02. Análisis modal caso 1. Modo = 1. T= 0.71 s, Bueno & Pulla, 2024.

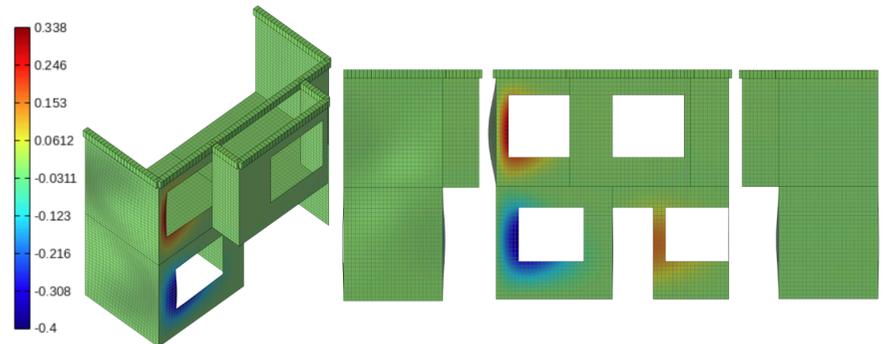


Figura 5.03. Análisis modal caso 1. Modo = 2. T= 0.66 s, Bueno & Pulla, 2024.

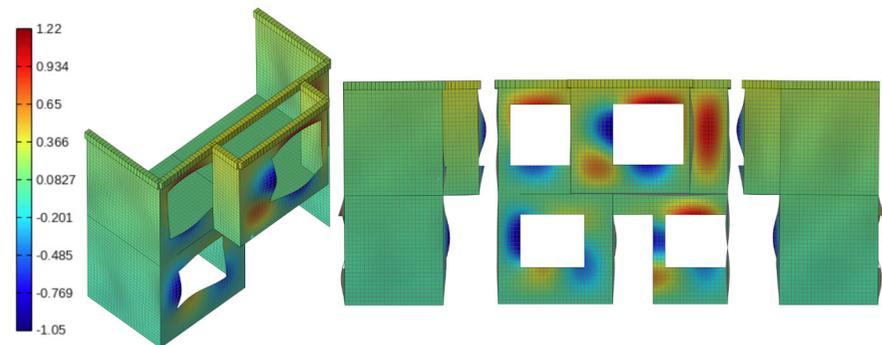


Figura 5.04. Análisis modal caso 1. Modo = 30. T= 0.19 s, Bueno & Pulla, 2024.

Tabla 5.05. Análisis modal caso 1, modos, periodos, masa en la dirección "Y". Bueno & Pulla, 2024.

MODOS DE VIBRACION CASO 2

La tabla 5.06, proporciona los resultados del análisis modal en la dirección "Y" para el Caso 2. Se nota que el primer modo exhibe el periodo más prolongado (0.885 s), lo que lo establece como el modo de vibración principal. A medida que se incrementa el número de modo, el periodo de vibración decrece. El modo 64 destaca por tener la mayor fracción de masa desplazada (24.29%), lo que sugiere que este modo ejerce la mayor influencia en la respuesta dinámica de la estructura.

Las figuras presentan los modos de vibración, destacando la distribución de masa y identificando áreas susceptibles a la excitación. En el primer modo (figura 5.05), se evidencia un inicio de afectaciones en la ventana superior izquierda, así como en la puerta y ventana del balcón. En el segundo modo (figura 5.06), las zonas más afectadas son la ventana superior e inferior del lado izquierdo. En el modo 64 (figura 5.07), se resaltan las afectaciones en toda la parte superior de la fachada, particularmente en la esquina superior derecha del segundo piso y en la ventana derecha del primer piso.

ANÁLISIS MODAL EN LA DIRECCIÓN "Y" CASO 2			
# MODO	PERIODO "T" (s)	CANTIDAD DE MASA (kg)	PORCENTAJE DE MASA DESPLAZADA
1	0.885	0.134663	0.001%
2	0.754	10.8506	0.04%
3	0.748	0.596767	0.002%
4	0.672	53.8959	0.22%
5	0.618	259.332	1.06%
6	0.565	85.7144	0.350%
7	0.534	42.9361	0.17%
8	0.519	271.853	1.12%
9	0.482	522.701	2.15%
10	0.404	6.51425	0.02%
64	0.145	5897.05	24.29%
MASA TOTAL		24271.1	100.00%

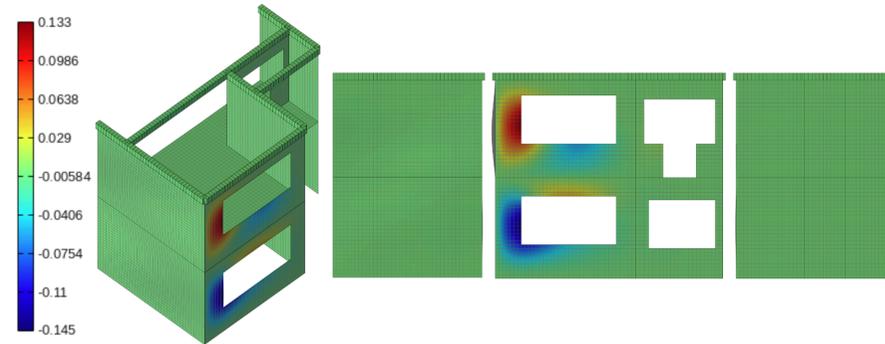


Figura 5.05. Análisis modal caso 2. Modo = 1. T= 0.885 s, Bueno & Pulla, 2024.

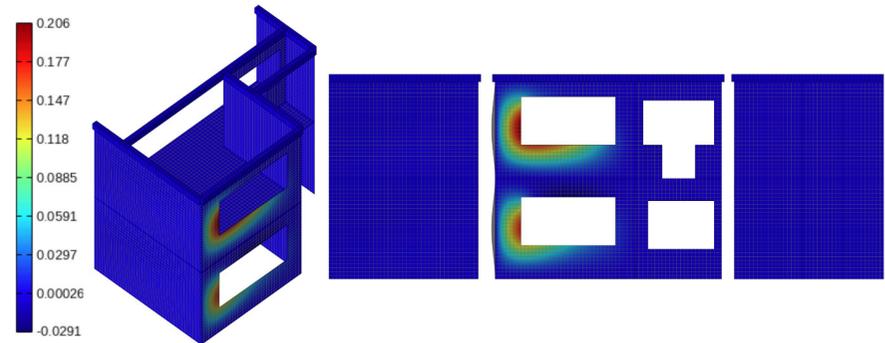


Figura 5.06. Análisis modal caso 2. Modo = 2. T= 0.754 s, Bueno & Pulla, 2024.

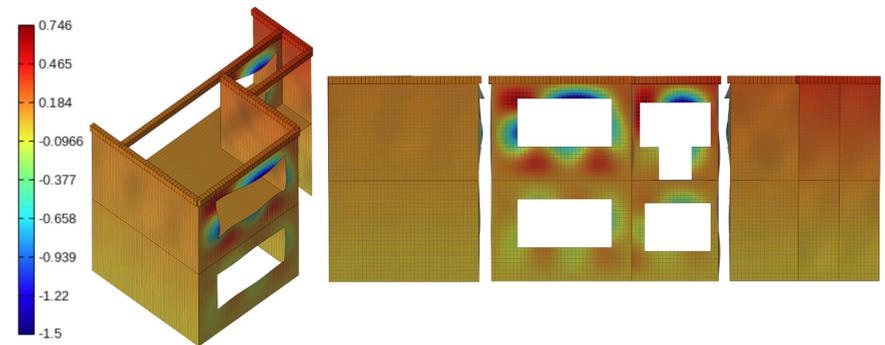


Figura 5.07. Análisis modal caso 2. Modo = 64. T= 0.145 s, Bueno & Pulla, 2024.

Tabla 5.06. Análisis modal caso 2, modos, periodos, masa en la dirección "Y". Bueno & Pulla, 2024.

MODOS DE VIBRACION CASO 3

La tabla 5.07, muestra los resultados del análisis modal en la dirección Y para el Caso 3. Se observa que el modo 1 tiene el periodo más largo (0.92 s), siendo el principal modo de vibración de la estructura. Conforme aumenta el número de modo, el periodo de vibración tiende a disminuir. Además, el modo 28 presenta la mayor fracción de masa desplazada (7.4%), lo que indica que este modo domina la respuesta dinámica de la estructura.

Las figuras ilustran los modos de vibración, revelando cómo se comporta la masa total para identificar áreas vulnerables a la excitación. El modo 1 (Figura 5.08) muestra afectaciones en las ventanas superior e inferior izquierda. En el modo 2 (Figura 5.09), la ventana inferior izquierda es la más afectada con un daño considerable. El modo 28 (Figura 5.10) destaca daños en la parte superior e inferior derecha de toda la fachada siendo las más afectadas las ventanas.

ANÁLISIS MODAL EN LA DIRECCION "Y" CASO 3			
# MODO	PERIODO "T" (s)	CANTIDAD DE MASA (kg)	PORCENTAJE DE MASA DESPLAZADA
1	0.924	0.313093	0.001%
2	0.787	117.543	0.34%
3	0.776	11.2684	0.03%
4	0.758	68.8462	0.20%
5	0.657	1294.39	3.85%
6	0.631	0.467503	0.001%
7	0.597	402.609	1.19%
8	0.579	123.985	0.36%
9	0.497	57.8706	0.17%
10	0.497	555.522	1.65%
28	0.304	2486.69	7.4%
MASA TOTAL		33595.2	100.00%

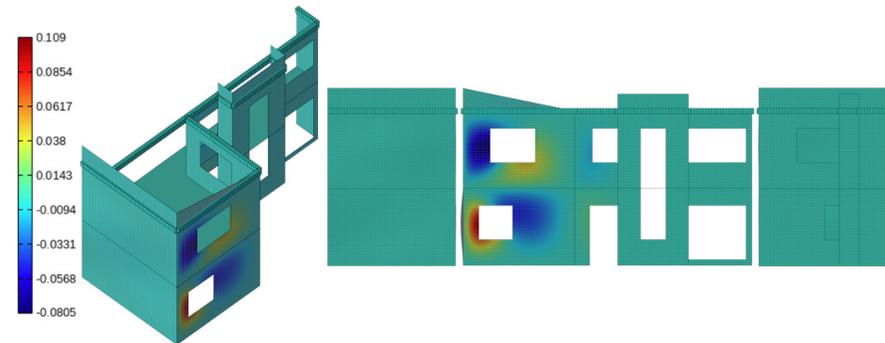


Figura 5.08. Análisis modal caso 3. Modo = 1. T= 0.92 s, Bueno & Pulla, 2024.

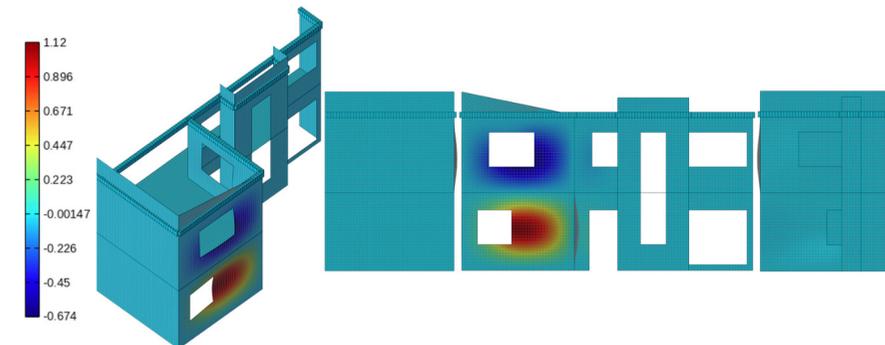


Figura 5.09. Análisis modal caso 3. Modo = 2. T= 0.78 s, Bueno & Pulla, 2024.

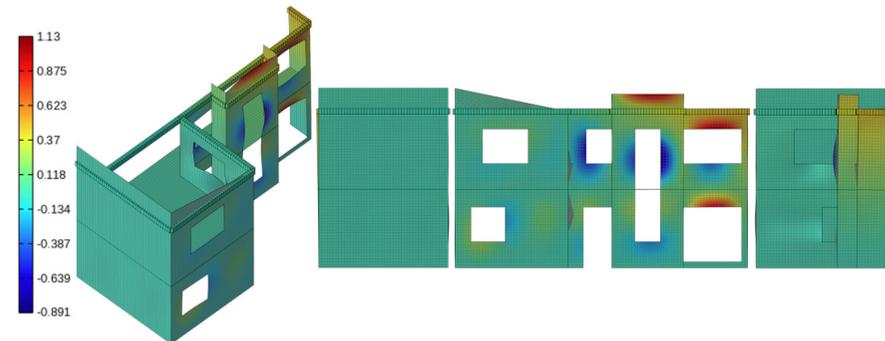


Figura 5.10. Análisis modal caso 3. Modo = 28. T= 0.30 s. Bueno & Pulla, 2024.

Tabla 5.07. Análisis modal caso 3, modos, periodos, masa en la dirección "Y". Bueno & Pulla, 2024.

5.2 MODELO DE PAREDES TÍPICAS BAJO EL ANÁLISIS DE PUSHOVER.

El análisis Pushover es un método estático no lineal utilizado para evaluar el comportamiento sísmico de estructuras. Donde se aplica una carga lateral aumentada a la estructura hasta llegar a un estado de fractura. La curva de capacidad, que representa la relación entre la fuerza lateral y el desplazamiento lateral, simulando una carga sísmica, proporcionando información importante sobre la resistencia sísmica de una estructura.

Limitaciones del análisis pushover:

- El análisis pushover es un método no lineal estático, por lo que no tiene en cuenta los efectos dinámicos de los terremotos, para nuestra investigación se realiza un único empuje lateral en una sola dirección “eje Y”.
- La precisión del análisis pushover depende de la calidad del modelo de la pared y de la definición de la carga lateral.

En el caso de paredes de mampostería, el análisis pushover puede ser utilizado para:

- Evaluar la capacidad de resistencia lateral de la pared.
- Identificar los modos de falla más probables.
- Estimar la ductilidad de la pared.
- Comparar el comportamiento de diferentes diseños de paredes.

Durante el proceso de simulación se deben tomar en cuenta las propiedades de los materiales obtenidos en las procesos anteriores, se debe asignar a la simulación las propiedades de ladrillos, mortero y hormigón, así como también cargas muertas para paredes y losas, de igual manera se utilizara vigas de hormigón en planta alta que confinen la mampostería.

DEFINICIÓN DE CARGA LATERAL

Además de la asignación de carga por peso propio de cada uno de los materiales tanto como losa, paredes de mampostería y vigas de hormigón, se le asigna la carga lateral sobre la losa en el sentido “Y” más vulnerable, esta carga servirá para simular el movimiento sísmico donde la magnitud de la carga se incrementa gradualmente, (ver figura 5.11).

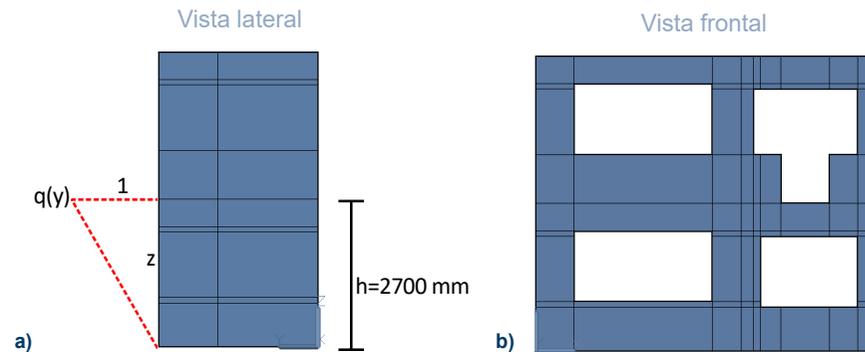


Figura 5.11. Aplicación de carga en la losa, a) vista lateral b) vista frontal. Bueno & Pulla, 2024.

La carga lateral se calcula en relación con la altura de entrepiso de la casa con la siguiente ecuación:

Donde:

- h= Altura de entrepiso de la fachada
- q(y)= Carga lateral a aplicarse
- z= Variable de altura

$$\frac{h}{1} = \frac{-z}{q(y)}$$

$$2700 * q(y) = z$$

$$q(y) = \frac{-z}{2700}$$

Ecuación 10. Formula para calcular carga lateral. Bueno & Pulla, 2024.

$$q(y) = -0.000370 * z$$

Luego de haber encontrado la carga lateral, se continuara con el mallado de 100 x 100 mm para arrancar la simulación y obtener unos resultados más precisos en la determinación de daño ya que mientras menor sea la malla mejores resultados tendremos en el análisis de la estructura.

Con este análisis, se pueden determinar los daños a tensión y a compresión que experimenta la pared durante la aplicación de la carga lateral creciente simulando una carga sísmica sobre la estructura.

Daño a tensión: Se produce cuando la pared se somete a fuerzas de tracción que superan la resistencia a la tracción del material.

Daño a compresión: Se produce cuando la pared se somete a fuerzas de compresión que superan la resistencia a la compresión del material.

A continuación mostraremos el modelado de las tres fachadas utilizadas en nuestra investigación tanto en el programa de AutoCAD y luego el preparado del modelado con una malla de análisis en el programa STKO.

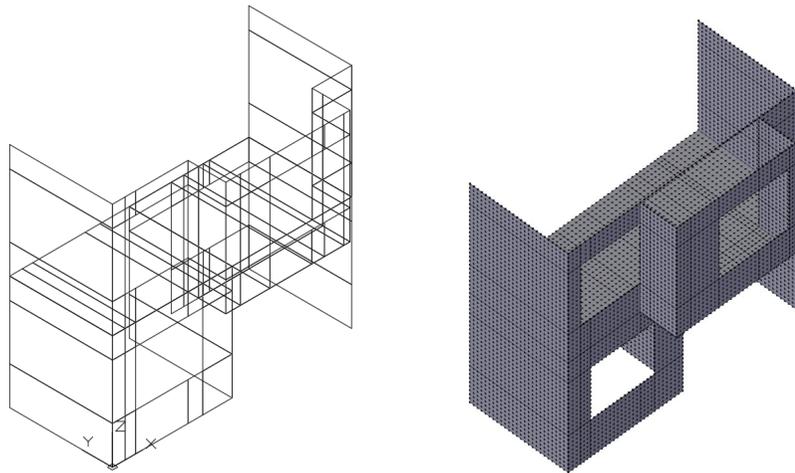


Figura 5.12. Modelado de fachada caso 1 en en los programas AutoCAD y STKO .
Bueno & Pulla, 2024.

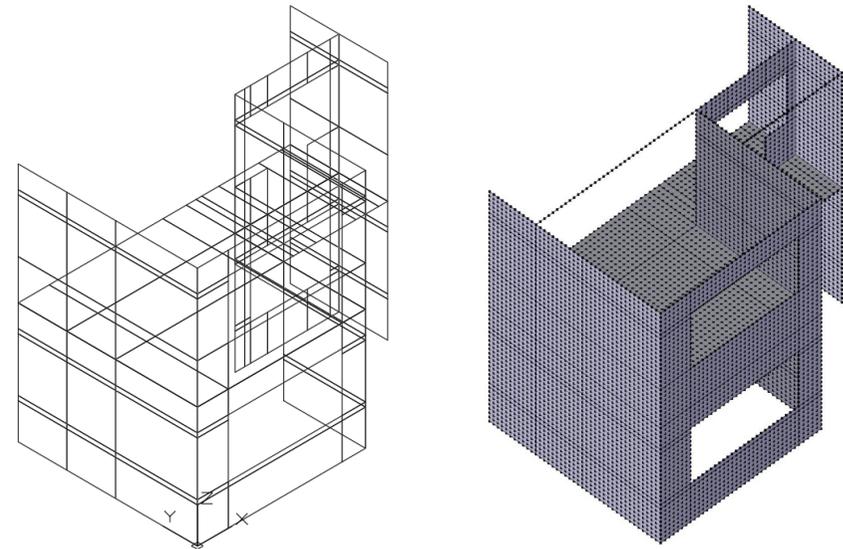


Figura 5.13. Modelado de fachada caso 2 en en los programas AutoCAD y STKO .
Bueno & Pulla, 2024.

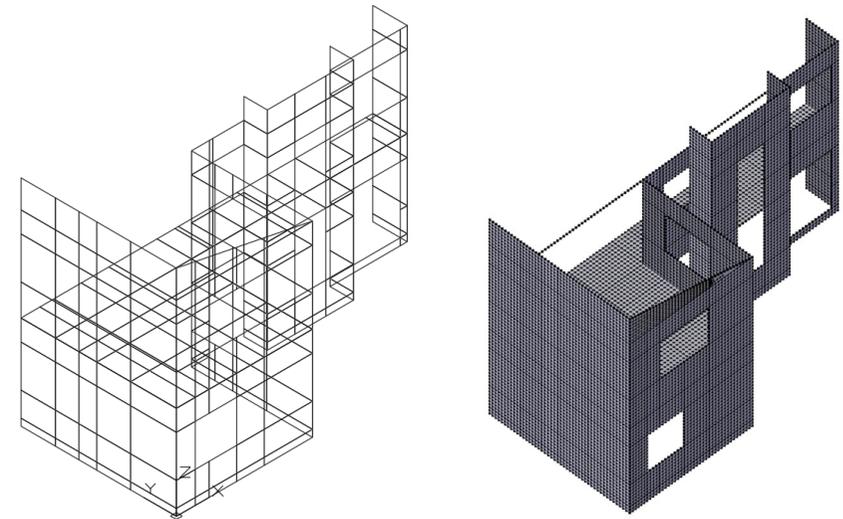


Figura 5.14. Modelado de fachada caso 3 en en los programas AutoCAD y STKO .
Bueno & Pulla, 2024.

5.3 DETERMINACIÓN DE DAÑO

Para el análisis de cada una de las fachadas, se realizaron dos tipos de determinación de daño por tensión y compresión, obteniendo también la curva de capacidad considerando una carga lateral en la losa en la dirección “Y”.

CASO 1

Curva Pushover de resistencia lateral

En la gráfica 5.15, muestra la relación entre el desplazamiento lateral y la fuerza lateral, podemos apreciar que presenta un comportamiento lineal del punto A al B, significando un comportamiento elástico o rigidez de la fachada, llegando a un máximo de 56.38 kN en carga lateral y 3.87 mm en desplazamiento, representando el punto máximo de la curva, la capacidad de resistencia lateral de la pared, al pasar del punto máximo observamos que esta tiende a caer indicando un comportamiento inelástico y ablandamiento, llegando a un punto donde seguirá deformándose sin aumentar su resistencia hasta su colapso.

Daño a tensión

La figura 5.16, muestra el daño por tensión más crítico, evidenciado por la formación de grietas en la pared. Se destaca el agrietamiento diagonal notable en las paredes laterales de la fachada, indicando un alto riesgo de falla. También se observan pequeñas afecciones en ventanas principalmente en sus esquinas, indicando estas un inicio de daño por tensión con potencial de incremento con el tiempo.

Daño a compresión

La figura 5.17, muestra el daño por compresión, significativamente menor que el daño por tensión, lo cual es un comportamiento natural dada la excelente respuesta del ladrillo macizo ante cargas compresivas. Se observa un agrietamiento diagonal en las paredes laterales de la fachada, similar al daño por tensión, pero de menor magnitud.

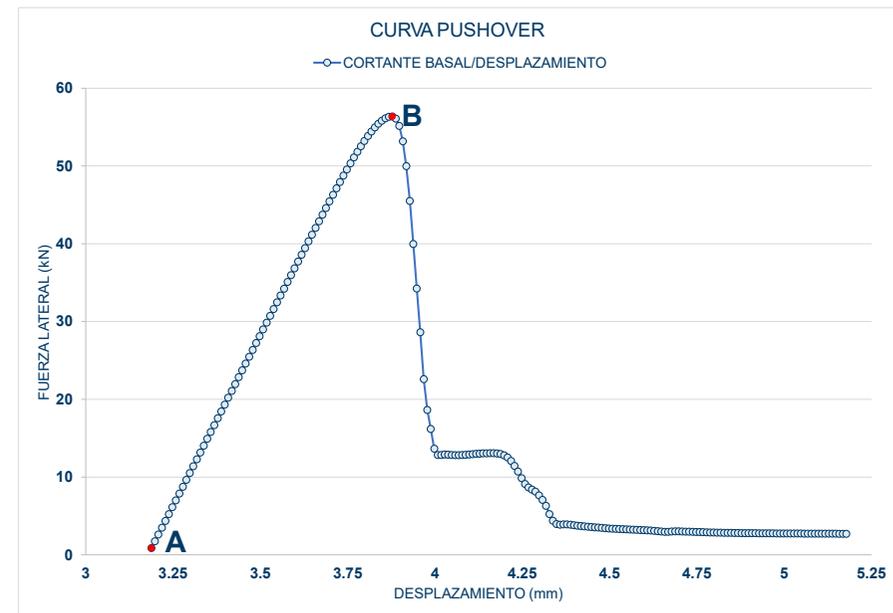


Figura 5.15. CASO 1, curva Pushover en relación entre la fuerza lateral y el desplazamiento lateral de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

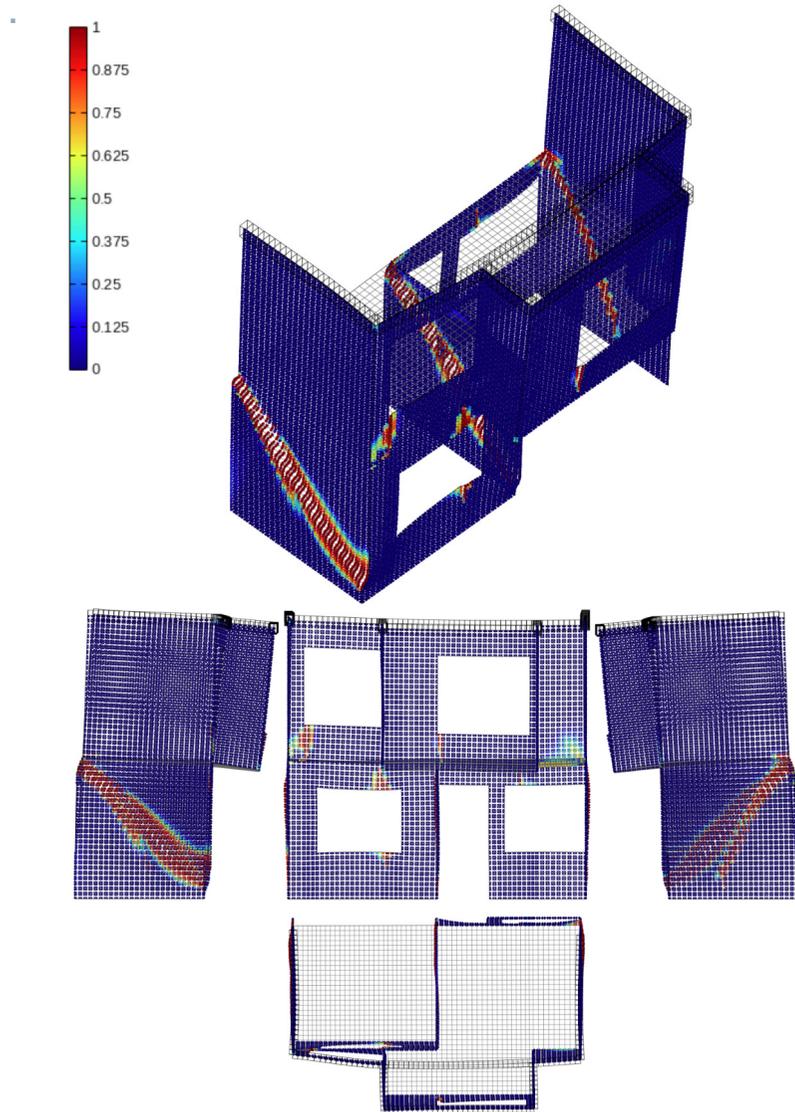


Figura 5.16. CASO 1. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

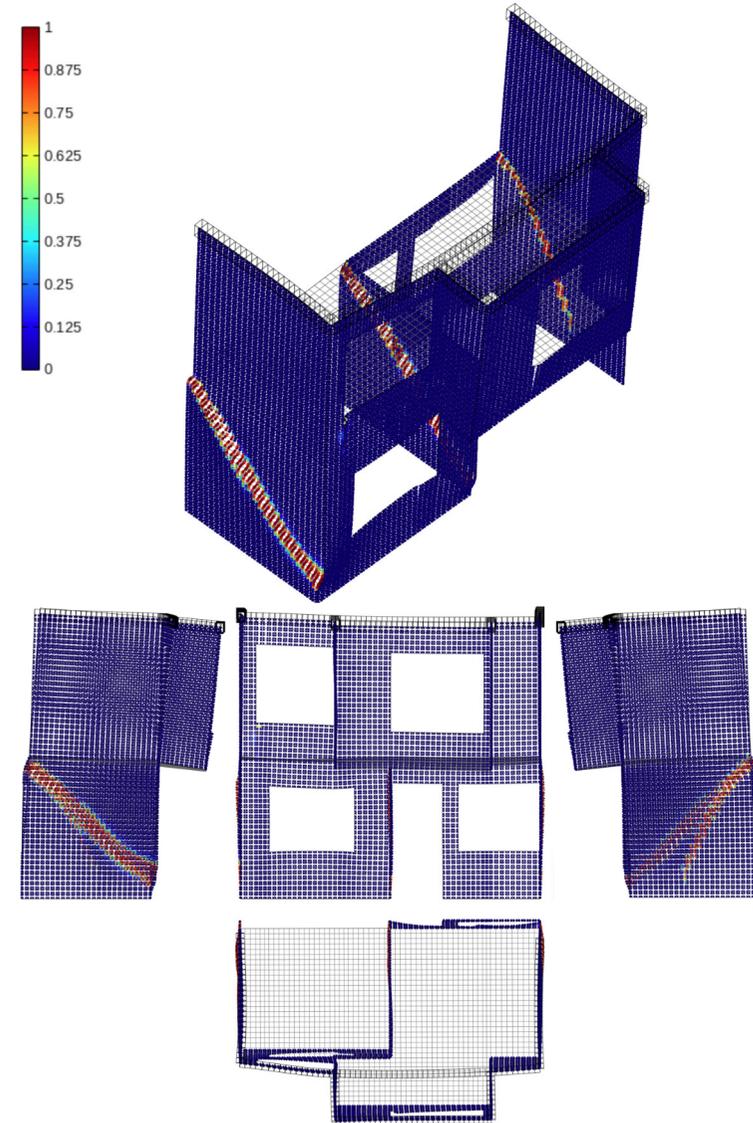


Figura 5.17. CASO 1. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

CASO 2

Curva Pushover de resistencia lateral

En la gráfica 5.18, muestra la relación entre el desplazamiento lateral y fuerza lateral, podemos apreciar que presenta un comportamiento lineal del punto A al B, indicando un comportamiento elástico o rigidez de la edificación, luego de eso notamos un comportamiento inelástico hasta alcanzar a un máximo en el punto C, con 55.38 kN en carga lateral y 2.79 mm en desplazamiento, representando el punto máximo de la curva, la capacidad de resistencia lateral de la pared, al llegar el punto máximo notamos un comportamiento inelástico, deduciendo que la estructura seguirá deformándose de manera progresiva, sin que se incremente su capacidad para soportar las cargas, hasta alcanzar el punto crítico de falla o colapso total.

Daño a tensión:

La figura 5.19, muestra el daño por tensión más crítico, evidenciado por la formación de grietas en la pared. Se Destaca especialmente el notable agrietamiento diagonal en las paredes laterales de la fachada, indicando un alto riesgo de falla o colapso. También se distinguen algunas afectaciones considerables en la parte más sobresaliente de la fachada, alrededor de las ventanas, que podrían estar señalando el inicio de una falla fuera de plano con potencial de agravarse con el transcurso del tiempo.

Daño a compresión

La imagen 5.20, muestra el deterioro ocasionado por fuerzas de compresión, el cual es notablemente inferior al daño provocado por esfuerzos de tracción, situación que era de esperarse debido a la sobresaliente respuesta del ladrillo sólido ante sollicitaciones de compresión. Es visible un patrón de agrietamiento diagonal en las paredes laterales de la fachada, similar al daño por tensión, pero de menor severidad, además de una grieta diagonal leve en la ventana superior izquierda de la fachada.

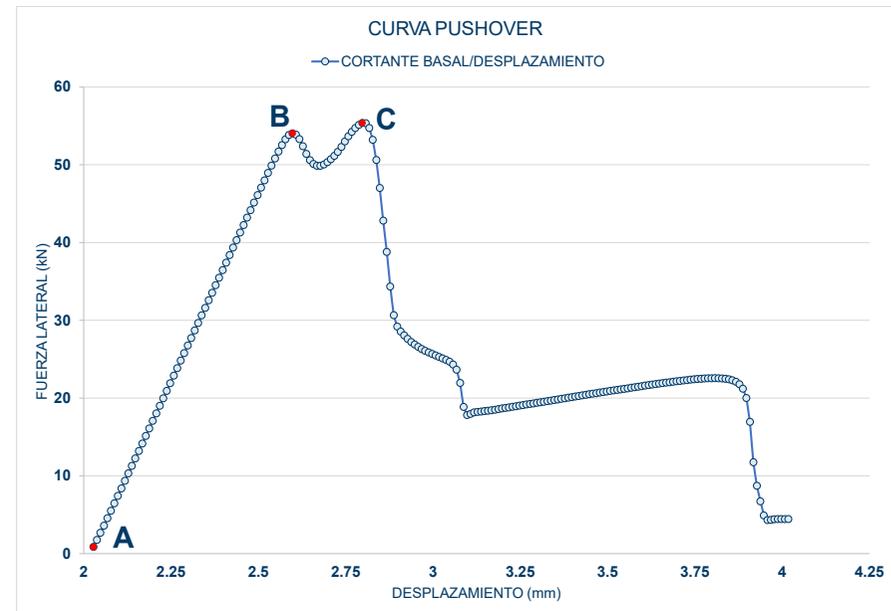


Figura 5.18. CASO 2, curva Pushover en relación entre la fuerza lateral y el desplazamiento lateral de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

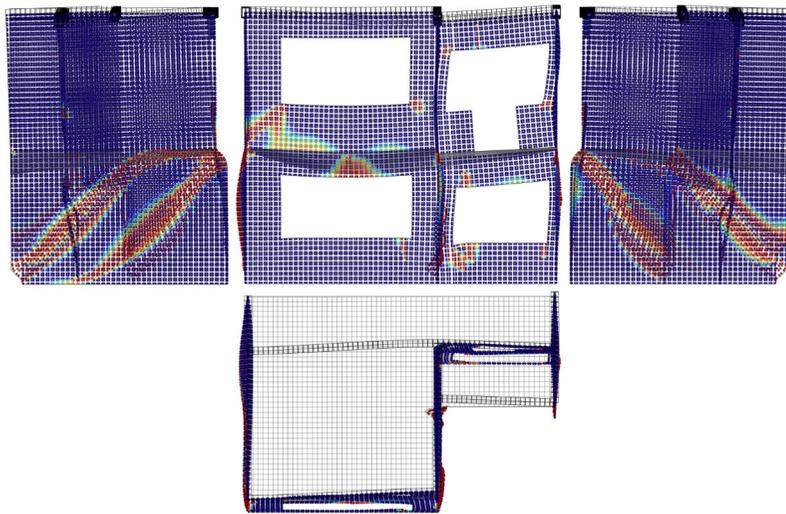
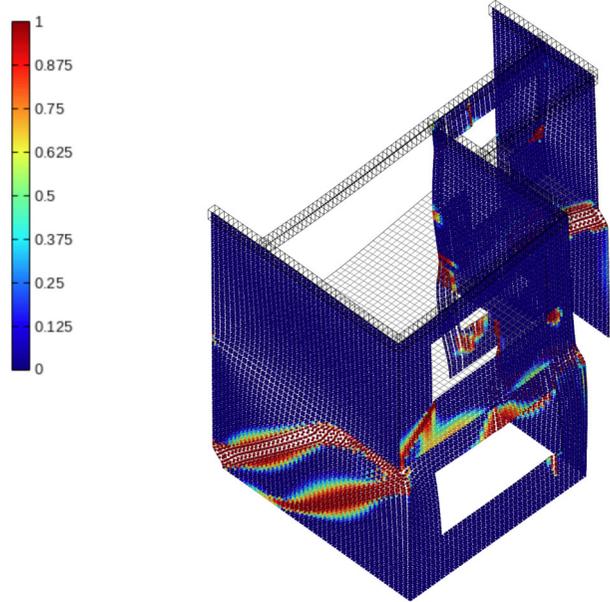


Figura 5.19. CASO 2. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

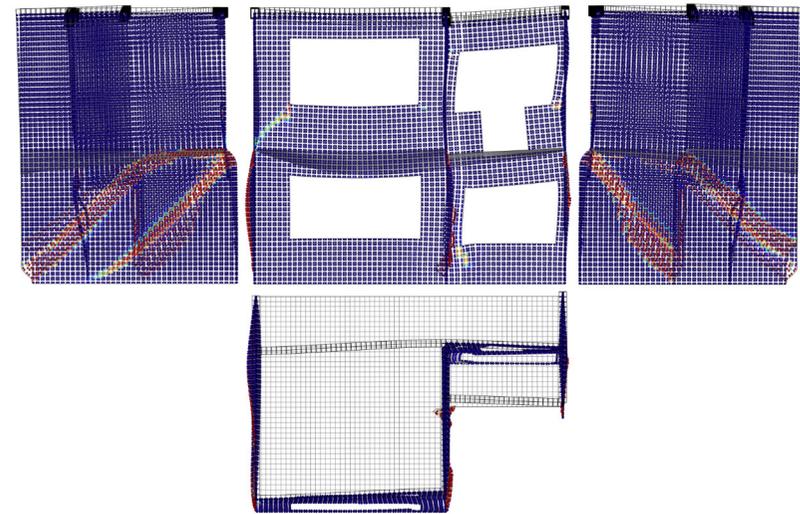
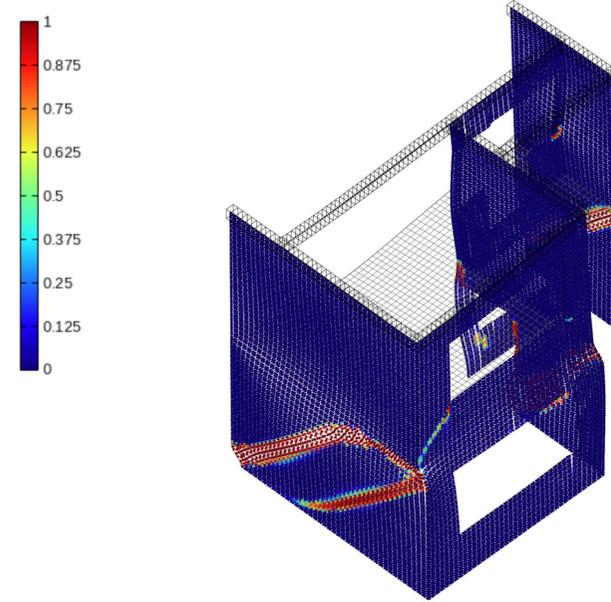


Figura 5.20. CASO 2. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

CASO 3

Curva Pushover de resistencia lateral

En la gráfica 5.21, muestra la relación entre el desplazamiento lateral y fuerza lateral, podemos apreciar del punto A al B, tiende a mantenerse en una forma lineal significando un comportamiento elástico o rigidez de la estructura, después de haber aplicado una fuerza lateral, en el punto B es la capacidad de resistencia lateral máxima alcanzando a un máximo de 74.45 kN en carga lateral y 3.54 mm en desplazamiento, luego del punto B podemos apreciar que la curva comienza un comportamiento inelástico, indicando la fragilidad de la estructura logrando apreciar como va fallando pared por pared, por ello la razón de las curvas pequeñas después del punto máximo, gradualmente la gráfica seguirá cayendo sin subir su resistencia hasta llegar a su punto más crítico.

Daño a tensión

La figura 5.22, muestra el daño más severo causado por tensión, evidenciado por la formación de grietas en la pared. Lo más preocupante es el agrietamiento diagonal crítico en las paredes laterales de la fachada, indicando un altísimo riesgo de falla inminente. También se observan algunas afectaciones menores en las esquinas de puertas y ventanas, que podrían estar evidenciando el comienzo de una falla fuera de plano con respecto a la pared, con potencial de agravarse hasta convertirse en una falla crítica con el paso del tiempo.

Daño a compresión

La figura 5.23, muestra el daño generado por fuerzas de compresión, significativamente inferior al daño causado por tensión, lo cual resulta previsible dada la excelente capacidad del ladrillo macizo para resistir cargas de compresión. Se observa un esquema de agrietamiento diagonal en las paredes laterales de la fachada, semejante al daño por tracción, pero de menor severidad, así como también grietas diagonales de menor tamaño en las esquinas de las ventanas.

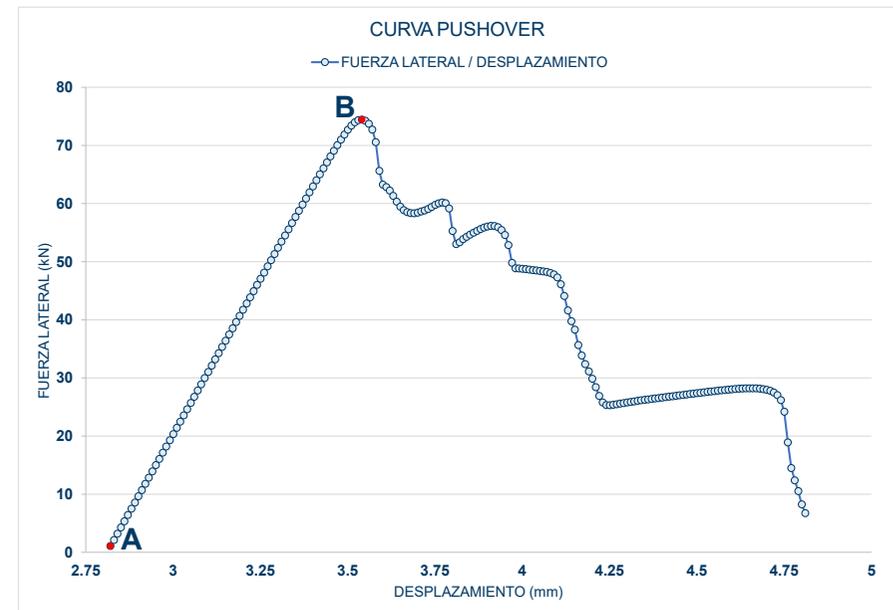


Figura 5.21. CASO 3, curva Pushover en relación entre la fuerza lateral y el desplazamiento lateral de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

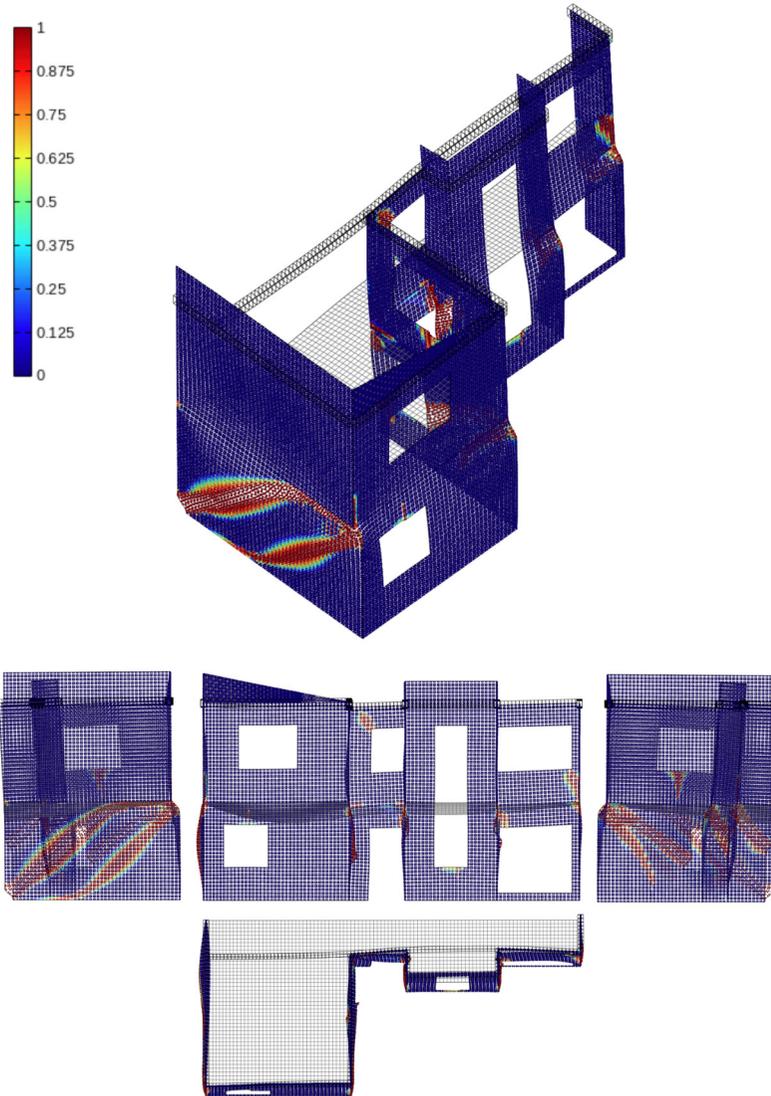


Figura 5.22. CASO 3. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

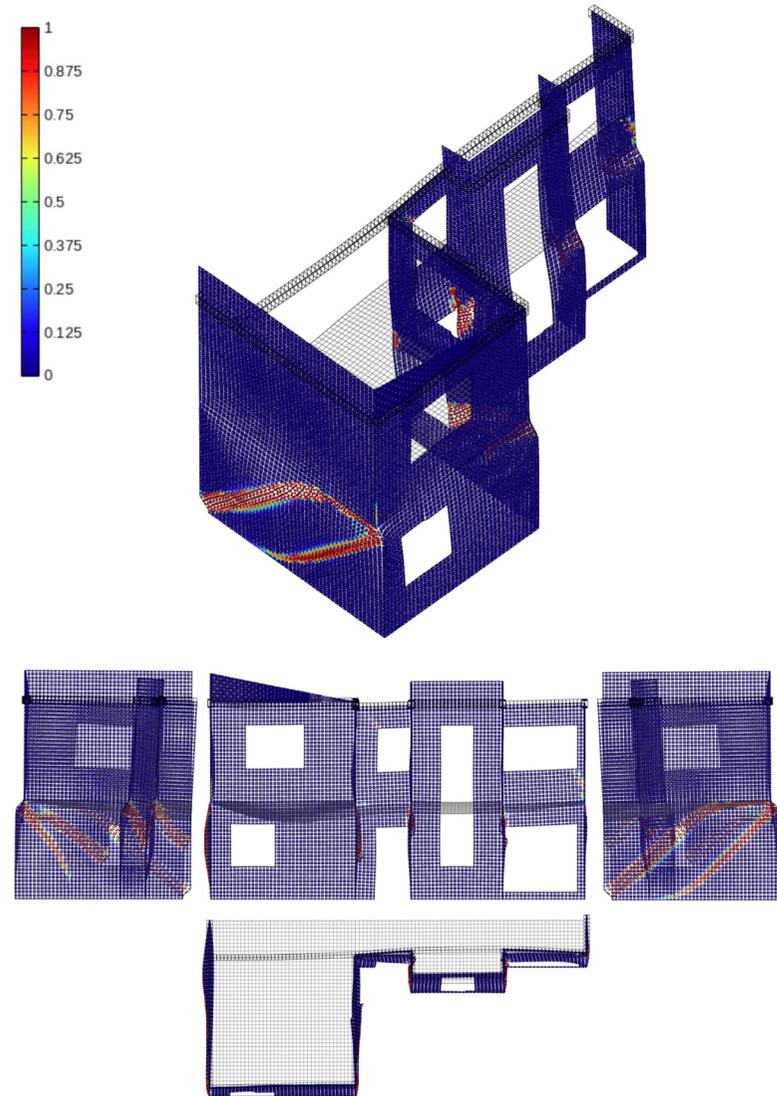


Figura 5.23. CASO 3. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

OBSERVACIONES SOBRE LA DETERMINACIÓN DE DAÑO

Tanto el daño a tensión como daño a compresión son muy importantes de tomar en cuenta en cada caso, ya que nos indican donde se producirán los mayores daños en la pared que se producirán durante un sismo, es por ello que se analiza estos dos tipos de daño más importantes en la estructura.

Daño a tensión

Al analizar el daño por tensión revela que las áreas más afectadas se localizan en las paredes laterales de las fachadas, donde se observa un patrón diagonal de grietas o fisuras. Además, se identifican daños considerables en los vanos de ventanas y puertas, los cuales representan puntos vulnerables ante un posible fallo durante un evento sísmico.

Daño a compresión

Al analizar el daño por compresión reveló que, si bien la magnitud de los daños es menor en comparación con el daño por tensión, el patrón de afectaciones es similar. Se observaron grietas o fisuras en las zonas laterales de las paredes siguiendo un patrón diagonal, así como también algunos daños en los vanos de puertas y ventanas.

5.4 DETERMINACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD

Análisis de Vulnerabilidad Sísmica

El análisis de vulnerabilidad sísmica es un proceso crucial para evaluar cuán seguras son las estructuras ante terremotos y para diseñar nuevas construcciones capaces de resistirlos (Calvi et al., 2006). Este análisis busca determinar la capacidad de una estructura para aguantar fuerzas sísmicas y estimar el posible daño que podría sufrir bajo diferentes niveles de movimiento del suelo, (American Society of Civil Engineers [ASCE], 2017).

Curvas de Capacidad

Las curvas de capacidad son herramientas esenciales en este proceso, ya que muestran cómo una estructura responde a las fuerzas sísmicas (Elnashai & Di Sarno, 2015). Estas curvas representan la relación entre la fuerza que afecta la base de la estructura y el máximo desplazamiento lateral que experimenta el techo. Se obtienen mediante un análisis especial que simula cargas laterales crecientes sobre la estructura hasta alcanzar su capacidad máxima, (Applied Technology Council [ATC], 2005).

Las curvas de capacidad se calculan mediante un análisis estático no lineal (pushover), que consiste en aplicar cargas laterales crecientes a la estructura hasta alcanzar su capacidad última (Krawinkler & Seneviratna, 1998). Este análisis tiene en cuenta el comportamiento no lineal de los materiales y la redistribución de esfuerzos internos a medida que la estructura se deforma (Fajfar, 2000).

Se tuvo que seleccionar un nodo o punto de control (típica mente en el centro de masa del último nivel) para el registro de desplazamientos laterales.

Es así como se logra simular la curva de capacidad de los tres casos de estudio por medio de un análisis estático no lineal, donde nos da la idea de cómo se comportara la estructura cuando sea sometido bajo una carga sísmica.

La curva de capacidad nos indica de como la estructura se está comportando, al principio podemos apreciar como la curva mantiene una forma lineal significando su zona elástica del material asta llegar a un punto máximo donde comenzara a caer comportándose de una forma no lineal indicando los daños que ira sufriendo a medida que aumenta el desplazamiento.

A continuación, se mostrarán las curvas de capacidad de cada caso de estudio, trasladando su origen al punto 0 en x y 0 en y para su posterior comparación con el espectro inelástico.

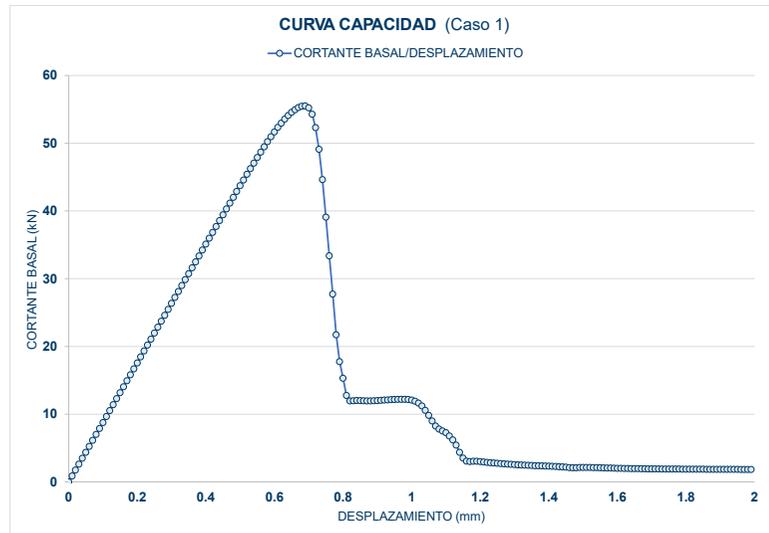


Figura 5.24. CASO 1. Curva de capacidad entre cortante basal (kN) y desplazamiento lateral (mm), de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

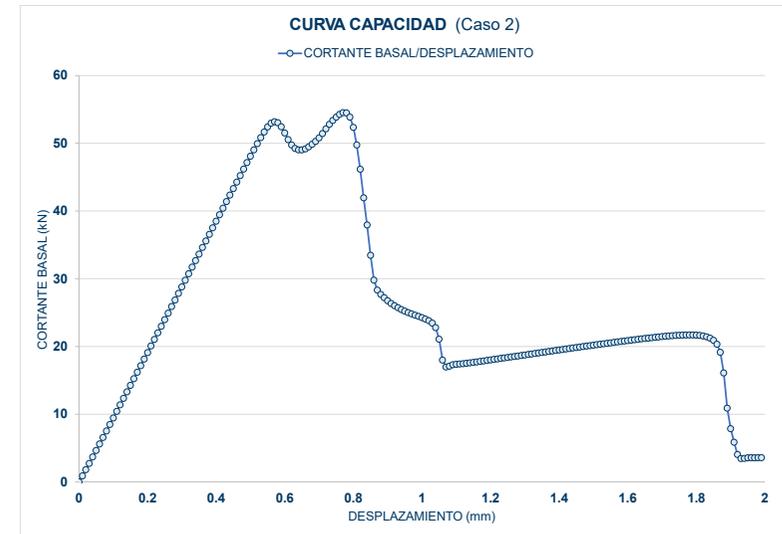


Figura 5.25. CASO 2. Curva de capacidad entre cortante basal (kN) y desplazamiento lateral (mm), de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

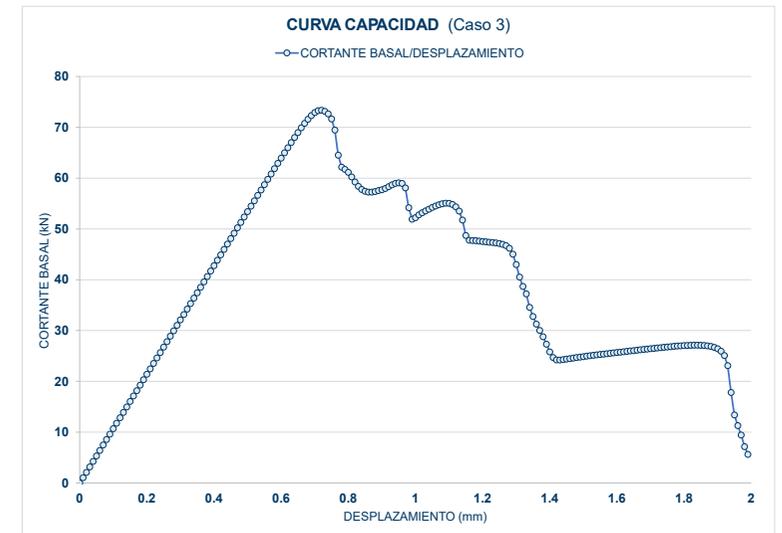


Figura 5.26. CASO 3. Curva de capacidad entre cortante basal (kN) y desplazamiento lateral (mm), de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

5.5 MÉTODO DEL ESPECTRO INELÁSTICO

Espectro de Diseño Elástico:

El procedimiento para construir el espectro de diseño elástico parte de los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento pico del movimiento del suelo esperado.

La NEC-SE-DS (2015) detalla que “el espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como un porcentaje de la aceleración debida a la gravedad y está influenciado por diversos factores como, el factor (Z), como la clasificación de la zona sísmica, el tipo de suelo donde se encuentra la estructura y la consideración de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d y F_s ” (p.32).

Las ordenadas espectrales para aceleración, velocidad y desplazamiento se determinan aplicando factores de amplificación que dependen del amortiguamiento inherente de la estructura, (Chopra, 2012).

El espectro de diseño elástico así construido representa las demandas máximas de aceleración, velocidad y desplazamiento para sistemas elásticos de un grado de libertad, (NEC, 2015).

Espectro de Diseño inelástico:

Este método se basa en el concepto de que las estructuras pueden experimentar deformaciones inelásticas durante un evento sísmico severo, lo que permite disipar energía y reducir las fuerzas sísmicas a las que están sometidas (Chopra, 2012).

El espectro de diseño inelástico se obtiene modificando el espectro elástico mediante factores que dependen de la ductilidad y el periodo, para representar el comportamiento inelástico del sistema.

Se utilizan ecuaciones que relacionan el factor de reducción por resistencia (R_y), con el periodo y el factor de ductilidad. Las ordenadas del espectro elástico se dividen por R_y para obtener las ordenadas del espectro inelástico en las diferentes ramas espectrales, (Chopra, 2012).

El espectro inelástico depende del factor de ductilidad (μ), siendo menor que el elástico para mayores ductilidades permitidas. El espectro de diseño representa las demandas de aceleración, velocidad y desplazamiento máximas de un sistema de un grado de libertad con diferentes períodos de vibración, sometido a un movimiento sísmico específico (Chopra, 2012).

“El método del espectro inelástico requiere la determinación de los modos de vibración de la estructura y la combinación modal de las respuestas modales” (Chopra, 2012). Esto se realiza mediante la aplicación de métodos de análisis modal espectral, como el método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) o el método de la combinación cuadrática completa (CQC) (Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción [CENEC], 2016).

Según la normativa NEC 2015, “la ciudad de Cuenca se encuentra en la categoría C, que se caracteriza por suelos muy densos o roca blanda”, para nuestra investigación se consideraron las siguientes características:

”Factores del espectro elástico”:

- $Z=0.25$ (clasificación específica de suelos, Cuenca está situada en una zona sísmica de alto riesgo).
- $f_d = 1.28$ (para amplificar las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos en terrenos rocosos).
- $f_a = 1.30$ (para amplificar el suelo en la zona de periodos cortos) y
- $f_s = 0.94$ (para considerar el comportamiento no lineal de los suelos).
- $r = 1$, (ubicación geográfica del proyecto).
- $\eta = 2.4$ (coeficiente de pérdida o factor de amortiguamiento).

5.5.1. CÁLCULOS PARA TODOS LOS CASOS DE ESTUDIO

1. Transformación a un sistema equivalente de un grado de libertad

Esta transformación se le hará con los datos del análisis Pushover extrayendo la fuerza cortante y desplazamiento, conjuntamente con el análisis modal extrayendo su coeficiente de participación en el modo que contiene la mayor masa desplazada.

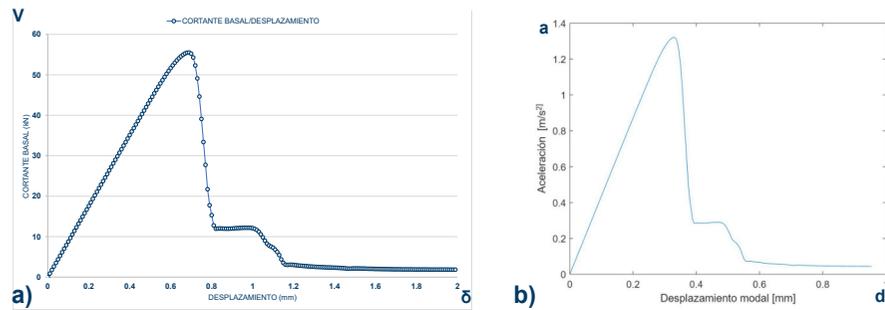


Figura 5.27. Curvas de capacidad, a) relación entre cortante basal y desplazamiento, b) relación entre aceleración y desplazamiento. Bueno & Pulla, 2024. Se encontraran el desplazamiento y aceleración en relación del factor gamma para todos los casos de estudio con la siguiente ecuación:

Donde:

$V_{\#}$ = Fuerzas en relación al gamma

- f = Fuerzas (kN)
- γ = Coeficiente de participación (gamma)
- $d_{\#}$ = Desplazamientos en relación al gamma
- δ = Desplazamientos (mm)
- a = Aceleración (m/s^2)
- m = Masa total (kg)

$$V_{\#} = \frac{f}{\gamma}$$

$$d_{\#} = \frac{\delta}{\gamma}$$

$$a = \frac{V_{\#}}{m} = \frac{kN}{kg}$$

Ecuación 11. Fórmula para calcular la gráfica entre la aceleración con el desplazamiento. Bueno & Pulla, 2024.

2. Análisis para determinar factores de reducción y ductilidad

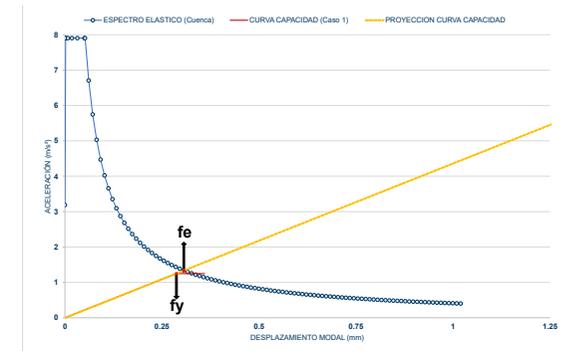
Para encontrar el espectro inelástico vamos a utilizar el método “N2”, el cual es más utilizado y considerado en la literatura internacionalmente, ya que siempre está relacionado con el factor de reducción y la ductilidad.

Para encontrar el factor de reducción para cada caso, se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_e = m * Sa_1$$

$$f_y = a_2 * m$$

$$R = \frac{f_e}{f_y}$$



Ecuación 12. Fórmula factor de reducción. Donde: fe = Fuerza elástica. Sa1 = Aceleración (de la intersección entre la gráfica de espectro elástico y la curva de capacidad proyectada). m = Masa total (kg). fy = Limite de fuerza elástica modelo. a2 = Aceleración (limite modelo). R = Factor d reducción. Por lo tanto, encontramos el factor de reducción para cada caso de estudio, si el factor de reducción (R) es mayor a 1 el espectro inelástico estará por debajo del espectro elástico y si es menor a 1 el espectro inelástico estará por encima del espectro elástico, (ver figura 5.29).

Para graficar el espectro inelástico se deben tener en cuenta también los factores como el periodo (donde hay la mayor masa desplazada) y el factor de reducción encontrado, así como todos los factores del espectro elástico como (z, fd,fa, fs, r, eta), ya estos espectros están relacionados.

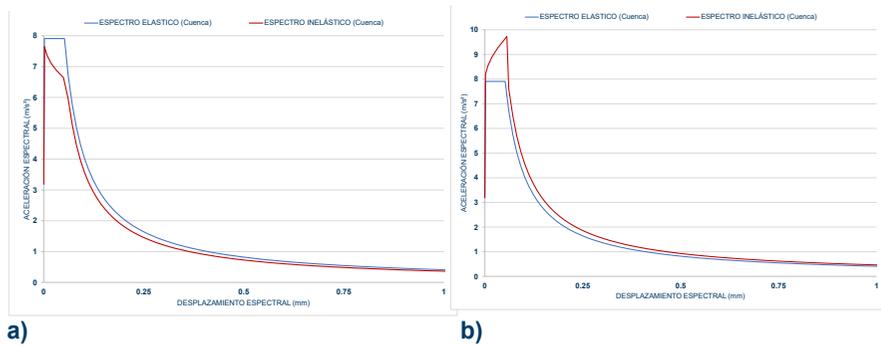


Figura 5.29. Espectro inelástico, a) R= mayor a 1, b) R= menor a 1. Bueno & Pulla, 2024.

Se grafican las dos curvas tanto del espectro de diseño inelástico y la curva de capacidad donde las dos curvas deberán estar en función de aceleración (m/s²) y desplazamiento (mm) y se encontrara la intersección entre las dos curvas para cada caso de estudio, (ver figura 5.30).

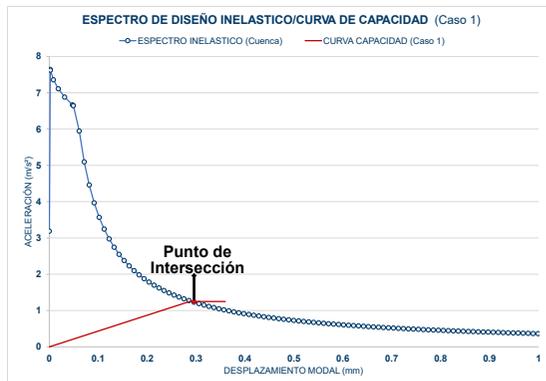


Figura 5.30. Punto de intersección entre la curva de capacidad y el espectro in-elástico. Bueno & Pulla, 2024.

5.5.2. ESPECTRO DE DISEÑO CASO 1

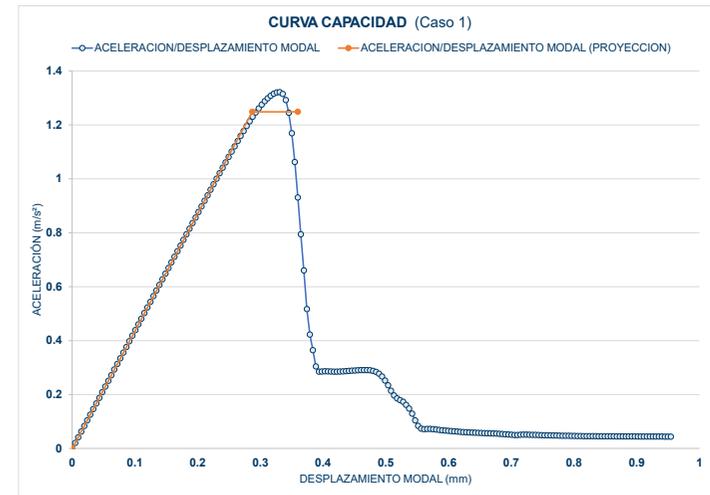


Figura 5.31. CASO 1. Curva de capacidad entre aceleración (m/s²) con desplazamiento (mm). Bueno & Pulla, 2024.

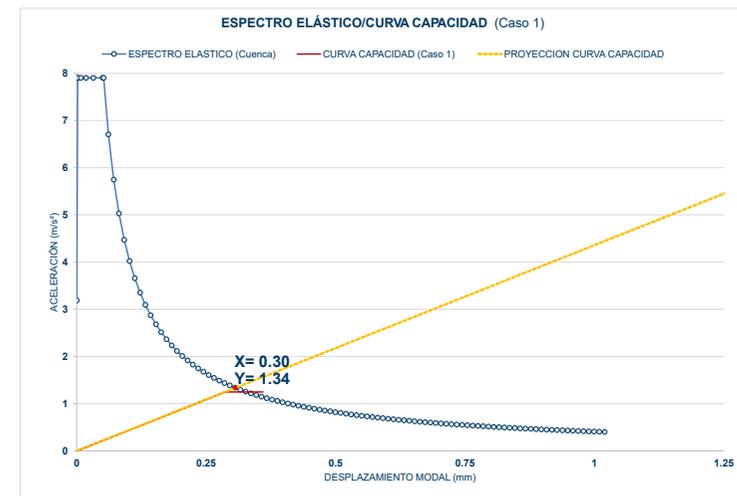


Figura 5.32. CASO 1. Punto de choque a=1.34 m/s² entre proyección de la curva de capacidad (naranja) y espectro elástico (azul) Bueno & Pulla, 2024.

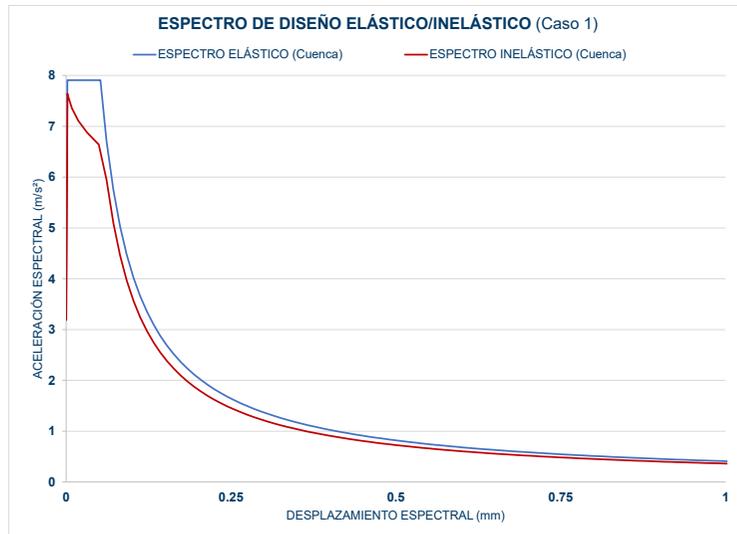


Figura 5.33. CASO 1. Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca . Bueno & Pulla, 2024.

5.5.3. ESPECTRO DE DISEÑO CASO 2

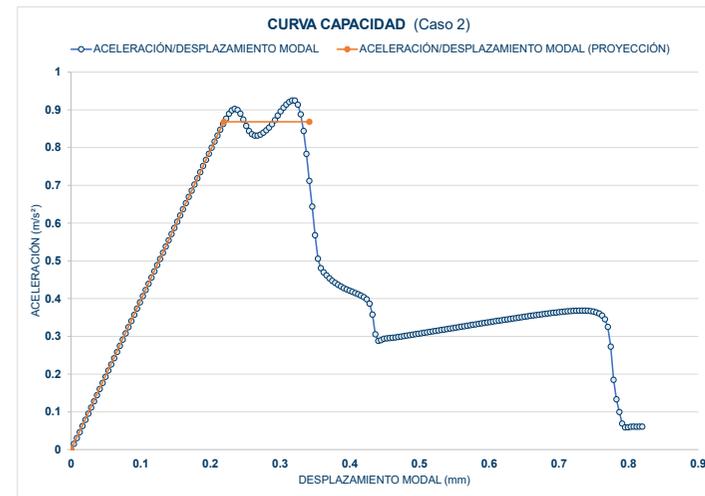


Figura 5.35. CASO 2. Curva de capacidad entre aceleración (m/s²) con desplazamiento (mm). Bueno & Pulla, 2024.

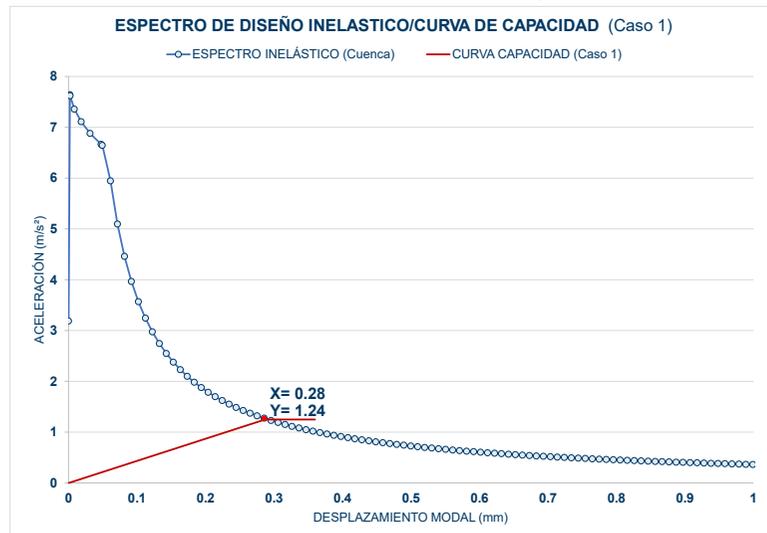


Figura 5.34. CASO 1. Punto de intersección $d = 0.28$ mm entre espectro de diseño in-elástico (azul), con curva de capacidad (rojo). Bueno & Pulla, 2024.

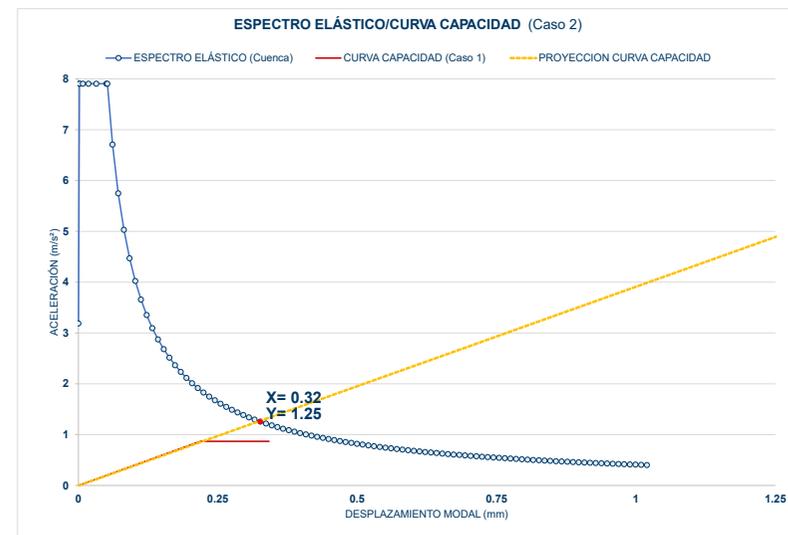


Figura 5.36. CASO 2. Punto de choque $a = 1.25$ m/s² entre proyección de la curva de capacidad (naranja) y espectro elástico (azul) Bueno & Pulla, 2024.

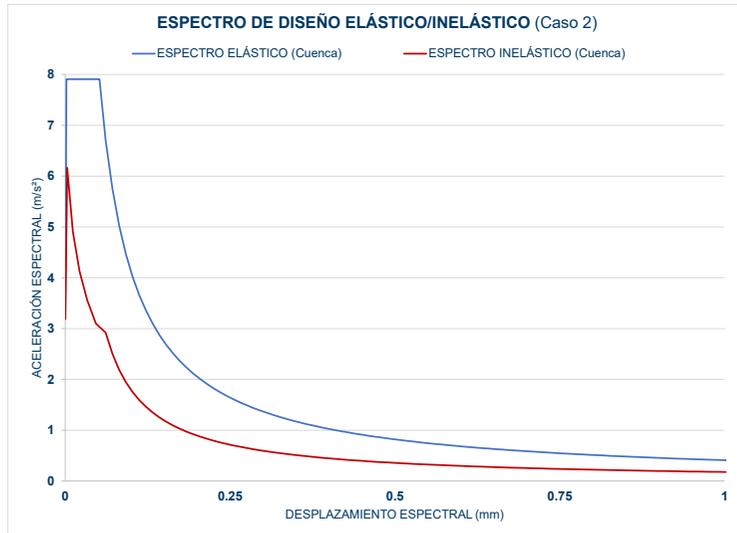


Figura 5.37. CASO 2. Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca . Bueno & Pulla, 2024.

5.5.4. ESPECTRO DE DISEÑO CASO 3

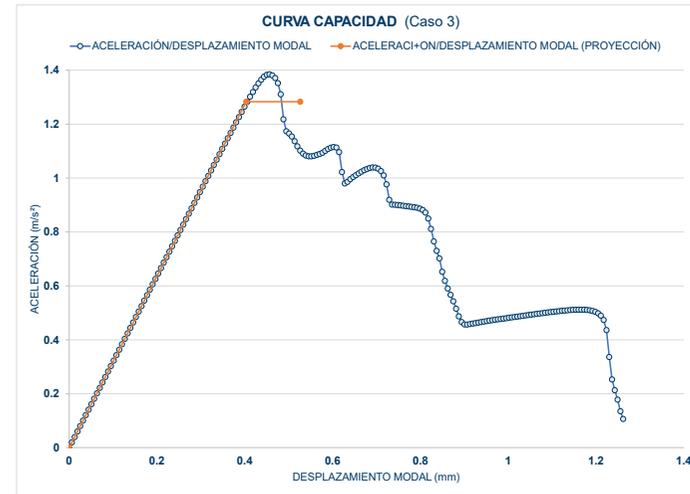


Figura 5.39. CASO 3. Curva de capacidad entre aceleración (m/s^2) con desplazamiento (mm). Bueno & Pulla, 2024.

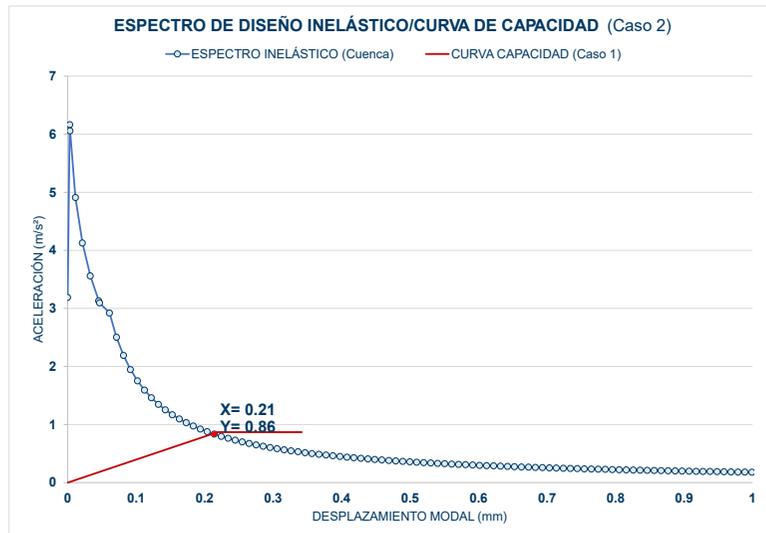


Figura 5.38. CASO 2. Punto de intersección $d= 0.21$ mm entre espectro de diseño in-elástico (azul), con curva de capacidad (rojo). Bueno & Pulla, 2024.

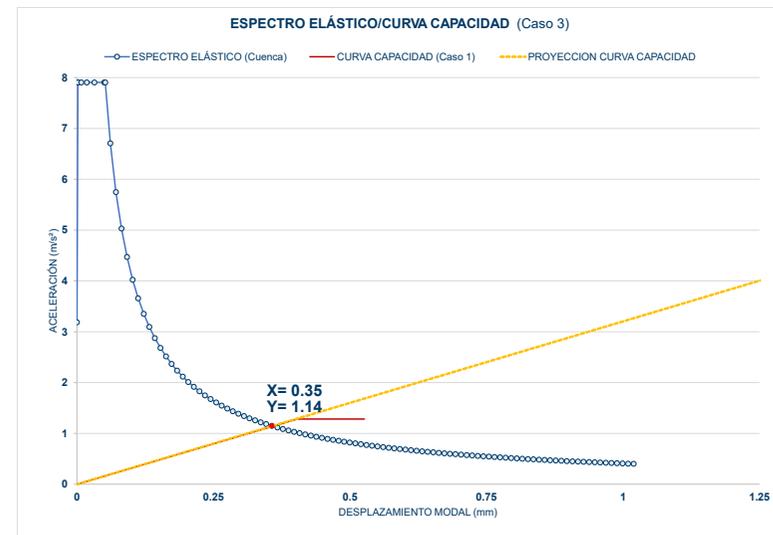


Figura 5.40. CASO 3. Punto de choque $a= 1.14$ m/s^2 entre proyección de la curva de capacidad (naranja) y espectro elástico (azul) Bueno & Pulla, 2024.

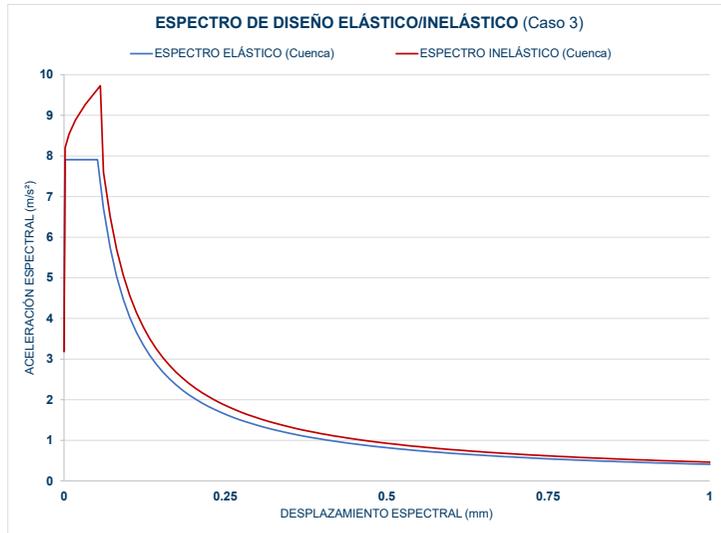


Figura 5.41. CASO 3. Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca . Bueno & Pulla, 2024.

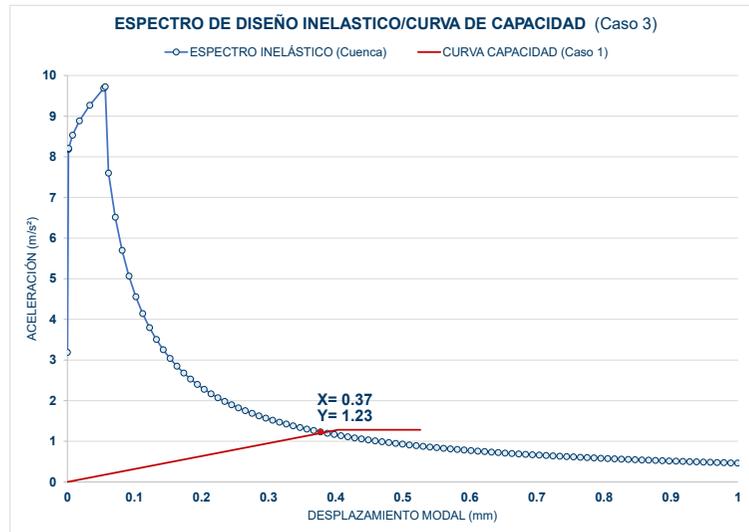


Figura 5.42. CASO 3. Punto de intersección d=0.37 mm entre espectro de diseño in-elástico (azul), con curva de capacidad (rojo). Bueno & Pulla, 2024.

La tabla 5.08, muestra los resultados de las intersección entre el espectro de diseño inelástico y la curva de capacidad con su coeficiente de participación de los casos de estudio.

INTERSECCIÓN "ESPECTRO ELÁSTICO Y CURVA DE CAPACIDAD"			COEFICIENTE DE PARTICIPACIÓN
	Desplazamiento (m)	Aceleración (m/s ²)	GAMMA (..)
CASO 1	0.295	1.23	2.085
CASO 2	0.21	0.834	2.428
CASO 3	0.377	1.232	1.577

Tabla 5.08. Intersección del espectro elástico con la curva de capacidad de los casos de estudio . Bueno & Pulla, 2024.

5.6. CÁLCULO PARA ENCONTRAR LA DEFORMACIÓN REAL

Luego de haber encontrado la intersección de las dos gráficas antes mencionadas se procede a calcular la deformación real (δ_r), el cual significara el estado de la estructura después de un sismo, donde se tendrá que dividir para el coeficiente de participación (γ), ya que nos encontrábamos en un sistema de un grado de libertad, se calculara con la siguiente ecuación:

$$\delta_r = \frac{i}{\gamma}$$

Ecuación 13. Fórmula para calcular la deformación real. Bueno & Pulla, 2024.

Donde:

- δ_r = Deformación real
- i = Intersección entre el espectro inelástico y la curva de capacidad (desplazamiento)
- γ = Coeficiente de participación (gamma)

CASOS	DEFORMACIÓN REAL
	Desplazamiento (m)
CASO 1	0.14
CASO 2	0.08
CASO 3	0.23

Tabla 5.09. Deformación real de los casos de estudio. Bueno & Pulla, 2024.

DETERMINACIÓN DE VULNERABILIDAD

6

6.1. PUNTOS DE VULNERABILIDAD PARA CADA CASO

Luego del análisis modal y la comparación de las curvas de capacidad con el espectro inelástico, podemos determinar el desplazamiento en el sentido no dominante “Y”, que tendrán las fachadas luego de producirse un sismo obteniendo los puntos de vulnerabilidad para cada caso de estudio.

6.1.1. CASO 1

La tabla 6.01, presenta el punto de vulnerabilidad a partir de la deformación real obtenida en la sección 5.6. El valor de 0.14 mm obtenida para el caso 1, se considera un desplazamiento que debe ser identificado en las curvas de capacidad. La figura 6.01, muestra la relación entre el desplazamiento y la fuerza cortante, arrojando un resultado de 12.28 kN. Adicional mente, la figura 6.02, presenta la relación entre el mismo desplazamiento y la aceleración, obteniendo un valor de 0.62 m/s². Estos valores representan la fuerza y aceleración respectivamente que actúan sobre las paredes del caso de estudio durante un evento sísmico.

Para obtener un mejor entendimiento de las consecuencias generadas por estas magnitudes, se toma la fuerza cortante de 12.28 kN y se evalúa el daño a tensión y compresión producido por esta fuerza en las simulaciones realizadas dentro del software STKO.

PUNTO DE VULNERABILIDAD CASO 1		
Desplazamiento (mm)	Aceleración (m/s ²)	cortante (kN)
0.14	0.627	12.289

Tabla 6.01. Caso 1, Punto de vulnerabilidad. Bueno & Pulla, 2024.

Daño tensión

La figura 6.03, muestra el daño por tensión observando pequeñas afecciones en los vanos de las ventanas principalmente en sus esquinas y en la pared de lado izquierdo justo en el entre piso.

Daño a compresión

La figura 6.04, muestra el daño por compresión logrando evidenciar que no existen daños solo un pequeña fisura la esquina de la venta superior izquierda.

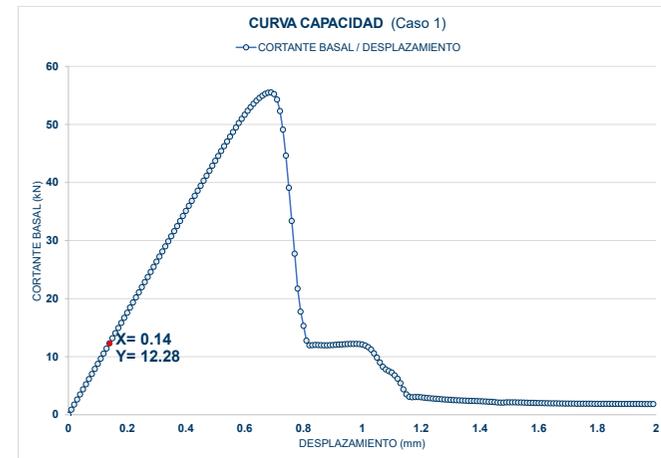


Figura 6.01. CASO 1. Curva de capacidad entre cortante basal (kN) y desplazamiento lateral (mm), de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

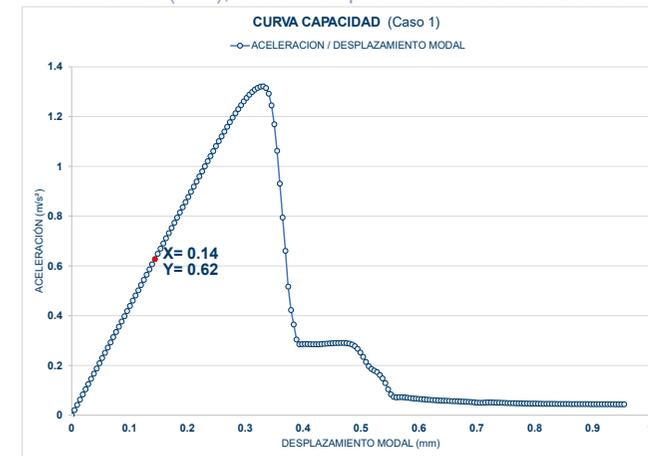


Figura 6.02. CASO 1. Curva de capacidad entre aceleración (m/s²) con desplazamiento (mm). Bueno & Pulla, 2024.

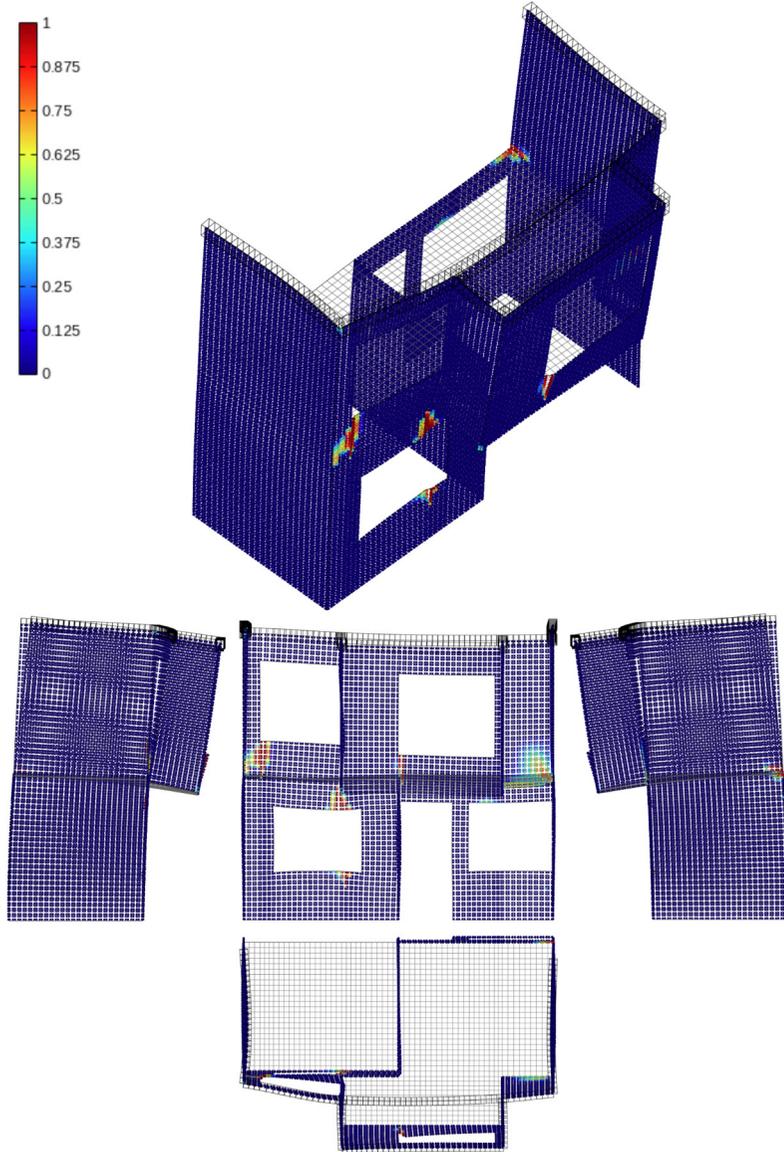


Figura 6.03. CASO 1. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

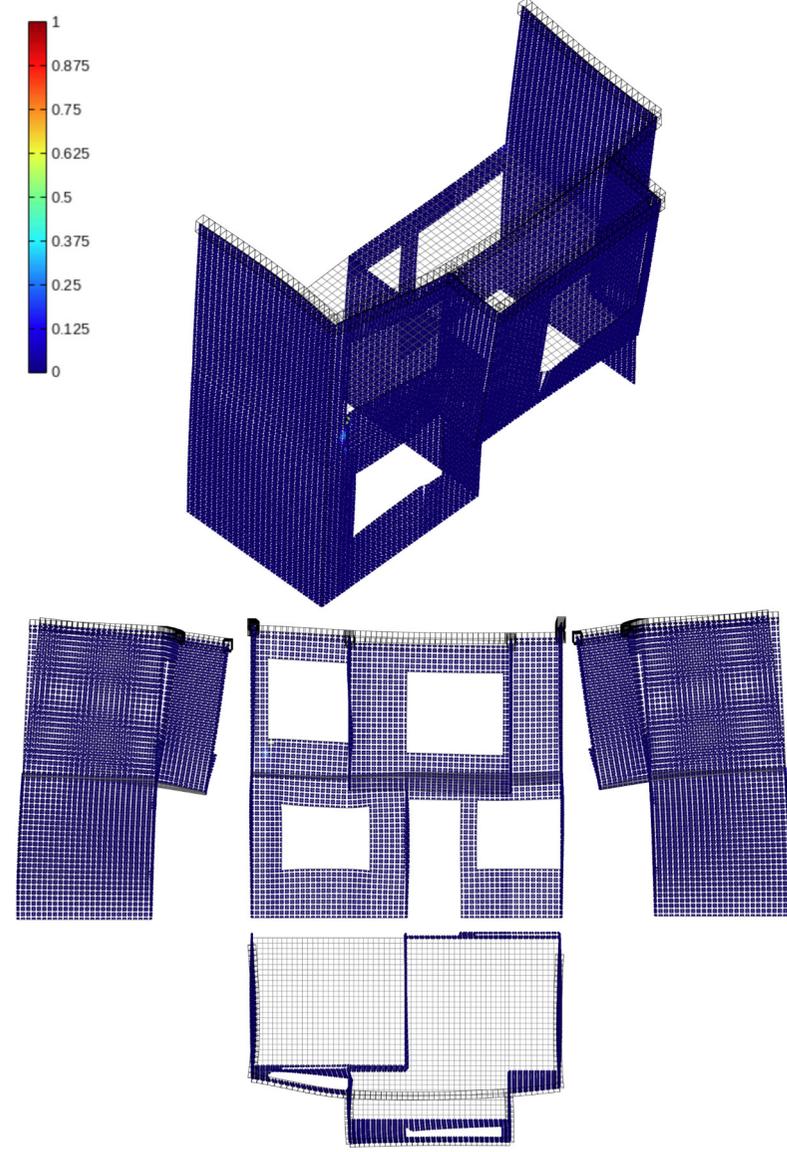


Figura 6.04. CASO 1. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

6.1.2. CASO 2

La tabla 6.02, analiza el punto de vulnerabilidad a partir de la deformación real obtenida en la sección 5.6. El valor de 0.08 mm, obtenido para el caso 3, se considera un desplazamiento que debe ser identificado en las curvas de capacidad. La figura 6.05, muestra la relación entre el desplazamiento y la fuerza cortante, arrojando un resultado de 7.52 kN. Además, la figura 6.06, presenta la relación entre el mismo desplazamiento y la aceleración, obteniendo un valor de 0.34 m/s². Estos valores representan la fuerza cortante y la aceleración, respectivamente, que actuarían sobre las paredes del caso de estudio durante un evento sísmico.

Para comprender mejor las consecuencias generadas por estas magnitudes, se toma la fuerza cortante de 7.52 kN y se evalúa el daño por tensión y compresión producido por esta fuerza en las simulaciones realizadas dentro del software STKO.

PUNTO DE VULNERABILIDAD CASO 2		
Desplazamiento (mm)	Aceleración (m/s ²)	cortante (kN)
0.08	0.34	7.529

Tabla 6.02. Caso 2, Punto de vulnerabilidad. Bueno & Pulla, 2024.

Daño tensión

La figura 6.07, muestra el daño por tensión observando afectaciones menores concentradas principalmente en los vanos de las ventanas, particularmente en las esquinas.

Daño a compresión

La figura 6.08, muestra el daño por compresión logrando evidenciar que no existen daños considerables existiendo pequeñísimas fisuras en algunas esquinas de las ventanas.

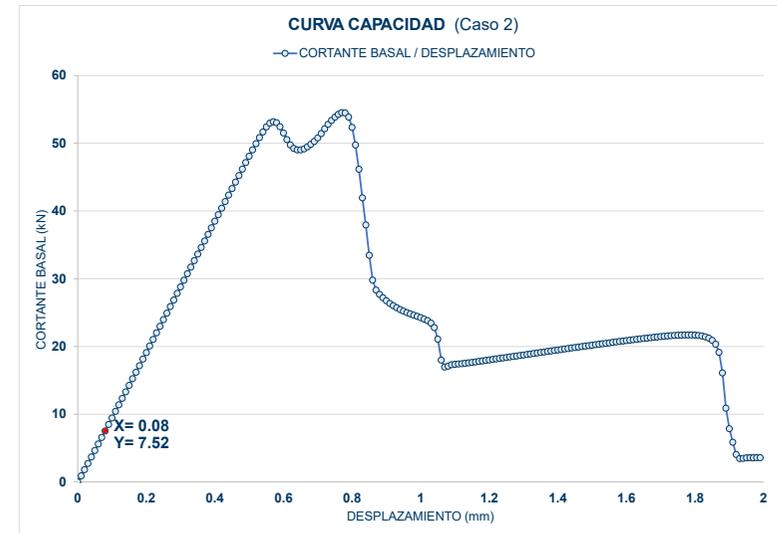


Figura 6.05. CASO 2. Curva de capacidad entre cortante basal (kN) y desplazamiento lateral (mm), de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

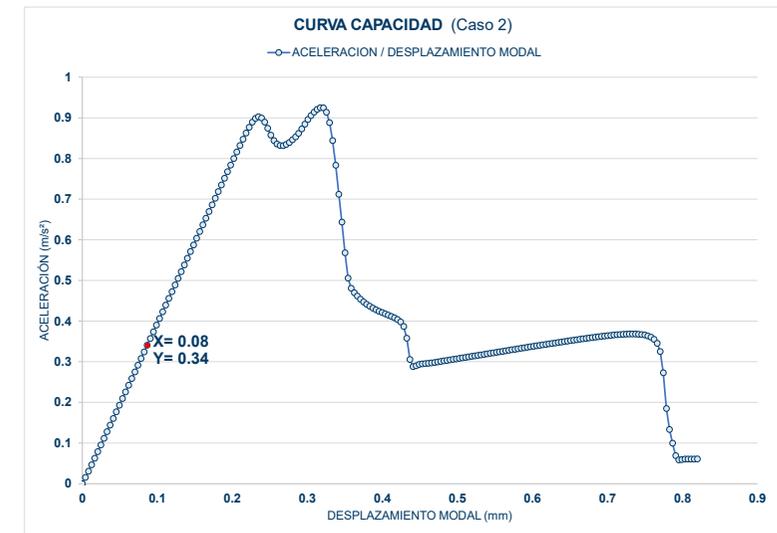


Figura 6.06. CASO 2. Curva de capacidad entre aceleración (m/s²) con desplazamiento (mm). Bueno & Pulla, 2024.

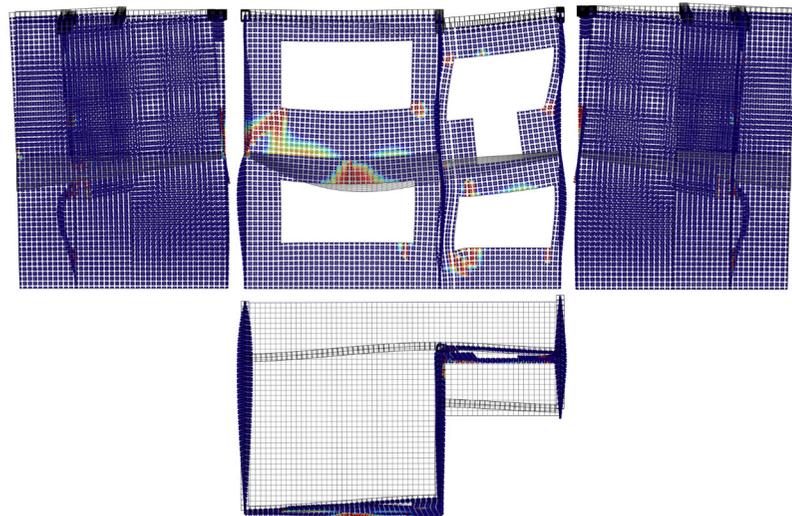
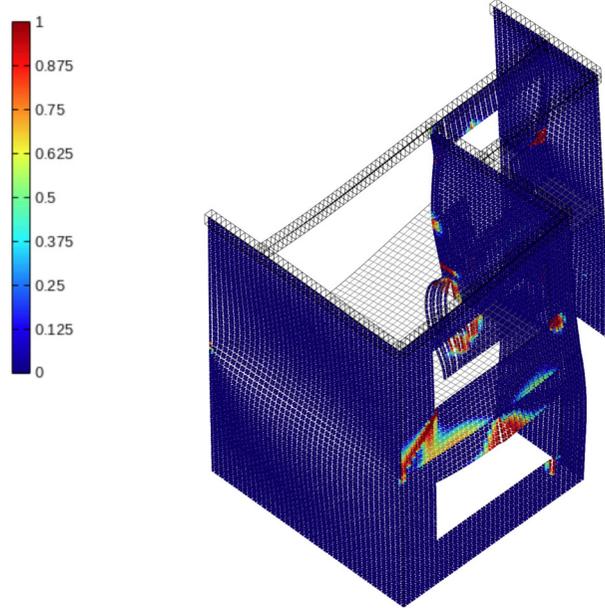


Figura 6.07. CASO 2. Análisis Pushover daño a tensión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

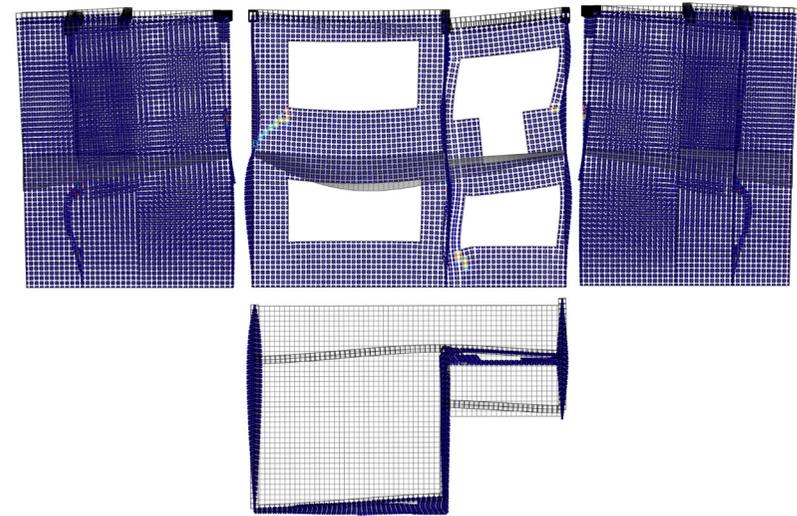
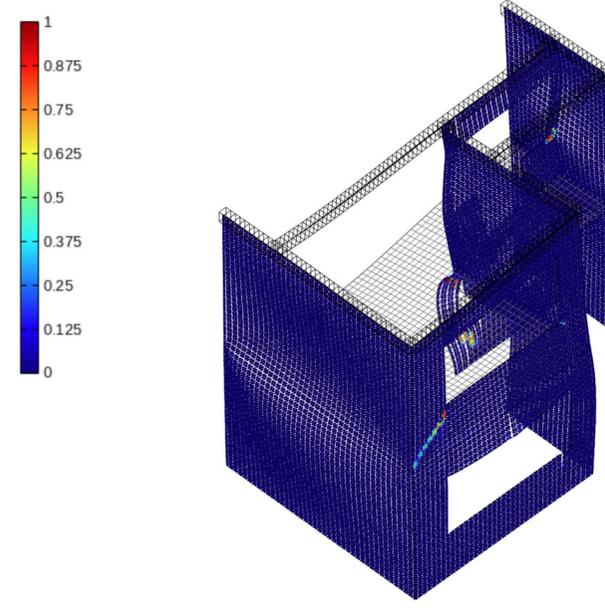


Figura 6.08. CASO 2. Análisis Pushover daño a compresión en mampostería de ladrillo bajo cargas laterales. Bueno & Pulla, 2024.

6.1.3. CASO 3

La tabla 6.03, muestra el punto de vulnerabilidad a partir de la deformación real obtenida en la sección 5.6. El valor de 0.23 mm, obtenido para el caso 3, se considera un desplazamiento que debe ser identificado en las curvas de capacidad. La figura 6.09, muestra la relación entre el desplazamiento y la fuerza cortante, arrojando un resultado de 24.61 kN. Además, la figura 6.10, presenta la relación entre el mismo desplazamiento y la aceleración, obteniendo un valor de 0.74 m/s². Estos valores representan la fuerza cortante y la aceleración, respectivamente, que actuarían sobre las paredes del caso de estudio durante un evento sísmico.

Para comprender mejor las consecuencias generadas por estas magnitudes, se toma la fuerza cortante de 24.61 kN y se evalúa el daño por tensión y compresión producido por esta fuerza en las simulaciones realizadas dentro del software STKO.

PUNTO DE VULNERABILIDAD CASO 3		
Desplazamiento (mm)	Aceleración (m/s ²)	cortante (kN)
0.23	0.747	24.616

Tabla 6.03. Caso 3, Punto de vulnerabilidad. Bueno & Pulla, 2024.

Daño tensión

La figura 6.11, muestra el daño por tensión observando afectaciones menores concentradas principalmente en los vanos de las ventanas, particularmente en las esquinas.

Daño a compresión

La figura 6.12, muestra el daño por compresión logrando evidenciar que no existen daños considerables existiendo pequeñísimas fisuras en algunas esquinas de las ventanas.

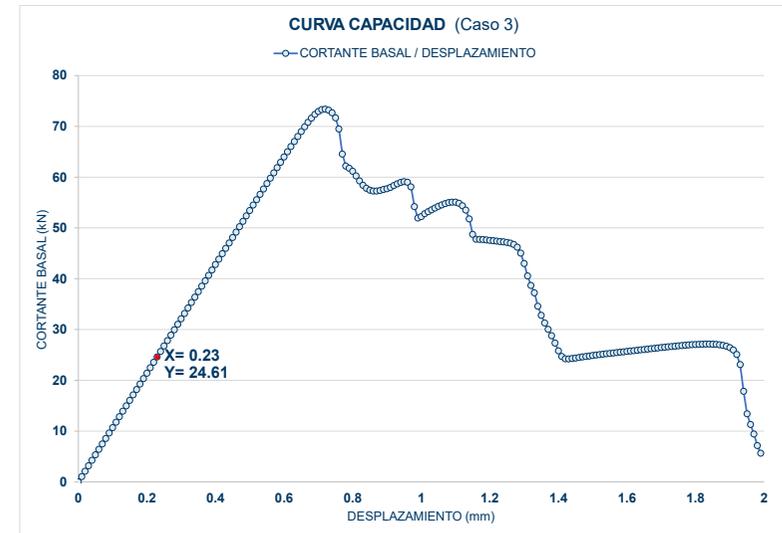


Figura 6.09. CASO 3. Curva de capacidad entre cortante basal (kN) y desplazamiento lateral (mm), de la mampostería de ladrillo. Bueno & Pulla, 2024.

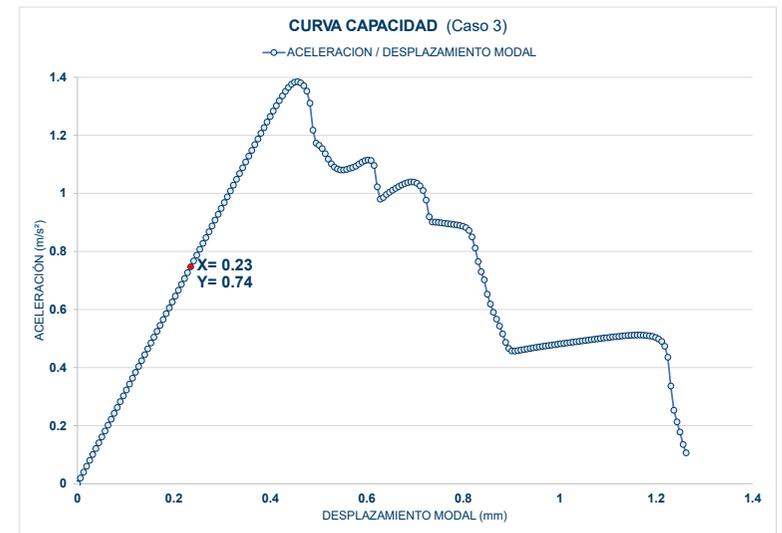


Figura 6.10. CASO 3. Curva de capacidad entre aceleración (m/s²) con desplazamiento (mm). Bueno & Pulla, 2024.

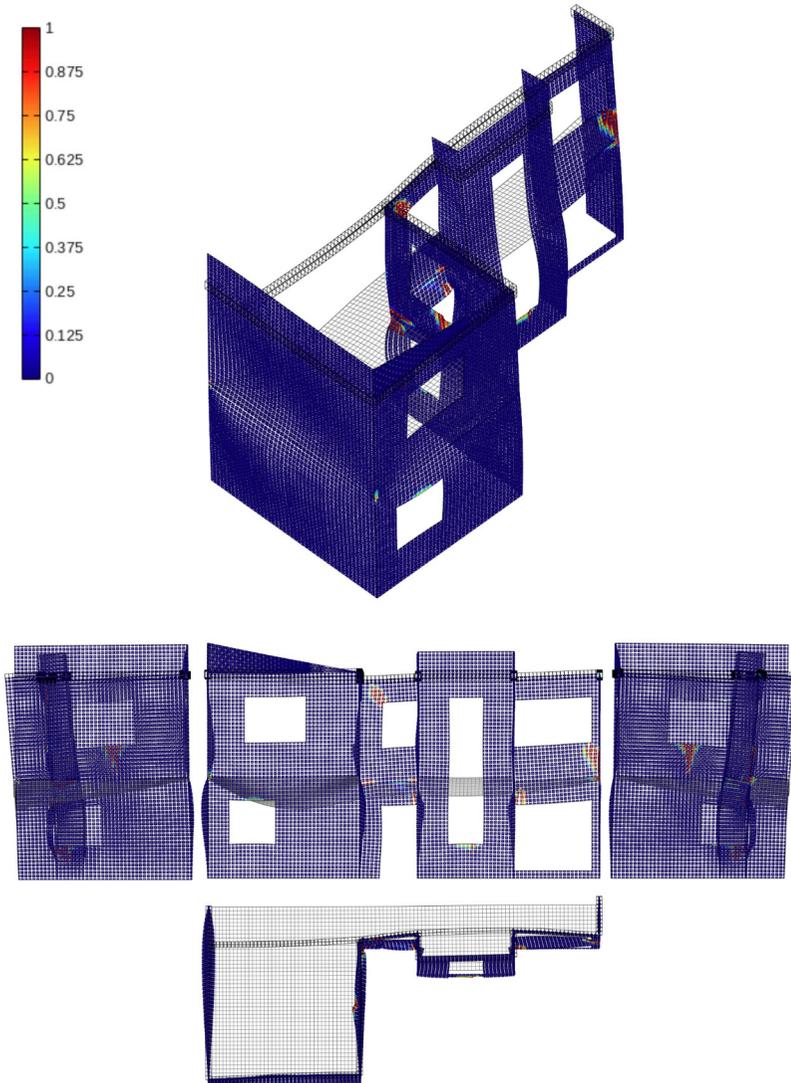


Figura 6.11. Análisis Pushover daño a tensión de mampostería de ladrillo bajo cargas laterales de caso 1 . Bueno & Pulla, 2024.

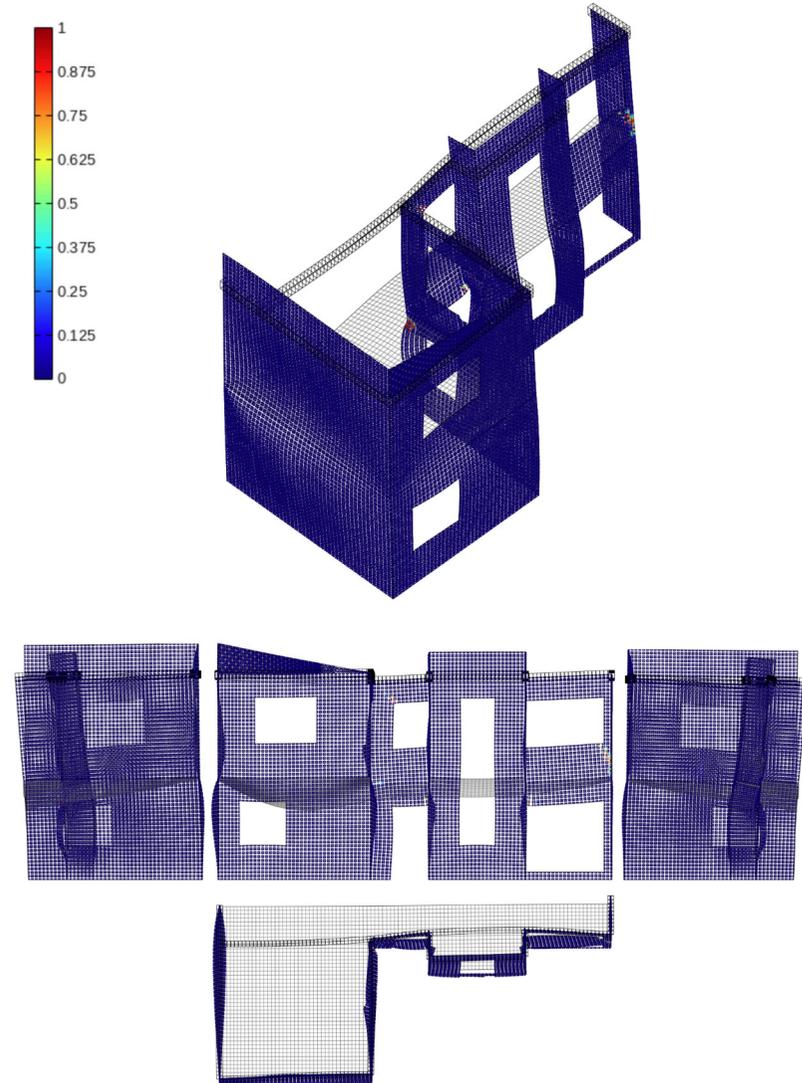


Figura 6.12. Análisis Pushover daño a compresión de mampostería de ladrillo bajo cargas laterales de caso 1 . Bueno & Pulla, 2024.

6.2. COMPARACIÓN Y RESULTADOS

6.2.1. ANÁLISIS MODAL

Los resultados obtenidos del análisis modal en la dirección “Y”, para edificaciones de mampostería de ladrillo panelón en el sector de Totoracocha en la ciudad de Cuenca son los siguientes:

RESULTADOS ANÁLISIS MODAL - CASOS DE ESTUDIO -					
CASOS	# MODO	PERIODO “T” (s)	CANTIDAD DE MASA (kg)	PORCENTAJE DE MASA DESPLAZADA	MASA TOTAL(kg)
CASO 1	1	0.712	6.825	0.03%	20147.9
	2	0.660	0.090	0.0004%	
	30	0.196	4056.540	20.13%	
CASO 2	1	0.885	0.135	0.001%	24271.1
	2	0.754	10.851	0.04%	
	64	0.145	5897.050	24.29%	
CASO 3	1	0.924	0.313	0.001%	33595.2
	2	0.787	117.543	0.34%	
	28	0.304	2486.690	7.40%	

Tabla 6.04. Comparación entre resultados de análisis modal para edificaciones de ladrillo panelón (casos de estudio). Bueno & Pulla, 2024.

La tabla 6.04, muestra para cada caso de estudio, los dos primeros modos de vibración y el modo con mayor contribución de masa desplazada después que la suma de los modos de vibración involucrados represente al menos el 80% de la masa participante total en esa dirección crítica, el cual representa el sentido más vulnerable para este tipo de estructuras de viviendas confinadas. Esta consideración obedece a que las cargas laterales, como los movimientos sísmicos, actúan predominantemente en dicha dirección.

Masa total

Al comparar la masa total de las estructuras, se observa que el Caso 3 posee la mayor masa con 33595 kg. Este valor elevado de masa puede atribuirse a la complejidad y robustez en su diseño de fachada, derivada de

sus grandes dimensiones y tamaño en comparación con los Casos 1 (20147 kg) y caso 2 (24271 kg).

Periodos

En cuanto al primer modo de vibración, que suele exhibir el periodo más prolongado convirtiéndose en el modo principal de la estructura teniendo como resultado en el Caso 3 el mayor periodo con 0.924 segundos, mientras que, el Caso 1 registra el periodo más bajo de 0.712 segundos. Esta diferencia en los periodos fundamentales se debe a las características propias de cada estructura, como su rigidez, geometría y distribución de masas. Es importante destacar que, a medida que aumenta el número de modo, los periodos de vibración tienden a disminuir, por lo que el primer modo representa el máximo periodo para cada caso de estudio.

Cantidad de masa

En el análisis del caso 2, se observa que el modo 64 es el que presenta la mayor cantidad de masa desplazada en la dirección dominante, con un 24.29 % (5897 kg). Esto indica que la estructura experimentará una mayor excitación en este modo de vibración, lo que tendrá una influencia significativa en la respuesta dinámica de la fachada. En comparación, en el caso 1, el modo con mayor masa desplazada representó el 20.13 % (4056 kg), mientras que en el caso 3, este valor fue del 7.40% (2486 kg).

6.2.2. ANÁLISIS VULNERABILIDAD

Los resultados obtenidos del análisis de vulnerabilidad presentados en la sección 6.1 en la dirección “Y”, para edificaciones de mampostería de ladrillo panelón en el sector de Totoracocha en la ciudad de Cuenca son los siguientes, (ver tabla 6.05).

RESULTADOS SOBRE PUNTOS DE VULNERABILIDAD - CASOS DE ESTUDIO-			
CASOS	Desplazamiento (mm)	Aceleración (m/s ²)	cortante (kN)
CASO 1	0.14	0.627	12.289
CASO 2	0.08	0.34	7.529
CASO 3	0.23	0.747	24.616

Tabla 6.05. Comparación entre resultados del análisis de vulnerabilidad. Bueno & Pulla, 2024.

Basado en los resultados obtenidos del análisis inelástico con el espectro de diseño según la normativa vigente en Ecuador, se puede realizar la siguiente comparación.

En cuanto al desplazamiento lateral, el Caso 2 presenta el menor valor con 0.08 mm, lo que indica un mejor control de las derivas inelásticas. Por otro lado, el Caso 3 exhibe el mayor desplazamiento con 0.23 mm, evidenciando una mayor demanda de deformación inelástica en la estructura. Estos valores de desplazamiento están directamente relacionados con la capacidad de la estructura para disipar energía mediante deformaciones inelásticas controladas.

Respecto a las aceleraciones, el Caso 3 muestra la aceleración más elevada con 0.747 m/s², lo que sugiere mayores demandas de fuerza inercial sobre la estructura durante el evento sísmico. En contraste, el Caso 2 presenta la aceleración más baja con 0.34 m/s², indicando menores solicitaciones de aceleración sobre el sistema estructural.

En cuanto a las fuerzas cortantes, el Caso 3 exhibe el valor más alto con 24.616 kN, lo que implica mayores demandas de resistencia lateral en los

elementos estructurales. Por el contrario, el Caso 2 presenta la menor fuerza cortante con 7.529 kN, sugiriendo menores requerimientos de resistencia lateral en la estructura.

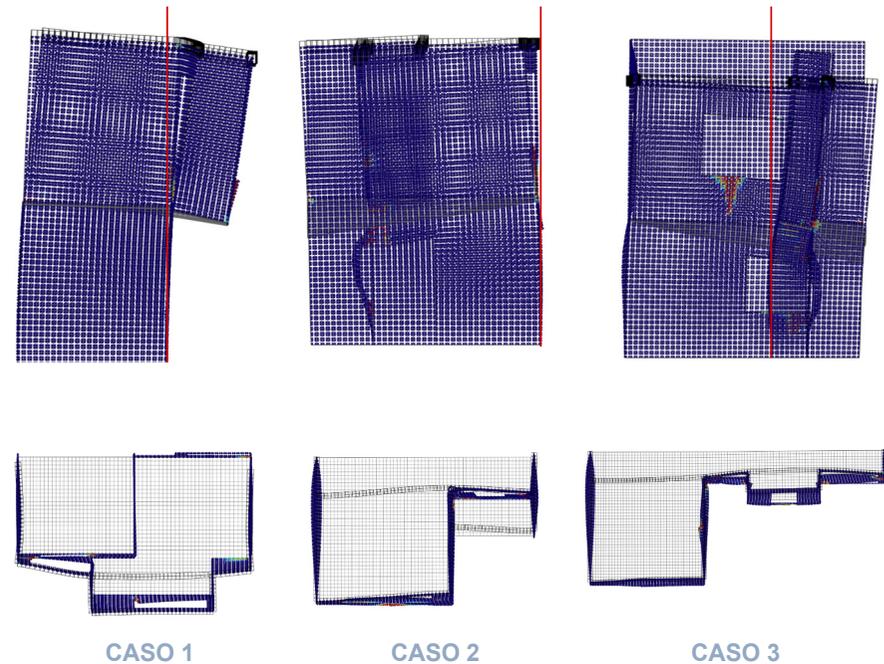


Figura 6.13. Comparación de desplazamientos para cada caso de estudio. Bueno & Pulla, 2024.

Estos resultados permiten identificar el Caso 2 como el más favorable en términos de desplazamientos, aceleraciones y fuerzas cortantes, lo que podría estar asociado a una mayor capacidad de disipación de energía y una menor demanda estructural durante el evento sísmico. Sin embargo, es necesario considerar otros aspectos del diseño, como la capacidad de deformación inelástica de los elementos estructurales, para realizar una evaluación más integral de la vulnerabilidad sísmica de cada caso.

Identificación de fallos en mampostería

Las fallas fuera de plano identificadas en las simulaciones realizadas con el software STKO, descritas en la sección 6.1, proporcionan una aproximación inicial al daño potencial en las edificaciones estudiadas. Estas simulaciones, efectuadas con un sismo de diseño y comparadas con el espectro inelástico de Cuenca según la normativa vigente, ofrecen una visión preliminar de la vulnerabilidad estructural.

Aunque un análisis exhaustivo del daño requeriría un estudio individualizado y profundo de cada edificación, este enfoque nos permite observar tendencias generales de daño, tanto a tensión como a compresión, en la tipología de edificaciones consideradas en esta investigación además de servir como punto de partida para comprender el comportamiento sísmico de las estructuras analizadas.

En las figuras 6.14, 6.15, 6.16, presentadas a continuación el daño estructural se cuantifica mediante índices que oscilan entre 0 y 1. En esta escala, un valor de 0 denota la ausencia total de daño en la edificación, mientras que un valor de 1 indica un daño completo o crítico presentadas para cada punto de vulnerabilidad según el caso de estudio.

Caso 1

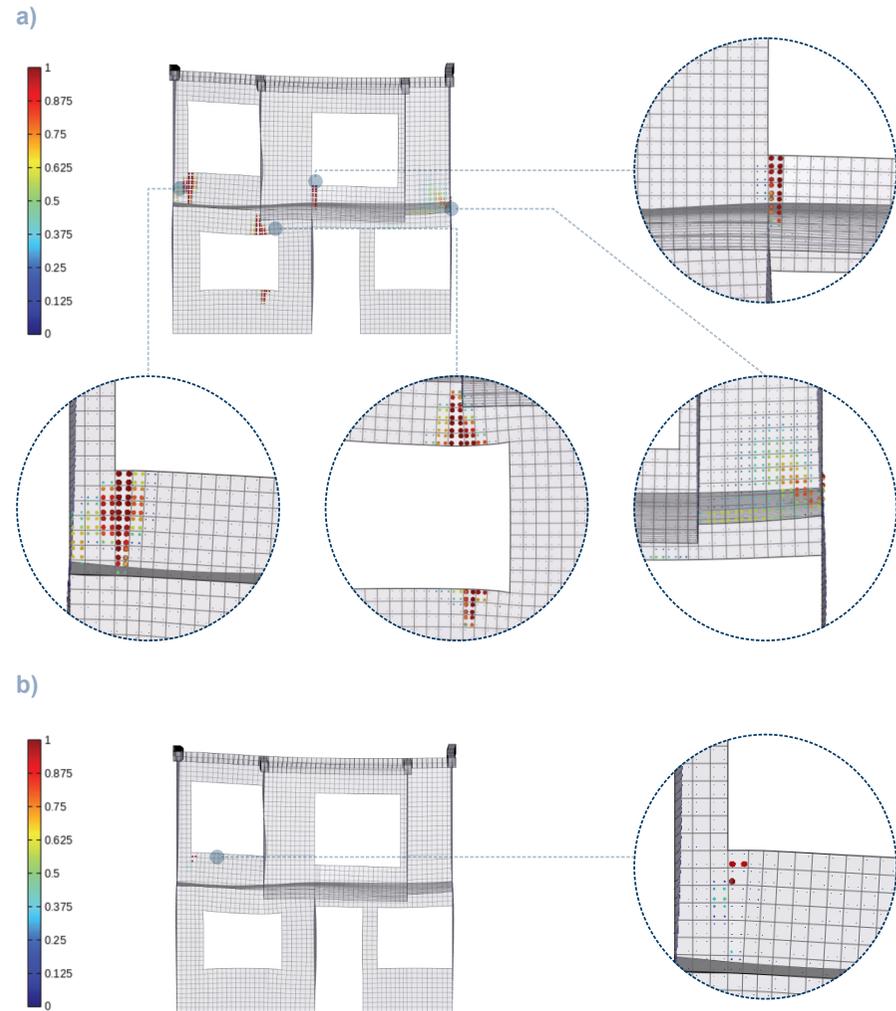


Figura 6.14. Daño en muros mampostería en fachada en punto de vulnerabilidad Caso 1. a) Daño por tensión b) Daño por compresión. Bueno & Pulla, 2024.

Caso 2

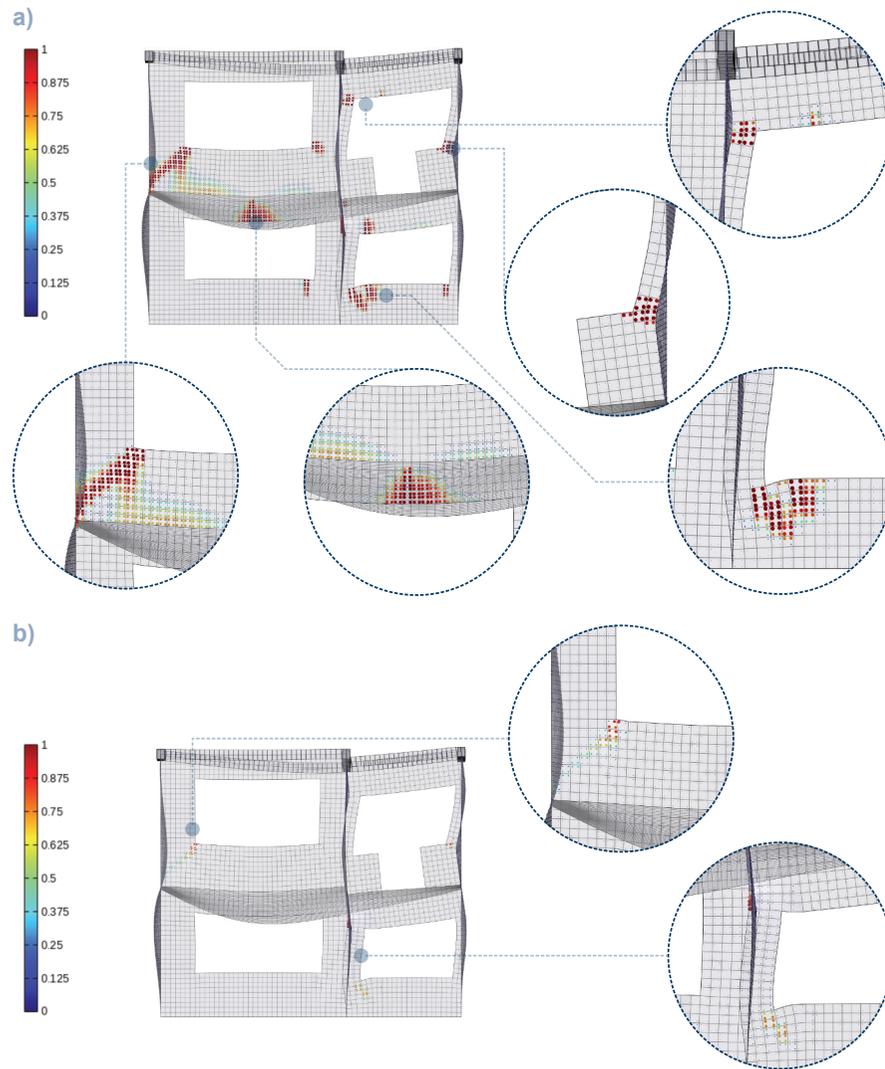


Figura 6.15. Daño en muros mampostería en fachada en punto de vulnerabilidad Caso 2. a) Daño por tensión b) Daño por compresión. Bueno & Pulla, 2024.

Caso 3

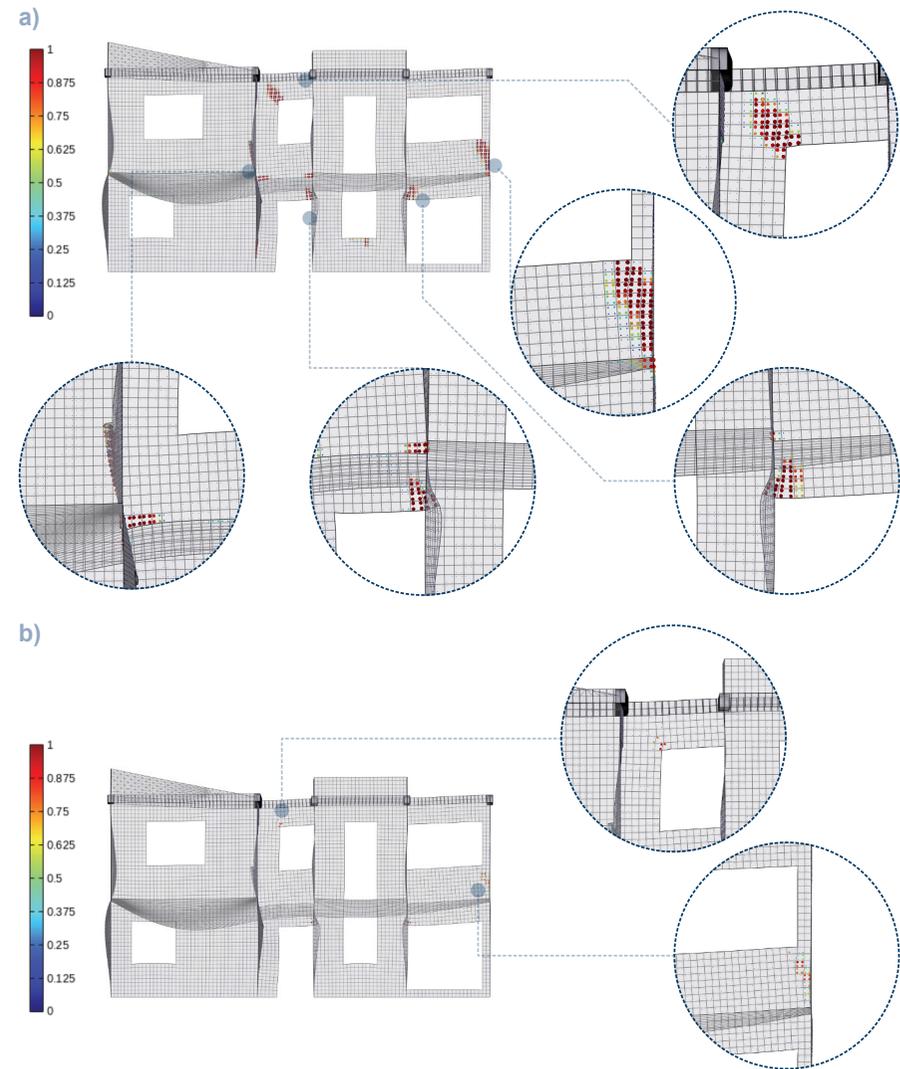


Figura 6.16. Daño en muros mampostería en fachada en punto de vulnerabilidad Caso 3. a) Daño por tensión b) Daño por compresión. Bueno & Pulla, 2024.

Tras una observación detallada de las imágenes, se observa un patrón consistente de daño en las fachadas interiores de los tres casos de estudio analizados en esta investigación. Se puede evidenciar zonas coloreadas en rojo, con valores cercanos a 1, indicando fallas significativas en áreas específicas de las paredes de mampostería de ladrillo panelón, particularmente en lo que respecta al daño por tensión. En contraste con el daño por compresión o agrietamiento donde se muestra áreas mínimas de coloración en todos los casos.

En los tres casos de estudio, el daño por tensión presenta una tendencia característica. Se evidencian fallos principalmente en los vanos, con especial énfasis en las esquinas de ventanas. Estas fallas tienden a manifestarse como fisuras diagonales que se extienden hacia los bordes de la pared. Adicionalmente, se observan casos donde las grietas se originan en la zona media de las ventanas, propagándose de manera perpendicular a lo largo de la pared. Este fenómeno se atribuye a la reducida área de muro disponible para soportar las cargas laterales generadas durante un evento sísmico. El caso 2 presenta un agrietamiento más pronunciado, debido a la presencia de vanos de mayor dimensión y muros de menor tamaño en comparación con los otros casos analizados.

Particularmente cabe mencionar que en el caso 1, donde la estructura cuenta con un volado en su zona lateral derecha, el daño es particularmente evidente. En esta área, las esquinas del volado muestran una concentración significativa de esfuerzos, reflejado en la intensidad del daño observado en dichas zonas.

El análisis de los gráficos de daño por compresión revela un patrón de menor intensidad en comparación con el daño por tensión. Los muros de los casos de estudio presentan una coloración menos intensa, indicando un nivel de daño por compresión más reducido. No obstante, es notable que las zonas afectadas por compresión tienden a coincidir con aquellas que

muestran daño por tensión, concentrándose principalmente en las esquinas de las ventanas. Esta correspondencia sugiere que estas áreas son puntos críticos de vulnerabilidad estructural, sometidos a esfuerzos combinados de tensión y compresión durante eventos sísmicos.

Análisis de resultados obtenidos

En esta sección se presenta una evaluación de los casos de estudio, basada en el análisis de niveles de desempeño sísmico. Este enfoque, que se detalla en la sección 1.5, se implementa tras haber comparado los desplazamientos y daños experimentados en cada caso. La metodología empleada proporciona una valoración más precisa y detallada que los métodos tradicionales centrados únicamente en la resistencia estructural.

La esencia de este análisis radica en la comparación entre la demanda sísmica y la capacidad estructural de la edificación. Estas capacidades, previamente determinadas mediante análisis pushover y detalladas en la sección 6.1, son fundamentales para identificar el punto de vulnerabilidad de los casos de estudio posterior a un evento sísmico para luego dentro de esta gráfica identificar los límites críticos correspondientes a los niveles de desempeño descritos en la NEC (2015) y así determinar en la zona que se encuentra cada caso.

En la figura 6.17, 6.18, 6.19 se presenta la curva de capacidad de los diferentes casos de estudio donde se identificará tanto el punto de vulnerabilidad como los diferentes límites niveles de desempeño para poder realizar una valoración de resultados.

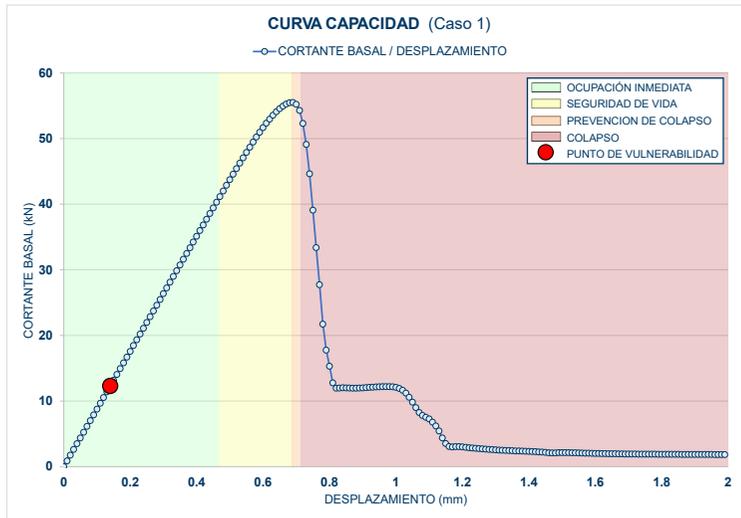


Figura 6.17. Curva de capacidad CASO 1 y su relación con niveles de desempeño de una estructura. Bueno & Pulla, 2024.

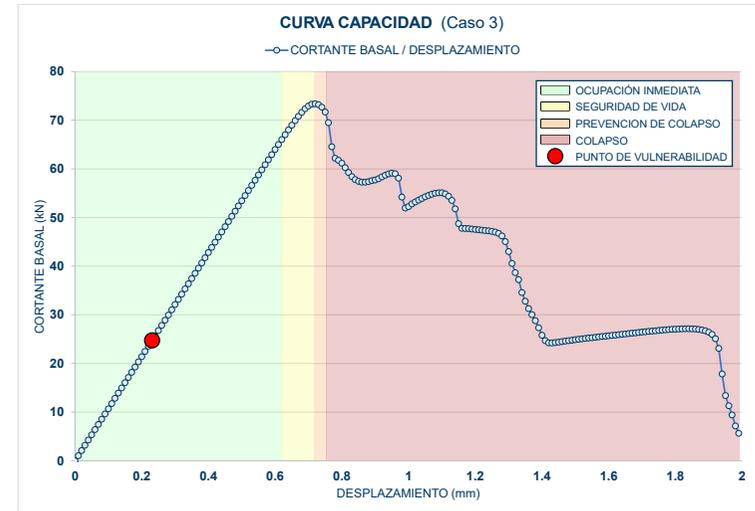


Figura 6.19. Curva de capacidad CASO 3 y su relación con niveles de desempeño de una estructura. Bueno & Pulla, 2024.

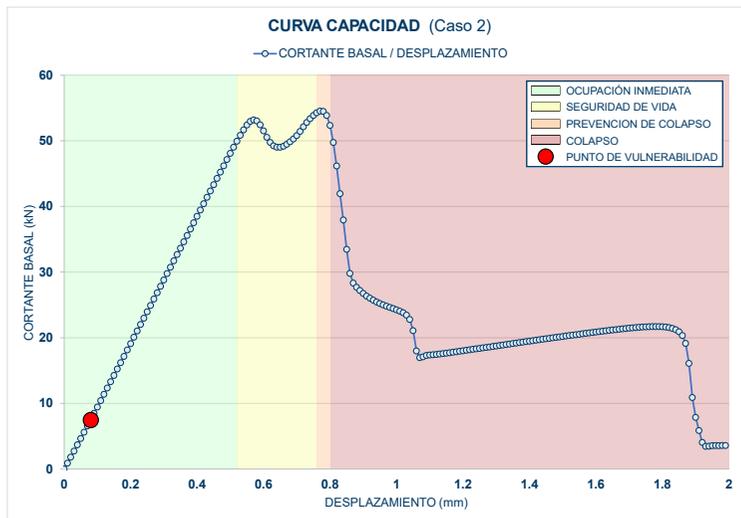


Figura 6.18. Curva de capacidad CASO 2 y su relación con niveles de desempeño de una estructura. Bueno & Pulla, 2024.

Los límites: ocupación inmediata, seguridad de vida, prevención de colapso y colapso, son fundamentales para la toma de decisiones respecto a los casos de estudio analizados ya que con la ayuda de desplazamientos y la identificación de fallo en mampostería nos permitirá tener un acercamiento de lo sucedido con las fachadas de cada caso de estudio.

Al examinar las gráficas de vulnerabilidad posterior a la simulación de un sismo, se observa que el punto de vulnerabilidad se sitúa en la zona verde para cada uno de los casos de estudio, zona correspondiente al nivel de ocupación Inmediata. Esta ubicación indica un escenario favorable donde el daño estructural es mínimo o inexistente como se pudo observar con anterioridad, y si bien se presentan grietas en las fachadas con mampostería de ladrillo estas conservaran una porción significativa de su resistencia y rigidez originales. Dando como resultado que la estructura mantendría su funcionalidad y seguridad tras el evento sísmico.

**CONCLUSIONES Y LINEAMIENTOS
PARA FUTURAS INVESTIGACIONES**

7

7.1. CONCLUSIONES

El estudio de la vulnerabilidad sísmica para edificaciones de distintos tipos en Cuenca ha sido objeto de múltiples investigaciones, cuyo enfoque ha sido principalmente en componentes estructurales como columnas, vigas, losas. No obstante, existe una notable brecha en el estudio de los muros de mampostería, elementos que por lo general suelen exhibir los daños más evidentes tras un evento sísmico. En años recientes, la ciudad ha sido testigo de cómo el fallo de estos muros ha provocado no solo pérdidas materiales considerables, sino también trágicas pérdidas humanas. Esta realidad subraya la urgente necesidad de ampliar el alcance de las investigaciones sísmicas en Cuenca, otorgando mayor atención al comportamiento y resistencia de los muros de mampostería.

Este estudio marca uno de los primeros pasos para una investigación exhaustiva sobre el comportamiento sísmico de muros de mampostería en Cuenca, con un enfoque específico en el ladrillo panelón y juntas de mortero, elementos característicos de la construcción arquitectónica de la ciudad. La investigación se desarrolla en dos fases complementarias: primero, un análisis experimental detallado de las propiedades del ladrillo panelón y mortero, para posteriormente realizar una simulación y análisis numérico de la vulnerabilidad sísmica de fachadas de diferentes casos de estudio construidos con estos materiales. Este enfoque metodológico busca proporcionar una comprensión más profunda de la resistencia y el comportamiento de estos elementos estructurales bajo condiciones sísmicas específicas de la ciudad, sentando las bases para una prevención y mejora de la seguridad de las edificaciones.

En la etapa de evaluación experimental, se llevaron a cabo pruebas de compresión y tensión rigurosas utilizando un ladrillo panelón proveniente de proveedores locales de Racar. El estudio abarcó dos aspectos: la

resistencia del ladrillo como unidad individual y su comportamiento en muretes compuestos con juntas de mortero. Los resultados dan evidencia que la resistencia máxima a la compresión de los ladrillos individuales como mortero, se ajustan a los parámetros establecidos en las Normas Ecuatorianas de la Construcción. Además, los muretes compuestos demostraron una elevada resistencia a la compresión y tensión. Estos hallazgos no solo confirman la calidad del ladrillo panelón, sino que también respaldan su idoneidad en la construcción y aplicaciones estructurales, por su fiabilidad y cumplimiento con los estándares nacionales.

Posteriormente se realizó el análisis de las fachadas de los diferentes casos de estudio, para esto fue necesario por medio de modelación numérica y simulaciones determinar las propiedades efectivas del material con un acercamiento a los valores obtenidos durante la etapa experimental para luego estos ser utilizados en un análisis modal y un análisis estático no lineal.

El análisis modal demostró proporcionar una primera aproximación del comportamiento de los casos de estudio ante eventos sísmicos, ofreciendo una comprensión más profunda de la respuesta estructural y permitiendo identificar puntos débiles y zonas críticas en las fachadas analizadas. Las simulaciones revelan que las áreas más vulnerables se concentran alrededor de los vanos de puertas y ventanas, siendo particularmente críticos aquellos de mayores dimensiones en relación con la pared que los alberga. Aunque se identifican diversas zonas críticas, las simulaciones sugieren que estas no son lo suficientemente significativas como para provocar un fallo grave o el colapso total de las fachadas estudiadas.

Durante la etapa de análisis estático no lineal se aplica la técnica pushover, la cual demostró ser una herramienta de simulación valiosa para evaluar el desempeño sísmico de las estructuras de mampostería por medio de un modelo de daño continuo que considera el daño a tensión como a

compresión. Este proceso permitió identificar y obtener información mas detallada las zonas críticas y anticipar patrones de daño durante eventos sísmicos hasta un previo colapso de las fachadas analizadas. Comparando estos análisis con la demanda sísmica dentro de un contexto específico como la ciudad de Cuenca se puede determinar el punto exacto de vulnerabilidad en el que se encontrara la edificación posterior al sismo.

El análisis de los resultados, tanto gráficos como analíticos de esta etapa, muestra patrones de agrietamiento en las fachadas de todos los casos de estudio. Las zonas críticas se identifican principalmente en esquinas, puntos medios de ventanas y áreas de inicio o finalización de volados relacionándose con los mostrados en el análisis modal. Es importante observar que los daños por tensión y compresión se manifiestan en las mismas áreas de cada fachada con una diferencia significativa en su magnitud. Los daños por compresión resultan ser de menor intensidad en comparación con los de tensión, lo cual se relaciona con los resultados anteriores experimentales que demuestran la alta resistencia a la compresión del ladrillo como material individual.

Al identificar el punto de vulnerabilidad de cada caso de estudio y analizar su posición dentro de cada uno de los niveles de desempeño, se observan resultados positivos ya que todos se ubican dentro de la zona de ocupación inmediata, indicando que las fachadas presentaran un daño mínimo ante eventos sísmicos, ratificando lo presentado en conclusiones anteriores.

Los resultados corroboran la excelente resistencia del ladrillo panelón como material de construcción y como este aportara de manera positiva al comportamiento de edificaciones posterior a un evento sísmico, con un análisis similar al presentado en este estudio se puede desarrollar estrategias de refuerzo y mitigación de riesgos que eleven aún mas los estándares de seguridad estructural

7.2. LINEAMIENTOS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Para un mayor alcance de la investigación se recomienda expandir el estudio a una mayor variedad de configuraciones estructurales y condiciones sísmicas, con el fin de obtener un análisis más completo del comportamiento de las estructuras de mampostería de ladrillo panelón en diferentes escenarios.

Para mejorar la confiabilidad de los resultados, se sugiere complementar los análisis numéricos con pruebas experimentales en laboratorio. Esto permitirá validar los modelos de daño y los espectros inelásticos utilizados, fortaleciendo la precisión de las predicciones.

Se recomienda considerar la interacción entre el suelo y la estructura en los modelos de análisis, ya que las características del suelo pueden tener un impacto significativo en la respuesta sísmica de las edificaciones de mampostería.

Para este estudio se ha considerado un método de análisis Pushover en una sola dirección y no un análisis Pushover cíclica, por lo tanto, no se consideró una réplica de sismo durante este proceso de análisis, por lo que para futuras investigaciones se recomienda realizar este método cíclico para obtener resultados más cercanos del comportamiento de las edificaciones.

Se deberá hacer un análisis minucioso para poder explorar y evaluar diversas técnicas de refuerzo estructural para edificaciones arquitectónicas de mampostería con ladrillo panelón, con el objetivo de mejorar la capacidad de resistencia sísmica. Esto permitirá reducir el riesgo de daños ante la aparición de eventos sísmicos.

Es fundamental divulgar los hallazgos y conclusiones de la investigación a la comunidad científica, ingenieros civiles, autoridades locales y demás

partes interesadas. Esto fomentará la adopción de prácticas de diseño sísmico más seguras y eficientes para este tipo de edificaciones en la ciudad de Cuenca y otras zonas con características similares.

Las recomendaciones propuestas buscan profundizar en el conocimiento y fomentar la implementación de soluciones efectivas que mejoren la seguridad y la resiliencia de este tipo de edificaciones ante eventos sísmicos en la ciudad.

REFERENCIAS

Referencias

- Abad Ullauri, C. H., & Allaico Coraizaca, C. F. (2022). Propuesta para la rehabilitación sísmica de edificaciones patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca, Casa Malo de Valdiviezo [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37822>.
- Alvarez Monroy, J. P., & Morocho Torres, J. E. (2020). Análisis sísmico de edificaciones aisladas con muros de mampostería en Cuenca [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34842>.
- Arteaga Mora, P. A. (2017). Estudio de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y evaluación del índice de daño de una edificación perteneciente al patrimonio central edificado en la ciudad de Cuenca-Ecuador. [bachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26547>.
- ASTM International. (2022). ASTM C1314-22: Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. West Conshohocken, PA.
- Avecillas Cedillo, M. B., & Buruhuán León, M. E. (2021). La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mediana altura y la identificación de zonas seguras mediante modelación lineal: Caso de estudio - edificio de postgrados de la Facultad de Arquitectura [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36309>.
- Bósquez, A. E. C. (s. f.). ESPECTROS DE CONTROL PARA EL VALLE DE LOS CHILLOS.
- Brzev, S. (2007). Earthquake-Resistant Confined Masonry Construction. December 2007.
- Brzev, S., Meli, R., Mebarki, A., & Farsi, M. N. (2012). International Guideline for Seismic Design of Low-Rise Confined Masonry Buildings in Regions of High Seismic Risk.
- Bustos, J. D. (2010). Los movimientos telúricos en la ciudad de Cuenca, estrategias de comunicación no convencionales [bachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1769>.
- Castro-Longoria, E. (2013). Estudio de atenuación sísmica en la región centro-sur del Golfo de California [CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA]. <http://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/56907>.
- Chopra, A. K. (2014). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (4th ed). Prentice Hall.
- Coronel Orellana, B. F., & Peñafiel Gordillo, P. E. (2020). Análisis de capacidad sismorresistente de edificaciones de mampostería de ladrillo con viga de atado típicas del Centro Histórico de la ciudad de Cuenca [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34538>.
- COSUDE (2017). Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada. Quito, Ecuador: Conles y Com.
- Díaz Toapanta, E. F., & Peñaloza Ullaguari, R. B. (2018). Diseño a nivel de anteproyecto de un Coliseo Deportivo para la parroquia de Ricaurte considerando una configuración estructural adecuada [bachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31514>.

- El terremoto de Riobamba del 4 de febrero de 1797—Instituto Geofísico—EPN. (s. f.). Recuperado 6 de diciembre de 2023, de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/582-el-terremoto-de-riobamba-del-4-de-febrero-de-1797>.
- Espinoza Terán, D. A., & Orellana Vintimilla, P. M. (2022). Análisis de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones patrimoniales del centro histórico de Cuenca mediante análisis modal: Caso de estudio Catedral Vieja [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38912>.
- Flores Sánchez, J. I., & Andrade Cornejo, J. R. (2022). Determinación de zonas menos vulnerables en el edificio de la Facultad de Psicología de la Universidad de Cuenca ante un evento sísmico [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39577>.
- García Ortega, D. K., & Guartazaca Sisalima, W. V. (2019). Capacidad Sísmica de las Estructuras de Mampostería del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9424>.
- García Erazo, H. A., & Cárdenas Haro, X. R. (s. f.) (2024). Effective properties of masonry structures and macro-model analysis with experimental verification. 2024.
- Guamán Pintado, F. A., & Ortega Guamán, E. G. (2018). Propuesta de modelo para análisis pushover de paredes confinadas [bachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30330>.
- Heredía Tapia, J. E., & Román Álvarez, M. A. (2014). Gestión de riesgos que permita prevenir eventos adversos Naturales o antrópicos en la facultad de administración, Finanzas e informática [bachelorThesis, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/1148>
- Informe Sísmico Especial No. 2023-003—Instituto Geofísico—EPN. (s. f.). Recuperado 26 de abril de 2023, de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/2024-informe-sismico-especial-no-2023-003>.
- Informes de Situación – Sismo 6.5 – Balao, Guayas (18/03/2023) – Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (s. f.). Recuperado 22 de abril de 2024, de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-sismo-balao-guayas-18-03-2023/>.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2020). NTE INEN 292: Ladrillos cerámicos. Muestreo. Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2019). NTE INEN 294: Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la compresión. Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2019). NTE INEN 297: Ladrillos cerámicos. Requisitos. Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). NTE INEN 488:2009. Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 2 518:2010. Morteros para unidades de mampostería. Requisitos.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2017). NTP 399.613: Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Lima, Perú.

Instituto Geofísico [@IGecuador]. (2023, marzo 18). #SISMO ID:igepn2023fkei Revisado 2023-03-18 12:12:53 TL Magnitud: 6.5 Profundidad: 44 km, a 29.12 km de Balao, Guayas, Latitud: -2.78 Longitud:-79.93 Ecuador. Sintió este sismo? Repórtelo en <https://bit.ly/3YYD4Td> <https://t.co/txBXcRO1iB> [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/IGecuador/status/1637141277631193088>.

Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering.

Lagos Saltos, P. N. (2015). Estudio de los registros sísmicos existentes en el Ecuador, caso red sísmica del austro y su incidencia en el análisis estructural, vulnerabilidad y desempeño sísmico de edificios de mediana altura [bachelorThesis]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/11737>.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC (2015(. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2017). Construir mejor con mampostería confinada con la Secretaria de Riesgos NEC (2015). <https://www.confinedmasonry.org/wp-content/uploads/2018/05/Construir-mejor-mamp-conf-Ecuador.pdf>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Mampostería Estructural. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Guía práctica de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015.

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). NTP E 070: Albañilería. Lima, Perú.

Morocho Arenillas, S. I., & Sarmiento Jaramillo, M. E. (2021). La vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mediana altura y la identificación de zonas seguras mediante análisis modal: Caso Centro de Documentación Juan Bautista [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36262>.

Normalización y Certificación (NORMEX). (1974). NMX-C-082-1974_ COMPRESS: Industria de la construcción - Bloques y ladrillos de cemento - Determinación de la resistencia a la compresión. Ciudad de México.

Ortega Marquéz, A. R. (2020). Vulnerabilidad y Capacidad Sísmica de Edificaciones Tipo de Mampostería Confinada de la Ciudad de Cuenca [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10199>.

Ortiz Panchi, O. C. (2013). Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador [Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid]. <https://dokumen.tips/documents/sismotectonica-y-peligrosidad-sismica-en-ecuador-ortiz-2013.html>.

PASCA GARCÍA, L. (2014). La concepción de la Vivienda y Su objeto [Tesis de Psicología Social]. <https://www.doccity.com/es/la-concepcion-de-la-vivienda-y-su-objeto/5108669/>.

Pérez García, E. A., & García Erazo, H. A. (2022). Estimación de la vulnerabilidad sísmica de la edificación patrimonial Casa Condamines

[bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12546>.

Petracca, M. (2016). Computational multiscale analysis of masonry structures [Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. En TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <https://www.tdx.cat/handle/10803/393942>.

Quinde Martínez, P., & Reinoso Angulo, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Ingeniería sísmica*, 94, 1-26.

Quinde Romero, A. S., & Salinas Ramirez, M. C. (2019). Análisis y propuesta arquitectónica sismo-resistente de viviendas adosadas con muros de mampostería en Cuenca [bachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33708>.

Torres, J., Barbat, A., & Yopez, F. (1995). Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño para estudios de riesgo sísmico. *Física de la tierra*, ISSN 0214-4557, 7, 327-366.

Una casa del centro histórico de Cuenca se desplomó por sismo; hay un muerto y un herido | Ecuador | Noticias | El Universo. (s. f.). Recuperado 26 de abril de 2023, de <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/muerto-herido-temblor-cuenca-nota/>.

ANEXOS

ANEXOS CAPITULO 3.3 MICRO-MODELACIÓN DE PAREDES TÍPICAS CON MAMPOSTERÍA DE LADRILLO PANELÓN.

Anexo 3.3.1. Tabla Esfuerzo deformación muestra M1 encontrados a partir de ajuste de simulaciones en STKO, ajuste a partir del limite de compresión (fc), y modulo elástico (E) con una variación no mayor al 5%. Bueno & Pulla, 2024.

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN					
MUESTRA M1					
DIMENSIONES			PESO (g)		
LARGO (l)	ANCHO (a)	ALTURA (h)			
245.00	124.00	240.00	14107.30		
N°	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kN)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
1	0.03	22.209	22209.07	0.73	0.00012
2	0.06	44.418	44417.57	1.46	0.00025
3	0.09	66.204	66204.13	2.18	0.00037
4	0.12	84.984	84983.82	2.80	0.00050
5	0.15	102.810	102810.07	3.38	0.00062
6	0.18	119.237	119237.32	3.92	0.00075
7	0.21	134.041	134041.30	4.41	0.00087
8	0.24	147.203	147203.19	4.85	0.00100
9	0.27	158.689	158689.24	5.22	0.00112
10	0.30	168.469	168468.61	5.55	0.00125
11	0.33	176.457	176456.95	5.81	0.00137
12	0.36	182.553	182553.00	6.01	0.00150
13	0.39	186.593	186593.20	6.14	0.00162
14	0.42	188.730	188729.72	6.21	0.00175
15	0.45	189.957	189957.02	6.25	0.00187
16	0.48	191.134	191134.08	6.29	0.00200
17	0.51	192.595	192595.36	6.34	0.00212
18	0.54	194.392	194392.36	6.40	0.00225
19	0.57	195.582	195581.75	6.44	0.00237
20	0.60	195.344	195344.27	6.43	0.00250
21	0.63	194.073	194073.31	6.39	0.00262
22	0.66	192.905	192905.15	6.35	0.00275
23	0.69	192.222	192222.14	6.33	0.00287
24	0.72	192.931	192930.77	6.35	0.00300

25	0.75	194.273	194273.37	6.39	0.00312
26	0.78	195.400	195399.94	6.43	0.00325
27	0.81	195.983	195982.86	6.45	0.00337
28	0.84	196.346	196346.23	6.46	0.00350
29	0.87	196.690	196690.42	6.47	0.00362
30	0.90	196.867	196867.08	6.48	0.00375
31	0.93	197.009	197008.74	6.48	0.00387
32	0.96	197.155	197155.36	6.49	0.00400
33	0.99	197.219	197219.15	6.49	0.00412
34	1.02	197.214	197214.37	6.49	0.00425
35	1.05	197.207	197206.55	6.49	0.00437
36	1.08	197.342	197341.53	6.50	0.00450
37	1.11	197.534	197534.22	6.50	0.00462
38	1.14	197.580	197580.07	6.50	0.00475
39	1.17	197.542	197542.50	6.50	0.00487
40	1.20	197.618	197618.33	6.50	0.00500
41	1.23	197.894	197893.61	6.51	0.00512
42	1.26	198.032	198032.25	6.52	0.00525
43	1.29	197.998	197997.90	6.52	0.00537
44	1.32	197.837	197837.23	6.51	0.00550
45	1.35	197.654	197654.19	6.51	0.00562
46	1.38	197.391	197391.23	6.50	0.00575
47	1.41	197.136	197136.34	6.49	0.00587
48	1.44	197.201	197201.11	6.49	0.00600
49	1.47	197.381	197381.35	6.50	0.00612
50	1.50	197.227	197227.25	6.49	0.00625
51	1.53	196.756	196756.25	6.48	0.00637
52	1.56	196.485	196485.44	6.47	0.00650
53	1.59	196.221	196221.39	6.46	0.00662
54	1.62	195.830	195830.26	6.45	0.00675
55	1.65	195.647	195647.02	6.44	0.00687
56	1.68	195.570	195569.92	6.44	0.00700
57	1.71	195.721	195721.24	6.44	0.00712
58	1.74	196.181	196181.43	6.46	0.00725
59	1.77	196.690	196690.18	6.47	0.00737
60	1.80	197.235	197234.98	6.49	0.00750
61	1.83	197.502	197501.89	6.50	0.00762
62	1.86	197.426	197426.46	6.50	0.00775
63	1.89	197.196	197196.48	6.49	0.00787
64	1.92	196.987	196987.39	6.48	0.00800
65	1.95	196.845	196845.29	6.48	0.00812

66	1.98	196.733	196732.52	6.48	0.00825
67	2.01	196.356	196356.16	6.46	0.00837
68	2.04	195.728	195727.56	6.44	0.00850
69	2.07	195.244	195244.28	6.43	0.00862
70	2.10	194.617	194616.67	6.41	0.00875
71	2.13	193.756	193756.35	6.38	0.00887
72	2.16	193.102	193102.29	6.36	0.00900
73	2.19	192.692	192692.50	6.34	0.00912
74	2.22	192.407	192407.36	6.33	0.00925
75	2.25	192.071	192070.65	6.32	0.00937
76	2.28	191.462	191461.92	6.30	0.00950
77	2.31	190.290	190290.23	6.26	0.00962
78	2.34	188.365	188365.19	6.20	0.00975
79	2.37	185.088	185088.00	6.09	0.00987
80	2.40	179.598	179597.59	5.91	0.01000
81	2.43	170.761	170761.33	5.62	0.01012
82	2.46	156.222	156222.11	5.14	0.01025
83	2.49	132.866	132865.66	4.37	0.01038
84	2.52	104.067	104066.80	3.43	0.01050
85	2.55	82.655	82655.22	2.72	0.01063
86	2.58	72.225	72224.78	2.38	0.01075
87	2.61	67.932	67932.36	2.24	0.01088
88	2.64	64.304	64304.15	2.12	0.01100
89	2.67	59.221	59220.80	1.95	0.01113
90	2.70	53.738	53737.77	1.77	0.01125
91	2.73	49.229	49228.85	1.62	0.01138
92	2.76	46.149	46149.36	1.52	0.01150
93	2.79	43.740	43739.98	1.44	0.01163
94	2.82	41.638	41637.95	1.37	0.01175
95	2.85	39.517	39517.02	1.30	0.01188
96	2.88	37.396	37395.81	1.23	0.01200
97	2.91	35.346	35346.20	1.16	0.01213
98	2.94	33.454	33454.40	1.10	0.01225
99	2.97	31.615	31614.69	1.04	0.01238
100	3.00	29.441	29441.47	0.97	0.01250

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad E = 5110.11 \text{ N/mm}^2$$

Anexo 3.3.2. Tabla Esfuerzo deformación muestra M2 encontrados a partir de ajuste de simulaciones en STKO, ajuste a partir del limite de compresión (fc), y modulo elástico (E) con una variación no mayor al 5%. Bueno & Pulla, 2024.

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN					
MUESTRA M2					
	DIMENSIONES			PESO (g)	
	LARGO (l)	ANCHO (a)	ALTURA (h)		
	244.00	123.00	244.00	14346.10	
N°	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kN)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
1	0.03	20.892	20892.02	0.6961	0.00012
2	0.06	41.784	41783.61	1.3922	0.00025
3	0.09	62.570	62569.56	2.0848	0.00037
4	0.12	81.121	81121.42	2.7030	0.00049
5	0.15	98.723	98723.44	3.2895	0.00061
6	0.18	115.220	115220.08	3.8391	0.00074
7	0.21	130.415	130414.69	4.3454	0.00086
8	0.24	144.278	144278.12	4.8073	0.00098
9	0.27	156.791	156791.18	5.2243	0.00111
10	0.30	167.916	167916.36	5.5950	0.00123
11	0.33	177.601	177601.47	5.9177	0.00135
12	0.36	185.766	185765.56	6.1897	0.00148
13	0.39	192.263	192263.15	6.4062	0.00160
14	0.42	196.803	196803.09	6.5575	0.00172
15	0.45	199.521	199520.64	6.6480	0.00184
16	0.48	201.314	201314.02	6.7078	0.00197
17	0.51	203.082	203082.00	6.7667	0.00209
18	0.54	205.325	205324.93	6.8414	0.00221
19	0.57	208.234	208234.45	6.9384	0.00234
20	0.60	211.160	211159.77	7.0358	0.00246
21	0.63	213.313	213312.51	7.1076	0.00258
22	0.66	214.239	214238.75	7.1384	0.00270
23	0.69	214.233	214233.03	7.1382	0.00283
24	0.72	214.359	214358.65	7.1424	0.00295
25	0.75	214.699	214699.15	7.1538	0.00307
26	0.78	214.509	214508.56	7.1474	0.00320
27	0.81	214.188	214188.15	7.1368	0.00332
28	0.84	214.291	214290.94	7.1402	0.00344
29	0.87	215.428	215427.77	7.1781	0.00357

30	0.90	217.637	217636.63	7.2517	0.00369
31	0.93	219.758	219758.26	7.3223	0.00381
32	0.96	220.561	220561.36	7.3491	0.00393
33	0.99	220.805	220805.26	7.3572	0.00406
34	1.02	220.690	220690.39	7.3534	0.00418
35	1.05	220.188	220187.64	7.3367	0.00430
36	1.08	220.178	220178.26	7.3363	0.00443
37	1.11	220.184	220183.81	7.3365	0.00455
38	1.14	219.724	219724.23	7.3212	0.00467
39	1.17	218.954	218953.69	7.2955	0.00480
40	1.20	217.930	217930.25	7.2614	0.00492
41	1.23	216.966	216966.37	7.2293	0.00504
42	1.26	216.017	216016.64	7.1977	0.00516
43	1.29	213.647	213647.30	7.1187	0.00529
44	1.32	211.885	211885.26	7.0600	0.00541
45	1.35	211.625	211625.32	7.0514	0.00553
46	1.38	211.723	211723.21	7.0546	0.00566
47	1.41	211.192	211192.38	7.0369	0.00578
48	1.44	209.490	209490.02	6.9802	0.00590
49	1.47	206.360	206360.11	6.8759	0.00602
50	1.50	201.871	201870.53	6.7263	0.00615
51	1.53	197.155	197155.14	6.5692	0.00627
52	1.56	192.730	192730.41	6.4218	0.00639
53	1.59	188.242	188242.26	6.2722	0.00652
54	1.62	182.982	182982.16	6.0970	0.00664
55	1.65	176.232	176232.03	5.8721	0.00676
56	1.68	167.697	167696.71	5.5877	0.00689
57	1.71	158.160	158159.94	5.2699	0.00701
58	1.74	148.865	148865.45	4.9602	0.00713
59	1.77	140.249	140249.11	4.6731	0.00725
60	1.80	132.801	132801.15	4.4249	0.00738
61	1.83	126.568	126567.99	4.2172	0.00750
62	1.86	121.407	121406.74	4.0453	0.00762
63	1.89	116.924	116923.69	3.8959	0.00775
64	1.92	112.766	112766.23	3.7574	0.00787
65	1.95	108.483	108482.89	3.6147	0.00799
66	1.98	103.972	103972.19	3.4644	0.00811
67	2.01	99.311	99310.87	3.3090	0.00824
68	2.04	94.568	94567.55	3.1510	0.00836
69	2.07	89.622	89621.64	2.9862	0.00848

70	2.10	84.703	84703.38	2.8223	0.00861
71	2.13	80.225	80225.45	2.6731	0.00873
72	2.16	76.443	76442.57	2.5471	0.00885
73	2.19	73.282	73282.45	2.4418	0.00898
74	2.22	70.243	70243.25	2.3405	0.00910
75	2.25	67.171	67171.26	2.2381	0.00922
76	2.28	64.161	64161.20	2.1379	0.00934
77	2.31	61.321	61320.58	2.0432	0.00947
78	2.34	58.760	58759.94	1.9579	0.00959
79	2.37	56.507	56506.58	1.8828	0.00971
80	2.40	54.576	54576.24	1.8185	0.00984
81	2.43	52.877	52877.47	1.7619	0.00996
82	2.46	51.260	51259.73	1.7080	0.01008
83	2.49	49.318	49318.14	1.6433	0.01020
84	2.52	46.052	46052.43	1.5345	0.01033
85	2.55	40.456	40455.61	1.3480	0.01045
86	2.58	34.114	34113.65	1.1367	0.01057
87	2.61	29.166	29165.53	0.9718	0.01070
88	2.64	25.841	25840.80	0.8610	0.01082
89	2.67	23.561	23561.45	0.7851	0.01094
90	2.70	21.933	21933.04	0.7308	0.01107
91	2.73	20.768	20768.10	0.6920	0.01119
92	2.76	19.915	19914.70	0.6636	0.01131
93	2.79	19.234	19234.50	0.6409	0.01143
94	2.82	18.655	18655.31	0.6216	0.01156
95	2.85	18.146	18146.01	0.6046	0.01168
96	2.88	17.694	17693.99	0.5896	0.01180
97	2.91	17.290	17290.28	0.5761	0.01193
98	2.94	16.930	16929.98	0.5641	0.01205
99	2.97	16.602	16601.92	0.5532	0.01217
100	3.00	16.299	16299.39	0.5431	0.01230

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad E = 5440.78 \text{ N/mm}^2$$

Anexo 3.3.2. Tabla Esfuerzo deformación muestra M3 encontrados a partir de ajuste de simulaciones en STKO, ajuste a partir del limite de compresión (fc), y modulo elástico (E) con una variación no mayor al 5%. Bueno & Pulla, 2024.

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN					
MUESTRA M3					
DIMENSIONES				PESO (g)	
LARGO (l)	ANCHO (a)	ALTURA (h)			
	244.00	123.00	247.00	14857.10	
N°	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kN)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
1	0.03	22.116	22115.56	0.7369	0.00012
2	0.06	44.230	44229.81	1.4737	0.00024
3	0.09	66.142	66141.52	2.2038	0.00036
4	0.12	85.374	85373.81	2.8447	0.00049
5	0.15	103.770	103769.57	3.4576	0.00061
6	0.18	120.882	120882.22	4.0278	0.00073
7	0.21	136.545	136545.08	4.5497	0.00085
8	0.24	150.714	150713.79	5.0218	0.00097
9	0.27	163.366	163366.32	5.4434	0.00109
10	0.30	174.458	174458.22	5.8129	0.00121
11	0.33	183.941	183941.31	6.1289	0.00134
12	0.36	191.741	191741.39	6.3888	0.00146
13	0.39	197.745	197745.16	6.5889	0.00158
14	0.42	201.763	201763.44	6.7228	0.00170
15	0.45	203.840	203840.25	6.7920	0.00182
16	0.48	204.813	204812.52	6.8244	0.00194
17	0.51	205.541	205541.48	6.8486	0.00206
18	0.54	206.553	206553.39	6.8824	0.00219
19	0.57	208.027	208026.93	6.9315	0.00231
20	0.60	209.885	209885.22	6.9934	0.00243
21	0.63	211.821	211820.52	7.0579	0.00255
22	0.66	213.210	213209.97	7.1042	0.00267
23	0.69	213.659	213658.90	7.1191	0.00279
24	0.72	213.244	213243.59	7.1053	0.00291
25	0.75	213.063	213062.82	7.0993	0.00304
26	0.78	213.287	213287.38	7.1067	0.00316
27	0.81	213.095	213094.86	7.1003	0.00328
28	0.84	212.420	212420.11	7.0778	0.00340
29	0.87	211.940	211939.75	7.0618	0.00352

30	0.90	211.843	211842.93	7.0586	0.00364
31	0.93	212.296	212296.05	7.0737	0.00377
32	0.96	212.900	212900.47	7.0938	0.00389
33	0.99	213.460	213460.40	7.1125	0.00401
34	1.02	214.057	214057.06	7.1324	0.00413
35	1.05	214.892	214892.03	7.1602	0.00425
36	1.08	215.988	215987.60	7.1967	0.00437
37	1.11	217.034	217034.06	7.2316	0.00449
38	1.14	217.716	217715.59	7.2543	0.00462
39	1.17	217.917	217917.14	7.2610	0.00474
40	1.20	217.645	217645.28	7.2519	0.00486
41	1.23	217.041	217041.08	7.2318	0.00498
42	1.26	216.186	216185.67	7.2033	0.00510
43	1.29	215.596	215595.92	7.1837	0.00522
44	1.32	215.501	215500.74	7.1805	0.00534
45	1.35	215.944	215944.45	7.1953	0.00547
46	1.38	216.387	216386.87	7.2100	0.00559
47	1.41	216.363	216363.07	7.2092	0.00571
48	1.44	216.098	216098.14	7.2004	0.00583
49	1.47	215.810	215809.62	7.1908	0.00595
50	1.50	215.693	215693.04	7.1869	0.00607
51	1.53	215.906	215905.95	7.1940	0.00619
52	1.56	216.220	216220.20	7.2045	0.00632
53	1.59	216.544	216544.02	7.2152	0.00644
54	1.62	216.606	216605.87	7.2173	0.00656
55	1.65	216.407	216407.16	7.2107	0.00668
56	1.68	215.961	215960.95	7.1958	0.00680
57	1.71	215.527	215526.72	7.1814	0.00692
58	1.74	215.146	215145.99	7.1687	0.00704
59	1.77	214.883	214882.86	7.1599	0.00717
60	1.80	214.800	214800.33	7.1571	0.00729
61	1.83	214.904	214904.06	7.1606	0.00741
62	1.86	215.052	215051.95	7.1655	0.00753
63	1.89	215.145	215145.41	7.1686	0.00765
64	1.92	215.124	215123.99	7.1679	0.00777
65	1.95	214.870	214869.91	7.1595	0.00789
66	1.98	214.293	214293.40	7.1403	0.00802
67	2.01	213.519	213519.11	7.1145	0.00814
68	2.04	212.266	212266.45	7.0727	0.00826
69	2.07	210.260	210259.77	7.0059	0.00838

70	2.10	207.806	207806.01	6.9241	0.00850
71	2.13	205.114	205114.32	6.8344	0.00862
72	2.16	202.271	202271.09	6.7397	0.00874
73	2.19	199.180	199180.14	6.6367	0.00887
74	2.22	195.780	195780.12	6.5234	0.00899
75	2.25	191.524	191523.93	6.3816	0.00911
76	2.28	186.394	186394.22	6.2107	0.00923
77	2.31	180.487	180486.70	6.0138	0.00935
78	2.34	173.709	173709.24	5.7880	0.00947
79	2.37	166.056	166055.82	5.5330	0.00960
80	2.40	157.313	157313.23	5.2417	0.00972
81	2.43	148.052	148052.30	4.9331	0.00984
82	2.46	138.249	138248.88	4.6065	0.00996
83	2.49	127.946	127946.03	4.2632	0.01008
84	2.52	116.627	116626.55	3.8860	0.01020
85	2.55	102.496	102495.91	3.4152	0.01032
86	2.58	84.518	84518.11	2.8161	0.01045
87	2.61	65.617	65616.70	2.1863	0.01057
88	2.64	47.738	47737.65	1.5906	0.01069
89	2.67	35.010	35009.98	1.1665	0.01081
90	2.70	28.136	28136.34	0.9375	0.01093
91	2.73	25.049	25049.00	0.8346	0.01105
92	2.76	23.894	23894.16	0.7962	0.01117
93	2.79	23.353	23353.05	0.7781	0.01130
94	2.82	22.807	22806.89	0.7599	0.01142
95	2.85	22.168	22167.92	0.7386	0.01154
96	2.88	21.444	21443.84	0.7145	0.01166
97	2.91	20.673	20673.44	0.6888	0.01178
98	2.94	19.889	19888.93	0.6627	0.01190
99	2.97	19.153	19153.26	0.6382	0.01202
100	3.00	18.515	18515.26	0.6169	0.01215

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

E= 5444.61 N/mm²

Anexo 3.3.2. Tabla Esfuerzo deformación muestra M4 encontrados a partir de ajuste de simulaciones en STKO, ajuste a partir del limite de compresión (fc), y modulo elástico (E) con una variación no mayor al 5%. Bueno & Pulla, 2024.

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN					
MUESTRA M4					
	DIMENSIONES			PESO (g)	
	LARGO (l)	ANCHO (a)	ALTURA (h)		
	245.00	124.00	245.00	14833.90	
N°	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kN)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
1	0.05	32.055	32055.19	1.0551	0.00020
2	0.10	64.107	64106.54	2.1102	0.00041
3	0.15	93.405	93405.20	3.0746	0.00061
4	0.20	118.522	118521.51	3.9013	0.00082
5	0.25	141.503	141503.12	4.6578	0.00102
6	0.30	161.614	161613.96	5.3197	0.00122
7	0.35	178.451	178451.26	5.8740	0.00143
8	0.40	191.669	191668.51	6.3090	0.00163
9	0.45	200.507	200506.54	6.6000	0.00184
10	0.50	204.474	204474.25	6.7306	0.00204
11	0.55	205.140	205140.45	6.7525	0.00224
12	0.60	203.981	203980.77	6.7143	0.00245
13	0.65	201.701	201701.32	6.6393	0.00265
14	0.70	199.612	199612.15	6.5705	0.00286
15	0.75	198.945	198944.50	6.5485	0.00306
16	0.80	199.375	199375.29	6.5627	0.00327
17	0.85	200.329	200328.94	6.5941	0.00347
18	0.90	201.480	201479.97	6.6320	0.00367
19	0.95	202.689	202688.77	6.6718	0.00388
20	1.00	203.779	203778.65	6.7077	0.00408
21	1.05	204.718	204717.55	6.7386	0.00429
22	1.10	205.413	205412.71	6.7614	0.00449
23	1.15	205.798	205798.09	6.7741	0.00469
24	1.20	205.995	205994.98	6.7806	0.00490
25	1.25	206.162	206162.10	6.7861	0.00510
26	1.30	206.315	206315.18	6.7912	0.00531
27	1.35	206.315	206315.14	6.7912	0.00551
28	1.40	205.845	205844.70	6.7757	0.00571
29	1.45	205.040	205040.40	6.7492	0.00592

30	1.50	204.369	204369.48	6.7271	0.00612
31	1.55	204.020	204020.07	6.7156	0.00633
32	1.60	204.272	204272.26	6.7239	0.00653
33	1.65	205.161	205161.46	6.7532	0.00673
34	1.70	206.820	206820.09	6.8078	0.00694
35	1.75	209.228	209228.48	6.8870	0.00714
36	1.80	211.561	211561.08	6.9638	0.00735
37	1.85	212.473	212472.87	6.9938	0.00755
38	1.90	211.699	211699.16	6.9684	0.00776
39	1.95	210.137	210137.09	6.9170	0.00796
40	2.00	208.363	208362.87	6.8586	0.00816
41	2.05	207.216	207215.69	6.8208	0.00837
42	2.10	206.925	206925.34	6.8112	0.00857
43	2.15	205.647	205647.12	6.7692	0.00878
44	2.20	202.199	202198.64	6.6556	0.00898
45	2.25	199.836	199835.84	6.5779	0.00918
46	2.30	199.143	199143.08	6.5551	0.00939
47	2.35	198.504	198503.75	6.5340	0.00959
48	2.40	199.186	199185.96	6.5565	0.00980
49	2.45	201.583	201583.22	6.6354	0.01000
50	2.50	204.499	204498.63	6.7314	0.01020
51	2.55	206.948	206948.37	6.8120	0.01041
52	2.60	208.429	208429.34	6.8607	0.01061
53	2.65	208.819	208818.81	6.8736	0.01082
54	2.70	209.298	209298.21	6.8893	0.01102
55	2.75	209.849	209848.58	6.9075	0.01122
56	2.80	209.816	209816.10	6.9064	0.01143
57	2.85	209.049	209048.55	6.8811	0.01163
58	2.90	207.341	207340.97	6.8249	0.01184
59	2.95	205.003	205003.38	6.7480	0.01204
60	3.00	202.521	202521.29	6.6663	0.01224
61	3.05	200.366	200366.46	6.5953	0.01245
62	3.10	198.578	198578.02	6.5365	0.01265
63	3.15	196.985	196985.14	6.4840	0.01286
64	3.20	195.521	195521.08	6.4358	0.01306
65	3.25	194.073	194073.10	6.3882	0.01327
66	3.30	192.440	192439.50	6.3344	0.01347
67	3.35	190.669	190668.77	6.2761	0.01367
68	3.40	188.760	188759.66	6.2133	0.01388
69	3.45	186.878	186877.85	6.1513	0.01408
70	3.50	185.121	185120.55	6.0935	0.01429

71	3.55	183.302	183301.51	6.0336	0.01449
72	3.60	181.446	181445.69	5.9725	0.01469
73	3.65	179.262	179261.75	5.9007	0.01490
74	3.70	176.607	176606.95	5.8133	0.01510
75	3.75	172.904	172904.38	5.6914	0.01531
76	3.80	166.995	166995.01	5.4969	0.01551
77	3.85	157.385	157385.33	5.1806	0.01571
78	3.90	143.151	143150.93	4.7120	0.01592
79	3.95	124.819	124819.13	4.1086	0.01612
80	4.00	102.174	102173.93	3.3632	0.01633
81	4.05	78.045	78045.08	2.5690	0.01653
82	4.10	57.837	57836.92	1.9038	0.01673
83	4.15	45.335	45334.87	1.4923	0.01694
84	4.20	36.940	36940.40	1.2159	0.01714
85	4.25	31.467	31466.92	1.0358	0.01735
86	4.30	28.743	28742.59	0.9461	0.01755
87	4.35	26.932	26931.76	0.8865	0.01776
88	4.40	25.298	25298.06	0.8327	0.01796
89	4.45	23.686	23685.52	0.7796	0.01816
90	4.50	22.052	22052.31	0.7259	0.01837
91	4.55	20.564	20564.05	0.6769	0.01857
92	4.60	19.166	19166.43	0.6309	0.01878
93	4.65	18.338	18337.80	0.6036	0.01898
94	4.70	17.789	17788.80	0.5855	0.01918
95	4.75	17.409	17409.17	0.5730	0.01939
96	4.80	16.785	16784.59	0.5525	0.01959
97	4.85	16.574	16574.19	0.5456	0.01980
98	4.90	16.283	16283.10	0.5360	0.02000
99	4.95	16.190	16190.41	0.5329	0.02020
100	5.00	15.804	15804.17	0.5202	0.02041

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad E = 5413.22 \text{ N/mm}^2$$

Anexo 3.3.2. Tabla Esfuerzo deformación muestra M5 encontrados a partir de ajuste de simulaciones en STKO, ajuste a partir del limite de compresión (fc), y modulo elástico (E) con una variación no mayor al 5%. Bueno & Pulla, 2024.

TABLA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN					
MUESTRA M5					
DIMENSIONES				PESO (g)	
LARGO (l)	ANCHO (a)	ALTURA (h)	14122.20		
245.00	124.00	236.00			
N°	DEFORMACIÓN (mm)	CARGA (kgf)	CARGA (N)	ESFUERZO (N/mm²)	DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)
1	0.03	22.976	22976.44	0.7563	0.00013
2	0.06	45.953	45952.56	1.5126	0.00025
3	0.09	68.897	68897.35	2.2679	0.00038
4	0.12	90.822	90822.24	2.9895	0.00051
5	0.15	111.009	111009.36	3.6540	0.00064
6	0.18	130.422	130421.54	4.2930	0.00076
7	0.21	148.731	148731.34	4.8957	0.00089
8	0.24	165.871	165871.06	5.4599	0.00102
9	0.27	181.839	181838.91	5.9855	0.00114
10	0.30	196.613	196613.01	6.4718	0.00127
11	0.33	210.200	210200.20	6.9190	0.00140
12	0.36	222.584	222583.68	7.3267	0.00153
13	0.39	233.739	233738.95	7.6938	0.00165
14	0.42	243.622	243622.31	8.0192	0.00178
15	0.45	252.246	252245.67	8.3030	0.00191
16	0.48	259.588	259588.17	8.5447	0.00203
17	0.51	265.659	265659.13	8.7445	0.00216
18	0.54	270.504	270503.93	8.9040	0.00229
19	0.57	274.057	274056.78	9.0210	0.00242
20	0.60	276.426	276426.08	9.0989	0.00254
21	0.63	277.874	277873.59	9.1466	0.00267
22	0.66	278.435	278434.55	9.1651	0.00280
23	0.69	277.938	277937.96	9.1487	0.00292
24	0.72	277.174	277174.20	9.1236	0.00305
25	0.75	277.066	277065.99	9.1200	0.00318
26	0.78	277.964	277964.14	9.1496	0.00331
27	0.81	279.579	279579.25	9.2027	0.00343
28	0.84	281.291	281290.57	9.2591	0.00356
29	0.87	282.764	282764.29	9.3076	0.00369

30	0.90	283.769	283769.23	9.3407	0.00381
31	0.93	284.044	284044.36	9.3497	0.00394
32	0.96	283.697	283696.76	9.3383	0.00407
33	0.99	283.317	283317.45	9.3258	0.00419
34	1.02	283.298	283297.62	9.3251	0.00432
35	1.05	283.401	283400.71	9.3285	0.00445
36	1.08	283.557	283556.89	9.3337	0.00458
37	1.11	283.642	283642.13	9.3365	0.00470
38	1.14	283.695	283695.39	9.3382	0.00483
39	1.17	283.370	283370.05	9.3275	0.00496
40	1.20	282.368	282368.01	9.2945	0.00508
41	1.23	280.814	280814.49	9.2434	0.00521
42	1.26	279.194	279193.75	9.1901	0.00534
43	1.29	277.734	277734.30	9.1420	0.00547
44	1.32	276.109	276109.10	9.0885	0.00559
45	1.35	273.993	273993.36	9.0189	0.00572
46	1.38	270.710	270710.50	8.9108	0.00585
47	1.41	266.331	266330.82	8.7666	0.00597
48	1.44	260.742	260742.33	8.5827	0.00610
49	1.47	253.332	253332.06	8.3388	0.00623
50	1.50	243.992	243991.87	8.0313	0.00636
51	1.53	232.683	232682.82	7.6591	0.00648
52	1.56	219.466	219465.58	7.2240	0.00661
53	1.59	204.771	204770.58	6.7403	0.00674
54	1.62	189.580	189580.28	6.2403	0.00686
55	1.65	174.928	174927.73	5.7580	0.00699
56	1.68	160.545	160544.90	5.2846	0.00712
57	1.71	143.253	143253.28	4.7154	0.00725
58	1.74	122.446	122446.03	4.0305	0.00737
59	1.77	104.963	104963.45	3.4550	0.00750
60	1.80	87.673	87672.90	2.8859	0.00763
61	1.83	74.841	74841.48	2.4635	0.00775
62	1.86	67.329	67329.44	2.2162	0.00788
63	1.89	63.293	63293.29	2.0834	0.00801
64	1.92	61.019	61019.08	2.0085	0.00814
65	1.95	59.319	59318.74	1.9526	0.00826
66	1.98	57.576	57576.24	1.8952	0.00839
67	2.01	55.625	55624.67	1.8310	0.00852
68	2.04	53.567	53566.63	1.7632	0.00864
69	2.07	51.613	51613.18	1.6989	0.00877

70	2.10	49.861	49861.24	1.6413	0.00890
71	2.13	48.356	48355.84	1.5917	0.00903
72	2.16	47.009	47008.89	1.5474	0.00915
73	2.19	45.741	45740.58	1.5056	0.00928
74	2.22	44.475	44475.11	1.4640	0.00941
75	2.25	43.157	43156.76	1.4206	0.00953
76	2.28	41.826	41825.87	1.3768	0.00966
77	2.31	40.510	40510.17	1.3334	0.00979
78	2.34	39.257	39256.53	1.2922	0.00992
79	2.37	38.065	38064.99	1.2530	0.01004
80	2.40	36.943	36942.51	1.2160	0.01017
81	2.43	35.897	35897.30	1.1816	0.01030
82	2.46	34.941	34940.63	1.1501	0.01042
83	2.49	34.086	34086.35	1.1220	0.01055
84	2.52	33.336	33336.27	1.0973	0.01068
85	2.55	32.674	32673.54	1.0755	0.01081
86	2.58	32.079	32079.16	1.0559	0.01093
87	2.61	31.535	31535.42	1.0380	0.01106
88	2.64	31.028	31028.15	1.0213	0.01119
89	2.67	30.550	30550.39	1.0056	0.01131
90	2.70	30.105	30104.93	0.9909	0.01144
91	2.73	29.692	29691.66	0.9773	0.01157
92	2.76	29.314	29314.19	0.9649	0.01169
93	2.79	28.963	28963.32	0.9534	0.01182
94	2.82	28.627	28627.10	0.9423	0.01195
95	2.85	28.285	28285.29	0.9310	0.01208
96	2.88	27.845	27845.12	0.9166	0.01220
97	2.91	27.233	27233.17	0.8964	0.01233
98	2.94	26.356	26355.70	0.8675	0.01246
99	2.97	25.051	25051.02	0.8246	0.01258
100	3.00	23.893	23893.01	0.7865	0.01271

ANEXOS CAPITULO 5.1.1 CÁLCULO DE LA CARGA MUERTA PARA EL ANÁLISIS MODAL.

Anexo 5.1.1.1 Densidad de ladrillos panelón (Racar) tabla encontrada por medio de cálculos a partir de muestras de ladrillos y magnitudes presentadas en el capítulo 2. Bueno & Pulla, 2024.

DENSIDAD LADRILLOS PANELON (RACAR)						
LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTURA (mm)	VOLUMEN	MASA (g)	MASA (Kg)	DENSIDAD (Kg/m3)
242.0	122.0	72.0	2125.73	3702.40	3702400	1741.71
243.0	123.5	68.0	2040.71	3563.20	3563200	1746.06
239.0	121.0	69.0	1995.41	3606.20	3606200	1807.25
242.0	122.5	69.5	2060.33	3551.40	3551400	1723.71
243.0	122.5	69.3	2062.89	3507.80	3507800	1700.43
244.0	123.0	70.9	2127.85	3644.80	3644800	1712.90
246.0	123.0	71.0	2148.32	3716.00	3716000	1729.73
238.0	124.0	70.0	2065.84	3680.20	3680200	1781.45
248.0	123.0	71.0	2165.78	3779.00	3779000	1744.86
242.0	124.0	68.0	2040.54	3518.20	3518200	1724.15
PROMEDIO						1741.22

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

E= 5468.15 mm²

ANEXOS CAPITULO 5.1.2 ANÁLISIS MODAL EN CASOS DE ESTUDIO.

Anexo 5.1.2.1 Tabla - Modos de vibración **CASO 1**, modo 30 presenta mayor masa desplazada con un porcentaje de participación del 20.13%, el coeficiente de participación gamma para este modo es $\gamma = 2.085$ y con un periodo de $T = 0.19$ s. Bueno & Pulla, 2024.

TABLA MODOS DE VIBRACION CASO 1				
MODOS	PORCENTAJE PARTICIPACIÓN ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PARTICIPACION INDIVIDUAL (%)	COEFICIENTE DE PARTICIPACION GAMMA - γ (%)	PERIODO - T (s)
1	0.034	0.034	0.083	0.712
2	0.034	0.000	-0.010	0.660
3	0.219	0.185	-0.193	0.656
4	1.458	1.238	0.500	0.648
5	1.551	0.093	-0.137	0.605
6	1.585	0.034	-0.083	0.596
7	5.008	3.424	-0.831	0.516
8	6.137	1.128	0.477	0.459
9	7.543	1.407	-0.532	0.402
10	7.553	0.009	0.044	0.333
11	7.581	0.028	-0.075	0.325
12	7.736	0.155	0.177	0.314
13	7.945	0.209	0.205	0.307
14	7.953	0.008	-0.040	0.303
15	7.969	0.016	-0.057	0.294
16	8.021	0.052	-0.102	0.293
17	8.078	0.057	0.107	0.289
18	8.309	0.231	0.216	0.288
19	8.404	0.096	-0.139	0.282
20	8.405	0.000	0.010	0.269
21	8.422	0.017	0.058	0.268
22	8.425	0.003	-0.026	0.267
23	8.750	0.325	0.256	0.257
24	9.742	0.992	-0.447	0.255
25	12.590	2.848	-0.757	0.238
26	13.759	1.170	-0.485	0.235
27	16.717	2.957	0.772	0.221
28	16.855	0.139	0.167	0.206
29	22.400	5.545	1.057	0.200
30	42.534	20.134	2.085	0.196

31	43.959	1.425	-0.536	0.191
32	44.820	0.861	0.417	0.189
33	44.823	0.002	-0.021	0.188
34	44.828	0.006	-0.034	0.184
35	44.830	0.002	0.018	0.182
36	47.206	2.376	-0.692	0.179
37	48.916	1.710	-0.587	0.175
38	49.135	0.219	-0.210	0.164
39	52.287	3.152	-0.797	0.162
40	52.461	0.174	0.187	0.160
41	52.727	0.266	-0.231	0.159
42	52.727	0.000	0.006	0.159
43	52.811	0.084	-0.130	0.158
44	52.843	0.032	-0.081	0.156
45	53.754	0.910	0.428	0.154
46	53.920	0.166	-0.183	0.149
47	53.936	0.017	-0.058	0.148
48	53.940	0.004	-0.028	0.146
49	54.179	0.239	-0.219	0.146
50	54.195	0.017	0.058	0.145
51	54.415	0.219	-0.210	0.144
52	54.819	0.404	-0.285	0.144
53	63.530	8.711	1.325	0.140
54	63.549	0.019	-0.062	0.136
55	63.696	0.146	-0.172	0.136
56	65.764	2.068	0.646	0.134
57	65.764	0.000	-0.001	0.134
58	65.765	0.001	0.014	0.129
59	65.804	0.039	-0.088	0.127
60	65.857	0.053	-0.104	0.125
61	65.885	0.028	-0.075	0.123
62	65.888	0.003	0.024	0.122
63	65.939	0.051	-0.102	0.121
64	66.216	0.277	0.236	0.120
65	69.062	2.846	0.757	0.119
66	69.718	0.656	-0.363	0.118
67	69.772	0.054	0.105	0.117
68	69.786	0.014	-0.054	0.117
69	69.910	0.124	0.158	0.116
70	69.912	0.002	-0.018	0.116
71	69.949	0.037	-0.086	0.114
72	70.186	0.237	0.219	0.111
73	71.259	1.072	-0.465	0.108

74	71.288	0.029	0.077	0.106
75	71.320	0.032	0.080	0.104
76	71.329	0.010	0.044	0.104
77	71.442	0.113	0.151	0.103
78	72.635	1.193	-0.490	0.102
79	72.635	0.000	-0.005	0.101
80	72.639	0.004	-0.027	0.100
81	72.904	0.265	0.231	0.099
82	73.063	0.159	-0.179	0.098
83	73.078	0.015	0.056	0.098
84	73.815	0.737	0.385	0.097
85	75.171	1.356	-0.523	0.095
86	75.195	0.023	-0.068	0.094
87	75.594	0.399	0.284	0.093
88	75.674	0.081	0.127	0.092
89	75.680	0.005	-0.033	0.092
90	75.727	0.047	0.098	0.092
91	75.728	0.001	0.013	0.091
92	76.014	0.286	-0.240	0.091
93	76.071	0.057	-0.107	0.091
94	76.396	0.325	-0.256	0.090
95	76.405	0.009	-0.042	0.089
96	76.416	0.011	-0.046	0.088
97	76.443	0.027	-0.074	0.088
98	76.496	0.053	-0.104	0.087
99	76.533	0.037	-0.086	0.087
100	76.548	0.015	0.055	0.086
101	76.608	0.060	0.110	0.085
102	76.642	0.034	-0.083	0.084
103	76.853	0.211	-0.206	0.084
104	76.857	0.005	0.031	0.083
105	76.866	0.009	-0.043	0.083
106	76.873	0.007	-0.037	0.083
107	80.632	3.759	-0.870	0.081
108	80.701	0.069	0.118	0.080
109	81.671	0.970	0.442	0.080
110	81.688	0.017	-0.058	0.079
111	82.073	0.386	0.279	0.079
112	82.073	0.000	-0.007	0.079
113	82.077	0.003	0.025	0.079
114	82.169	0.092	0.136	0.078
115	82.872	0.703	-0.376	0.078
116	83.261	0.390	-0.280	0.078

117	83.263	0.002	-0.020	0.077
118	83.298	0.035	0.084	0.077
119	83.301	0.003	-0.024	0.076
120	83.436	0.135	-0.165	0.075
121	83.436	0.000	-0.002	0.074
122	83.447	0.011	0.047	0.071
123	83.482	0.035	-0.084	0.071
124	83.482	0.000	-0.004	0.070
125	83.484	0.001	-0.017	0.069

Anexo 5.1.2.2 Tabla - Modos de vibración **CASO 2**, modo 64 presenta mayor masa desplazada con un porcentaje de participación del 24.3%, el coeficiente de participación gamma para este modo es $\gamma = 2.43$ y con un periodo de $T = 0.15$ s. Bueno & Pulla, 2024.

TABLA MODOS DE VIBRACIÓN CASO 2				
MODOS	PORCENTAJE PARTICIPACIÓN ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PARTICIPACION INDIVIDUAL (%)	COEFICIENTE DE PARTICIPACION GAMMA - γ (%)	PERIODO - T (s)
1	0.001	0.001	0.000	0.886
2	0.045	0.045	0.104	0.755
3	0.048	0.002	0.024	0.749
4	0.270	0.222	0.232	0.673
5	1.338	1.068	-0.509	0.619
6	1.691	0.353	-0.293	0.565
7	1.868	0.177	-0.207	0.534
8	2.988	1.120	-0.521	0.520
9	5.142	2.154	0.723	0.482
10	5.169	0.027	-0.081	0.404
11	5.206	0.037	-0.095	0.381
12	5.334	0.128	0.176	0.373
13	5.535	0.200	0.220	0.351
14	5.545	0.010	-0.050	0.336
15	5.618	0.073	0.133	0.332
16	5.648	0.030	-0.086	0.318
17	5.747	0.099	-0.155	0.311
18	6.003	0.255	-0.249	0.304
19	6.006	0.003	0.028	0.294
20	7.955	1.949	-0.688	0.285
21	8.793	0.838	-0.451	0.281
22	8.818	0.025	-0.078	0.276
23	9.223	0.406	-0.314	0.274
24	9.689	0.465	-0.336	0.272
25	9.849	0.160	-0.197	0.268
26	10.893	1.044	-0.503	0.257
27	10.893	0.000	-0.010	0.251
28	11.993	1.100	0.517	0.259
29	12.304	0.310	0.274	0.235
30	13.534	1.231	-0.547	0.233
31	13.628	0.093	0.151	0.227
32	13.678	0.050	-0.110	0.225
33	16.167	2.489	-0.777	0.218
34	17.056	0.890	0.465	0.215

35	17.106	0.050	-0.110	0.214
36	17.161	0.055	0.115	0.213
37	17.876	0.715	-0.417	0.210
38	17.876	0.000	0.002	0.208
39	17.883	0.007	-0.042	0.205
40	17.916	0.033	-0.090	0.199
41	17.985	0.069	-0.129	0.198
42	18.323	0.338	-0.286	0.190
43	22.626	4.303	1.022	0.188
44	22.676	0.050	0.111	0.187
45	22.755	0.080	-0.139	0.187
46	23.115	0.360	-0.296	0.174
47	23.467	0.351	0.292	0.174
48	23.556	0.090	-0.147	0.172
49	23.561	0.005	0.034	0.171
50	23.562	0.001	0.011	0.169
51	23.580	0.018	-0.066	0.167
52	23.714	0.135	-0.181	0.166
53	23.744	0.030	-0.085	0.163
54	23.744	0.000	-0.006	0.157
55	24.133	0.389	0.307	0.154
56	24.140	0.007	-0.040	0.153
57	24.204	0.064	0.125	0.152
58	24.224	0.020	-0.070	0.152
59	24.306	0.082	0.141	0.150
60	24.591	0.286	0.263	0.149
61	26.200	1.609	0.625	0.148
62	42.244	16.044	-1.973	0.146
63	48.926	6.682	1.274	0.146
64	73.223	24.297	2.428	0.145
65	73.443	0.220	-0.231	0.143
66	73.497	0.054	0.114	0.142
67	73.552	0.055	-0.115	0.141
68	73.719	0.167	-0.201	0.141
69	73.723	0.005	0.034	0.138
70	74.035	0.312	-0.275	0.137
71	75.255	1.220	0.544	0.135
72	75.356	0.100	-0.156	0.133
73	75.664	0.308	0.273	0.130
74	75.800	0.136	-0.182	0.130
75	75.801	0.001	-0.014	0.128
76	75.801	0.000	0.007	0.123
77	75.827	0.026	-0.079	0.122

78	75.846	0.019	0.068	0.120
79	75.846	0.000	0.005	0.119
80	75.910	0.063	-0.124	0.118
81	75.926	0.016	0.063	0.117
82	75.946	0.020	-0.070	0.114
83	75.974	0.028	0.082	0.113
84	75.976	0.002	-0.021	0.112
85	75.996	0.020	0.070	0.112
86	76.061	0.065	-0.125	0.110
87	76.064	0.003	-0.026	0.109
88	76.105	0.041	-0.099	0.109
89	76.107	0.003	-0.026	0.108
90	76.108	0.001	-0.014	0.108
91	76.163	0.054	0.115	0.105
92	76.183	0.021	0.071	0.105
93	76.196	0.012	-0.055	0.104
94	76.217	0.022	0.073	0.104
95	76.522	0.304	-0.272	0.104
96	76.600	0.078	0.138	0.103
97	76.610	0.010	-0.050	0.101
98	76.675	0.065	-0.125	0.101
99	76.774	0.099	-0.155	0.100
100	76.786	0.012	-0.054	0.099
101	77.049	0.263	0.253	0.097
102	77.049	0.001	0.011	0.096
103	77.263	0.213	-0.228	0.095
104	77.411	0.149	-0.190	0.093
105	77.436	0.025	0.077	0.093
106	77.436	0.000	0.002	0.093
107	77.455	0.019	0.069	0.092
108	78.016	0.561	-0.369	0.092
109	81.385	3.368	0.904	0.092
110	81.424	0.039	-0.097	0.091
111	81.460	0.037	0.094	0.090
112	81.492	0.032	-0.088	0.089
113	81.562	0.070	0.130	0.089
114	82.573	1.012	0.496	0.088
115	83.501	0.927	0.474	0.088
116	83.684	0.183	0.211	0.087
117	83.731	0.047	0.107	0.087
118	83.734	0.003	0.027	0.086
119	83.747	0.013	-0.056	0.086
120	83.762	0.015	0.061	0.086

121	83.768	0.005	-0.036	0.086
122	84.613	0.845	-0.453	0.084
123	84.618	0.005	-0.035	0.082
124	84.620	0.002	-0.024	0.082
125	84.622	0.002	-0.019	0.082
126	84.622	0.000	-0.008	0.082
127	84.626	0.004	0.032	0.081
128	84.635	0.009	0.046	0.081
129	84.648	0.013	-0.056	0.080
130	84.737	0.089	-0.147	0.079
131	84.742	0.005	0.035	0.079
132	84.860	0.118	-0.169	0.078
133	84.868	0.008	-0.043	0.078
134	84.869	0.001	-0.019	0.077
135	84.871	0.002	-0.023	0.077
136	84.871	0.000	-0.002	0.077
137	84.872	0.001	0.012	0.076
138	84.873	0.001	0.014	0.076
139	84.877	0.004	0.032	0.076
140	84.881	0.004	-0.032	0.076
141	84.899	0.017	-0.065	0.075
142	84.900	0.001	-0.019	0.074
143	84.900	0.000	0.007	0.073
144	84.900	0.000	-0.002	0.073
145	84.911	0.011	0.051	0.073
146	84.913	0.002	-0.021	0.073
147	84.913	0.000	-0.004	0.072
148	85.047	0.134	0.180	0.072
149	85.109	0.062	-0.123	0.072
150	85.110	0.001	0.012	0.072
151	85.120	0.011	0.051	0.070
152	85.134	0.014	0.057	0.070
153	85.219	0.085	0.144	0.070
154	85.233	0.014	0.058	0.069
155	85.278	0.045	0.104	0.069
156	85.292	0.015	-0.060	0.068
157	85.311	0.019	0.068	0.068
158	85.343	0.031	-0.087	0.067
159	85.445	0.102	-0.157	0.067
160	85.454	0.009	-0.048	0.067
161	85.454	0.000	0.011	0.066
162	85.455	0.001	-0.015	0.066
163	85.481	0.025	0.078	0.066

164	85.481	0.000	0.004	0.065
165	85.481	0.001	0.012	0.065
166	85.495	0.014	-0.057	0.065
167	85.496	0.001	-0.015	0.064
168	85.497	0.001	-0.016	0.064
169	85.508	0.011	-0.051	0.064
170	85.511	0.003	0.026	0.064
171	85.526	0.016	-0.062	0.063
172	85.527	0.000	-0.008	0.063
173	85.533	0.007	-0.040	0.063
174	85.556	0.023	-0.074	0.063
175	85.560	0.004	0.031	0.062
176	85.560	0.000	-0.005	0.062
177	85.582	0.022	-0.073	0.061
178	85.624	0.041	-0.100	0.061
179	85.624	0.000	-0.006	0.061
180	85.626	0.002	-0.024	0.061
181	85.626	0.000	-0.002	0.061
182	85.632	0.005	-0.036	0.060
183	85.632	0.000	0.004	0.060
184	85.670	0.038	-0.096	0.060
185	85.675	0.005	0.036	0.060
186	85.692	0.017	-0.064	0.060
187	85.700	0.008	0.044	0.059
188	85.700	0.000	0.002	0.058
189	85.702	0.002	-0.023	0.058
190	85.702	0.000	0.008	0.058
191	85.703	0.000	0.010	0.058
192	85.707	0.004	-0.031	0.058
193	85.708	0.002	0.020	0.058
194	85.708	0.000	-0.006	0.057
195	85.718	0.009	-0.047	0.057
196	85.722	0.005	-0.034	0.057
197	85.728	0.005	-0.036	0.057
198	85.731	0.004	-0.030	0.057
199	85.732	0.000	-0.007	0.056
200	85.799	0.067	-0.128	0.056

Anexo 5.1.2.3 Tabla - Modos de vibración **CASO 3**, modo 28 presenta mayor masa desplazada con un porcentaje de participación del 7.4%, el coeficiente de participación gamma para este modo es $\gamma = 1.58$ y con un periodo de $T = 0.3$ s. Bueno & Pulla, 2024.

TABLA MODOS DE VIBRACIÓN CASO 3				
MODOS	PORCENTAJE PARTICIPACIÓN ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PARTICIPACION INDIVIDUAL (%)	COEFICIENTE DE PARTICIPACION GAMMA - γ (%)	PERIODO - T (s)
1	0.001	0.001	-0.018	0.923
2	0.351	0.350	0.343	0.785
3	0.384	0.034	-0.106	0.774
4	0.589	0.205	0.262	0.755
5	4.442	3.853	1.138	0.654
6	4.444	0.001	0.022	0.628
7	5.642	1.198	0.635	0.593
8	6.011	0.369	0.352	0.576
9	6.183	0.172	-0.241	0.493
10	7.837	1.654	0.745	0.491
11	8.629	0.792	0.516	0.448
12	8.754	0.126	-0.205	0.444
13	15.308	6.554	1.484	0.441
14	15.313	0.005	-0.041	0.432
15	15.357	0.044	-0.121	0.415
16	15.357	0.000	-0.001	0.409
17	15.392	0.035	0.109	0.407
18	15.395	0.003	0.030	0.397
19	15.457	0.062	0.145	0.395
20	15.867	0.410	-0.371	0.385
21	16.040	0.173	-0.241	0.371
22	16.338	0.298	0.316	0.352
23	16.858	0.520	0.418	0.351
24	17.085	0.227	0.276	0.343
25	17.376	0.291	0.313	0.339
26	17.973	0.596	-0.448	0.317
27	23.238	5.266	1.330	0.306
28	30.640	7.402	1.577	0.304
29	30.688	0.048	-0.127	0.298
30	30.857	0.169	0.238	0.297
31	30.866	0.009	-0.055	0.287
32	30.981	0.114	-0.196	0.281
33	31.132	0.151	0.225	0.278
34	31.282	0.150	-0.225	0.269

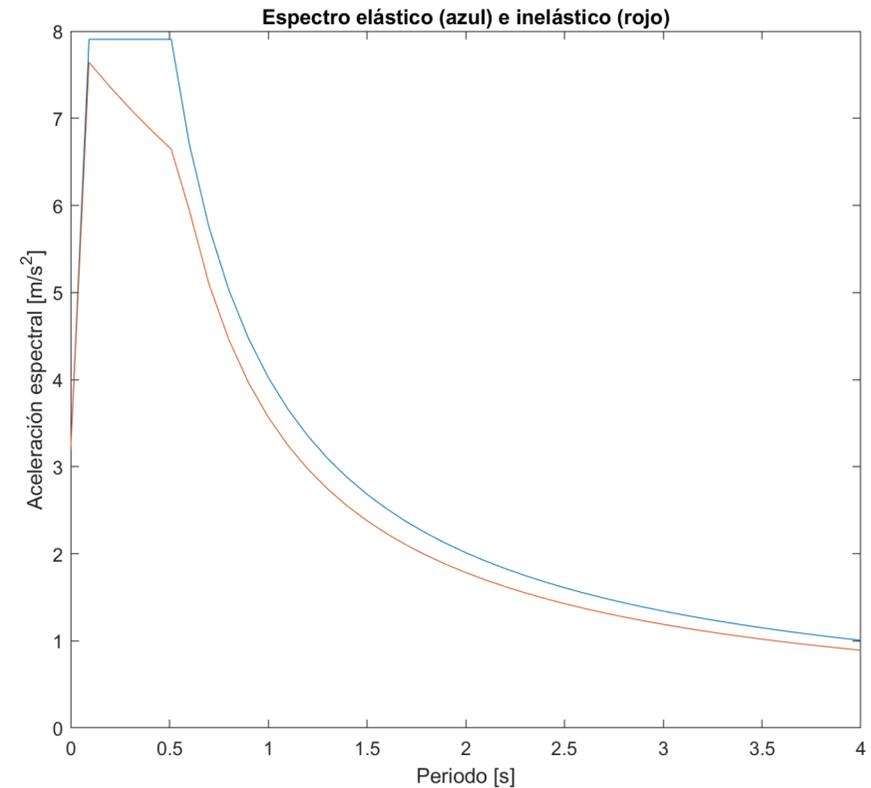
35	31.343	0.061	0.143	0.267
36	31.378	0.035	-0.108	0.267
37	31.381	0.003	0.033	0.263
38	31.385	0.004	0.035	0.261
39	31.460	0.075	-0.159	0.260
40	31.553	0.093	-0.177	0.256
41	31.699	0.147	-0.222	0.253
42	31.736	0.037	0.111	0.250
43	31.738	0.003	-0.029	0.250
44	32.135	0.397	0.365	0.240
45	32.233	0.097	0.181	0.237
46	32.283	0.050	0.130	0.232
47	32.283	0.000	-0.013	0.230
48	32.284	0.000	0.013	0.229
49	32.311	0.027	-0.096	0.225
50	32.311	0.000	0.006	0.221
51	32.541	0.230	0.278	0.220
52	34.087	1.546	0.721	0.219
53	34.253	0.166	-0.236	0.217
54	34.260	0.007	0.048	0.215
55	34.358	0.098	0.182	0.214
56	34.830	0.472	-0.398	0.207
57	34.841	0.011	0.060	0.204
58	34.975	0.134	0.212	0.203
59	35.033	0.059	0.140	0.202
60	36.040	1.007	0.582	0.200
61	36.943	0.902	0.551	0.197
62	36.963	0.020	-0.082	0.195
63	39.440	2.477	0.912	0.194
64	39.553	0.112	0.194	0.192
65	39.925	0.373	0.354	0.184
66	39.955	0.030	-0.100	0.183
67	40.056	0.101	-0.184	0.182
68	40.057	0.001	0.015	0.178
69	40.077	0.020	0.082	0.177
70	40.499	0.422	0.377	0.176
71	40.543	0.044	-0.121	0.175
72	40.543	0.000	0.002	0.173
73	40.572	0.029	-0.099	0.172
74	40.578	0.006	-0.047	0.171
75	40.629	0.051	0.131	0.169
76	40.630	0.001	0.013	0.169
77	40.677	0.047	0.125	0.168

78	40.681	0.005	0.039	0.167
79	40.723	0.041	0.118	0.166
80	40.747	0.024	-0.091	0.164
81	41.773	1.025	-0.587	0.161
82	41.790	0.018	0.077	0.157
83	42.126	0.336	-0.336	0.155
84	42.338	0.212	-0.267	0.155
85	44.329	1.991	0.818	0.154
86	44.331	0.002	-0.026	0.153
87	44.351	0.020	0.081	0.152
88	44.352	0.001	-0.016	0.151
89	44.663	0.311	0.323	0.151
90	45.041	0.378	-0.357	0.150
91	45.944	0.902	0.551	0.150
92	46.797	0.853	0.535	0.148
93	46.882	0.085	-0.169	0.147
94	47.109	0.227	-0.276	0.147
95	47.237	0.128	-0.207	0.146
96	47.875	0.638	0.463	0.144
97	52.379	4.504	-1.230	0.142
98	52.386	0.007	-0.047	0.141
99	52.429	0.043	0.120	0.139
100	52.432	0.003	-0.032	0.138
101	52.433	0.002	0.025	0.138
102	52.596	0.163	0.234	0.137
103	53.367	0.771	0.509	0.136
104	53.475	0.108	0.191	0.135
105	53.604	0.128	0.208	0.135
106	54.001	0.397	0.365	0.134
107	54.168	0.167	-0.237	0.134
108	54.456	0.289	0.311	0.133
109	55.226	0.770	0.508	0.132
110	55.244	0.018	-0.078	0.131
111	56.193	0.949	-0.565	0.130
112	57.878	1.685	-0.752	0.129
113	61.257	3.379	-1.065	0.128
114	61.912	0.654	0.469	0.127
115	66.945	5.033	1.300	0.126
116	70.688	3.743	1.121	0.124
117	74.338	3.649	-1.107	0.121
118	74.386	0.048	-0.127	0.119
119	74.396	0.011	-0.060	0.117
120	75.274	0.878	0.543	0.116

121	75.305	0.031	0.102	0.116
122	75.504	0.200	0.259	0.115
123	75.515	0.011	0.060	0.114
124	75.516	0.001	0.019	0.112
125	77.177	1.661	-0.747	0.111
126	77.186	0.008	-0.053	0.110
127	77.715	0.529	-0.422	0.110
128	77.762	0.047	-0.126	0.109
129	80.310	2.548	-0.925	0.109
130	80.511	0.201	0.260	0.108
131	81.247	0.736	0.497	0.107
132	81.283	0.036	-0.110	0.107
133	81.490	0.207	-0.263	0.106
134	81.565	0.076	-0.160	0.106
135	81.597	0.031	0.102	0.105
136	81.938	0.342	0.339	0.104
137	81.947	0.009	-0.054	0.104
138	81.968	0.021	0.084	0.103
139	81.969	0.001	0.017	0.102
140	81.976	0.007	-0.047	0.101
141	81.984	0.008	-0.053	0.100
142	82.299	0.315	-0.325	0.100
143	82.326	0.027	0.095	0.099
144	82.408	0.083	-0.167	0.099
145	82.532	0.124	-0.204	0.099
146	82.845	0.313	0.324	0.099
147	82.856	0.012	0.063	0.098
148	82.859	0.003	-0.032	0.098
149	83.253	0.394	-0.364	0.097
150	83.533	0.280	0.307	0.096

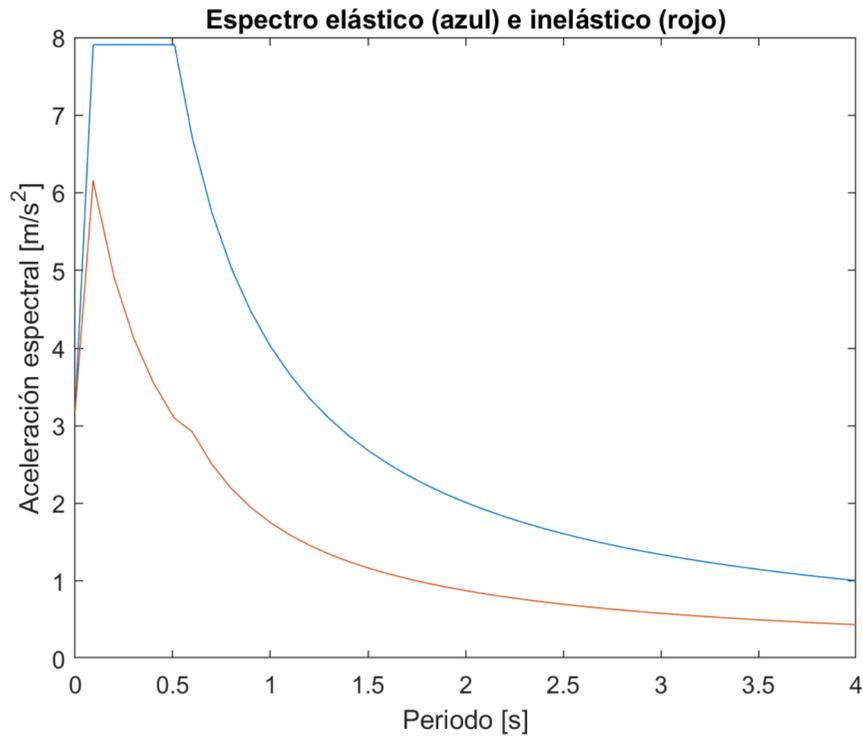
ANEXOS CAPITULO 5.5.2 ESPECTRO DE DISEÑO CASO 1.

Anexo 5.5.2.1 Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca, relación entre aceleración espectral (m/s^2) y periodo (s), gráfica previa a la conversión de periodo por desplazamiento espectral (mm). Bueno & Pulla, 2024.



ANEXOS CAPITULO 5.5.3 ESPECTRO DE DISEÑO CASO 2

Anexo 5.5.3.1 Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca, relación entre aceleración espectral (m/s^2) y periodo (s), gráfica previa a la conversión de periodo por desplazamiento espectral (mm). Bueno & Pulla, 2024.



ANEXOS CAPITULO 5.5.4 ESPECTRO DE DISEÑO CASO 3

Anexo 5.5.3.1 Espectro de diseño elástico (azul), in-elástico (rojo) de la ciudad de Cuenca, relación entre aceleración espectral (m/s^2) y periodo (s), gráfica previa a la conversión de periodo por desplazamiento espectral (mm). Bueno & Pulla, 2024.

