

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ENSAYOS  
EXPERIMENTALES REALIZADOS SOBRE MAMPOSTERÍAS DE  
BLOQUES DE CONCRETO Y LADRILLOS EN QUITO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL,  
MENCIÓN ESTRUCTURAS**

**LENIN PAÚL GRIJALVA CAISACHANA**

lenin.grijalva@epn.edu.ec

**HENRY JONATHAN NARVÁEZ MAYANQUER**

henry.narvaez@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. EDGAR DAVID MORA MARTÍNEZ, M.Sc.**

edgar.mora@epn.edu.ec

**Quito, noviembre 2018**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Lenin Paúl Grijalva Caisachana y Henry Jonathan Narváez Mayanquer, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**LENIN PAÚL GRIJALVA  
CAISACHANA**

---

**HENRY JONATHAN  
NARVÁEZ MAYANQUER**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Lenin Paúl Grijalva Caisachana y Henry Jonathan Narváez Mayanquer, bajo mi supervisión.

---

**ING. EDGAR DAVID MORA MARTÍNEZ**

**DIRECTOR**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por estar siempre a mi lado y darme el mejor regalo de vida que es mi familia, que gracias a ellos he salido adelante en cada situación sea buena o mala, esencialmente a mis padres César y Ximena que han sido el pilar fundamental de mi vida y mi formación tanto académica como personal.

A la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, y a sus docentes por haberme impartido sus conocimientos en el transcurso de mi formación académica, al Centro de Investigación de la Vivienda por abrirnos sus puertas y a todos su personal que permitieron realizar el presente proyecto de titulación, que gracias a la ayuda y el tiempo de dedicación del Ing. David Mora se desarrolló con éxito junto con mi compañero de tesis Henry, quien es un gran amigo le doy gracias por su constante dedicación a este trabajo.

A mis mejores amigos José y Jonathan que se han convertido en mis hermanos, gracias su amistad y por estar en las buenas y malas situaciones.

A Jozh, mi mejor amiga por contagiarme su alegría, brindarme su cariño y estar a mi lado apoyándome en todo momento.

A Nico, mi confidente, mi amiguita querida, por regalarme sus consejos que me cada día me vuelven en mejor persona, sé que puedo contar contigo toda la vida.

A Katy, por ser una buena amiga que siempre me ayudo en el transcurso de mi carrera estudiantil y por los momentos compartidos.

A Rebe, por estar pendiente de mi bienestar, brindarme su apoyo incondicional en cada situación.

A Cinti, por siempre estar ahí cuando lo necesito, brindarme y darme ánimos, sus buenas vibras, y sobre todo por regalarme su sonrisa que alegra la vida.

*Lenín Paúl Gríjalva Caisachana*

## DEDICATORIA

A Dios, por brindarme su fortaleza en todo momento y no dejarme caer nunca, principalmente por ser mi guía de vida.

A mis padres que son el motor de mi vida y ejemplo a seguir, por su apoyo y amor incondicional que me brindan todos los días; este logro es por ustedes.

A mis tíos, por siempre extenderme sus manos toda la vida.

A mis hermanos, que son mi inspiración por los cuales me esfuerzo cada día.

*Lenín Paúl Grijalva Caisachana*

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme a lo largo de mi vida, por brindarme fortaleza, paciencia, salud y sabiduría para continuar y cumplir mis objetivos más anhelados.

A mi familia que es el regalo más grande que Dios me dio, que, con sus consejos, apoyo incondicional me han ayudado a levantarme de todo problema, en especial a mis padres Jorge y Elsa por su amor, trabajo y sacrificio de todos estos años, ya que gracias a ellos con su apoyo, consejos, valores y principios que me han inculcado he logrado cumplir mis metas.

Al final de mi vida universitaria llego a mi vida una persona que se convirtió en parte importante de mi vida, a Mishell Flores quien, con su amor, cariño, afecto y comprensión supo iluminar mi vida llenado la de alegría y amor, y quien con sus consejos y apoyo incondicional me ayudo a culminar esta meta.

A la Escuela Politécnica Nacional y a la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental y sus docentes por haberme ayudado a crecer como persona y profesional impartíendome sus conocimientos y valores, mi más sincero agradecimiento a mi tutor de proyecto Ing. Edgar David Mora, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para que pudiera desarrollar cada etapa de este trabajo, al Centro de Investigación de la Vivienda y a todo su personal quienes nos brindaron su ayuda y amistad para la realización de este trabajo.

A mis amigos que son mis hermanos Nicole, Katherine, Lenin, quienes a través de tiempo fuimos fortaleciendo una amistad y creando una familia, muchas gracias por todo su cariño, por convivir todo este tiempo conmigo, por compartir experiencias, alegrías, frustraciones, llantos, tristezas, peleas, celebraciones y múltiples experiencias que ayudaron a que hoy seamos como una familia, por aportarme confianza y por crecer juntos en este proyecto, muchas gracias.

¡Muchas gracias por todo!

*Henry Jonathan Narváez Mayanquer*

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por siempre guiarme fortalecerme en el caminar de mi vida, dando fuerzas y bendiciéndome siempre para continuar sin desfallecer

A mis padres quienes han sido guía y fortaleza para dar cada paso de mi vida, por enseñarme a crecer y a que si caigo debo levantarme, por apoyarme, por siempre estar a mi lado y con cuyo amor y confianza incondicional me ayudaron a llegar hasta aquí.

*Henry Jonathan Narváez Mayanquer*

## INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
INDICE DE CONTENIDO.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	XII
LISTA DE FIGURAS .....	XV
LISTA DE ANEXOS .....	XXI
RESUMEN .....	XXI
<i>ABSTRACT</i> .....	XXII
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>23</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	23
1.1 OBJETIVOS.....	24
1.1.1 OBJETIVO GENERAL .....	24
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	25
1.3 DEFINICIONES.....	26
1.4 HISTORIA DE LA MAMPOSTERÍA .....	29
1.5 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON MAMPOSTERÍA.....	31

1.6	MARCO TEÓRICO DEL COMPORTAMIENTO DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUES DE CONCRETO Y LADRILLO .....	31
1.6.1	TIPOS DE MAMPOSTERÍA SIMPLES COMUNES EN LA CONSTRUCCIÓN.....	33
1.7	ANTECEDENTES.....	35
1.7.1	HISTORIA SÍSMICA EN EL ECUADOR.....	35
1.7.2	SISMO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016 .....	39
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>.....</b>	<b>42</b>
2.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	42
2.1.1	CONCEPTOS GENERALES .....	42
2.1.2	OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	42
2.1.3	TIPOS DE DATOS.....	43
2.1.4	MEDIDAS DE LOCALIZACIÓN .....	44
2.1.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS ENSAYOS .....	45
2.2	DEFINICIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD .....	47
2.3	MARCO TEÓRICO DE CURVAS DE FRAGILIDAD .....	48
2.4	NIVELES DE DAÑO.....	49
2.5	METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD .....	51
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>.....</b>	<b>54</b>
3.1	CONDENSACIÓN ESTÁTICA DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ. ....	54
3.1.1	CONDENSACIÓN ESTÁTICA “COORDENADAS A” .....	56
3.2	CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EXISTENTES .....	62
3.2.1	ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	68
3.2.2	ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO .....	68

3.3	CLASIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS POR CARACTERÍSTICAS DE PROBETAS ENSAYADAS.....	69
3.3.1	NIVEL DE CONFIABILIDAD .....	71
3.4	DEFINICIÓN DE PROPIEDADES DEL PROGRAMA SEISMOSTRUCT .....	77
3.4.1	CONCEPTOS GENERALES .....	77
3.4.2	MODELO DEL HORMIGÓN .....	78
3.4.3	MODELO DEL ACERO.....	79
3.4.4	MODELO DE LA MAMPOSTERÍA (INFILL PANEL).....	81
3.5	MODELACIÓN EN EL PROGRAMA SEISMOSTRUCT .....	91
3.5.1	CALIBRACIÓN PARA EL MODELO DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	92
3.5.2	CALIBRACIÓN PARA PARA EL MODELO DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO .....	94
3.5.3	EJEMPLO DE CÁLCULO DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN PARA LOS MODELOS .....	96
<b>CAPÍTULO 4</b>	.....	<b>104</b>
4.1	ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE TODOS LOS ENSAYOS.....	104
4.1.1	CÁLCULO DE PROBABILIDADES.....	104
4.1.2	DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL .....	105
4.2	DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD CON DATOS EXISTENTES .....	108
4.2.1	EJEMPLO DE CÁLCULO DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍAS (BLOQUE, LADRILLO) DESPRECIANDO LA RESISTENCIA DEL PÓRTICOS.....	109

4.2.2	OBTENCIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍAS .....	110
4.2.3	IDENTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN LAS CURVAS DE CAPACIDAD DE MAMPOSTERÍAS.....	115
4.2.4	PARAMETRIZACIÓN DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA.....	121
4.2.5	CÁLCULOS PROBABILÍSTICOS CON LOS DATOS OBTENIDOS.....	126
4.3	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES .....	139
4.3.1	ANÁLISIS FACTORIAL PARA EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES. ....	140
4.3.2	CÁLCULO DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES A PARTIR DE LA MATRIZ DE CORRELACIONES .....	142
4.3.3	RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA NIVEL DE DAÑO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES UTILIZANDO SPSS .....	147
4.4	SISTEMATIZACIÓN DEL CÁLCULO DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ENSAYOS FUTUROS.....	159
4.4.1	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA .....	164
<b>CAPÍTULO 5</b>	.....	<b>168</b>
5.1	RESUMEN .....	168
5.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	171
5.2.1	CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO LEVE (BLOQUE VS LADRILLO).....	171
5.2.2	CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO MODERADO (BLOQUE VS LADRILLO).....	172
5.2.3	CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO SEVERO (BLOQUE VS LADRILLO).....	173

5.2.4 CURVA DE FRAGILIDAD COLAPSO (BLOQUE VS LADRILLO).....	174
5.3 CONCLUSIONES .....	174
5.4 RECOMENDACIONES .....	178
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	<b>179</b>
ANEXOS .....	<b>187</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1.1</b> TIPOS Y USOS DE BLOQUE DE CONCRETO.....	33
<b>TABLA 1.2</b> DIMENSIONES DE LOS BLOQUES.....	34
<b>TABLA 1.3</b> DIMENSIONES DE LADRILLOS EN CENTÍMETROS.....	34
<b>TABLA 1.4</b> TERREMOTOS DEL ECUADOR CON INTENSIDADES VIII .....	38
<b>TABLA 1.5</b> RESUMEN DATOS SÍSMICOS DEL ECUADOR (1541-2016) .....	38
<b>TABLA 2.1</b> SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MAS COMUNES EN EL ECUADOR .....	46
<b>TABLA 2.2</b> ENSAYOS INICIALES DE PÓRTICOS RELLENOS DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE Y LADRILLO .....	46
<b>TABLA 2.3</b> NÚMERO DE ENSAYOS A TRACCION DIAGONAL.....	47
<b>TABLA 2.4</b> TIPOS DE MAMPOSTERÍA .....	50
<b>TABLA 3.1</b> ENSAYOS EXPERIMENTALES DE PÓRTICOS CON MAMPOSTERÍA.....	62
<b>TABLA 3.2</b> CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA (BLOQUE).....	68
<b>TABLA 3.3</b> CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA (LADRILLO).....	68
<b>TABLA 3.4</b> RESULTADOS DE ENSAYOS DE MURETES DE BLOQUE .....	70
<b>TABLA 3.5</b> RESULTADOS DE ENSAYOS DE MURETES DE LADRILLO .....	70
<b>TABLA 3.6</b> DESVIACIONES ESTÁNDAR PARA DIFERENTES NIVELES DE DAÑO (MAMPOSTERÍA DE BLOQUE Y LADRILLO).....	73
<b>TABLA 3.7</b> ERROR ESTÁNDAR PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	73
<b>TABLA 3.8</b> ERROR ESTÁNDAR PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO .....	74
<b>TABLA 3.9</b> ITERACIONES PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE ENSAYOS (MAMPOSTERÍA DE BLOQUE) .....	76
<b>TABLA 3.10</b> ITERACIONES PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE ENSAYOS (MAMPOSTERÍA DE LADRILLO).....	76

<b>TABLA 3.11</b> COEFICIENTES DE VARIACIÓN PARA DE MAMPOSTERÍA (BLOQUE Y LADRILLO).....	77
<b>TABLA 3.12</b> VALORES DE K1 Y K2, PARA VALORES DE $\lambda_h$ .....	84
<b>TABLA 3.13</b> MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BARRO Y CONCRETO SEGÚN NORMA NMX-C-464-ONNCCE-2010 .....	86
<b>TABLA 3.14</b> PARÁMETROS SUGERIDOS PARA LA CALIBRACIÓN DE MODELOS DE MAMPOSTERÍA.....	90
<b>TABLA 3.15</b> PARÁMETROS MODIFICADOS PARA CADA MURETE (BLOQUE).....	94
<b>TABLA 3.16</b> PARÁMETROS MODIFICADOS PARA CADA MURETE (LADRILLO).....	95
<b>TABLA 3.17</b> PARÁMETROS PARA MODIFICAR EN CADA MODELO (INFILL PANEL) SEISMOSTRUCT (BLOQUE).....	102
<b>TABLA 3.18</b> PARÁMETROS PARA MODIFICAR EN CADA MODELO (INFILL PANEL) SEISMOSTRUCT (LADRILLO) .....	103
<b>TABLA 4.1</b> PUNTOS EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DAÑO EN LA MAMPOSTERÍA (BLOQUE).....	118
<b>TABLA 4.2</b> PUNTOS EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DAÑO EN LA MAMPOSTERIA (LADRILLO) .....	120
<b>TABLA 4.3</b> MEDIDAS DE LOCALIZACIÓN PARA CÁLCULO DE AUTOVALORES .....	144
<b>TABLA 4.4</b> EJEMPLO AUTOVALORES PARA CADA VARIABLE EN BASE A DOS COMPONENTES PRINCIPALES .....	146
<b>TABLA 4.5</b> VARIABLES PARA DAÑO LEVE (BLOQUE).....	147
<b>TABLA 4.6</b> VARIABLES PARA DAÑO MODERADO (BLOQUE) .....	149
<b>TABLA 4.7</b> VARIABLES PARA DAÑO SEVERO (BLOQUE) .....	151
<b>TABLA 4.8</b> VARIABLES PARA COLAPSO (BLOQUE) .....	153
<b>TABLA 4.9</b> VARIABLES PARA DAÑO LEVE (LADRILLO) .....	155
<b>TABLA 4.10</b> VARIABLES PARA DAÑO MODERADO (LADRILLO).....	156
<b>TABLA 4.11</b> VARIABLES PARA DAÑO SEVERO (LADRILLO).....	158

<b>TABLA 4.12</b> VARIABLES PARA COLAPSO (LADRILLO).....	159
--	-----

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1</b> RECOMENDACIONES PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA.....	28
<b>FIGURA 1.2</b> ENSAYO A COMPRESIÓN DE BLOQUE DE CONCRETO.....	32
<b>FIGURA 1.3</b> MAPA DE EPICENTROS DEL ECUADOR (1541-2007).....	36
<b>FIGURA 1.4</b> MAPA INTENSIDAD DEL SISMO DE 16 DE ABRIL DE 2016 .....	40
<b>FIGURA 2.1</b> EJEMPLO DE CURVA DE FRAGILIDAD.....	48
<b>FIGURA 2.2</b> EVOLUCIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA.....	51
<b>FIGURA 3.1</b> GRADOS DE LIBERTAD DE PÓRTICO PLANO CON SU RESPECTIVA CONDENSACIÓN ESTÁTICA.....	55
<b>FIGURA 3.2</b> MODELO MATEMÁTICO CON MAMPOSTERÍA DE RELLENO.....	56
<b>FIGURA 3.3</b> MODELO DE PORTICO CON MAMPOSTERÍA SINTETIZADO.....	57
<b>FIGURA 3.4</b> GRADOS DE LIBERTAD (IDEALIZACIÓN PÓRTICO-MAMPOSTERÍA). EL ELEMENTO 1 REPRESENTA EL PÓRTICO, Y EL 2 LA MAMPOSTERÍA .....	57
<b>FIGURA 3.5</b> COEFICIENTES DE RIGIDEZ PARA DESPLAZAMIENTOS UNITARIOS EN PÓRTICOS PLANOS.....	58
<b>FIGURA 3.6</b> CONDENSACIÓN A 1 GRADO DE LIBERTAD.....	59
<b>FIGURA 3.7</b> PENDIENTES DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD DEL SISTEMA EN CONJUNTO, PÓRTICO Y MAMPOSTERÍA.....	60
<b>FIGURA 3.8</b> PÓRTICO (TESIS FABIÁN PACHANO) .....	63
<b>FIGURA 3.9</b> DISTRIBUCION SISTEMA ESTRUCTURAL (TESIS FERNÁNDEZ & PAREDES).....	64
<b>FIGURA 3.10</b> ESQUEMA PÓRTICO 1 ENSAYOS IDEAL ALAMBREC .....	65
<b>FIGURA 3.11</b> ESQUEMA PÓRTICO 2 ENSAYOS IDEAL ALAMBREC .....	65

<b>FIGURA 3.12</b> PÓRTICO DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE (TESIS DÍAZ & RODRÍGUEZ) .....	66
<b>FIGURA 3.13</b> ARMADO DE MAMPOSTERÍA DEL PÓRTICO (TESIS ANGULO & LÓPEZ).....	67
<b>FIGURA 3.14</b> ENSAYOS PÓRTICOS (TESIS ÁNGEL HURTADO) .....	67
<b>FIGURA 3.15</b> DIMENSIONES MURETE.....	69
<b>FIGURA 3.16</b> MÓDULOS DE CORTE DE MURETES (TESIS FABIÁN PACHANO) .....	71
<b>FIGURA 3.17</b> DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT .....	72
<b>FIGURA 3.18</b> ESTRUCTURA DEL SOFTWARE (SEISMOSTRUCT) .....	78
<b>FIGURA 3.19</b> MODELO NO LINEAL PARA EL HORMIGÓN) .....	79
<b>FIGURA 3.20</b> CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO (MODELO MENEGOTTO-PINTO).....	80
<b>FIGURA 3.21</b> MODELO IDEALIZADO DE LA MAMPOSTERÍA EN SEISMOSTRUCT .....	81
<b>FIGURA 3.22</b> ESPESOR EFECTIVO DEL PUNTAL DIAGONAL .....	82
<b>FIGURA 3.23</b> ZONA PLÁSTICA DE LA CURVA DE CAPACIDAD .....	83
<b>FIGURA 3.24</b> SIMILITUD DEL MODO DE FALLA ENTRE EL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL Y MAMPOSTERÍAS EXPUESTAS A SISMOS .....	87
<b>FIGURA 3.25</b> AGRIETAMIENTO POR TENSIÓN DIAGONAL .....	88
<b>FIGURA 3.26</b> VARIACIÓN DEL ÁREA DEL PUNTAL .....	89
<b>FIGURA 3.27</b> INTERACCIÓN ESFUERZO CORTANTE - ESFUERZO A COMPRESIÓN.....	91
<b>FIGURA 3.28</b> MODELO PÓRTICO .....	92
<b>FIGURA 3.29</b> CURVA DE CAPACIDAD Y PROGRESO DE DAÑO - PÓRTICO.....	93
<b>FIGURA 3.30</b> PÓRTICO PARA EL MODELADO DE MURETES .....	97
<b>FIGURA 3.31</b> MODELO PUNTAL EQUIVALENTE A COMPRESIÓN .....	98
<b>FIGURA 4.1</b> COMPARACIÓN ENTRE LA DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL Y NORMAL CON LOS MISMOS PERCENTILES (5%, 50%).....	106

<b>FIGURA 4.2</b> CURVAS DE CAPACIDAD PÓRTICOS DE RELLENO DE MAMPOSTERIA (BLOQUE).....	108
<b>FIGURA 4.3</b> CURVAS DE CAPACIDAD PÓRTICOS DE RELLENO DE MAMPOSTERÍA (LADRILLO) .....	109
<b>FIGURA 4.4</b> CURVAS DE CAPACIDAD SISTEMA, MAMPOSTERÍA, PÓRTICO.....	110
<b>FIGURA 4.5</b> CURVAS DE CAPACIDAD ENSAYOS (CIV) DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	111
<b>FIGURA 4.6</b> CURVAS DE CAPACIDAD ENSAYOS (CIV) DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	111
<b>FIGURA 4.7</b> CURVAS DE CAPACIDAD OBTENIDAS DE MODELOS UTILIZANDO LOS MURETES PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	112
<b>FIGURA 4.8</b> CURVAS DE CAPACIDAD OBTENIDAS DE MODELOS UTILIZANDO LOS MURETES PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO .....	113
<b>FIGURA 4.9</b> RESULTADOS FINAL DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	114
<b>FIGURA 4.10</b> RESULTADOS FINAL DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO .....	115
<b>FIGURA 4.11</b> CURVAS DE FRAGILIDAD SEGÚN HAZUS-MH 2.1 .....	116
<b>FIGURA 4.12</b> PRIMERA FISURA DIAGONAL (DAÑO LEVE).....	116
<b>FIGURA 4.13</b> DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ (DAÑO MODERADO).....	117
<b>FIGURA 4.14</b> DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ Y RESISTENCIA (DAÑO SEVERO)        117	
<b>FIGURA 4.15</b> COLAPSO .....	118
<b>FIGURA 4.16</b> ESQUEMATIZACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	119
<b>FIGURA 4.17</b> ESQUEMATIZACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	120
<b>FIGURA 4.18</b> DIMENSIONES MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	122

<b>FIGURA 4.19</b> ESQUEMATIZACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE EN FUNCION DE LA DERIVA .....	123
<b>FIGURA 4.20</b> ESQUEMATIZACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO EN FUNCION DE LA DERIVA.....	124
<b>FIGURA 4.21</b> CURVA DE CAPACIDAD PARAMETRIZADA DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	125
<b>FIGURA 4.22</b> CURVA DE CAPACIDAD PARAMETRIZADA DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	126
<b>FIGURA 4.23</b> DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO LEVE PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	128
<b>FIGURA 4.24</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO LEVE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	128
<b>FIGURA 4.25</b> DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO MODERADO PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	129
<b>FIGURA 4.26</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO MODERADO MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	130
<b>FIGURA 4.27</b> DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO SEVERO PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	131
<b>FIGURA 4.28</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO SEVERO MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	131
<b>FIGURA 4.29</b> DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE COLAPSO PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	132
<b>FIGURA 4.30</b> CURVA DE FRAGILIDAD PARA COLAPSO MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	133
<b>FIGURA 4.31</b> DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO LEVE PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	134
<b>FIGURA 4.32</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO LEVE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO .....	134
<b>FIGURA 4.33</b> DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO MODERADO PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	135

<b>FIGURA 4.34</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO MODERADO	
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	136
<b>FIGURA 4.35</b> DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO SEVERO PARA	
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	137
<b>FIGURA 4.36</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO SEVERO	
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	137
<b>FIGURA 4.37</b> DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE COLAPSO PARA	
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	138
<b>FIGURA 4.38</b> CURVA DE FRAGILIDAD PARA COLAPSO	
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	139
<b>FIGURA 4.39</b> FORMA DE LA MATRIZ DE VARIABLES ORIGINALES .....	142
<b>FIGURA 4.40</b> EJEMPLO MATRIZ DE CORRELACIONES.....	144
<b>FIGURA 4.41</b> COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO LEVE	
(MAMPOSTERÍA DE BLOQUE).....	148
<b>FIGURA 4.42</b> COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO	
MODERADO (MAMPOSTERIA DE BLOQUE).....	149
<b>FIGURA 4.43</b> COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO SEVERO	
(MAMPOSTERIA DE BLOQUE).....	151
<b>FIGURA 4.44</b> COMPONENTES PRINCIPALES PARA COLAPSO	
(MAMPOSTERIA DE BLOQUE).....	153
<b>FIGURA 4.45</b> COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO LEVE	
(MAMPOSTERIA DE LADRILLO) .....	155
<b>FIGURA 4.46</b> COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO	
MODERADO (MAMPOSTERIA DE LADRILLO) .....	157
<b>FIGURA 4.47</b> BASE DE DATOS EXCEL .....	160
<b>FIGURA 4.48</b> EJEMPLO DE DATOS DE CURVA DE CAPACIDAD	
(DERIVA %) DE PÓRTICO CON MAMPOSTERÍA Y SIN	
MAMPOSTERÍA.....	160
<b>FIGURA 4.49</b> CURVAS DE CAPACIDAD SISTEMA PÓRTICO CON	
MAMPOSTERÍA, MAMPOSTERÍA Y PÓRTICO.....	162

<b>FIGURA 4.50</b> LINEALIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE MAMPOSTERÍA.....	163
<b>FIGURA 4.51</b> CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DERIVA.....	163
<b>FIGURA 4.52</b> CURVAS DE CAPACIDAD PARA FUERZA.....	164
<b>FIGURA 4.53</b> PROGRAMA PARA CUERVAS DE FRAGILIDAD .....	165
<b>FIGURA 4.54</b> INGRESO DE DATOS.....	166
<b>FIGURA 4.55</b> TIPO DE MAMPOSTERÍA.....	166
<b>FIGURA 4.56</b> INDICACIONES S SEGUIR.....	167
<b>FIGURA 4.57</b> SELECCIÓN DE PUNTOS EN CURVA DE FRAGILIDAD .....	167
<b>FIGURA 4.58</b> CURVA DE FRAGILIDAD ACTUALIZADA .....	167
<b>FIGURA 5.1</b> CURVAS DE FRAGILIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	168
<b>FIGURA 5.2</b> CURVAS DE FRAGILIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO .....	169
<b>FIGURA 5.3</b> CURVAS DE FRAGILIDAD EN FUERZA (PARAMETRIZADAS) PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE .....	170
<b>FIGURA 5.4</b> CURVAS DE FRAGILIDAD EN FUERZA (PARAMETRIZADAS) PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO.....	170
<b>FIGURA 5.5</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO LEVE (BLOQUE VS LADRILLO).....	171
<b>FIGURA 5.6</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO MODERADO (BLOQUE VS LADRILLO).....	172
<b>FIGURA 5.7</b> CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO SEVERO (BLOQUE VS LADRILLO).....	173
<b>FIGURA 5.8</b> CURVA DE FRAGILIDAD COLAPSO (BLOQUE VS LADRILLO).....	174

**LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO N° 1</b> .....	188
<b>ANEXO N° 2</b> .....	195
<b>ANEXO N° 3</b> .....	199
<b>ANEXO N° 4</b> .....	201
<b>ANEXO N° 5</b> .....	209
<b>ANEXO N° 6</b> .....	225
<b>ANEXO N° 7</b> .....	234

## RESUMEN

El presente trabajo ayudará a entender de mejor manera el comportamiento de la mampostería no estructural en Quito, a través de la recolección de datos sobre sistemas de pórticos con paneles de relleno de bloque y ladrillo obtenidos de ensayos realizados en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) y complementándolos con modelos analíticos que representan un comportamiento similar a la realidad con la ayuda de ensayos de muretes realizados en el CIV; para obtener curvas de capacidad que son necesarias analizarlas en el presente estudio.

Se sabe que por la acción de cargas laterales o sísmicas comienzan a aparecer fisuras en la mampostería, para lo cual se establecen los principales niveles de daño: leve, moderado, severo, colapso, tanto para bloque como ladrillo. Con ayuda de registros fotográficos de los ensayos obtenidos y la variación de rigidez o cambio de la pendiente en las curvas de capacidad, se obtienen los puntos que muestran los diferentes niveles o estados de daño.

Con la base de datos obtenida se realiza un análisis con la función de distribución de probabilidades lognormal, la cual es apta para este estudio ya que abarca parámetros fundamentales que permiten relacionar diferentes variables y así poder elaborar y obtener las curvas de fragilidad, las cuales son necesarias para comprender la medida de vulnerabilidad que poseen las estructuras en función de datos probabilísticos; son de gran beneficio para el campo de la Ingeniería Sísmica en las que se puede estimar la vulnerabilidad de los sistemas estructurales debido a patologías presentadas por las mamposterías, con sus respectivas incertidumbres.

**Palabras clave:** Curvas de fragilidad, niveles de daño, distribución de probabilidad lognormal, panel de relleno.

## ***ABSTRACT***

The present work will help to better understand the behavior of non-structural masonry in Quito, through the collection of data on frames systems with block and brick filling panels obtained from tests carried out at the Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) and complementing with analytical models that represent a similar behavior to reality with the help of tests of walls made in the CIV; to obtain capacity curves that are necessary to analyze them in the present study.

Due to the action of lateral or seismic loads, cracks begin to appear in the masonry, for which the main levels of damage: light, moderate, severe, collapse are established for both block and brick, with the help of photographic records of the tests obtained and the variation of stiffness or change of the pending in the capacity curves, the specific points are obtained and the different levels or damage states can be differentiated.

With the obtained database an analysis is made with the lognormal probabilities distribution function which is apt for this study, since it covers fundamental parameters that allow to relate several variables and thus be able to elaborate and obtain the fragility curves, which are necessary to understand the measure of vulnerability that structures have as a function of probabilistic data; they are of great benefit for the field of seismic engineering in which the vulnerability of structural systems can be estimated due to pathologies presented by the masonry.

**Keywords:** Fragility curves, damage levels, lognormal probability distribution, infill panel.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En la antigüedad, la mampostería se realizaba con piedra tallada, sin utilización de acero de refuerzo y unidas entre sí por pegantes. Estructuralmente soportan cargas gravitacionales y leves cargas sísmicas o de viento, los cuales, por el gran peso de los elementos individuales, mantenían su equilibrio. La construcción con mampostería portante es el sistema constructivo más antiguo del mundo. Hoy en día, en muchos países de América latina, Europa, Mediterráneo, y Norte América se utiliza en gran proporción muros de mampostería como divisiones para separar arquitectónicamente espacios dentro de una construcción, a pesar de esto este sistema constructivo es el menos entendido y al que menos análisis se le ha realizado (Pachano, 2018).

Actualmente en Ecuador el uso de mampostería portante es una de las principales formas de construcción porque en esta no es necesario un conocimiento técnico previo para su construcción, y esto hace que las construcciones que se realizan con este sistema sean más vulnerables ante una amenaza sísmica. O muchas veces, la mampostería es simplemente vista tomada con el fin de construir cerramientos o confinamiento de espacios, lo cual hace que en el análisis estructural no sea considerada como un componente resistente y activo (Cornejo, 2017).

En ensayos realizados por Murty y Jain (2000) de pórticos a escala se encontró un incremento en la rigidez inicial en un rango de aproximadamente 4 veces la del pórtico sin relleno y un incremento en la ductilidad alrededor de 5 veces para mamposterías simples, lo que conlleva a concluir que este sistema constructivo aporta una alta rigidez, también estos sistemas no poseen la capacidad de disipar energía es decir poseen una baja ductilidad debido a que el colapso se manifiesta

de forma imprevista, causando así importantes pérdidas humanas y económicas durante eventos sísmicos relevantes.

Las mamposterías de relleno en pórticos no son considerados como elementos estructurales debido a su baja resistencia y alta fragilidad, pero estas van a aportar al comportamiento de los sistemas estructurales resistentes a cargas (Rivas, 2017) y (Angúlo & López, 2008), aunque diversos ensayos experimentales realizados en países de América, Europa y Asia han evidenciado que las estructuras de mampostería sean una buena alternativa para resistir sismos, estos usan mampuestos de resistencias cercanas a los 100 kg/cm<sup>2</sup>, los cuales son diferentes a los usados en Ecuador (Rangel, 2012).

Además, en la producción de piezas de mampostería artesanal en el país existe una gran variabilidad, tanto en la mano de obra, calidad de la materia prima, en los procesos de manufactura y las formas geométricas que salen al mercado, esto hace que la incertidumbre acerca del comportamiento de estos elementos sea muy grande (Tena & Miranda, 2002).

El presente trabajo dará a conocer la incertidumbre del comportamiento de la mampostería en Quito, caracterizando el comportamiento de los mampuestos que se utilizan localmente, a través de la recolección de datos sobre paredes de mampostería en ensayos realizados en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) y en otros centros, y posteriormente realizando un análisis exhaustivo técnico probabilístico para obtener como resultado información útil y veraz sobre el comportamiento de los mampuestos.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Obtener curvas de fragilidad de mamposterías de bloques de concreto y ladrillo, mediante análisis probabilísticos de la base de datos contenida en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) de la Escuela Politécnica Nacional y otros Centros de Investigación en Quito.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir el problema que presentan los sistemas estructurales del Ecuador debido a la construcción tradicional.
- Procesar y clasificar la información de los ensayos proporcionados por el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV-EPN) complementada con otras fuentes, como por ejemplo tesis de otras universidades en Quito, en un espacio muestral para un correcto análisis probabilístico.
- Proponer niveles de afectación para mamposterías analizadas, basados en el análisis estadístico realizados.
- Dar a conocer la variabilidad del comportamiento de mamposterías y correlación de parámetros que intervienen, a través de análisis como curvas de funciones de densidad probabilística y regresiones.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Las estructuras que poseen un mal comportamiento ante sismos son una importante causa de pérdidas humanas y económicas durante estos eventos, la mampostería que no se toma en cuenta, como un elemento que influye en el sistema estructural, provoca en la realidad una baja ductilidad en las edificaciones a esto se debe sumar los escasos criterios técnicos y la poca investigación realizada en el país acerca del comportamiento de la mampostería, lo cual hace que estas estructuras posean una vulnerabilidad incierta (Cornejo, 2017).

El método a emplearse de acuerdo con la base de datos obtenida se basa en un análisis estadístico con funciones de probabilidad continua, el cual es muy útil para modelar datos de numerosos estudios realizados. Además, nos brinda una buena interpretación de la distribución de las variables de un determinado proceso (Westfall & Henning , 2013). Tomando en cuenta estos parámetros se obtendrán datos confiables que predigan el comportamiento y/o funcionamiento de este, y así representarlos con las curvas de fragilidad, las cuales representan la probabilidad de que la respuesta de una estructura o los elementos superen un determinado estado límite, en base a un parámetro sísmico que represente la intensidad de una carga o sollicitación (Aráoz & Luccioni, 2007).

Estas curvas son necesarias para comprender la medida de vulnerabilidad que poseen las estructuras en función de datos probabilísticos; además son de gran beneficio para el campo de la Ingeniería Sísmica, en la que se puede estimar la posible vulnerabilidad de los sistemas estructurales debido a patologías presentadas por las mamposterías (Bobadilla, 2005).

Con el presente trabajo se aportarán parámetros complementarios como la incertidumbre, con lo que se tendrá una mejor apreciación del daño que se puede presentar en las edificaciones ante un evento sísmico. Este trabajo se llevará a cabo basado en ensayos experimentales del Laboratorio del Centro de Investigación de la Vivienda (CIV), los cuales no han sido analizados de manera conjunta, de esta forma mediante la obtención de curvas de fragilidad, se logrará tener una mejor comprensión del comportamiento para paneles de relleno (bloque y ladrillo).

### **1.3 DEFINICIONES**

#### **Bloque hueco de hormigón**

Elemento de hormigón, en forma de rectángulo, con huecos en su interior, de tal forma que el volumen del material sólido sea del 50% al 75% del volumen total de elemento (INEN, 2016).

#### **Ladrillo**

Es un elemento de arcilla o tierra arcillosa a los cuales se les suele añadir otros materiales de suficiente plasticidad o consistencia para que puedan tomar un modelado en forma de rectangular y luego cocerse sin presentar grietas, estos elementos se emplean en la albañilería (INEN, 2014).

#### **Estructura**

Conglomerado de elementos estructurales que dependiendo de su configuración resisten cargas sísmicas (laterales), verticales y de cualquier otro tipo (MIDUVI, 2015).

**Resistencia a la compresión**

Es el esfuerzo máximo que puede soportar un elemento sometido a una carga de aplastamiento, otra definición puede ser que la resistencia a la compresión es el esfuerzo necesario para deformar un elemento una cantidad arbitraria.

**Sistema Constructivo**

Conglomerado de técnicas, procedimientos, materiales y herramientas, que, usados conjuntamente entre sí, generan un tipo de estructura particular. Además, cada sistema constructivo se diferencia por la manera que tienen estos de comportarse frente a las cargas a las cuales están sometidos. En una construcción puede existir no solo un sistema constructivo, sino que también puede existir la combinación de estos, en la mayoría de ocasiones esto se da dependiendo de los factores de vulnerabilidad, económicos, disponibilidad de materiales entre otros (Herrera & Narváez, 2017).

**Sistema Constructivo “Pórtico”**

Sistema estructural constituido por columnas y vigas conectadas por medio de nudos formando un sistema resistente, para que este sistema funcione efectivamente es necesario el diseño detallado de las conexiones entre vigas y columnas, para darle rigidez y tenga la capacidad de transmitir momentos. (Herrera & Narváez, 2017).

**Mampostería**

Elemento estructural conformado por un conjunto de piezas asentadas con mortero. El conjunto de estos nos proporciona un sistema monolítico que soporta cargas, divide ambientes y limita un predio dotando seguridad (INEN, 1987)

**Mampostería Simple (no reforzada)**

Estructura conformada por piezas de mampostería y mortero, que no poseen acero de refuerzo o en el caso de tenerlo su cuantía es inferior a la mínima (INEN, 1987).

**Mampostería Reforzada**

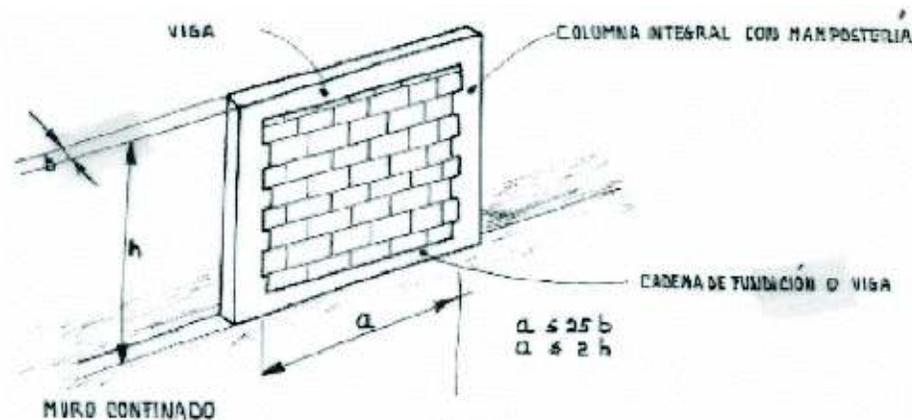
Mampostería perforada en cuyo interior alberga acero en forma de varillas o en su exterior en forma de malla, embebido en hormigón plástico o enlucido,

respectivamente; para fusionarse con la mampostería de modo que trabajen conjuntamente como un todo (INEN, 1987).

### Mampostería Confinada

Muros enmarcados rígidamente por vigas y columnas en sus cuatro lados, este confinamiento no proporciona una buena resistencia lateral, pero es muy efectivo en el plano en el que actúa (INEN, 1987) para que un muro este bien confinado se debe cumplir que (FIGURA 1.1):

**FIGURA 1.1** RECOMENDACIONES PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA.



**FUENTE:** (Rangel, 2012)

### Vulnerabilidad

Capacidad de un elemento o conjunto de elementos a soportar fenómenos destructores y generar una respuesta propicia a su ocurrencia o a la gravedad de sus efectos (SNGR, 2012).

### Riesgo

Probabilidad de ocurrencia de efectos perjudiciales tales como: pérdidas humanas y materiales, colapso o deterioro de estructuras (medios de subsistencia), quebranto de actividad económica y daño del ambiente durante un tiempo producto de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad (SNGR, 2012).

**Amenaza**

Potencial ocurrencia de un evento que se puede presentar en una localización específica, ya sea de origen natural o por actividad humana, con intensidad y duración determinadas (SNGR, 2012).

**Resiliencia**

Es la capacidad que posee un sistema a recuperarse bajo la acción de un agente externo (fuerza) y adaptarse a efectos adversos al futuro (SNGR, 2012).

**Curva de Capacidad**

Es una gráfica que relaciona las cargas laterales aplicadas y el desplazamiento que se producen en un sistema estructural, la cual es útil para determinar la rigidez de esta y así, poder conocer el daño que se pueda dar en un evento sísmico (Oliva, 2017).

**Curva de Histéresis**

Es la tendencia de un material a mantener sus propiedades iniciales bajo la influencia de un factor externo que pueda generar el cambio de esta (Oliva, 2017).

**Capacidad (Ingeniería)**

Propiedad de un elemento para poder resistir cierta cantidad de un agente externo (fuerza) hasta un determinado límite (Silvero, 2011).

**Fragilidad (Ingeniería)**

Capacidad de un elemento a fracturarse con una baja deformación (Silvero, 2011).

**1.4 HISTORIA DE LA MAMPOSTERÍA**

En la antigüedad los materiales más utilizados para la construcción eran el adobe y el tapial, los cuales paulatinamente han sido reemplazados por la mampostería de ladrillo y el bloque de hormigón. Este hecho se debe principalmente a que el uso de elementos a base de tierra, trae consigo limitaciones tanto estructurales como de uso práctico, así como también a consideraciones de tipo cultural, ya que las construcciones de tierra son consideradas de menor categoría social, aunque puedan presentar muchas ventajas como: bajo costo, aislante térmico (ladrillos),

durabilidad al paso del tiempo, rápida y fácil ejecución en obra (Naranjo & Barahona, 1997).

Debido a que nuestro país se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, uno de los problemas estructurales que enfrentan las construcciones de tierra es la vulnerabilidad a los movimientos del suelo. Si bien este limitante podría ser superado con un adecuado diseño de confinamiento de paredes, ha contribuido al uso cada vez más frecuente de construcciones en base a mampostería con refuerzo de elementos de hormigón armado, y en algunos casos, solo mampostería de bloque o ladrillo sin refuerzo de otros (Naranjo & Barahona, 1997).

En Ecuador la mampostería de relleno de bloque y ladrillo como elemento portante de carga, así como elemento divisor de ambientes, se puede encontrar en todos los niveles económicos dependiendo de su lugar de fabricación y el tipo de dosificación que se emplea para variar su resistencia, lo que influye directamente en su costo. En general se ha utilizado este material de manera poco técnica, sin un estudio de sus propiedades físicas y mecánicas, lo que ha llevado a no aprovechar debidamente sus posibilidades, y que ante eventos sísmicos su respuesta haya sido muy pobre o impredecible. El desconocimiento del potencial estructural de la mampostería tiene como consecuencia no poderla tomar en cuenta en el diseño sismo resistente, razón por la cual se ha vuelto un imperativo el estudio del comportamiento mecánico y físico de los mampuestos, para las condiciones particulares de nuestro país (Gualacata & Ortega, 2017).

Los estudios en el Ecuador se los ha realizado en varias tesis de grado de las universidades ecuatorianas. Estas investigaciones, representan esfuerzos individuales que no siempre han tenido la coordinación necesaria, y no han participado de un objetivo en común que les permita fijar las bases para futuros trabajos. El país pierde de esta forma información que puede ser de gran ayuda para la implementación de programas habitacionales económicos y seguros. Es importante hacer un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los estudios realizados al respecto, para su adecuada utilización y como base para futuro trabajos de investigación.

## **1.5 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON MAMPOSTERÍA**

Un sistema estructural es un conjunto de técnicas, herramientas, materiales, procedimientos y equipos, que racionalmente combinados generan un tipo de construcción particular, la mampostería es conocida como el sistema tradicional de construcción, este sistema consiste en construir muros, con diferentes objetivos (cerramiento de espacios, fachada, etc.) mediante la disposición manual de elementos que los conforman (ladrillos, bloques, piedras, etc.), estos elementos se unen con mortero formando una estructura monolítica, este sistema reduce considerablemente los desperdicios de los materiales empleados, además de que, es el sistema constructivo más antiguo utilizado en nuestro país también se puede decir que el sistema que menos se entiende y del que menos investigación se ha realizado; en países desarrollados las investigaciones de sistemas constructivos con mampostería es mucho más amplia y los centros de producción son estrictamente regulados y controlados por normas, lo que reduce la incertidumbre de las propiedades mecánicas de estos elementos, teniendo en cuenta que la utilización de mampostería dentro de un edificio hace que cambien las características estructurales de la edificación (Gualacata & Ortega, 2017).

En la mayor parte de la actividad constructora las fuentes de trabajo están dada por la construcción de mampostería, además la vitalidad de un edificio depende en gran medida de la mampostería, aun así, este sistema constructivo es al que menos importancia se le presta, además es ignorada en el cálculo. El sistema constructivo con mampostería se debería tratar como otros sistemas constructivos como concreto reforzado o el acero estructuras (Gualacata & Ortega, 2017).

## **1.6 MARCO TEÓRICO DEL COMPORTAMIENTO DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUES DE CONCRETO Y LADRILLO**

El historial sísmico que ha tenido lugar hasta la actualidad Ecuador, ha mostrado que en la mayoría de casos las estructuras de mampostería no reforzada fueron mayormente afectadas causando pérdida de vidas humanas considerables, el tipo de falla de estas estructuras ha puesto en evidencia que tienen un comportamiento

con muy poca ductilidad, ya que su colapso se presenta de forma súbita. Este tipo de falla es relacionado con las características de este método constructivo, como son: mala calidad de materia prima, malas conexiones, morteros de mala calidad, entre otros (Bonett Días, 2003).

En el país, las propiedades mecánicas de la mampostería son muy variables, lo que hace que sea difícil de generalizar su comportamiento, esto es consecuencia del poco control en los parámetros de manufactura, materiales, componentes, entre otros. Así, la mampostería ha sido objeto de un escaso estudio experimental para comprender su comportamiento estructural, como consecuencia de esto existe una gran incertidumbre en cuanto a su comportamiento y propiedades (Hernández, 2013).

Entre las características más influyentes de una pieza de mampostería, desde el punto de vista estructural, es la resistencia a la compresión, esta se determina mediante ensayo directo de las piezas, esta resistencia así determinada, no es un parámetro uniforme en el Ecuador, ya que la mayoría de mampuestos utilizados son hechos artesanalmente sin ninguna estandarización. Además, la geometría de las piezas interviene directamente con las deformaciones transversales producidas por la fricción en la máquina de ensayos (FIGURA 1.2) lo que induce compresiones trasversales que afectan la resistencia de la pieza, lo cual es otro parámetro hacia la incertidumbre. (Tena & Miranda, 2002).

**FIGURA 1.2** ENSAYO A COMPRESIÓN DE BLOQUE DE CONCRETO



**FUENTE:** (Pachano, 2018)

## **1.6.1 TIPOS DE MAMPOSTERÍA SIMPLES COMUNES EN LA CONSTRUCCIÓN**

Este tipo de mampostería no poseen ninguna clase de refuerzo, su función principal es la resistencia a la compresión, y no tienen capacidad de esfuerzos a tensión producidos por las fuerzas sísmicas.

### **1.6.1.1 Comparación entre la mampostería de bloques de concreto vs ladrillo**

- Son más ligeros en comparación a los de ladrillo, presentan mejor trabajabilidad y durabilidad, su relación de densidad seca disminuye la carga muerta sobre las edificaciones lo que reduce el peso que es factible para las construcciones actuales (Kulindi, 2013).
- La vida útil del bloque de hormigón es aproximadamente de 100 años, lo que le hace más factible en comparación con las de ladrillo que se deteriora más rápido, presentan una mejor reacción contra el fuego, moho y termitas (Gualacata & Ortega, 2017).
- En el proceso de elaboración se puede estimar de mejor manera el número de unidades que se obtenga por la cantidad de hormigón empleada, en comparación con la de ladrillo que mediante el proceso de este se pierde humedad y las dimensiones de este no son siempre exactas a las esperadas (Holcim, 2017).
- Unas de las desventajas que presentan este tipo de mamposterías es que, no es buen aislante del calor, y por los espacios huecos que posee, no resisten golpes fuertes.
- Existen varios tipos de bloques que dependen del uso que se les vaya a dar, como se lo especifica en la TABLA 1.1 según la norma INEN 3066, los cuales tienen diferentes dimensiones como se muestra en la TABLA 1.2 según la norma INEN 3066.

### **TABLA 1.1 TIPOS Y USOS DE BLOQUE DE CONCRETO**

Clase	Uso
A	Mampostería estructural
B	Mampostería no estructural
C	Alivianamientos en losas

**FUENTE:** (INEN, 2016)

**TABLA 1.2** DIMENSIONES DE LOS BLOQUES

Dimensiones modulares (nM)			Dimensiones modulares (mm)			Dimensiones nominales (mm)		
Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura	Largo	Ancho	Altura
4	3	2	400	300	200	390	290	190
		2,5			250			240
3	x 2	x 1,5	300	x 200	x 150	290	x 190	x 140
2	1	1	200	100	100	190	90	90
donde								
nM es el número de medidas modulares								
NOTA. La tabla que precede es un ejemplo, se basa en juntas de 10 mm y una medida modular M igual a 100 mm, y muestra algunas combinaciones tanto en largo, ancho y altura.								

**FUENTE:** (INEN, 2016)

- Por otro lado, el ladrillo es un buen aislante térmico que comúnmente se coloca en lugares en los cuales la temperatura es baja en épocas de invierno, para mantener el calor, por lo cual presenta buena resistencia contra el fuego, además es buen aislante del sonido exterior de la estructura (Holcim, 2017).
- Una desventaja del ladrillo, ya que son macizos, es que incrementan el peso de la estructura lo cual afecta directamente a la cimentación y la estructura se vuelve más vulnerable ante eventos sísmicos ya que aumenta la masa reactiva que participa en los modos de vibración aumentando las derivas.
- Como la mayoría son fabricados artesanalmente, las dimensiones son bastantes variables, pero en la TABLA 1.3 según la INEN 293 se puede apreciar el dimensionamiento estandarizado de estos.

**TABLA 1.3** DIMENSIONES DE LADRILLOS EN CENTÍMETROS

(1) Tipo de ladrillo	(2) Largo L	(3) Ancho a	(4) Alto h
Común	39	19	9
De máquina	39	19	9
Reprensado	29	14	9
	29	19	9
hueco	29	14	9
	29	19	19
	29	19	14
	29	19	9

**FUENTE:** (INEN, 2014)

## 1.7 ANTECEDENTES

### 1.7.1 HISTORIA SÍSMICA EN EL ECUADOR

El Ecuador se encuentra situado en la costa oriental del Océano Pacífico lo que lo hace formar parte del conocido “Cinturón de Fuego del Pacífico”. Esta es una parte del mundo que se la ha denominado así debido a que es la región más susceptible de presentar los efectos de terremotos y erupciones volcánicas (Rivadeneira, et al., 2007). Esto se debe a que se experimentan cambios continuos en la superficie del planeta como respuesta a la interacción de las placas tectónicas, específicamente para el caso del Ecuador, la placa de Nazca (placa oceánica) situada junto a la Sudamericana (placa continental), dicha interacción entre estas placas generan una zona de subducción frente a las costas y varias regiones tectónicamente activas al interior del territorio, en donde se producen gran parte de sismos que se registran en nuestro país. (Rivadeneira, et al., 2007)

En todo el planeta, se estima que en las zonas de subducción se libera la mayor cantidad de energía sísmica (alrededor de un 80%). Aunque, la continuidad con la que se producen los sismos destructores no se considera alta, pero cuando estos suceden pueden tener un efecto devastador en los lugares más vulnerables, especialmente en los países en vías de desarrollo, ya que retrasan aún más su progreso al afectar los sistemas constructivos y su economía, sin contar con la pérdida de vidas cuyo precio es incalculable. (Rivadeneira, et al., 2007)

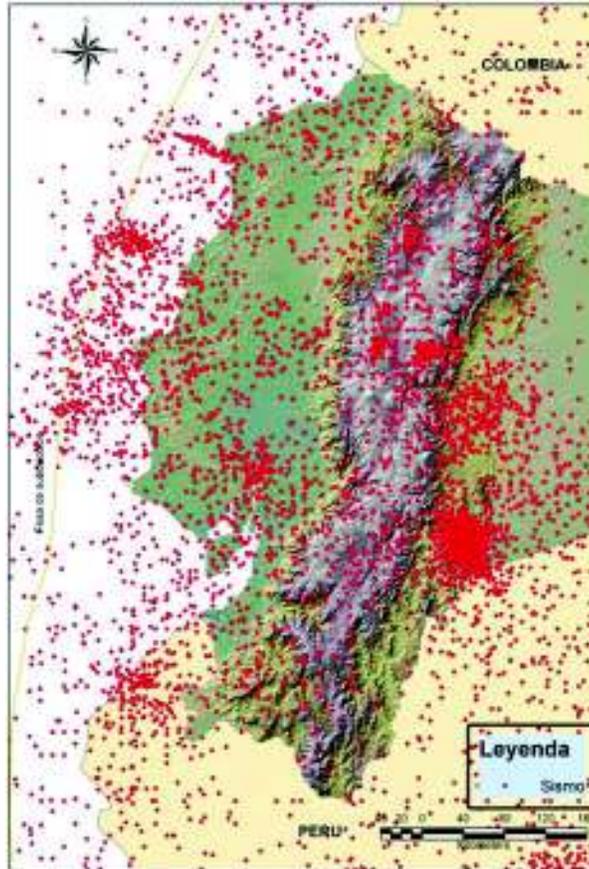
“En la historia del Ecuador se han producido varios eventos destructivos, entre los más recientes y que aún permanecen en la memoria de muchos ecuatorianos están los terremotos de Ambato (1949), Esmeraldas (1979), Reventador (1987), Macas (1995), Bahía (1998) y Muisne (2016). Todos ellos con graves secuelas sociales, psicológicas y económicas para la población de las regiones más afectadas.” (Rivadeneira, et al., 2007)

#### **1.7.1.1 CRONOLOGÍA SÍSMICA ECUADOR**

En el transcurso de los años, si se toma en cuenta los sismos de pequeña magnitud y los que no son percibidos por las personas y son detectados únicamente por los sismógrafos, el número de sismos que ocurren en nuestro país pueden sumar varios miles por año. De esta gran cantidad de registros de eventos sísmicos, desde 1541 hasta la actualidad, han ocurrido en nuestro país 39 terremotos de intensidad igual o mayor a VIII en la escala de intensidad MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) (esta escala basa su medición de fuerza en los efectos destructivos presentados en las sistemas constructivos así como también el grado de afectación en la sociedad) como se explica en el ANEXO 1, intensidad desde la cual se consideran efectos altos o perjudiciales para la sociedad. (Rivadeneira, et al., 2007).

La FIGURA 1.3 muestra las zonas donde han ocurrido sismos con magnitud mayor a 4 en escala de momentos en el Ecuador desde el año 1541 hasta el 2007 y, como se puede observar, los epicentros cubren prácticamente todo el territorio, con territorios de mayor y menor concentración de eventos.

#### **FIGURA 1.3 MAPA DE EPICENTROS DEL ECUADOR (1541-2007)**



**FUENTE:** Instituto Geofísico, inédito

Esto indica que todo el territorio ecuatoriano está expuesto a este tipo de fenómenos en cualquier momento. La información que proviene del monitoreo indica que el promedio anual de sismicidad en el país es de 2.600 eventos, de estos alrededor de 300 tienen magnitudes superiores a 4 grados en escala de momentos, y pudieron ser sentidos por la población. (Rivadeneira, et al., 2007)

Con respecto a la intensidad, los terremotos de grado igual o mayor a VIII MM (Mercalli Modificada) (ANEXO 1), son aquellos cuyas consecuencias se catalogan entre considerables y catastróficas. En relación con este criterio, para el país, se ha extraído del Catálogo de Terremotos del Ecuador el listado de los eventos que han tenido intensidades iguales o mayores a VIII (TABLA 1.4) y que, por consiguiente, han producido considerables catástrofes en nuestra historia. Como principales eventos sísmicos que padeció el Ecuador son: el de Pujilí (1996), que fue un terremoto moderado de intensidad máxima VII, que produjo serios problemas

especialmente en el sector rural; el sismo ocurrido en 1998, cuyo epicentro se localizó muy cerca de Bahía de Caráquez, en donde se estimó una intensidad máxima de VIII, y el más reciente el ocurrido en abril de 2016 en Muisne, el cual se detallará posteriormente de mejor manera.

En la TABLA 1.4 se encuentran el listado de eventos que alcanzaron intensidades superiores a VIII, indicando la provincia que tuvo el mayor impacto.

**TABLA 1.4 TERREMOTOS DEL ECUADOR CON INTENSIDADES VIII**

No.	FECHA			EPICENTRO		INTENSIDAD	ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN
	Año	Mes	Día	Latitud	Longitud	MAXIMA	
1	1541	04	sd	0,1	-77,8	VIII	Napo
2	1587	08	31	0	78,4	VIII	Pichincha
3	1645	03	15	1,68	-78,55	IX	Chimborazo, Tungurahua
4	1674	08	29	1,7	-79	IX	Chimborazo, Bolívar
5	1687	11	22	-1,1	-78,25	VIII	Tungurahua
6	1698	06	20	1,45	78,3	X	Tungurahua, Chimborazo
7	1736	12	06	0,78	78,8	VIII	Pichincha, Cotopaxi
8	1749	01	20	4	79,2	VIII	Loja
9	1755	04	28	0,21	78,48	VIII	Pichincha
10	1757	02	22	0,93	78,61	IX	Cotopaxi, Tungurahua
11	1786	05	10	1,7	78,8	VIII	Chimborazo
12	1797	02	04	-1,43	-78,55	XI	Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar
13	1834	01	20	1,3	-76,9	XI	Carchi, Nariño* (Colombia)
14	1859	03	22	0,4	78,4	VIII	Pichincha, Imbabura, Cotopaxi
15	1868	08	15	0,6	78	VIII	Carchi, Nariño* (Colombia)
16	1868	08	16	0,31	78,18	IX	Imbabura, Carchi, Pichincha
17	1896	05	03	0,51	80,45	IX	Manabí
18	1906	01	31	1	81,3	IX	Esmeraldas, Nariño* (Colombia)
19	1911	09	23	1,7	-78,9	VIII	Chimborazo, Bolívar
20	1913	02	23	4	79,4	VIII	Loja, Azuay
21	1914	05	31	0,5	78,48	VIII	Pichincha, Cotopaxi
22	1923	02	05	0,5	78,5	VIII	Pichincha
23	1923	12	16	0,9	77,8	VIII	Carchi, Nariño* (Colombia)
24	1926	12	18	0,8	77,9	VIII	Carchi
25	1929	07	25	0,4	78,55	VIII	Pichincha
26	1938	08	10	0,3	78,4	VIII	Pichincha
27	1942	05	14	0,01	-80,12	IX	Manabí, Guayas, Bolívar
28	1949	08	05	1,25	78,37	X	Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi
29	1953	12	12	3,4	80,6	VIII	Loja, norte del Perú
30	1955	07	20	0,2	78,4	VIII	Pichincha, Imbabura
31	1958	01	19	1,22	79,37	VIII	Esmeraldas
32	1961	04	08	2,2	-78,9	VIII	Chimborazo
33	1964	05	19	0,84	80,29	VIII	Manabí
34	1970	12	10	-3,79	80,66	IX	Loja, El Oro, Azuay, norte del Perú
35	1987	03	06	0,87	-77,14	IX	Napo, Sucumbios, Imbabura
36	1995	10	02	-2,79	-77,97	VIII	Morona Santiago
37	1998	08	04	-0,55	-80,53	VIII	Manabí
38	2010	10	12	-1,43	-77,51	VIII	Tena
39	2016	04	16	0,37	-79,94	VIII	Esmeraldas, Manabí

sd: sin registro exacto

**FUENTE:** (Rivadeneira et. al. 2007)

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

De la TABLA 1.4 se pueden extraer los siguientes datos:

**TABLA 1.5 RESUMEN DATOS SÍSMICOS DEL ECUADOR (1541-2016)**

Número total de terremotos destructivos	39
Periodo de años (1541-2016)	475
Promedio de sismos destructivos por año	0.08
Recurrencia de sismos destructivos (años)	12.17

**FUENTE:** (Rivadeneira et. al. 2007)

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

Los eventos sísmicos de intensidad VII según la escala MSK, sin ser tan desastrosos como en los grados superiores, pueden producir daños considerables especialmente en las construcciones de adobe, típicas de los sectores rurales y periféricos de las ciudades, principalmente en la región Interandina del país. Por consiguiente, estos terremotos afectan en particular a las clases sociales de bajos recursos económicos que habitan ese tipo de viviendas, además de construcciones informales y monumentos coloniales. (Rivadeneira, et al., 2007)

La gran incertidumbre sobre la distribución de la intensidad y los efectos provocados por un terremoto indica claramente que la distancia entre un sitio afectado y el sitio donde se ubica el epicentro del sismo no es el único parámetro que debe ser tomado en cuenta para observar efectos similares a los cercanos al epicentro. La amenaza y la vulnerabilidad de cada zona son factores importantes al analizar el riesgo que existe en cada comunidad, es decir, que el entorno geológico en el que está asentada una población o una infraestructura es primordial en el resultado de los efectos de un terremoto. (Soulas, Eguez, Yepes, & Perez, 1991)

Con todo lo mencionado, se puede concluir que los terremotos pueden ocurrir indistintamente en cualquier zona y en cualquier momento, esto debido a que existen varias fuentes que pueden originar sismos, tal como se manifestó anteriormente.

### **1.7.2 SISMO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016**

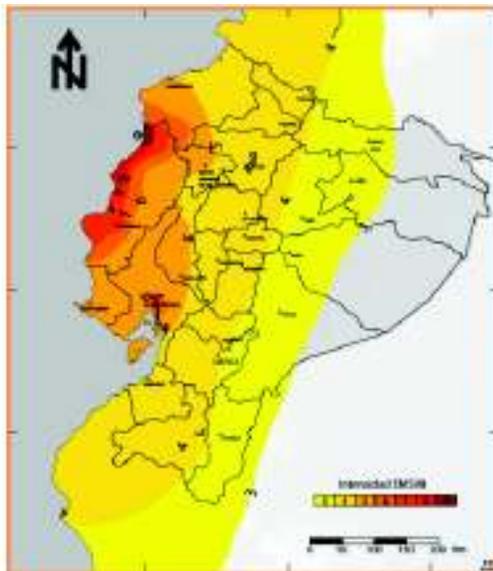
Uno de los acontecimientos más relevantes en los últimos años que ha afectado al Ecuador sucedió el 16 de abril de 2016, día en el cual se presentó un sismo de magnitud 7,8 Mw, con epicentro en la región Litoral entre las provincias de

Esmeraldas y Manabí; producido por el empuje de fallas poco profundas en el límite de las placas de Nazca que subduce por debajo de la placa Sudamérica a una velocidad de 61 mm / año. El mecanismo y la localización del sismo son consistentes con deslizamiento en la interfaz de límite de la placa principal, entre estas dos placas principales (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016).

El sismo de 16 de abril del 2016, tuvo una gran importancia ya que evidenció que en varias de las estructuras de Quito principalmente en construcciones informales (donde utilizan paredes de bloques o ladrillos) se presentaron daños importantes en las piezas de mampostería; dejando al descubierto una gran incertidumbre en el comportamiento de sistema constructivo (Riesgos, 2016)., en consecuencia de esto surge la presente investigación para encontrar curvas de fragilidad para mamposterías (bloque y ladrillo), que ayudaran a evaluar los daños que podrían presentarse en mamposterías debido a acciones sísmicas como este evento sísmico.

En la siguiente FIGURA 1.4 (mapa de isosistas), se puede observar que la provincia de Manabí enfrentó la mayor intensidad del evento sísmico. Mientras que en la Sierra (principalmente en Quito) la intensidad máxima fue de 4 EMS (Escala Macro sísmica europea (EMS98) que es una actualización de la Escala de Mercalli, esta se la puede definir como un indicador de la fuerza del evento sísmico, evaluado en personas, objetos y construcciones; para definir los niveles de intensidad), (ANEXO 1) la información lo realizó el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

**FIGURA 1.4** MAPA INTENSIDAD DEL SISMO DE 16 DE ABRIL DE 2016



**FUENTE:** (Riesgos, 2016)

Como se puede observar en la FIGURA 1.4, las líneas isosistas muestran una leve dirección marcada en la dirección este-oeste comparadas con la dirección norte-sur, teniendo como consecuencias un total de 10.506 edificaciones afectadas en el área urbana y 8.157 en el área rural (Riesgos, 2016).

## CAPÍTULO 2

### CURVAS DE FRAGILIDAD

#### 2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

##### 2.1.1 CONCEPTOS GENERALES

**Estadística.** - es la ciencia que recopila la información cuantitativa perteneciente a individuos, sistemas, procesos, etc., para poder deducir mediante el análisis de los datos, valores significativos o previsiones para el futuro (Galindo, 2011).

La estadística se divide en dos grupos para su mejor estudio como son:

**Estadística inferencial.** – esta se deriva de observaciones de muestras realizadas cerca de un conjunto extenso de elementos, para su análisis se requiera de generalizaciones. La estadística inferencial analiza una población a través de la toma de información obtenida de la toma de muestras (Galindo, 2011).

**Estadística descriptiva.** - consiste en la presentación de datos en forma de gráficos y tablas, intenta inferir que no vaya nada más allá de los datos (Galindo, 2011).

##### 2.1.2 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Cuando se investiga un fenómeno o proceso se puede obtener una variada información, para lo cual, es indispensable determinar el objetivo para los fines que se tenga y cómo lograrlo; así mismo, se debe implantar una idea del número de datos que se dispone para finalmente obtener una información confiable (Galindo, 2011). Esta información se la puede obtener de dos formas distintas: los métodos de muestreo y los experimentos diseñados.

##### **Métodos de muestreo**

Se basa en un estudio orientado a la recolección de datos, en el cual el indagador no posee control sobre las condiciones estudiadas; como, por ejemplo: datos de censos, encuestas electorales o de algún producto de consumo.

## **Experimentos diseñados**

Este estudio tiene el fin de la recolección de datos donde el indagador, usualmente, posee el registro y control de varias de las condiciones bajo las cuales se realiza el experimento o ensayo como por ejemplo este caso de estudio de un sistema estructural compuesto de un pórtico de hormigón armado relleno de mampostería, en el cual se tiene diferentes datos de los materiales empleados.

### **2.1.3 TIPOS DE DATOS**

Los datos pueden ser:

#### **Cualitativos**

Se los conoce como descriptivos o categóricos; cuando se presentan casos con características no medibles, por ejemplo: color de piel, contextura, carácter de una persona, etc.

#### **Cuantitativos**

Son datos que tienen características medibles (numéricos), por ejemplo: edad, estatura de una persona, temperatura ambiente, altura de un entrepiso, etc.

Entre los datos cuantitativos se encuentra:

- Datos discretos. - se denomina discreto a un conjunto de valores o datos que son distintos, o separados, estos pueden ser contados (1,2,3...), por ejemplo; número de años que puede vivir una persona.
- Datos continuos. – se considera continuos cuando los valores pueden tomar cualquier valor considerado en un intervalo, por ejemplo: el peso de una persona.

Para este estudio se usará la estadística inferencial de la cual obtendremos muestras de varios ensayos de mamposterías para deducir el posible comportamiento de estas, todos los datos obtenidos para este trabajo son datos cuantitativos, es decir, que describen características que son medibles (fuerza y desplazamiento).

## 2.1.4 MEDIDAS DE LOCALIZACIÓN

### Media aritmética ( $\bar{X}$ )

Es el valor promedio de un conjunto de datos, se calcula con la siguiente expresión.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.1)$$

Donde:

$x_i$  =elementos del conjunto

$n$  =numero de elementos del conjunto

### Desviación estándar ( $\sigma$ )

Es un indicador de la variabilidad, es una medida de la dispersión de los datos a la media, entre más grande es la desviación quiere decir que más dispersos son los datos, se calcula con la siguiente expresión.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.2)$$

Donde

$\sigma$  =desviación estándar

$\bar{x}$  =media aritmética (promedio)

$n$  =numero de elementos del conjunto

Con estos datos se realizó una distribución de probabilidad para la elaboración de las curvas como se explica más adelante.

### Coefficiente de variación (CV)

Es una medida estadística que nos informa acerca de la dispersión relativa de un conjunto de datos.

$$CV = \frac{\sigma}{|\bar{X}|} \quad (2.3)$$

Donde

$\sigma$  =desviación estándar

$\bar{x}$  =media aritmética (promedio)

CV = coeficiente de variación

### **Mediana (m)**

Es el valor que se encuentra en el medio de un conjunto de datos ordenados en forma ascendente.

El primer paso es ordenar los datos de menor a mayor, existen dos casos que se pueden presentar en un conjunto de datos, depende si el número de estos es par o impar

- Si el número de datos es impar, entonces  $n=2m+1$ . La mediana es el valor que se encuentra en el lugar  $m+1$ . Así, por ejemplo: si disponemos de  $n=7$  valores, entonces  $m=3$ ; es decir, la mediana es el dato que se encuentra en el lugar  $3+1=4$ .
- El otro caso si el número de datos es par, entonces  $n=2m$ . la mediana va a ser igual a la suma de los datos que se encuentran en los lugares  $m$  y  $m+1$  dividiéndole para dos. Así, por ejemplo: si disponemos de  $n=8$  valores, entonces  $m=4$ ; la mediana va a ser el promedio de los datos que se encuentren en el lugar 4 y 5.

#### **2.1.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS ENSAYOS**

Para la elaboración de las curvas de fragilidad se realizó un análisis probabilístico, para esto se tiene un espacio muestral como se expone en la TABLA 2.2, se analizará más adelante su nivel de confianza y su porcentaje de error, con esto se determinará qué tan confiables son los resultados obtenidos, en este análisis estadístico se contabilizará los ensayos y se clasificarán más adelante (López & Ushiña, 2017) según el tipo de mampostería.

Para las curvas de fragilidad se usarán ensayos de los dos sistemas constructivos más usados en el Ecuador los cuales son: Estructura de hormigón con relleno de mampostería de bloque o ladrillo no confinados como se expresa en la TABLA 2.1, para este estudio inicialmente se obtuvieron 16 ensayos de bloque y 6 ensayos de ladrillo como se presentan en la TABLA 2.2 los cuales se clasificarán más detalladamente en la sección 3.2.1 y 3.2.2,

**TABLA 2.1 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MAS COMUNES EN EL ECUADOR**

MATERIAL DE LA ESTRUCTURA	CANTIDAD	%
Estructura de hormigón armado y mampostería de bloque	225 264	47,90 %
Estructura de hormigón armado y mampostería de ladrillo	197 751	42,00 %
Estructura metálica y mampostería de bloque	9 382	2,00 %
Estructura metálica y mampostería de Ladrillo	4 914	1,00 %
Otro tipo de estructura y mampostería	33 203	7,10 %
<b>TOTAL</b>	<b>470 511</b>	<b>100,00%</b>

**FUENTE:** (López & Ushiña, 2017)

**TABLA 2.2 ENSAYOS INICIALES DE PÓRTICOS RELLENOS DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE Y LADRILLO**

Nº	UNIVERSIDAD	TEMA	AUTOR(ES)	ENSAYOS	
				BLOQUE	LADRILLO
1	EPN	CURVAS DE CAPACIDAD PARA UNA VIVIENDA DE UN PISO DE HORMIGÓN ARMADO REPRESENTADAS EN PORTICOS RELLENOS DE MAMPOSTERIA	ROSA ALOMOTO	1	1
2	EPN	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS PARA MODELOS NO LINEALES DE MAMPOSTERÍA DE RELLENO EN PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO OBTENIDOS DE MANERA EXPERIMENTAL	FABIAN PACHANO	1	0
3	EPN	ANÁLISIS EXPERIMENTAL ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERIA CONFINADA Y UNA MAMPOSTERIA REFORZADA	LIZ RIVAS	3	0
4	EPN	ESTUDIO DEL REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERIA DE BLOQUE DE HORMIGÓN CON MALLA ELECTROSOLDADA MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS	DIEGO ALBUJA JONATHAN PANTOJA	1	0
5	EPN	ENSAYOS A CARGA HORIZONTAL DE MAMPOSTERIAS REFORZADAS CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO FC BLOCK	MARCEL ORTIZ OMAR PROAÑO	2	0
6	EPN	INVESTIGACION TEORICO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL ALTERNATIVO	LENIN FERNANDEZ PATRICIO PAREDES	1	0
7	EPN	ENSAYOS A CARGA HORIZONTAL DE MAMPOSTERIAS REFORZADAS CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO FC BLOCK FASE II	JORGE CALO FABIAN SALCEDO	2	0
8	EPN	REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO ARTESANAL	GUSTAVO ANGULO CARLOS LOPEZ	0	2
9	EPN	REHABILITACION DE MAMPOSTERIAS AGRIETADAS DE LADRILLO ARTESANAL	OSACAR ZABALA JAVIER ZABALA	0	2
10	EPN	PORTICOS IDEAL ALAMBREC 4	CIV	4	0
11	EPN	ESTUDIO ANALITICO-EXPERIMENTAL DEL DESEMPEÑO DE UN PÓRTICO DE HORMIGON ARMADO CON PANEL DE RELLENO DE BLOQUE DE BAJA RESISTENCIA, A TRAVEZ DE UN ENSAYO A CARGA LATERAL Y MODELO COMPUTACIONAL	KARINA LIMA, JADYRA PAREDES	1	0
12	UIDE	ESTUDIO DE DEFLEXIONES EN MUROS DE LADRILLO PORTANTE CON REFORZAMIENTO DE MALLA ELECTROSOLDADA PARA EDIFICACIONES DE HASTA 4 PISOS APLICANDO LA NEC 2011	ANGEL HURTADO	0	2
TOTAL				16	7

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Adicionalmente se obtuvieron datos de ensayos a tracción diagonal de muretes de bloque y ladrillo para ampliar el espacio muestral (TABLA 2.3); con los datos obtenidos se realizarán modelos de pórticos de relleno con mampostería no confinada con ayuda del software SeismoStruct con el cual previamente se han realizado calibraciones de ensayos experimentales realizados en el Centro de Investigación de la Vivienda, para poder obtener resultados confiables (como se lo analizará en la sección 3.3).

**TABLA 2.3 NÚMERO DE ENSAYOS A TRACCION DIAGONAL**

muretes bloque	14
muretes ladrillo	9

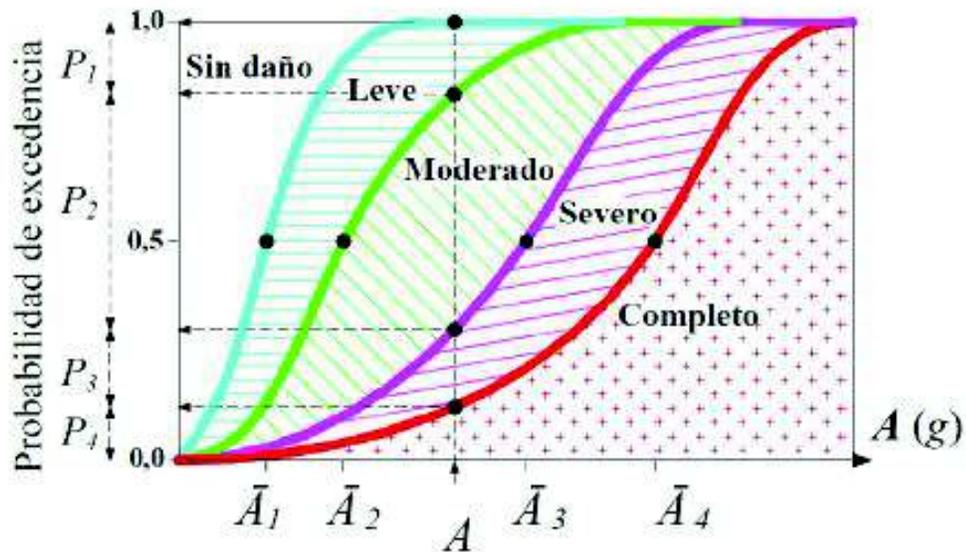
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Los datos de los ensayos son procesados con varios procedimientos que se explican más adelante para obtener datos solo de la resistencia de mampostería despreciando la influencia del pórtico, de estos datos se obtendrán puntos de los diferentes niveles de daño a analizar (sección 2.4), con estos se realiza análisis de variables individuales, y poder desarrollar una distribución de probabilidades, el análisis de variables individuales consta del cálculo de la media aritmética y la desviación estándar como se lo expuso en la sección 2.1.4.

## **2.2 DEFINICIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD**

En la actualidad la ingeniería y su concepto de riesgo ha evolucionado en la que ahora se llama curvas de fragilidad que permiten manejar la amenaza y la resistencia de la estructura que se analiza, en las curvas de fragilidad se integran la incertidumbre de los parámetros que caracterizan la capacidad y la demanda de la estructura en la estimación de daños (FIGURA 2.1).

**FIGURA 2.1** EJEMPLO DE CURVA DE FRAGILIDAD



**FUENTE:** (Coronel D., López, & Betancourt, 2010)

Las curvas de fragilidad representan la probabilidad de que la respuesta de una estructura supere un determinado estado limite en función de un parámetro dado por el movimiento del suelo, explicada de otra manera son una medida de la vulnerabilidad sísmica de una estructura en términos de probabilidades (Bonett Días, 2003).

### 2.3 MARCO TEÓRICO DE CURVAS DE FRAGILIDAD

Una de las formas más útiles para representar el funcionamiento de una estructura son las curvas de fragilidad, dichas curvas “representan la probabilidad que la respuesta de una estructura sobrepase un determinado estado limite” (Bonett Días, 2003), en función de un parámetro que describe la intensidad del movimiento del suelo. En otras palabras, puede asumirse que son una medida de vulnerabilidad sísmica en términos probabilistas de una estructura (Bonett Días, 2003).

El daño esperado en un edificio depende de su capacidad y de su fragilidad, sin ser conceptos independientes se hallan íntimamente relacionados entre sí. Existen diferentes formas para cuantificar el daño de una estructura sometida a un evento sísmico (Moreno & Bairán, 2010).

Las curvas de fragilidad son de gran utilidad para ingenieros de diseño, expertos en fiabilidad, investigadores incluso compañías de seguros también para administradores de sistemas críticos como hospitales puentes autopistas entre otros, debido a que son una parte esencial para los siguientes tipos de estudios (Bonett Días, 2003):

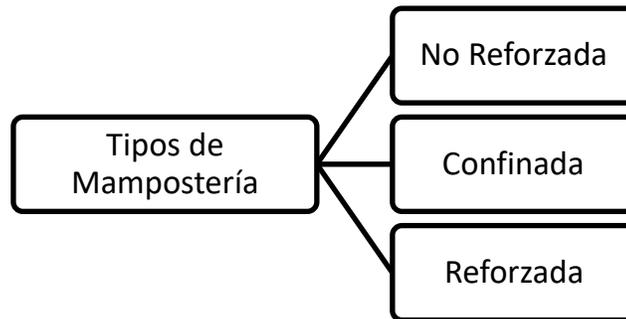
- Evaluación del riesgo sísmico
- Investigación de diseños óptimos
- Estrategias de rehabilitación
- Determinación de márgenes de seguridad para diferentes movimientos sísmicos.

## **2.4 NIVELES DE DAÑO**

Una edificación puede verse amenazada y afectada por varios factores, principalmente relacionados a eventos naturales como son los sismos; por lo cual, es importante determinar las causas principales de los diferentes daños en cada tipo de mampostería, para asegurar que las operaciones propuestas realmente aporten información útil y poder realizar una mejor evaluación de la vulnerabilidad de este tipo de sistemas constructivos con lo cual se podría prevenir mayores afectaciones a futuro.

Existen varias causas naturales por las que pueda verse afectada una vivienda, por ejemplo: sismos, deformaciones del suelo, deslizamientos, asentamientos, etc., pero únicamente se analizaron los daños causados por los terremotos.

En la TABLA 2.4 se presenta los tipos más comunes de mampostería empleados en las construcciones en el país, cada una se detalla en la sección 1.3.

**TABLA 2.4 TIPOS DE MAMPOSTERÍA**

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

En el presente estudio se va a hacer énfasis simplemente a los pórticos de mampostería no confinada y observar los niveles de daños (leve, moderado, severo, colapso) que estos presentan según la magnitud de un sismo.

Para establecer los niveles de daño en las curvas de capacidad de los modelos se basó en la investigación realizada por Zuñiga Cuevas y Terán Gilmore 2006, en dicha investigación se propuso una curva tri-lineal que es una envolvente de la curva de capacidad para muros de mampostería confinada, los 3 puntos establecen los intervalos en los cuales cambia el estado de degradación y daño de la mampostería, los puntos e intervalos son:

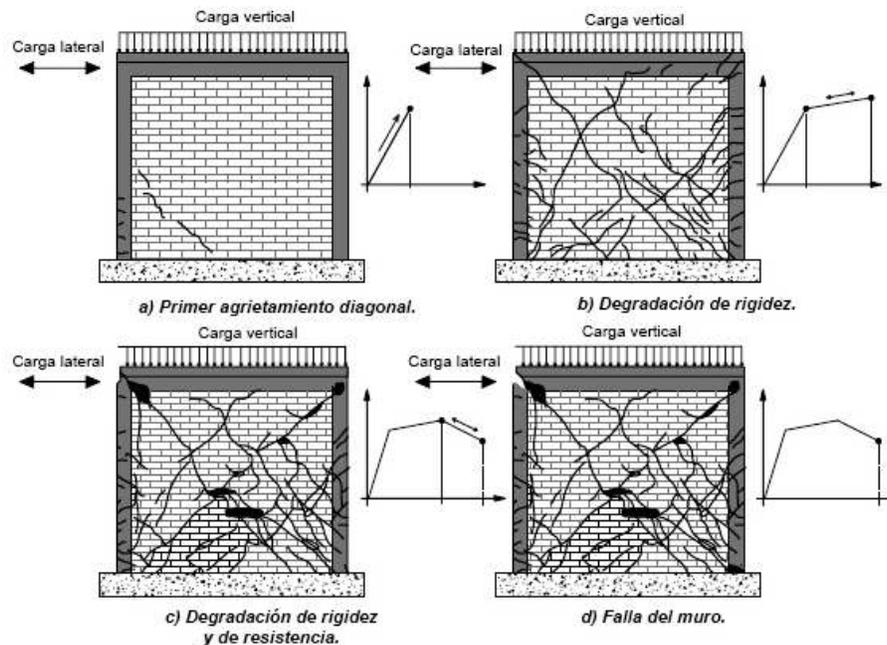
Comportamiento elástico “a” (FIGURA 2.2): en niveles pequeños de desplazamiento y esfuerzo, se caracteriza por la presencia de agrietamiento mínimo en el panel de mampostería, los muros describen un comportamiento prácticamente elástico (Zuñiga & Terán, 2006).

Degradación de rigidez “b” (FIGURA 2.2): los muros de mampostería describen una pendiente de menor rigidez a la elástica inicial, y se ve una resistencia máxima mayor que la correspondiente al primer agrietamiento (Zuñiga & Terán, 2006).

Degradación de rigidez y resistencia “c” (FIGURA 2.2): la mampostería presenta una pendiente negativa asociada a una pérdida de resistencia y rigidez que evoluciona hasta la falla total del muro (Zuñiga & Terán, 2006).

Colapso “d” (FIGURA 2.2): la mampostería y los elementos estructurales presentan una pendiente 0 esta está asociada a que los elementos ya no aportan resistencia ni rigidez.

**FIGURA 2.2** EVOLUCIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA



**FUENTE:** (Zuñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2006)

## 2.5 METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD

Como ya se definió anteriormente una curva de fragilidad indica cuan probable es que una estructura cumpla un porcentaje de daño dado en función de un desplazamiento en otras palabras estas son una medida de la vulnerabilidad en función de probabilidades (Quizanga, 2006).

Para hallar una curva de fragilidad hay varios métodos como son:

### Métodos basados en observaciones de campo

Para esto se debe clasificar las estructuras según su tipología, geometría, uso e importancia. La intensidad de movimiento se la clasifica según la zona sísmica, para este tipo de trabajos se necesita la colaboración de expertos en diseño y patologías

estructurales para que se realicen los formularios de inspección para registrar los daños observados (Quizanga, 2006).

Para elaborar este método se siguen los siguientes pasos:

- a. Se tiene n datos de daños a las estructuras correspondientes a n sismos
- b. Para cada sismo n, se normaliza la aceleración del suelo en función de la zona
- c. Se determina el número de estructuras sometidas a cada sismo con una aceleración normalizada (k)
- d. Se define el tipo de daño o estado discreto de daño
- e. Se calcula el número de estructuras que exceden cada tipo de daño (m)
- f. Se estima la probabilidad de fallo “f” de una estructura sometida a un sismo normalizado mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{m}{k} \quad (2.4)$$

- g. con los datos de f se traza una distribución logarítmica normal.

### **Métodos a partir de la opinión de expertos**

Se realiza por medio de preguntas a investigadores acerca del comportamiento de la estructura, para así poder establecer parámetros cuantificadores de daño en función de la intensidad del sismo de movimiento, esto se realiza para determinado grupo de estructuras, y se elabora una distribución probabilística (Quizanga, 2006).

### **Métodos experimentales**

Se los hace siguiendo el mismo procedimiento que los métodos basados en observaciones de campo, para este tipo de método los datos se obtienen de ensayos realizados en el laboratorio. Normalmente se realizan dos tipos de ensayos: Los ensayos de cargas monotónicamente crecientes y los ensayos sobre mesa vibradora (Quizanga, 2006).

### **Métodos analíticos**

Se realiza a partir de análisis numérico en zonas donde no se cuentan con una gran cantidad de registros acelerográficos, ni de suficientes ensayos de laboratorio. Los resultados que se obtienen varían mucho en función del modelo estructural que se adopte, por lo tanto hay que buscar modelos que sean lo más representativos posibles (Quizanga, 2006).

### **Método analítico probabilista**

Este método consiste en recopilar información a través de un muestreo aleatorio simple que consiste en que todas las muestras de un población tiene la misma probabilidad de ser escogidas este presenta las siguientes características: es práctico y de fácil aplicación, permite el cálculo rápido de las medidas de localización para esto último existen paquetes informáticos para alisar los datos, cuando se tiene muestras; una vez obtenidos el espacio muestral y se procesan los datos determinando las medidas de localización (media aritmética y desviación estándar), para luego utilizar la distribución Log-Normal (sección 4.1.2), y obtener las curvas de fragilidad con la integración de la curva log normal calculada (Westfall & Henning , 2013).

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS DE VARIABLES EN MAMPOSTERÍAS**

Como se menciona en el Capítulo 1, existe una gran incertidumbre al momento de determinar un valor exacto de la resistencia que poseen las piezas de mampostería por su diferente fabricación y elaboración con los varios tipos de materiales pétreos procedentes de diferentes canteras.

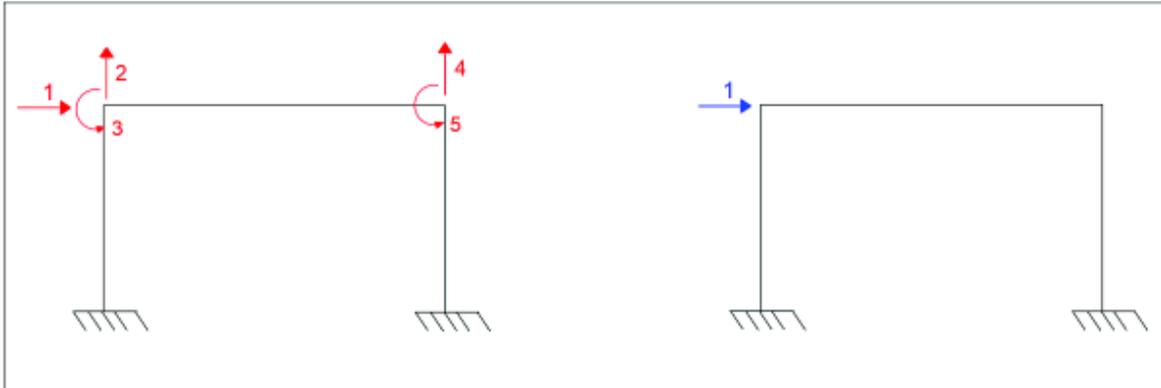
Es indispensable conocer la mayor cantidad de características que poseen los mampuestos, en la construcción son considerados como elementos no estructurales lo cual no quiere decir que no son significantes, este estudio también se basa en conocer la interacción de los componentes principales que intervienen en el desempeño del panel de relleno de mampostería y el aporte de estos, mas no del pórtico en sí, es decir, que se debe despreciar la rigidez en las curvas de capacidad de los pórticos para cada ensayo, esto se logra realizando un análisis por separado del conjunto Pórtico-Mampostería utilizando condensación estática.

Entre las principales variables que se tienen al momento de la construcción de un pórtico y el ensayo de este, se tiene: resistencia a la compresión del bloque, resistencia a la tracción diagonal del murete, resistencia del mortero, dimensionamiento del pórtico, y, el parámetro que tiene más variabilidad, la mano de obra, la cual es un dato no medible, por lo cual no se lo considera en el cálculo para las curvas de fragilidad.

#### **3.1 CONDENSACIÓN ESTÁTICA DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ.**

En la FIGURA 3.1 se encuentra la estructura de un pórtico con sus grados de libertad a su izquierda y a su derecha se indica simplemente el grado de libertad a la cual se va a condensar la matriz de rigidez.

**FIGURA 3.1** GRADOS DE LIBERTAD DE PÓRTICO PLANO CON SU RESPECTIVA CONDENSACIÓN ESTÁTICA



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

La estructura posee un sistema de coordenadas que se las ordenará en 2 tipos, la uno se la denominará “coordenadas a” y a las restantes “coordenadas b” como se puede observar en la FIGURA 3.1, al realizar esta simplificación el vector de cargas ( $Q$ ) y el vector de cargas generalizadas ( $q$ ), adquieren la siguiente forma:

$$Q = \begin{pmatrix} Q_a \\ Q_b \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

$$q = \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Conociendo la ecuación (3.3) básica del análisis estático, la cual relaciona por medio de la matriz una matriz de rigidez ( $K$ ) al vector de cargas generalizadas ( $Q$ ) con su respectivo vector de coordenadas generalizadas ( $q$ ).

$$Q = [K] * \{q\} \quad (3.3)$$

Al reemplazar las ecuaciones 3.1 y 3.2 en la ecuación 3.3, se tiene la matriz de rigidez de la estructura de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} Q_a \\ Q_b \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Por lo tanto, para poder realizar la condensación estática de la matriz de rigidez es necesario que  $Q_a$  o  $Q_b$  sean nulas, a continuación, se detallan ambos casos.

### 3.1.1 CONDENSACIÓN ESTÁTICA “COORDENADAS A”

Se toma el vector  $Q_b=0$  ya que solo existen cargas laterales en  $Q_a$

$$\begin{pmatrix} Q_a \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \end{pmatrix}$$

Desarrollando:

$$Q_a = K_{aa} * q_a + K_{ab} * q_b \quad (3.5)$$

$$0 = K_{ba} * q_a + K_{bb} * q_b$$

De donde:

$$q_b = -K_{bb}^{-1} * K_{ba} * q_a$$

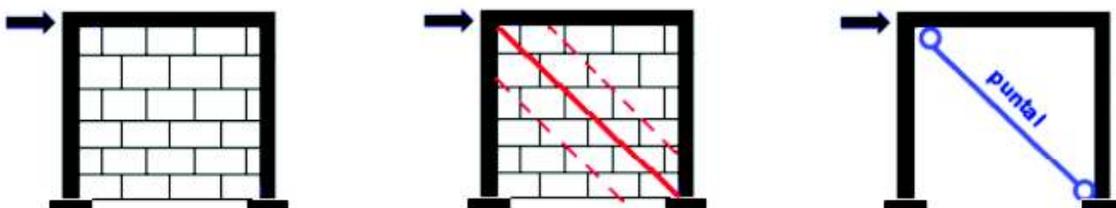
$$Q_a = (K_{aa} - K_{ab} * K_{bb}^{-1} * K_{ba}) * q_a$$

Sea ( $K^*$ ) la matriz de rigidez condensada “coordenadas a”

$$K^* = K_{aa} - K_{ab} * K_{bb}^{-1} * K_{ba} \quad (3.6)$$

Según la idealización de Crisafulli F., 1997 al panel de mampostería se puede representar como un puntal que aporta rigidez adicional al pórtico de una estructura, y se puede discretizar como se indica en la FIGURA 3.2 y posteriormente utilizar la condensación estática para dicho pórtico.

**FIGURA 3.2** MODELO MATEMÁTICO CON MAMPOSTERÍA DE RELLENO

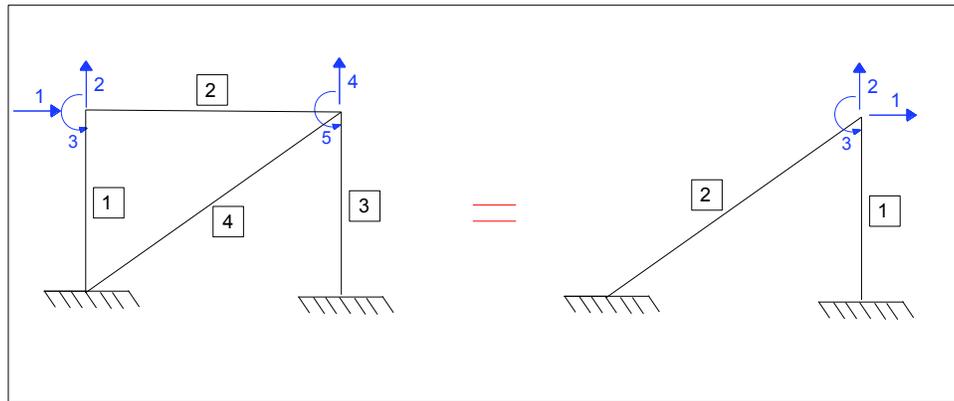


**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváz, 2018)

Se realiza la simplificación del sistema pórtico-mampostería considerando que los elementos del pórtico (1,2,3) situados a la izquierda de la FIGURA 3.3 son

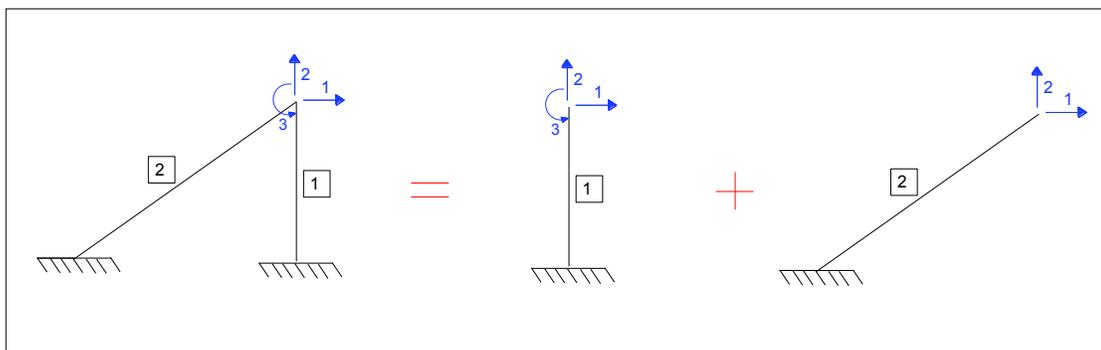
representados por un solo elemento (1) a la derecha de la FIGURA 3.3 el cual tendrá la misma matriz de rigidez manteniendo a la mampostería como un puntal (Crisafulli F., 1997) con su respectiva matriz de rigidez, las cuales se analiza posteriormente mediante el método de la condensación estática con sus respectivos grados de libertad como se lo muestra en la FIGURA 3.4.

**FIGURA 3.3** MODELO DE PORTICO CON MAMPOSTERÍA SINTETIZADO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

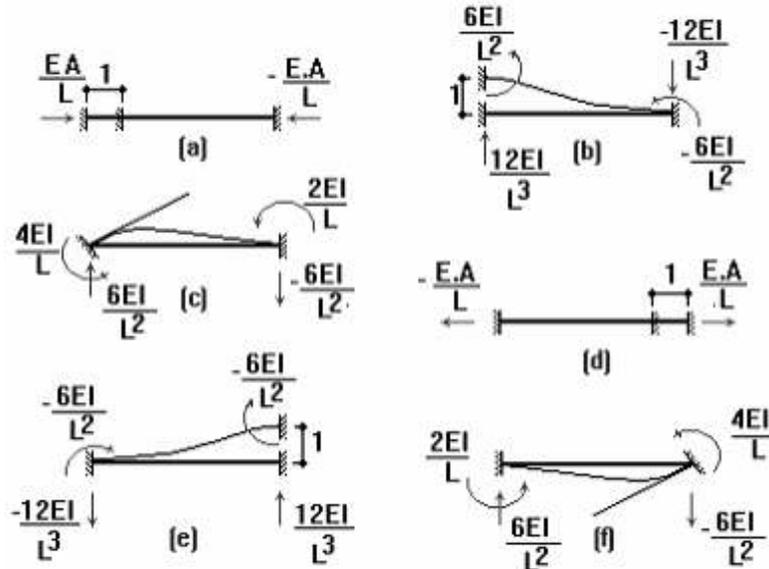
**FIGURA 3.4** GRADOS DE LIBERTAD (IDEALIZACIÓN PÓRTICO-MAMPOSTERÍA). EL ELEMENTO 1 REPRESENTA EL PÓRTICO, Y EL 2 LA MAMPOSTERÍA



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

En la FIGURA 3.5 se presentan los Coeficientes de rigidez aplicados para la utilización de la condensación estática.

**FIGURA 3.5** COEFICIENTES DE RIGIDEZ PARA DESPLAZAMIENTOS UNITARIOS EN PÓRTICOS PLANOS.



ELABORACIÓN: (Grijalva & Narváez, 2018)

Siendo:

$$R = \frac{EA}{L}; \quad k = \frac{4EI}{L}; \quad a = \frac{2EI}{L}; \quad b = \frac{6EI}{L^2}; \quad t = \frac{12EI}{L^3}$$

Entonces la matriz de rigidez del sistema será:

$$K = \begin{bmatrix} t_1 + R_2 * \cos^2 \alpha & R_2 * \cos \alpha * \text{sena} & b_1 \\ R_2 * \cos \alpha * \text{sena} & R_1 + R_2 * \text{sen}^2 \alpha & 0 \\ b_1 & 0 & k_1 \end{bmatrix}$$

Ya que estos compuestos del sistema estructural tendrán un comportamiento como resortes en paralelo, se tendrá:

$$K = S_1 + S_2 \quad (3.7)$$

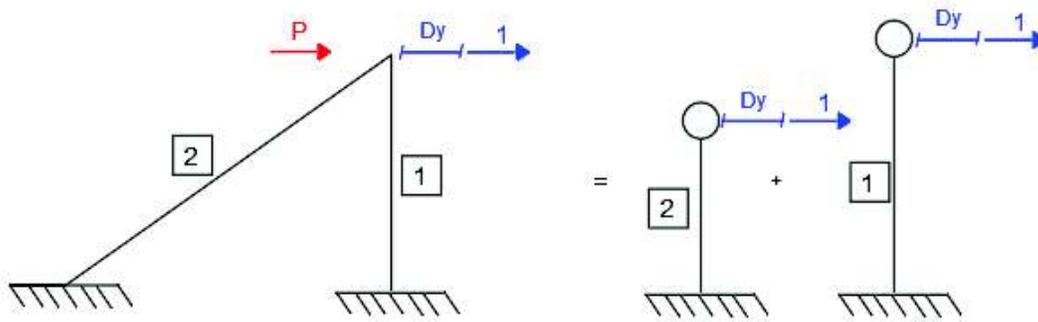
Donde  $S_1$  es la rigidez del pórtico representado por el elemento 1, y  $S_2$  es la rigidez de la mampostería representado por el elemento 2. Esto se puede comprobar en la siguiente ecuación 3.8 donde se han colocado las matrices de rigidez por separado.

$$K = \begin{bmatrix} t_1 & 0 & b_1 \\ 0 & R_1 & 0 \\ b_1 & 0 & k_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_2 * \cos^2 \alpha & R_2 * \cos \alpha * \sin \alpha & 0 \\ R_2 * \cos \alpha * \sin \alpha & R_2 * \sin^2 \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Ya que se está estudiando el comportamiento a cargas laterales, se puede obtener las rigideces equivalentes para los sistemas 1 y 2, condensando los sistemas para solo un grado de libertad horizontal, como se muestra en la FIGURA 3.6. Con lo que se puede reescribir la ecuación (3.8):

$$K_{eq} = S_{1eq} + S_{2eq} \quad (3.9)$$

**FIGURA 3.6** CONDENSACIÓN A 1 GRADO DE LIBERTAD



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváz, 2018)

De manera general, para cualquier sistema se conoce:

$$D = K^{-1} * (P - Aep) \quad (3.10)$$

Donde:

$D$ : desplazamientos.

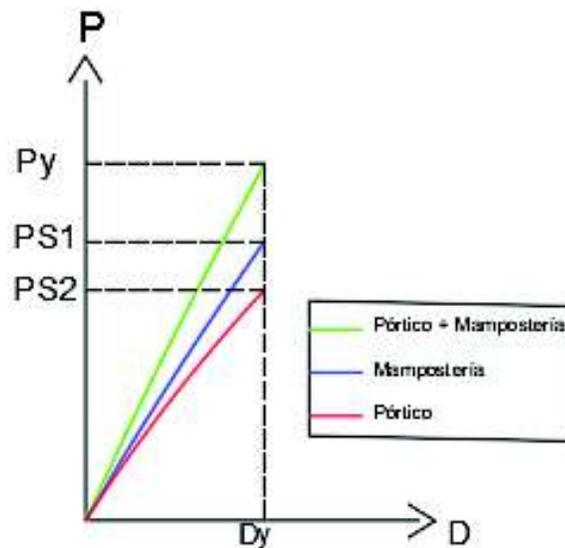
$K$ : matriz de rigidez del sistema.

$P$ : fuerzas externas.

$Aep$ : Acciones de empotramiento perfecto ( $Aep = 0$ ).

En la FIGURA 3.7 se puede observar que para las distintas fuerzas de cada sistema poseen el mismo desplazamiento, lo cual es indispensable para la interpretación del funcionamiento del sistema.

**FIGURA 3.7** PENDIENTES DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD DEL SISTEMA EN CONJUNTO, PÓRTICO Y MAMPOSTERÍA



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Por lo tanto, en  $D_y$ :

$$P_y = K_{eq} * D_y \quad (3.11)$$

$$P_{s1} = S_{1eq} * D_1 \quad (3.12)$$

$$P_{s2} = S_{2eq} * D_2 \quad (3.13)$$

$$D_y = D_1 = D_2 \rightarrow \text{Por Resortes en Paralelo} \quad (3.14)$$

$$\frac{2}{D_y} = \frac{1}{D_y} + \frac{1}{D_y} \rightarrow \frac{2}{D_y} = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \quad (3.15)$$

$$\frac{2 * K_{eq}}{P_y} = \frac{S_{1eq}}{P_{s1}} + \frac{S_{2eq}}{P_{s2}} \quad (3.16)$$

$$P_y = \frac{2 * K_{eq} * P_{s1} * P_{s2}}{S_{1eq} + S_{2eq}} \quad (3.17)$$

$$P_{s2} = \frac{S_{2eq} * P_y * P_{s1}}{2 * K_{eq} * P_{s1} - S_{1eq} * P_y} \quad (3.18)$$

Donde:

$P_y$ : carga pórtico + mampostería.

$P_{s1}$ : carga mampostería.

$P_{s2}$ : carga pórtico.

$D_y$ : desplazamiento pórtico + mampostería.

$D_1$ : desplazamiento equivalente mampostería.

$D_2$ : desplazamiento equivalente pórtico.

Reemplazando la ecuación (3.7) en la ecuación (3.18) se tiene:

$$P_{s2} = \frac{(K_{eq} - S_{1eq}) * P_y * P_{s1}}{2 * K_{eq} * P_{s1} - S_{1eq} * P_y} \quad (3.19)$$

De esta manera se puede conocer la fuerza ( $P_{s2}$ ), desplazamiento ( $D_y$ ) y rigidez tangente ( $S_{2eq}$ ) solo para las mamposterías, obtenida de los datos que se pueden conocer fácilmente como el comportamiento del pórtico + mampostería y de solo el pórtico. A estas fórmulas se las utilizarán en cada intervalo fuerza vs desplazamiento que se tenga de los sistemas descritos. Esto es importante para poder parametrizar el comportamiento de solo la mampostería.

Se utiliza un paquete computacional para la utilización de estas ecuaciones (Mora, 2018) que está constituido por dos funciones: la una que interpola los posibles puntos de las curvas de capacidad y la otra en la que se emplea el algoritmo con las ecuaciones mostradas arriba tramo por tramo de las curvas, este muestra de

manera independiente como actúa la rigidez del conjunto pórtico mampostería y por separado (ANEXOS 2).; para poder ejecutar esta programación es necesario tener los datos de desplazamiento con su respectiva carga tanto del sistema (pórtico-mampostería) los cuales se obtienen de los ensayos realizados, o también en el caso de la modelación se obtiene del programa SeismoStruct y los datos del pórtico, exclusivamente se obtienen de SeismoStruct.

### 3.2 CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EXISTENTES

En la TABLA 3.1 que se muestra a continuación, se detallan todos los datos de los ensayos de pórticos de mamposterías (ladrillo y bloque) sin reforzamiento que se han realizado en el Centro de Investigación de la Vivienda, además se especifican las características más relevantes de cada uno de estos para su posterior análisis. Como se puede observar en la TABLA 2.2 los ensayos que se obtuvieron de la tesis y ensayos particulares a carga lateral de pórticos rellenos de mampostería no son suficientes (sección 3.3.1) para realizar un análisis probabilístico como el deseado, por lo tanto, se procedió a buscar datos de muretes de mampostería (sección 3.3) sometidos a un ensayo de tracción diagonal para con estos datos analizarlos y calcular las características mecánicas de esta mampostería.

**TABLA 3.1 ENSAYOS EXPERIMENTALES DE PÓRTICOS CON MAMPOSTERÍA**

Nº	TESIS	BLOQUE			LADRILLO		
		NO REFORZADA	CONFINADA	REFORZADA	NO REFORZADA	CONFINADA	REFORZADA
1	ROSA ALOMOTO	1			1		
2	FABIAN PACHANO	1					
3	LIZ RIVAS	1	1	1			
4	DIEGO ALBUJA JONATHAN PANTOJA	1					
5	MARCEL ORTIZ OMAR PROAÑO			2			
6	LENIN FERNANDEZ PATRICIO PAREDES	1					
7	JORGE CALO FABIAN SALCEDO			2			
8	GUSTAVO ANGULO CARLOS LOPEZ				2		
9	OSACAR ZABALA JAVIER ZABALA					1	1
10	CIV	3	1				
11	KARINA LIMA, JADYRA PAREDES	1					
12	ANGEL HURTADO						2
13	DIAZ RODRIGUES	1					
TOTAL		10	2	5	3	1	3

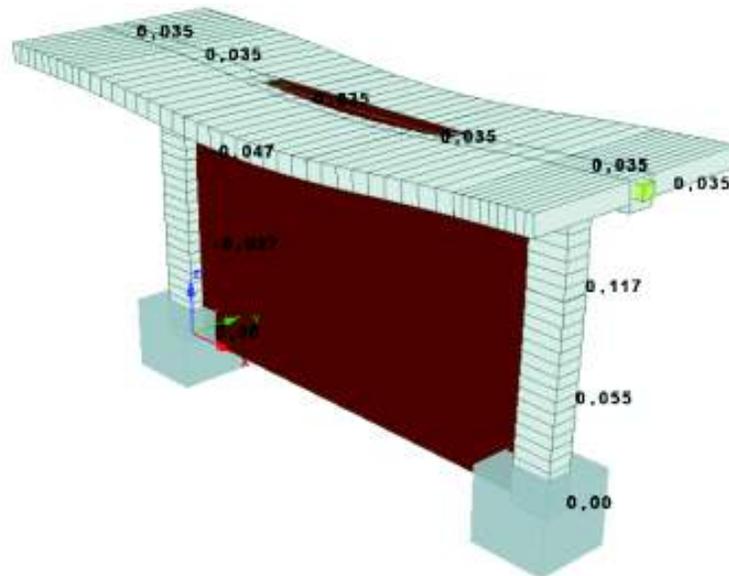
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváz, 2018)

En la TABLA 3.1 se presentan los ensayos pórtico rellenos de mampostería de bloque y ladrillo clasificados según lo expresado en la TABLA 2.4, como se detalló antes, este estudio se enfoca en pórticos de mampostería no confinada, por lo cual los ensayos de mampostería reforzada y confinada para bloque y ladrillo no son motivo de análisis en esta investigación, dejando un total de 10 ensayos para mampostería de bloque y 3 ensayos para mampostería de ladrillo.

Analizando minuciosamente los datos restantes, se tiene que:

- En la tesis elaborada por el Msc. Fabian Pachano el pórtico ensayado estuvo sometido a una carga gravitacional como me muestra en la FIGURA 3.8 por esta razón este pórtico no se toma en cuenta para este estudio, pero se encontraron 3 muretes ensayados los cuales son útiles como se explicará en la sección 3.3.

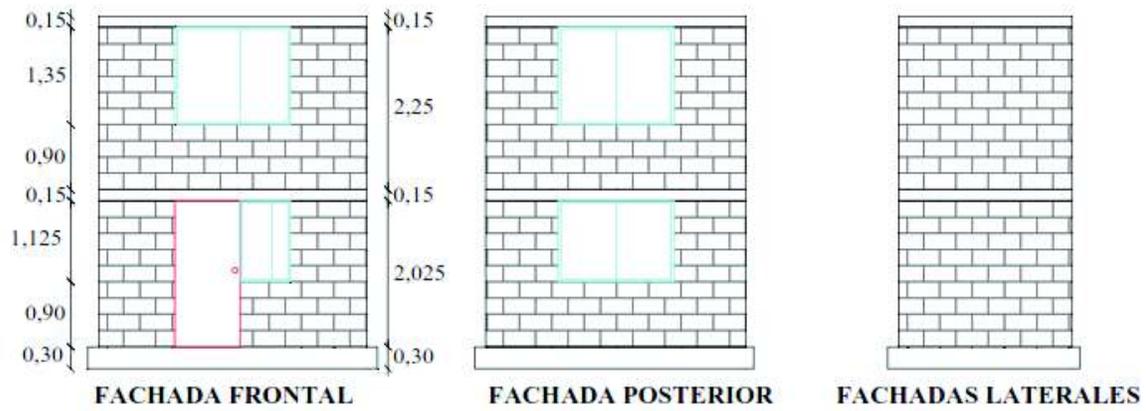
**FIGURA 3.8** PÓRTICO (TESIS FABIÁN PACHANO)



**FUENTE:** (Pachano, 2018)

- En el trabajo realizados por los ingenieros: Lenin Fernández y Patricio Paredes, se presentó un pórtico ensayado con una configuración diferente (FIGURA 3.9) a la estudiada en este trabajo, por lo cual no se toma en cuenta.

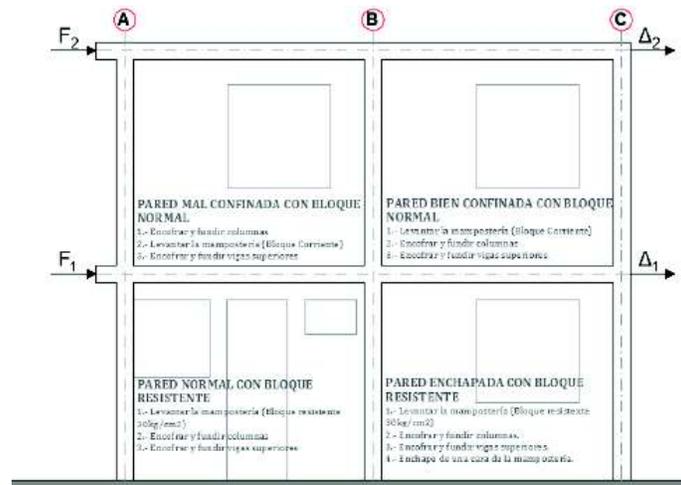
**FIGURA 3.9** DISTRIBUCION SISTEMA ESTRUCTURAL (TESIS FERNÁNDEZ & PAREDES)



**FUENTE:** (Fernández & Paredes, 2010)

- En trabajo realizado por el Centro de Investigación de la Vivienda CIV para (Alambrec), presentaron varias diferencias: el pórtico 1 tiene una configuración diferente (2 pisos, FIGURA 3.10), El ensayo del pórtico fue realizado con mampostería bien confinada (poco común en nuestro medio de construcción) y como se sabe esta tiene un diferente comportamiento “más resistente”, por lo tanto, su curva de capacidad será muy distinta a la de los demás ensayos (FIGURA 3.11), el pórtico 3 fue usado para el trabajo realizado por la Ingeniera Karina Lima, por lo cual estos ensayos se excluyeron para esta investigación.

**FIGURA 3.10 ESQUEMA PÓRTICO 1 ENSAYOS IDEAL ALAMBREC**



**FUENTE:** (CIV, 2017)

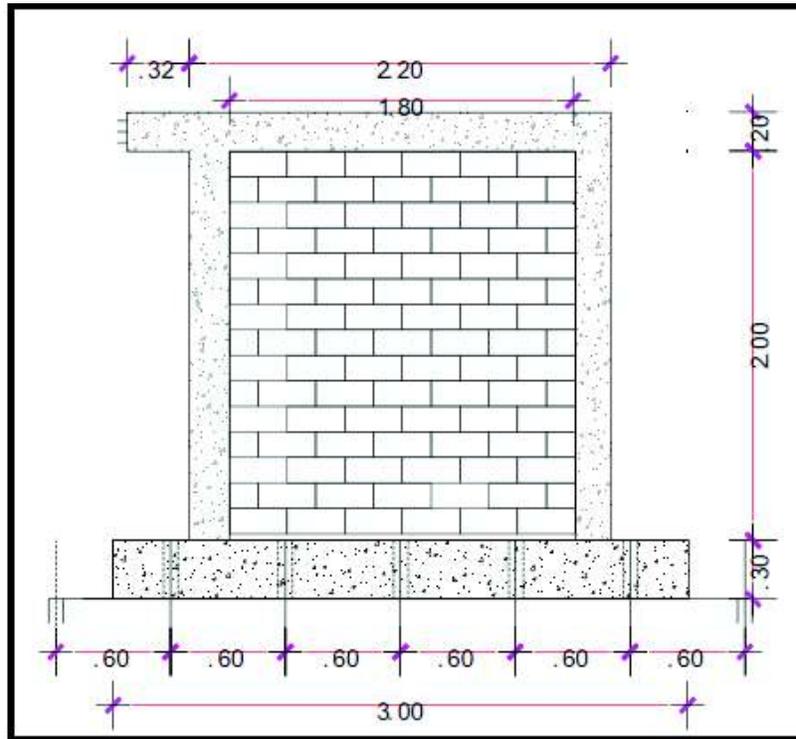
**FIGURA 3.11 ESQUEMA PÓRTICO 2 ENSAYOS IDEAL ALAMBREC**



**FUENTE:** (CIV, 2017)

- Por otra parte, se añadirá un ensayo de pórtico de relleno de mampostería de bloque del proyecto de titulación de (Díaz & Rodríguez, 2011) ya que posee características similares a las demás muestras como se observa en la FIGURA 3.12.

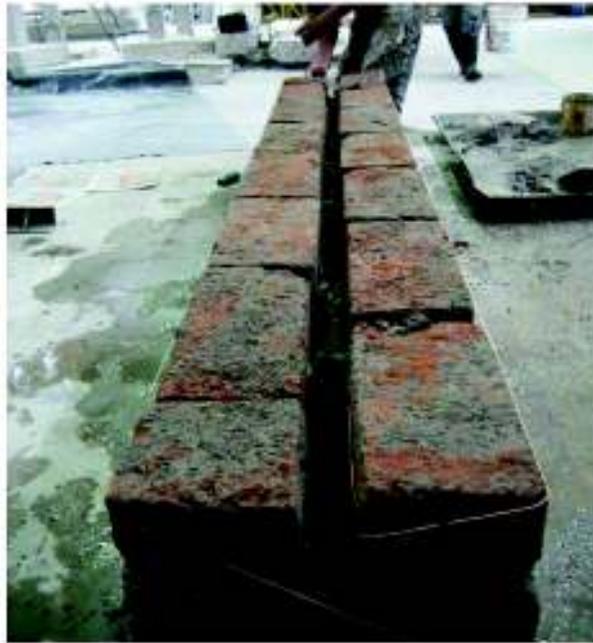
**FIGURA 3.12** PÓRTICO DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE (TESIS DÍAZ & RODRÍGUEZ)



**FUENTE:** (Díaz & Rodríguez, 2011)

- En los pórticos rellenos de mampostería de ladrillo, en la tesis realizada por los ingenieros Livingston Angulo y Carlos López, no se considera debido a que la mampostería se encuentra colocada en dos pilas, lo cual no es usual en la construcción y se obtendrá resultados distintos a un pórtico relleno con una sola pila de ladrillo (FIGURA 3.13).

**FIGURA 3.13** ARMADO DE MAMPOSTERÍA DEL PÓRTICO (TESIS ANGULO & LÓPEZ)



**FUENTE:** (Angulo & López, 2008)

- Otro ensayo que posee características distintas (armado de doble pila de ladrillo y recubierto con malla electro-soldada) es el de la tesis de Ángel Hurtado la cual también se descarta de este estudio (FIGURA 3.14).

**FIGURA 3.14** ENSAYOS PÓRTICOS (TESIS ÁNGEL HURTADO)



**FUENTE:** (Hurtado, 2015)

En conclusión, se tienen 7 ensayos de pórticos de mampostería de relleno de bloque y 1 de pórticos de mampostería de relleno de ladrillo, se expondrán sus propiedades en la siguiente sección.

### 3.2.1 ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE

Se identifican las propiedades más relevantes de cada ensayo para poder diferenciar y asociar las características de cada estudio y posteriormente con los análisis principales (sección 3.6) saber de mejor manera cómo interactúan entre sí, como se lo explicó en la sección 3.1, donde se observa que la rigidez del pórtico y de la mampostería se las puede analizar de manera separada.

**TABLA 3.2** CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA (BLOQUE)

Nº	ENSAYOS BLOQUES	Resistencia Bloque (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esbeltez b/h	Mortero (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Hormigón	
					Columna ( Kg/cm <sup>2</sup> )	Viga ( Kg/cm <sup>2</sup> )
1	ALAMBREC 4	25,85	1,3	114,88	106,5	139
2	ALBUJA, PANTOJA	19,6	1	92,53	205,77	205,77
3	LIMA, PAREDES	9,99	1,3	118,63	281,67	222
4	ROSA ALOMOTO	18,90	1,1	S.D.	204	204
5	DÍAZ, RODRIGUEZ	51,8	1	-	183	183
6	LIZ RIVAS	10,29	0,96	102,35	205,77	205,77

S.D. = Sin Datos

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

### 3.2.2 ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO

De igual manera se realiza el mismo procedimiento para obtener las características principales de cada uno de los estudios obtenidos en el Centro de Investigación de la Vivienda (TABLA 3.3).

**TABLA 3.3** CARACTERÍSTICAS DE ENSAYOS DE MAMPOSTERÍA (LADRILLO)

Nº	ENSAYOS LADRILLOS	Resistencia Bloque (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esbeltez b/h	Mortero (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Hormigón	
					Columna ( Kg/cm <sup>2</sup> )	Viga ( Kg/cm <sup>2</sup> )
1	ROSA ALOMOTO	14,98	1,1	S.D.	204	204

S.D. = Sin Dato

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

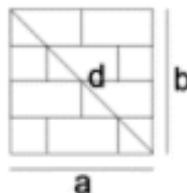
### 3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS POR CARACTERÍSTICAS DE PROBETAS ENSAYADAS

Previo a la clasificación de los ensayos obtenidos de forma experimental y modelados en el programa “SEISMOSTRUCT”, se añadirán nuevos modelos en base a las especificaciones de este software y tomando en cuenta la calibración del modelo de la tesis de Albuja D. y Pantoja J. Se variarán ciertos parámetros enfocados a la mampostería, provenientes de los diferentes ensayos de muretes, en el modelo calibrado en la tesis de Gualacata G., Ortega J., y de la tesis de Fabián Pachano.

En la TABLA 3.4 y TABLA 3.5 se presentan los cuadros de resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de los muretes de las tesis mencionadas previamente, los cuales serán procesados según las recomendaciones del programa SeismoStruct para su correcta modelación; en la FIGURA 3.15 se presenta el dimensionamiento de las probetas (muretes) ensayadas, finalmente en la FIGURA 3.16 se presentan los datos de los esfuerzos vs deformación de los muretes ensayos por Fabián Pachano los cual se los denominará como (F1, F2, F3, F4).

Nota: Es importante tomar en cuenta que el único parámetro obtenido de los ensayos de muretes que ingresa directamente en la calibración en el programa de SeismoStruct es la deformación máxima, los demás resultados obtenidos del ensayo se procesan según la sección 3.5.3 y se ingresan en las TABLAS 3.15 y 3.16.

**FIGURA 3.15** DIMENSIONES MURETE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Donde:

a= base del murete

b= altura del murete

d= diagonal del murete

**TABLA 3.4 RESULTADOS DE ENSAYOS DE MURETES DE BLOQUE**

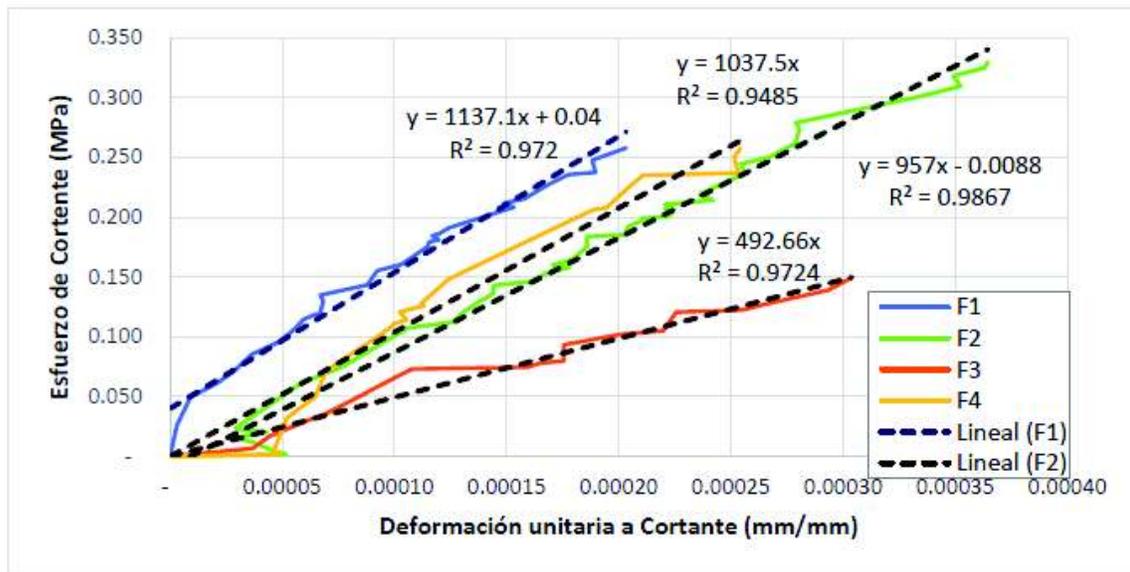
Muestra	Dimensiones			P (T)	Deformación máxima (mm)
	a (cm)	b (cm)	d (cm)		
1	82	83	114	3,990	5,368
2	82,5	82	114	4,039	3,985
3	82,4	82	116	4,302	3,549
4	82	83	116	3,686	3,039
5	82	83,5	115	3,293	3,084
6	82	83	117	3,655	1,798
7	82	82	115	5,334	4,698
8	82	82,5	116	3,349	2,037
9	82	82,5	115	3,554	7,018
10	82	83	115	3,482	5,911

**FUENTE:** (Gualacata G., Ortega J., 2017)

**TABLA 3.5 RESULTADOS DE ENSAYOS DE MURETES DE LADRILLO**

Muestra	Dimensiones			P (T)	Deformación máxima (mm)
	a (cm)	b (cm)	d (cm)		
1	64,8	63,7	89	1,606	1,248
2	64,5	64,5	89,5	1,377	2,141
3	64,5	63	90	1,177	3,07
4	65,5	65	90,5	0,567	0,444
5	64	64	89	1,814	3,39
6	65	65	89	0,907	2,94
7	65	64,3	90	1,873	2,563
8	66,5	67,8	93	1,077	1,407
9	64	63,5	88,5	0,680	0,952

**FUENTE:** (Gualacata G., Ortega J., 2017)

**FIGURA 3.16** MÓDULOS DE CORTE DE MURETES (TESIS FABIÁN PACHANO)

**FUENTE:** (Pachano, 2018)

### 3.3.1 NIVEL DE CONFIABILIDAD

Después de haber analizado y clasificado cada ensayo se obtuvo una cantidad de 20 ensayos de muretes para mampostería de bloque y 10 para muretes de mampostería de ladrillo; con los cuales se trabajó para obtener las curvas de fragilidad con sus distintos niveles de daño.

Para que los resultados se consideren estadísticamente relevantes debe existir un nivel de confianza que sea mayor al 90%, considerando un margen de error del 10% (Westfall & Henning, 2013), para lo cual se utiliza la distribución T de Student que simplemente nos ayuda a saber que tan confiable es la cantidad de datos (espacio muestral) que se analizarán, mas no interviene en el cálculo de las curvas de fragilidad; a continuación se detalla de mejor manera las características de esta.

#### 3.3.1.1 Distribución T de Student

Esta distribución es utilizada cuando la cantidad de datos de la muestra sea menor o igual a 30 (Westfall & Henning, 2013), para poder analizar el nivel de intervalo de confianza es necesario utilizar las tablas T que se encuentran en el ANEXO 3, con las cuales se cuantificarán los resultados. Es importante resaltar que esta distribución utiliza grados de libertad representados por la ecuación 3.20.

$$n = m - 1 \quad (3.20)$$

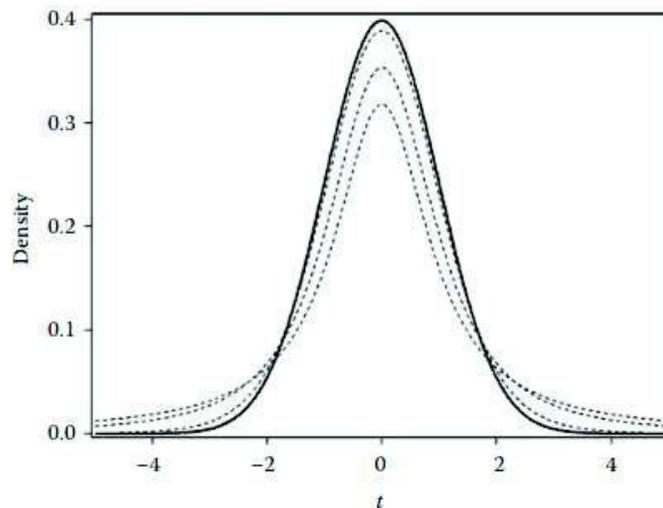
Donde:

n=número de grados de libertad

m=tamaño de la muestra

Como se puede observar en la FIGURA 3.17 la curva es simétrica y va a tener siempre su centro en cero, a medida que aumenta el número de datos la dispersión disminuye, es decir, las curvas con líneas entre punteadas tienen menor número de datos a diferencia de la curva de línea continua, que en este caso tendría un número mayor de datos y evidentemente con una dispersión menor.

**FIGURA 3.17** DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT



**FUENTE:** (Westfall & Henning , 2013)

Para poder realizar el cálculo se utiliza la ecuación 3.21 y la tabla del ANEXO 3

$$e = \frac{s}{\sqrt{m}} \quad (3.21)$$

Donde:

e = error estandar

s = desviación estándar

m = número de muestras

$$\text{Margen de error} = t * e \quad (3.22)$$

Donde:

*margin de error* = 10% (seccion 3.3.1)

e = error estandar

**TABLA 3.6** DESVIACIONES ESTÁNDAR PARA DIFERENTES NIVELES DE DAÑO (MAMPOSTERÍA DE BLOQUE Y LADRILLO)

Desviación Estandar		
Nivel de Daño	Bloque	Ladrillo
Daño Leve	0,749	0,513
Daño Moderado	0,657	0,661
Daño Severo	0,419	0,568
Colapso	0,561	0,489

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

### 3.3.1.2 Cálculo del error estándar del espacio muestral

Para obtener el error estándar del número de muestras analizadas es necesario conocer la desviación estándar la cual se calcula más adelante en la sección 4.2.5 para cada tipo de mampostería como se muestra en la TABLA 3.6.

#### 3.3.1.2.1 Mampostería de bloque

Para el caso de mampostería de bloque se tiene 20 muestras, y en la TABLA 3.7 se presentan los resultados obtenidos mediante la ecuación 3.21.

**TABLA 3.7** ERROR ESTÁNDAR PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE

Error Estándar	
Nivel de Daño	Bloque
Daño Leve	0,167
Daño Moderado	0,147
Daño Severo	0,094
Colapso	0,125

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

De los cuales se utiliza 0.167 que es el de mayor valor debido a la dispersión de sus datos.

### 3.3.1.2.2 Mampostería de ladrillo

Para el caso de mampostería de bloque se tiene 20 muestras, y en la TABLA 3.8 se presentan los resultados obtenidos mediante la ecuación 3.21.

**TABLA 3.8** ERROR ESTÁNDAR PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO

Error Estándar	
Nivel de Daño	Ladrillo
Daño Leve	0,162
Daño Moderado	0,209
Daño Severo	0,180
Colapso	0,155

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

De los cuales se utiliza 0.209 que es el de mayor valor debido a la dispersión de sus datos.

### 3.3.1.3 Cálculo del nivel de confianza del espacio muestral

A partir de un margen de error del 10% como se lo mencionó con anterioridad se obtiene el nivel de confiabilidad de los datos analizados según su error estándar ya analizado para cada tipo de mampostería como se lo detalla en la siguiente sección.

#### 3.3.1.3.1 Mampostería de bloque

Utilizando la ecuación 3.22 se obtiene los siguiente:

$$t = \frac{\text{Margen de error}}{e}$$

$$t = \frac{0.1}{0.167}$$

$$t = 0.5974$$

Con lo cual se fija en la tabla de T student (ANEXO 3) y determinando el número de grados de libertad con la ecuación 3.9, teniendo un n=19 se tiene 72% de confianza de estos.

#### 3.3.1.3.2 Mampostería de ladrillo

Utilizando la ecuación 3.21 se obtiene los siguiente:

$$t = \frac{\text{Margen de error}}{e}$$

$$t = \frac{0.1}{0.209}$$

$$t = 0.4782$$

Con lo cual se fija en la tabla de T student (ANEXO 3) y determinando el número de grados de libertad con la ecuación 3.20, teniendo un n=9 se tiene 67.7% de confianza de estos.

#### 3.3.1.4 Cálculo de número de muestras requeridas

$$\text{Margen de error} = t * \frac{s}{\sqrt{m}} \quad (3.23)$$

Al contrario, para saber qué cantidad de datos sería necesaria para obtener un nivel de confianza del 90% con las mismas consideraciones, se realiza lo siguiente T de 90%= 1.311 para un n=29 como se recomienda para esta distribución y se realiza un proceso iterativo hasta saber qué número de muestras se obtendrá al final. (Westfall & Henning , 2013).

Despejando la variable m de la ecuación 3.23 se obtiene:

$$m = \frac{t^2 * s^2}{\text{margen de error}^2}$$

##### 3.3.1.4.1 Mampostería de bloque

Se consideran los mismos valores de la desviación estándar (0.749), margen de error (10%) con un T de 90%.

**TABLA 3.9** ITERACIONES PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE ENSAYOS (MAMPOSTERÍA DE BLOQUE)

Iteración	Número de Ensayos $m = \frac{t^2 * s^2}{\text{margen de error}^2}$	t (Tabla T-Student)	Margen de Error	Desviación estandar
M0	29	1,3114	10,00%	0,7485
M1	96	1,2231	10,00%	0,7485
M2	84	1,2783	10,00%	0,7485
M3	92	1,2415	10,00%	0,7485
M4	86	1,2691	10,00%	0,7485
M5	90	1,2507	10,00%	0,7485
M6	88	1,2599	10,00%	0,7485
M7	89	1,2553	10,00%	0,7485
M8	88	--	--	--

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

Realizando el proceso iterativo se obtiene como resultado (utilizando la tabla del ANEXO 3) en la novena iteración que se necesitan por lo menos 88 ensayos para obtener un nivel de confianza del 90% con un 10% de error para la mampostería de bloque considerando su misma desviación estándar.

#### 3.3.1.4.2 Mampostería de ladrillo

Se consideran los mismos valores de la desviación estándar (0.749), margen de 10% error y un T de 90%.

**TABLA 3.10** ITERACIONES PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE ENSAYOS (MAMPOSTERÍA DE LADRILLO)

Iteración	Número de Ensayos $m = \frac{t^2 * s^2}{\text{margen de error}^2}$	t (Tabla T-Student)	Margen de Error	Desviación estandar
M0	29	1,3114	10,00%	0,6613
M1	75	1,2932	10,00%	0,6613
M2	73	1,2936	10,00%	0,6613
M3	73	--	--	--

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

Realizando el proceso iterativo se obtiene como resultado (utilizando la tabla del ANEXO 3) en la cuarta iteración que se necesitan por lo menos 73 ensayos para

obtener un nivel de confianza del 90% con un 10% de error para la mampostería de bloque considerando su misma desviación estándar.

### 3.3.1.5 Cálculo del coeficiente de variación

Para obtener el porcentaje de variación de los datos se procede a calcular con la ecuación 2.3 el coeficiente de variación para ambos tipos de mampostería, los resultados se muestran en la TABLA 3.11

**TABLA 3.11** COEFICIENTES DE VARIACIÓN PARA DE MAMPOSTERÍA (BLOQUE Y LADRILLO)

	Coeficiente de Variación	
	Bloque	Ladrillo
Daño Leve	80,54%	34,00%
Daño Severo	57,27%	63,56%
Daño Moderado	46,76%	34,25%
Colapso	61,18%	37,13%

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Como se puede apreciar en la TABLA 3.11 existe un menor coeficiente de variación respecto a la mampostería de ladrillo; una de las posibles causas puede ser que existen menor cantidad de datos (ensayos), además se puede observar que las menores dispersiones de datos se encuentran en el daño moderado.

## 3.4 DEFINICIÓN DE PROPIEDADES DEL PROGRAMA SEISMOSTRUCT

### 3.4.1 CONCEPTOS GENERALES

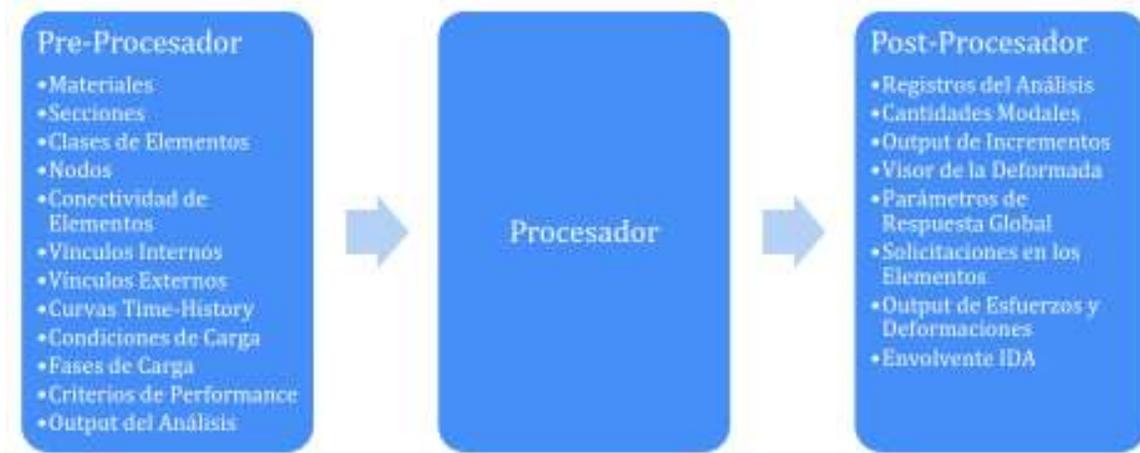
*“SeismoStruct es un paquete computacional de Elementos Finitos para el análisis estructural, capaz de predecir el comportamiento en marcos espaciales bajo cargas estáticas o dinámicas, tomando en cuenta no linealidades geométricas e inelasticidad en materiales (Seismosoft, 2016).”*

El programa está compuesto de 3 módulos principales como se puede observar en la FIGURA 3.18:

- **Pre-Procesador:** en el cual se establecen los datos de entrada del modelo estructural.

- **Procesador:** en este se efectúa el análisis de la estructura.
- **Post- Procesador:** en el que finalmente se procesan los resultados.

**FIGURA 3.18** ESTRUCTURA DEL SOFTWARE (SEISMOSTRUCT)



**FUENTE:** (Seismosoft, 2016)

Para el uso del software no se requiere de la configuración de archivos, ni de codificación, ni ningún tipo de edición de textos compleja. Además, los resultados se muestran mediante una interfaz completamente gráfica con la cual se puede visualizar en tiempo real la curva de desplazamiento y la deformada de la estructura. (Seismosoft, 2016)

Una gran ventaja al utilizar este programa es que utiliza una gran variedad de modelos los cuales son constituidos de materiales para el hormigón, acero, mampostería (infill panel / panel de relleno), conexiones, etc., cada uno de los modelos que se pueden emplear se detallan en el manual de Seismostruct. (Seismosoft, 2016).

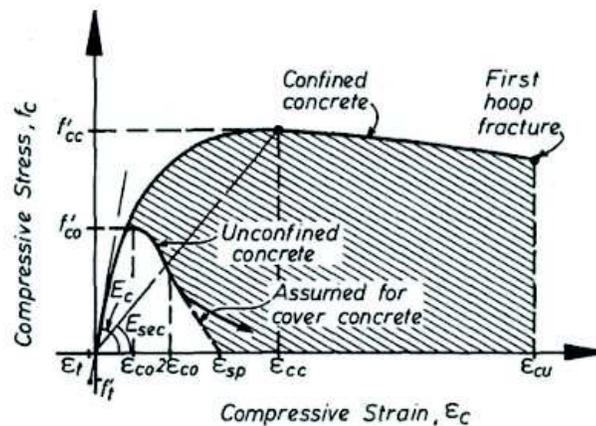
### 3.4.2 MODELO DEL HORMIGÓN

Se utiliza el Modelo no lineal de Mander et. al. (1988) FIGURA 3.19 en el cual se presenta la diferencia entre el hormigón confinado que tiene mayor capacidad en esfuerzo y deformación debido a su refuerzo transversal y longitudinal a comparación del hormigón no confinado. Para poder utilizar este modelo se necesita conocer los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión -  $f_c$
- Resistencia a la tracción -  $f_t$
- Módulo de Elasticidad –  $E_c$
- Deformación al valor pico del esfuerzo –  $\epsilon_c$
- Peso específico -  $\gamma$

Estos pueden ser obtenidos mediante ensayos o valores típicos recomendados por diferentes bibliografías. En el presente estudio se hace énfasis al hormigón no confinado por lo que la primera fractura en estribo no se toma en cuenta.

**FIGURA 3.19** MODELO NO LINEAL PARA EL HORMIGÓN)



**FUENTE:** (Mander et. al, 1988)

### 3.4.3 MODELO DEL ACERO

Para la calibración de este elemento se utiliza el modelo de Menegotto-Pinto que se basa en un modelo uniaxial que relaciona esfuerzo y deformación simple, en este consta de dos etapas zona elástica y zona plástica las cuales que (Menegotto, 1973) las relaciona mediante tangentes.

Para poder definir este tipo de modelo se necesita conocer los siguientes parámetros:

- Módulo de Elasticidad –  $E_s$
- Límite de fluencia –  $f_y$
- Parámetro de endurecimiento por deformación –  $\mu$
- Parámetro de forma inicial de la curva de transición –  $R_o$

- Coeficientes de calibración de la forma de la curva de transición – a1, a2
- Coeficientes de calibración del endurecimiento isotrópico – a3, a4
- Deformación de rotura/pandeo -  $\epsilon_{ult}$
- Peso específico –  $\gamma$

**FIGURA 3.20** CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO (MODELO MENEGOTTO-PINTO)



**FUENTE:** (Albuja & Pantoja, 2017)

En la FIGURA 3.20 se presentan la curva esfuerzo deformación del acero idealizada para el modelo de (Menegotto, 1973), en la cual la línea de color amarilla representa la zona elástica, la línea de color naranja la zona plástica y la de color azul es la pendiente en tren el punto de fluencia y el punto de ruptura; este modelo utiliza la siguiente ecuación 3.24.

$$Esp = \frac{f_{ult} - f_y}{\epsilon_{ult} - \epsilon_y} \quad (3.24)$$

Donde:

$f_{ult}$  = Esfuerzo último del acero

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero

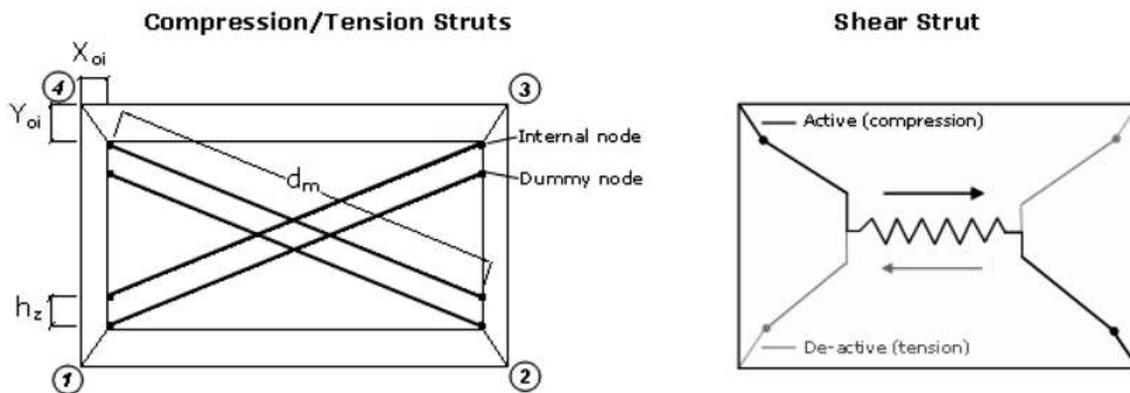
$\epsilon_{ult}$  = Deformación unitaria última del acero

$\epsilon_y$  = Deformación unitaria de fluencia del acero

### 3.4.4 MODELO DE LA MAMPOSTERÍA (INFILL PANEL)

Este tipo de modelo fue desarrollado y programado por Crisafulli (1997), en donde el panel está representado por seis bielas; en cada dirección diagonal se encuentran distribuidas dos bielas paralelas que transfieren la carga hacia las esquinas opuestas en diagonal, y la tercera se encarga de transmitir el corte desde la parte superior hasta la parte inferior del panel (su activación depende de la deformación del panel y únicamente trabaja si una de las bielas se encuentra a compresión) como se lo puede observar en la FIGURA 3.21.

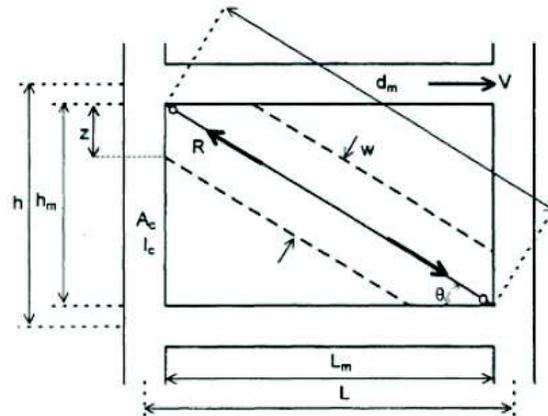
**FIGURA 3.21** MODELO IDEALIZADO DE LA MAMPOSTERÍA EN SEISMOSTRUCT



**FUENTE:** (Seismosoft, 2016)

Para entender de mejor manera este tipo de elemento (FIGURA 3.22), es necesario conocer las propiedades de la mampostería, sus características geométricas y ciertos parámetros de ensayos de resistencia a la compresión y corte del elemento mampostería los cuales se definen a continuación.

**FIGURA 3.22** ESPESOR EFECTIVO DEL PUNTAL DIAGONAL



**FUENTE:** (Crisafulli F., 1997)

### 3.4.4.1 Propiedades

#### 3.4.4.1.1 Características generales del panel

- **Espesor del panel ( $t$ ).** Se considera el ancho de las piezas de mampostería.
- **Deriva de colapso fuera del plano.** Se define como un porcentaje de la altura del pórtico, cuando el panel alcanza una deriva fuera del plano, este (sin considerar el pórtico) ya no contribuye a la resistencia ni a la rigidez del sistema, se puede tomar el valor por defecto de un 5%.
- **Área de la biela 1 ( $A1$ ).** Este valor se obtiene del producto entre el espesor del panel ( $t$ ) y el ancho del puntal equivalente ( $bw$ ).

$$A1 = bw * t \quad (3.25)$$

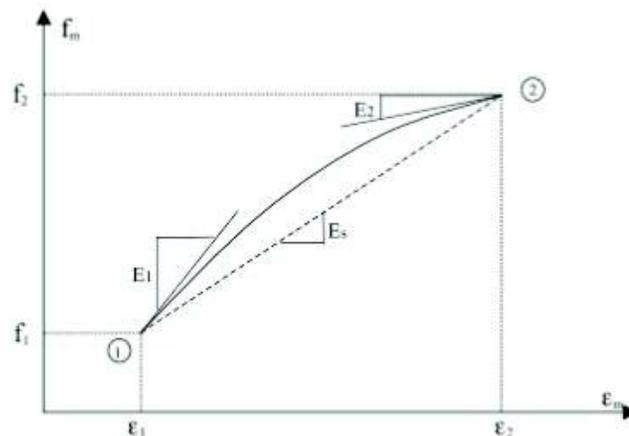
El valor de  $bw$  depende de las características de los pórticos, los materiales y el tipo de unión en los nodos, así también como la carga aplicada; pero mediante varios estudios se han determinado que estos valores pueden ser  $1/3$  o  $1/4$  de  $d_m$ , donde  $d_m$  es la longitud de la diagonal del panel, pero se utiliza la ecuación 3.6 que recomienda el programa (Seismosoft, 2016).

- **Área de la biela 2 ( $A2$ ).** Representa un porcentaje de  $A1$  y se produce por la fisuración que presenta el panel, consecuentemente disminuye la longitud de contacto del pórtico, mientras el desplazamiento lateral aumenta;

afectando la rigidez inicial y la capacidad máxima de la estructura como se lo puede observar en la FIGURA 3.23 donde la pendiente  $E_1$  (inicial) es mayor que la pendiente  $E_2$  (final) (Seismosoft, 2016).

**FIGURA 3.23** ZONA PLÁSTICA DE LA CURVA DE CAPACIDAD

**FUENTE:** (Smyrou et. al, 2011)



- **Longitud equivalente de contacto (hz).** Es un porcentaje de la altura vertical del panel, la que equivale a la distancia entre los nodos ficticios internos y representa la interacción entre el pórtico y la mampostería; se consideran valores entre  $\frac{1}{3}z$  a  $\frac{1}{2}z$ , donde  $z$  se obtiene mediante la ecuación 3.26 (Seismosoft, 2016).

$$z = \frac{1}{2} * \pi \lambda^{-1} \quad (3.26)$$

Donde  $\lambda$  es un parámetro adimensional de rigidez relativa que se calcula con la ecuación 3.27:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{Em * tw * \sin(2\theta)}{4 * Ec * Ic * hw}} \quad (3.27)$$

Donde:

$Em$ = Módulo de elasticidad de la mampostería (bloque).

$tw$ = Espesor del panel.

$\theta$ = Ángulo de la biela diagonal con respecto a las vigas.

$E_c$ = Módulo de elasticidad del hormigón de las columnas.

$I_c$ = Inercia de la sección de las columnas.

$h_w$ = Altura del panel.

$$h_z = \frac{1}{3}z \text{ a } \frac{1}{2}z$$

$$h_z = \frac{h_z}{h_w} \quad (3.28)$$

Otra forma de obtener el ancho del puntal ( $b_w$ ) es mediante la ecuación 3.29:

$$b_w = \left( \frac{k_1}{\lambda h} + k_2 \right) * d_m \quad (3.29)$$

Donde:

$d_m$ = Longitud de la diagonal del panel.

$\lambda h$ = Producto entre  $\lambda$  y la altura del pórtico.

$K_1, K_2$ : Constantes que depende de  $\lambda h$ .

**TABLA 3.12** VALORES DE  $K_1$  Y  $K_2$ , PARA VALORES DE  $\lambda h$

$\lambda h$	$K_1$	$K_2$
< 3.14	1.30	-0.18
3.14-7.85	0.71	0.01
>7.85	0.47	0.04

**FUENTE:** (Smyrou, 2016)

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

- **Reducción horizontal del panel de relleno ( $X_o$ ).** Representa el porcentaje de la longitud horizontal del panel, como se puede observar en la FIGURA 3.21 la cual indica la distancia entre el nodo exterior e interior.
- **Reducción horizontal del panel de relleno ( $Y_o$ ).** Representa el porcentaje de la longitud vertical del panel, como se puede observar en la FIGURA 3.21 la cual indica la distancia entre el nodo exterior e interior.
- **Proporción de la rigidez asignada a corte.** Este parámetro es calculado automáticamente por el programa, y representa la rigidez que presenta el panel, la cual es asignada al resorte de corte, el programa recomienda tomar

valores entre 0.2 y 0.6; sin embargo, se presentan dos ecuaciones (3.30, 3.31) con las que se puede definir de mejor manera la rigidez de la biela ( $K_A$ ) y la rigidez a corte ( $K_S$ ). (Seismosoft, 2016)

$$K_A = (1 - \gamma_S) \frac{A_{ms} * E_m}{2 * d_m} \quad (3.30)$$

$$K_S = \gamma_S * \frac{A_{ms} * E_m}{d_m} \quad (3.31)$$

- **Peso específico ( $\gamma$ ).** Es la relación entre la masa y el volumen del elemento mampostería, se lo obtiene mediante ensayos de laboratorio. El programa asigna un valor por defecto de 10 kN/m<sup>3</sup>.

#### 3.4.4.1.2 Características mecánicas del panel

- **Módulo de Elasticidad ( $E_m$ ,  $E_b$ ,  $E_j$ ).** Este valor es propio de cada material y representa la pendiente inicial de la curva esfuerzo deformación, existen diversas formas de obtener este dato como se puede observar en el cuadro.

Para el módulo de elasticidad de las piezas de mampostería ( $E_b$ ) se usa la ecuación 3.32 propuesta por (López & Ushiña, 2017), la cual fue desarrollada con mamposterías locales, y depende de la resistencia a compresión de la unidad de mampostería ( $f'_b$ ).

$$E_b = 237 f'_b \quad (3.32)$$

Para calcular el módulo de elasticidad del mortero ( $E_j$ ), se usa la ecuación 3.33, la cual está relacionada directamente con la resistencia a compresión del mortero ( $f'_j$ ), la cual fue propuesta por (Crisafulli, 1997).

$$E_j = 1000 * f'_j \quad (3.33)$$

Para el módulo de elasticidad del panel de mampostería ( $E_m$ ) debido a la gran incertidumbre que existe en la fabricación de este material y tras varios estudios se puede considerar un rango de  $400 * f_m < E_m < 1000 * f_m$  (Seismosoft, 2016), además, para este parámetro se realizó una extensa consulta en investigaciones realizadas dentro y fuera del país, así como

también, se realizó cálculos con las recomendaciones de SeismoStruct sin arrojar buenos resultados durante la calibración de los modelos computacionales. No existe un método específico para calcular el módulo de elasticidad para mampostería, y las fórmulas empíricas que existen tienen variabilidad y un gran porcentaje de error como se puede evidenciar en el rango (muy amplio) propuesto por (Crisafulli, 1997), el cual es tomado como referencia en el software SeismoStruc 2016, por lo tanto, luego de varias iteraciones, se encontró que las fórmulas que más se ajustan a los resultados ensayados, fueron las de la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010, la cual establece algunas ecuaciones para calcular dicho módulo en dos casos de ensayos para muretes sometidos a ensayo de tracción diagonal.

**TABLA 3.13** MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BARRO Y CONCRETO SEGÚN NORMA NMX-C-464-ONNCCE-2010

MAMPOSTERÍA, TABIQUES Y BLOQUES DE CONCRETO	
para cargas de corta duración:	$E_m = 800f'm$
para cargas sostenidas:	$E_m = 350f'm$
PARA MAMPOSTERÍA DE TABIQUES DE BARRO Y OTRAS PIEZAS EXCEPTO LAS DE CONCRETO:	
para cargas de corta duración:	$E_m = 600f'm$
para cargas sostenidas:	$E_m = 350f'm$

**FUENTE:** (SIDUE, 2017., recuperado de:

<http://www.sidue.gob.mx/doctos/2017/normas>)

De la TABLA 3.13 se usa  $E_m = 800f'm$  para muros de bloques de concreto y  $E_m = 600f'm$  para muros de ladrillo, donde  $f'm$  es la resistencia a compresión y  $E_m$  el módulo de elasticidad, dichas fórmulas se encuentran dentro del rango del programa, por lo que se usan para la modelación en paquete computacional SeismoStruct.

- **Resistencia a la compresión ( $f'm$ ).** El módulo de compresibilidad de un material cuantifica su resistencia a la compresión uniforme y, por ende,

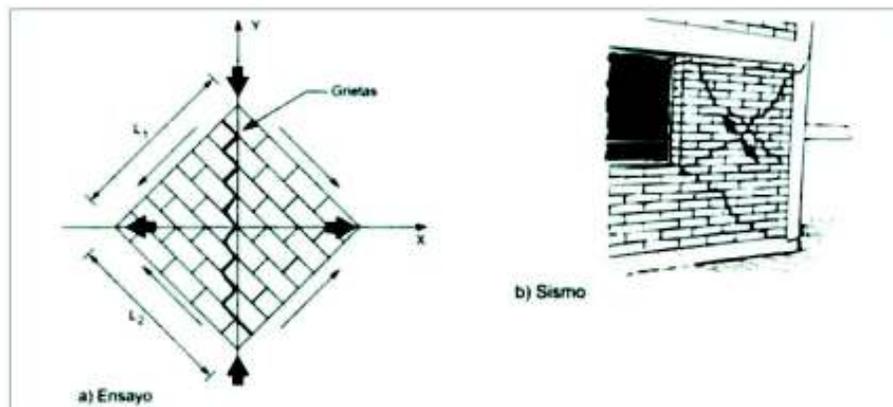
especifica el aumento de la presión para causar una disminución unitaria en un volumen dado. La resistencia a la compresión por si sola es la principal propiedad del bloque, los valores altos de la resistencia a la compresión indican una buena calidad para todos los fines estructurales, mientras que valores bajos indican que la mampostería tendrá poca resistencia y durabilidad.

SeismoStruct define a la resistencia de compresión como una capacidad diagonal del panel, esta idealización se basa en el puntal equivalente, donde el comportamiento de la mampostería es simulado por barras diagonales que trabajan solo a compresión.

Para el análisis del ancho del puntal equivalente se toma en cuenta el agrietamiento del panel cuando es sometido a acciones cíclicas, como se explica en la sección 3.4.4.1.1

El modo que se utilizará para el cálculo del módulo de compresión es el correspondiente a la Falla por tracción diagonal, el ensayo a tracción diagonal de muretes es el ensayo que mejor describe el modo de falla de pórticos rellenos de mampostería expuestos a sismos, estos modos de falla son muy similares como se expone en la FIGURA 3.24.

**FIGURA 3.24** SIMILITUD DEL MODO DE FALLA ENTRE EL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL Y MAMPOSTERÍAS EXPUESTAS A SISMOS

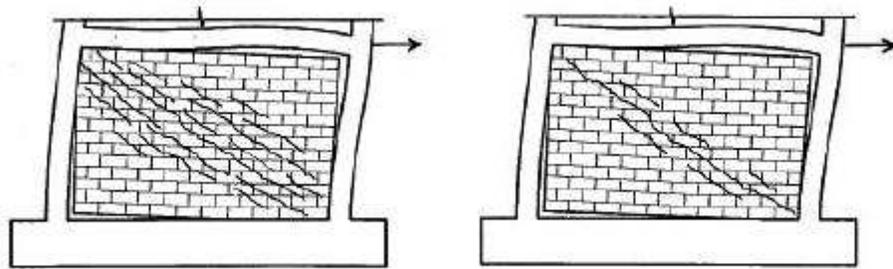


**FUENTE:** (Gallegos & Casabone, 2005)

- **Falla por tracción diagonal**

Cuando la tensión principal a tracción sobrepasa a la resistencia a tracción de la mampostería se presentan grietas diagonales en el cuerpo de la mampostería (FIGURA 3.25), esta condición hace más evidente la debilidad de la unidad de mampostería con relación al mortero (Crisafulli, 1997).

**FIGURA 3.25** AGRIETAMIENTO POR TENSIÓN DIAGONAL



**FUENTE:** (Crisafulli F., 1997)

$$f_{m\theta} = \frac{0.6f_{ws} + 0.3\sigma_v}{\frac{b_w}{d_w}} \quad (3.34)$$

Donde:

$f_{w\theta}$  = Resistencia a compresión.

$f_{ws}$  = Resistencia al corte bajo compresión diagonal.

$\sigma_v$  = esfuerzo vertical de compresión debido a las cargas gravitatorias, cuando son paredes portantes es 0.

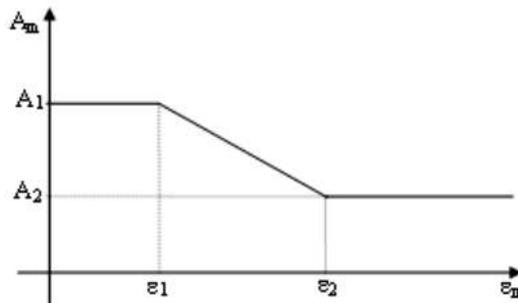
$b_w$  = Ancho del puntal equivalente.

$d_w$  = Longitud de la diagonal.

- **Resistencia a la tracción ( $f_t$ ).** Representa la resistencia a la tracción del mampuesto, el cual el programa lo recomienda como cero ya que en comparación a la resistencia a la compresión prácticamente este valor es nulo. (Seismosoft, 2016)
- **Deformación correspondiente al esfuerzo máximo ( $\epsilon_m$ ).** Representa el valor a la deformación al esfuerzo máximo de la mampostería.

- **Deformación última ( $\epsilon_u$ ).** Es la deformación máxima que se presenta en la curva de capacidad de la mampostería, se encuentra cuando existe un cambio brusco de pendiente, si no existe esta información se recomienda utilizar un valor aproximado de  $20 \epsilon_m$ . (Crisafulli 1997)
- **Deformación de cerramiento ( $\epsilon_{cl}$ ).** Se presenta cuando las fisuras empiezan a cerrarse lo que permite que se desarrollen los esfuerzos a compresión. (Crisafulli 1997)
- **Deformación de reducción del área de la biela ( $e_1$ ), deformación residual del área de la biela ( $e_2$ ).** Son las encargadas de controlar el cambio de pendiente en la zona plástica de la curva de capacidad como se puede observar en la FIGURA 3.26.

**FIGURA 3.26** VARIACIÓN DEL ÁREA DEL PUNTAL



**FUENTE:** (Seismosoft, 2016)

Dado a que en los ensayos realizados no presentan gran cantidad de información que requiere el programa; (Crisafulli, 1997) ha desarrollado rangos de valores (TABLA 3.14) en base a ensayos en mamposterías para poder ejecutar de manera correcta la calibración, estos factores se muestran a continuación.

- **Factor de rigidez de descarga ( $\Upsilon_{un}$ ).**
- **Factor de recarga de la deformación ( $\alpha_{re}$ ).**
- **Factor de recarga de la inflexión ( $\alpha_{ch}$ ).**
- **Factor de deformación de descarga completa ( $\beta_a$ ).**
- **Factor de inflexión de estrés ( $\beta_{ch}$ ).**

- **Factor de rigidez de tensión cero ( $Y_{pu}$ ).**
- **Factor de rigidez de recarga ( $Y_{pr}$ ).**
- **Factor de rigidez de descarga de plástico ( $ex_1$ ).**
- **Factor de deformación de ciclo repetido ( $ex_2$ ).**

**TABLA 3.14** PARÁMETROS SUGERIDOS PARA LA CALIBRACIÓN DE MODELOS DE MAMPOSTERÍA

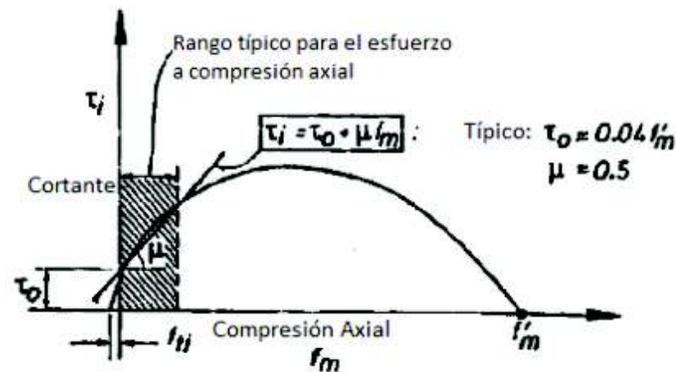
Constante	Valores Sugeridos	Valores Limites
Ach	0.3 - 0.6	0.1 - 0.7
Are	0.2 - 0.4	> 0
Ba	1.5 - 2.0	> 0
Bch	0.6 - 0.7	0.5 - 0.9
Yun	1.5 - 2.5	> 1
$Y_{pu}$	0.5 - 0.7	0 - 1.0
$Y_{pr}$	1.1 - 1.5	> 1.0
e1	1.5 - 2.0	> 0
e2	1.0 - 1.5	> 0

**FUENTE:** (Crisafulli, 1997)

#### 3.4.4.1.3 *Parámetros de corte*

- **Resistencia al corte por adherencia ( $\zeta$ ).** Representa la fuerza a corte que existe debido a la unión entre el mampuesto y mortero, los rangos de este valor van desde 0.1 a 4.5 [MPa] (Seismosoft, 2016).
- **Coefficiente de fricción ( $\mu$ ).** Se determina mediante la interacción entre el mampuesto y el mortero, debido a su difícil interpretación esta toma valores de 0.1 a 1.2 (Seismosoft, 2016).
- **Máxima resistencia al corte ( $\zeta_{max}$ ).** Se establece según el tipo de unión que existe entre la mampostería y el mortero, representa la máxima resistencia y adherencia que tienen estos materiales; y se puede obtener mediante la ecuación 3.35 como se observa en la FIGURA 3.27 (Seismosoft, 2016).

**FIGURA 3.27** INTERACCIÓN ESFUERZO CORTANTE - ESFUERZO A COMPRESIÓN



**FUENTE:** (Paulay & Priestley, 1992)

$$\zeta_{max} = \zeta + \mu * f'm \quad (3.35)$$

Donde:

$\zeta = 0.01 * f_m$  (recomendado).

$\mu =$  valores entre 0.1 a 1.2 (depende del ensayo).

$f_m =$  resistencia a la compresión.

- **Factor de reducción de corte.** Se obtiene mediante la relación que existe entre la máxima resistencia al corte y la tensión media del panel, los valores van desde 1.4 a 1.65 (Seismosoft, 2016).

### 3.5 MODELACIÓN EN EL PROGRAMA SEISMOSTRUCT

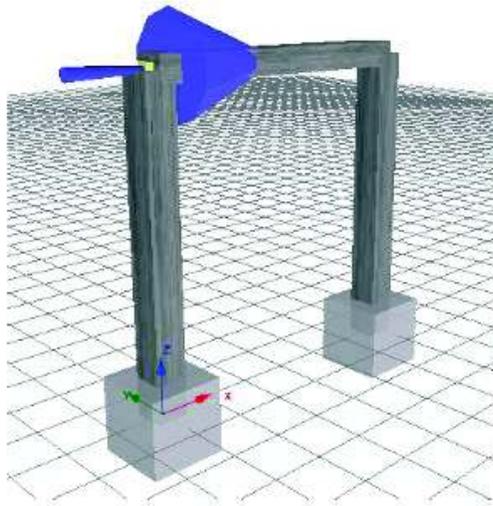
Después de un previo estudio de los ensayos realizados en el CIV, tomando en cuenta los datos y especificaciones de cada proyecto y estudio de pórticos de relleno, se utiliza la calibración y el modelo de la tesis Albuja D., Pantoja J. considerando que posee mayor cantidad de información detallada tanto de su método constructivo, ensayos de los materiales empleados, planos y especificaciones técnicas, como de los daños que se van generando durante el ensayo a carga lateral en el pórtico.

Tomando en cuenta que el programa da como resultado los daños que se generan en los elementos estructurales (vigas y columnas) en base a los datos de los materiales ensayados, se puede evidenciar los daños que se van generando durante la aplicación de una carga monolítica incremental, pero el inconveniente surge al querer obtener los daños que se van presentando en el panel de relleno (mampostería) los cuales no son analizados por el software, para lo cual es indispensable tener los registros para evidenciar las fallas que se producen durante dicho ensayo, o a su vez analizando las curvas de capacidad del panel de relleno para cada nivel de daño como se lo explicó en la sección 2.4.

### 3.5.1 CALIBRACIÓN PARA EL MODELO DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE

Con todos los parámetros analizados en la tesis de Albuja D., Pantoja J. se procede a realizar modelos utilizando los ensayos a tracción diagonal de los muretes (bloque), considerando la modelación del pórtico (FIGURA 3.28) y su curva de capacidad (FIGURA 3.29) que al final no tendrá influencia en el cálculo de las curvas de fragilidad ya que se desprecia su rigidez como se detalló en la sección 3.1.1.

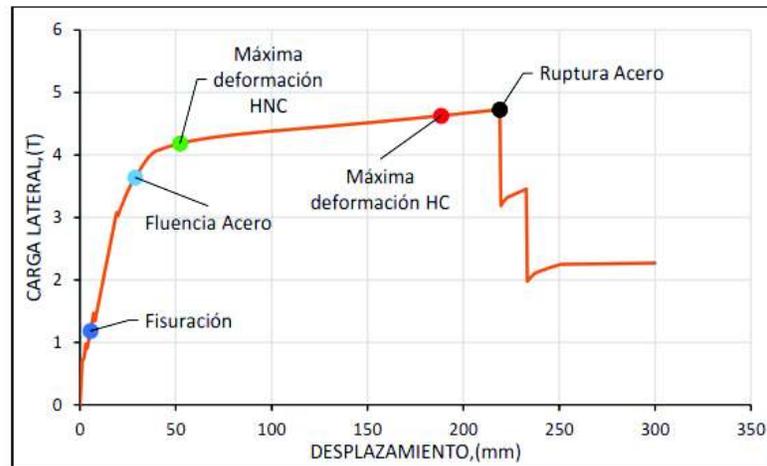
**FIGURA 3.28** MODELO PÓRTICO



**FUENTE:** (Seismosoft, 2016)

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 3.29** CURVA DE CAPACIDAD Y PROGRESO DE DAÑO - PÓRTICO



**FUENTE:** (Albuja & Pantoja, 2017)

Las características y propiedades de la modelación que se van a usar como base se encuentran detalladas en el ANEXO 4. Se variaron los parámetros que se obtuvieron de los ensayos a tracción diagonal de los muretes de mampostería (TABLA 3.4, TABLA 3.5 y FIGURA 3.16).

Existen varios parámetros que influyen en el comportamiento en la curva de capacidad del pórtico los cuales son: el módulo de elasticidad de la mampostería el cual afecta directamente al área del puntal; la resistencia a compresión que afecta a los valores relacionados a la resistencia a corte de la mampostería; y la deformación última que interviene en el comportamiento de la zona elástica de la curva de capacidad, es decir en su rigidez.

En la TABLA 3.15 se subrayan los parámetros que se modificarán en los modelos según las características de la mampostería, obtenidas en los ensayos de los muretes y aplicando las ecuaciones ya mencionadas que nos facilita el manual del programa SeismoStruct.

**TABLA 3.15 PARÁMETROS MODIFICADOS PARA CADA MURETE (BLOQUE)**

Características de la mampostería		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Espesor del panel - t		0,15			m
Deriva de Colapso Fuera del plano		5			% LV
Área de la Biela 1 - A1		0,112	[10-40]%		m <sup>2</sup>
Área de la Biela 2 - A2		70			% A1
Longitud equivalente de contacto - hz		1,00	[1/3 a 1/2] z		% LV
Compensaciones horizontales y verticales	Xo	5,95			% LH
	Yo	4,00			% LV
Proporción de la rigidez asignada al corte - Ys		35	[20-60]		%
Peso específico Y		17,15			Kn/m <sup>3</sup>
Parámetros de la curva de la Biela		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Módulo de elasticidad inicial - Em		928888,938	[350fm-1000fm]	1600000	Kpa
Resistencia a compresión - f $\theta$		928,827		1000	Kpa
Resistencia a tracción - ft		0,01		0	Kpa
Deformación correspondiente al esfuerzo máximo - $\epsilon$ m		0,00012	0.001-0.005	0,0012	m/m
Deformación última - $\epsilon$ u		0,0027	-	0,024	m/m
Deformación del cerramiento - $\epsilon$ cl		0,01	0-0.003	0,004	m/m
Deformación de reducción del área de la biela y deformación residual del área de la biela	$\epsilon$ 1	0,00004	[0.0003-0.0008]	0,0006	m/m
	$\epsilon$ 2	0,0007	[0.0006-0.016]	0,001	m/m
Factor de rigidez de descarga inicial, Yun		2	[1.5-2.5]	1,5	
Factor de recarga de la deformación, $\alpha$ re		1,5	[0.2-0.4]	0,2	
Factor de recarga de la inflexión, $\alpha$ ch		0,6	[0.1-0.7]	0,7	
Factor de deformación de descarga completa, $\beta$ a		1,5	[1.5-2]	1,5	
Factor de inflexión de estrés, $\beta$ ch		0,7	[0.5-0.9]	0,9	
Factor de rigidez de tensión cero, $\Upsilon$ pu		1	-	1	(-)
Factor de rigidez de recarga, $\Upsilon$ pr		1,1	-	1,5	(-)
Factor de rigidez de descarga de plástico, $\epsilon$ x1		1,5	-	3	(-)
Factor de deformación de ciclo repetido, $\epsilon$ x2		1,4	-	1,4	(-)
Parámetros de la Curva de Corte		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Resistencia al corte por adherencia $\tau$ ao		27,86	[300-600] Hendry	300	Kpa
			[100-1500] Paulay	300	Kpa
			[100-700] Shrive	300	Kpa
Coeficiente de fricción, $\mu$		0,4	[0.1-1.2]	0,7	(-)
Máxima resistencia al corte, $\tau$ ao Max		603,31	-	600	Kpa
Factor de reducción de corte		1,5	[1.4-1.65]	1,5	(-)

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Los datos de las propiedades de los materiales y secciones del pórtico se encuentran especificados en el ANEXO 4.

### 3.5.2 CALIBRACIÓN PARA EL MODELO DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO

Siguiendo las mismas consideraciones de la sección 3.6.1 se utiliza el modelo desarrollado por el Centro de la Investigación de la Vivienda para los ensayos realizados por la Ing. Rosa Alomoto, estos parámetros y factores se encuentran especificados en el ANEXO 4, con los cuales se realizan los modelos con los datos de la TABLA 3.5.

En la TABLA 3.16 se subrayan los parámetros que se modifican en los modelos según las características de la mampostería, obtenidas en los ensayos de los muretes y aplicando las ecuaciones ya mencionadas que nos facilita el manual del programa SeismoStruct.

**TABLA 3.16 PARÁMETROS MODIFICADOS PARA CADA MURETE (LADRILLO)**

Características de la mampostería		Modelo	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Espesor del panel - t		0.137			m
Deriva de Colapso Fuera del plano		5			% LV
Área de la Biela 1 - A1		0.125	[10-40]%		m2
Área de la Biela 2 - A2		50			% A1
Longitud equivalente de contacto - hz		14.26	[1/3 a 1/2] z		% LV
Compensaciones horizontales y verticales	Xo	4.31			% LH
	Yo	3.57			% LV
Proporción de la rigidez asignada al corte - Ys		20	[20-60]		%
Peso específico Y		10.96			Kn/m3

Parámetros de la curva de la Biela		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Módulo de elasticidad inicial - Em		843316	[350fm-1000fm]	1600000	Kpa
Resistencia a compresión - fθ		702.76		1000	Kpa
Resistencia a tracción - ft		0		0	Kpa
Deformación correspondiente al esfuerzo máximo - εm		0.005	0.001-0.005	0,0012	m/m
Deformación última - εu		0.024	-	0,024	m/m
Deformación del cerramiento - εcl		0.0015	0-0.003	0,004	m/m
Deformación de reducción del área de la biela y deformación residual del área de la biela	ε1	0.0003	[0.0003-0.0008]	0,0006	m/m
	ε2	0.0016	[0.0006-0.016]	0,001	m/m
Factor de rigidez de descarga inicial, Yun		2.5	[1.5-2.5]	1,5	
Factor de recarga de la deformación, αre		0.4	[0.2-0.4]	0,2	
Factor de recarga de la inflexión, αch		0.4	[0.1-0.7]	0,7	
Factor de deformación de descarga completa, βa		1.5	[1.5-2]	1,5	
Factor de inflexión de estrés, βch		0.7	[0.5-0.9]	0,9	
Factor de rigidez de tensión cero, γpu		1	-	1	(-)
Factor de rigidez de recarga, γpr		1.5	-	1,5	(-)
Factor de rigidez de descarga de plástico, ex1		3	-	3	(-)
Factor de deformación de ciclo repetido, ex2		1.4	-	1,4	(-)

Parámetros de la Curva de Corte		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Resistencia al corte por adherencia tao		81.662	[300-600] Hendry	300	Kpa
			[100-1500] Paulay		Kpa
			[100-700] Shrive		Kpa
Coeficiente de fricción, μ		0.3	[0.1-1.2]	0,7	(-)
Máxima resistencia al corte, tao Max		292.46	-	600	Kpa
Factor de reducción de corte		1.5	[1.4-1.65]	1,5	(-)

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Para modelar la mampostería se debe calcular los módulos de elasticidad compresión y corte de cada murete descritos en la sección 3.5.4.1.2, estas propiedades mecánicas están relacionadas entre sí y son diferentes para cada murete debido a varios factores como los materiales, mano de obra, materia prima

y de las características de los ensayos. A continuación, se realiza un ejemplo de cómo calcular cada una de las propiedades mecánicas.

### 3.5.3 EJEMPLO DE CÁLCULO DE PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN PARA LOS MODELOS

#### 3.5.3.1 Determinación de la resistencia al corte

Para determinar esta resistencia se usó la fórmula que se muestra en la norma NEC-15

$$V_m = \frac{P}{Dt} \left( \frac{kg}{cm^2} \right) \quad (3.36)$$

Donde:

$V_m$ = Resistencia a corte por ensayo a compresión diagonal de la mampostería.

$P$ = carga máxima

$D$ =longitud de la diagonal

$t$ = espesor de la muestra

Como ejemplo tomaremos el murete 1 de bloque que tiene los siguientes datos

Muestra	Dimensiones			P (T)
	a (cm)	b (cm)	d (cm)	
1	82	83	114	3,990

Donde:

$a$ : base del murete.

$b$ : alto del murete.

$c$ : diagonal del murete.

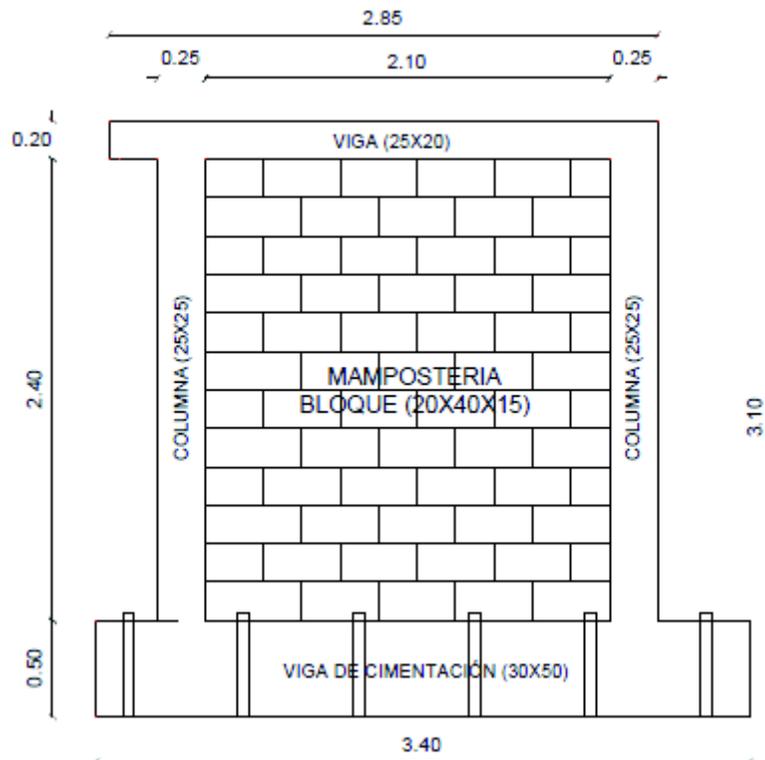
Entonces tenemos

$$V_m = \frac{3990}{(114)(15)} = 2.333 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] = 228.49 [Kpa]$$

### 3.5.3.2 Cálculo del parámetro $\lambda$

Para el cálculo de la resistencia a la compresión de los muros se tomó para la modelación el pórtico de la tesis de Albuja D., Pantoja J., que está representado en la FIGURA 3.30.

**FIGURA 3.30** PÓRTICO PARA EL MODELADO DE MURETES



**FUENTE:** (Albuja & Pantoja, 2017)

Por ejemplo, para poder determinar el módulo de elasticidad de la unidad de bloque se requiere los datos de compresión del mampuesto ( $f'b$ ), se tomó igual a 24.58 [kg/cm<sup>2</sup>] el cual se obtuvo del proyecto de titulación de (Gualacata & Ortega, 2017) para este cálculo se emplea las fórmulas 3.19; además, se requiere el módulo de elasticidad de las columnas del pórtico el cual se tomó de la tesis de (Albuja & Pantoja, 2017), él tiene un valor de 179306.89 [kg/cm<sup>2</sup>].

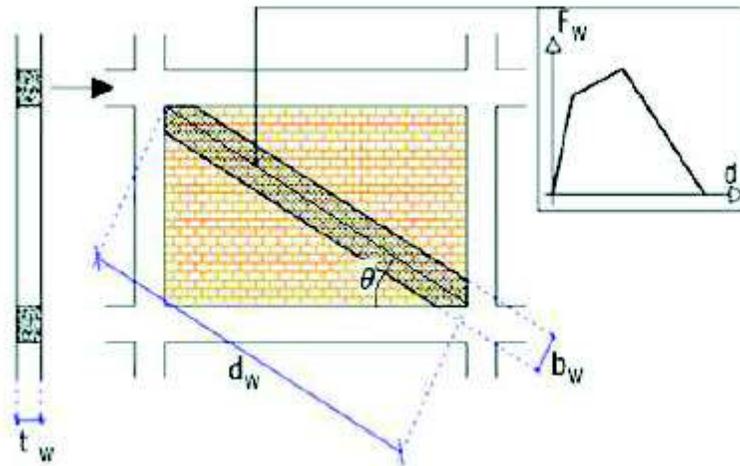
- Módulo de elasticidad de la unidad de bloque

$$Eb = 237 * f' b \quad (3.32)$$

$$Eb = 237 * (24.58) = 5825.46 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Se tiene que calcular la longitud del puntal equivalente, así como su ángulo de inclinación dentro del pórtico como se explica en la FIGURA 3.31

**FIGURA 3.31** MODELO PUNTAL EQUIVALENTE A COMPRESIÓN



**FUENTE:** (Fiore A., Mezzina M., Porco F., Uva g., 2013)

$$d_w = \sqrt{2.40^2 + 2.1^2} = 3.189 [m] = 318.90 [cm]$$

$$\theta = \arctang\left(\frac{2.4}{2.1}\right) = 48.8140^\circ$$

Se calculó el momento de inercia de las columnas:

$$I_c = \frac{25 * 25^3}{12} = 32552.0833 [cm^4]$$

Se calcula el parámetro de rigidez adimensional con la ecuación 3.27

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{Eb * t_w * \sin(2\theta)}{4 * Ec * Ic * h_w}} \quad (3.27)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{5825.46 * 15 * \sin(2(48.8140))}{4 * 179306.8988 * 32552.0833 * 240}}$$

$$\lambda = 0.01115$$

Con este valor se obtiene los parámetros K1 y K2 del modelo de (Bertoldi S.H., 1993) que expresan en la TABLA 3.12.

$$\lambda * h_{Total} = 0.01115 * (260) = 2.89$$

$$k_1 = 1.3 \quad y \quad k_2 = -0.18$$

Se calcula la relación  $\frac{b_w}{d_w}$ , con la expresión 3.29 que se muestra a continuación

$$\frac{b_w}{d_w} = \frac{k_1}{\lambda h_{total}} + k_2 \quad (3.29)$$

$$\frac{b_w}{d_w} = \frac{1.3}{2.89} - 0.18 = 0.2698$$

$$b_w = d_w * 0.2698$$

$$b_w = 3.189 * 0.2698 = 0.86 [m]$$

Para calcular la resistencia a la compresión de la mampostería se usa la ecuación 3.11, sabiendo que en la mampostería  $\sigma_v = 0$  (esfuerzo por carga vertical) ya que no se tienen cargas verticales, se tiene:

$$f_{m\theta} = \frac{0.6f_{ws} + 0.3\sigma_v}{\frac{b_w}{d_w}} \quad (3.34)$$

$$f_{m\theta} = \frac{0.6(2.333) + 0}{0.2698} = 5.1816 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] = 507.9845 [Kpa]$$

### 3.5.3.3 Cálculo del área de la biela (A1)

Para el cálculo del lado de la biela 1 se emplea la ecuación 3.2.

$$A1 = bw * t \quad (3.25)$$

$$A1 = 0.86 * 0.15 = 0.129 \text{ m}^2$$

### 3.5.3.4 Cálculo de la longitud de contacto equivalente (hz)

Para calcular este parámetro se necesita conocer el valor de z dado por la ecuación 3.3.

$$z = \frac{1}{2} * \pi * \lambda^{-1} \quad (3.26)$$

$$z = \frac{1}{2} * \pi * (0.01115)^{-1} = 140.87 \text{ [m]}$$

De esto se debe tomar valor de 1/3 a 1/2 de z

$$\frac{1}{3} * z = \frac{1}{3} * 140.87 = 46.95 \text{ [m]}$$

Se requiere saber qué porcentaje representa z en h, para lo cual se sugiere la ecuación 3.24 (Seismosoft, 2016).

$$hz = \frac{z}{h} \quad (3.28)$$

$$hz = \frac{46.95}{2.6} = 18.05$$

### 3.5.3.5 Cálculo del módulo de elasticidad

Como se explicó en el apartado 3.4, el módulo de elasticidad tiene una gran variabilidad y varias normas técnicas dan fórmulas empíricas que no ajustan sus resultados a los módulos experimentales, por esto se optó y como se explica en la misma sección (sección 3.4) por usar las ecuaciones de la TABLA 3.13 expresadas en la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010. Entonces, ya que este es un parámetro que se tiene de ensayos, para bloque se tiene:

$$E_m = 800f_m [Kpa] \quad (3.37)$$

$$E_m = 800(718.7953) = 575036.262 [Kpa]$$

Para los muretes de ladrillo se sigue el mismo proceso, con la excepción del módulo de elasticidad, en el que se usa la siguiente ecuación propuesta en la sección 3.4:

$$E_m = 600f_m \quad (3.38)$$

Estos parámetros se ingresan en SeismoStruct en Kilo-Pascales en el modelo de infill panel, para el modelo de mampostería el módulo de Young inicial (módulo de elasticidad), Resistencia a la compresión y máxima resistencia al corte.

### 3.5.3.6 Cálculo de la resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión del muro de mampostería se usa la ecuación 3.11, sabiendo que en la mampostería  $\sigma_v = 0$  (esfuerzo por carga vertical) ya que no se tienen cargas verticales, se tiene:

$$f_{m\theta} = \frac{0.6f_{ws} + 0.3\sigma_v}{\frac{b_w}{d_w}} \quad (3.34)$$

$$f_{m\theta} = \frac{0.6(2.333) + 0}{0.2698} = 5.1816 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] = 507.9845 [Kpa]$$

### 3.5.3.7 Cálculo de la resistencia al corte por adherencia ( $\tau$ )

Para este cálculo se utiliza la fórmula 6.15 recomendada por el programa SeismoStruct

$$\zeta_{max} = \zeta + \mu * f'_m \quad (3.35)$$

Donde:

$$\zeta_{max} = V_m = 223.57 [KPa]$$

$\mu = 0.3$  coeficiente de fricción

$f'_m = 507.98 [KPa]$  resistencia a la compresión

$$223.57 = \zeta + 0.3 * 507.98$$

$$\zeta = 71.176 [Kpa]$$

En la siguiente TABLA 3.17 se presentan los parámetros (proveniente de los muretes) que se modifican para cada uno de los modelos del pórtico relleno, estos solo se modifican en el infill panel, manteniéndose los datos de la TABLA 3.15 ya especificados.

**TABLA 3.17** PARÁMETROS PARA MODIFICAR EN CADA MODELO (INFILL PANEL) SEISMOSTRUCT (BLOQUE)

MUESTRAS	Características de la mampostería (bloque)						
	Área de la Biela 1 - A1 [m <sup>2</sup> ]	Longitud equivalente de contacto - hz [%LV]	Módulo de elasticidad inicial - Em [Kpa]	Resistencia a compresión - f <sub>θ</sub> [Kpa]	Deformación última - ε <sub>u</sub> [m/m]	Resistencia al corte por adherencia tao [Kpa]	Máxima resistencia al corte, tao Max [Kpa]
MURETE B1	0,129	18,05	575036,262	507,98	0,005368	71,17	223,57
MURETE B2	0,125	18,15	583875,432	503,66	0,003985	75,912	227,01
MURETE B3	0,124	17,86	622273,869	536,79	0,003549	80,903	241,94
MURETE B4	0,128	18,58	531223,975	458,25	0,003039	69,065	206,54
MURETE B5	0,132	19,13	473140,53	408,13	0,003084	61,511	183,95
MURETE B6	0,129	18,62	526756,275	454,39	0,001798	68,483	204,8
MURETE B7	0,117	16,92	773434,285	667,18	0,004698	100,556	300,71
MURETE B8	0,131	19,02	484129,443	417,62	0,002037	62,944	188,23
MURETE B9	0,129	18,74	513764,121	443,18	0,007018	66,796	199,75
MURETE B10	0,13	18,85	501823,625	432,89	0,005911	65,243	195,11
MURETE F1	0,14	20,34	370149,53	462,69	0,0021	121,063	259,87
MURETE F2	0,133	19,93	469321,67	586,65	0,0037	153,505	329,5
MURETE F3	0,157	22,96	227676,88	284,59	0,0031	74,463	159,84
MURETE F4	0,143	20,76	340816,92	426,02	0,0025	111,474	239,28

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**TABLA 3.18** PARÁMETROS PARA MODIFICAR EN CADA MODELO (INFILL PANEL) SEISMOSTRUCT (LADRILLO)

MUESTRAS	Características de la mampostería (ladrillo)						
	Área de la Biela 1 - A1 [m <sup>2</sup> ]	Longitud equivalente de contacto - hz [%LV]	Módulo de elasticidad inicial - Em [Kpa]	Resistencia a compresión - f <sub>θ</sub> [Kpa]	Deformación última - ε <sub>u</sub> [m/m]	Resistencia al corte por adherencia tao [Kpa]	Máxima resistencia al corte, tao Max [Kpa]
MURETE L1	0,118	18,36	372511,072	620,84	0,001298	22,42	115,55
MURETE L2	0,123	19,1	318168,304	530,27	0,002141	19,15	98,69
MURETE L3	0,127	19,8	275136,944	458,55	0,00307	16,56	85,34
MURETE L4	0,152	23,91	129503,66	215,83	0,000444	7,79	40,17
MURETE L5	0,115	17,79	422415,647	704,02	0,00339	25,42	131,03
MURETE L6	0,136	21,24	207958,472	346,59	0,00294	12,51	64,5
MURETE L7	0,114	17,69	431763,148	719,6	0,002593	25,98	133,92
MURETE L8	0,131	20,51	239018,782	398,36	0,001407	14,38	74,14
MURETE L9	0,145	22,71	158967,4	264,94	0,000952	9,56	49,31

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

## **CAPÍTULO 4**

### **OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD**

#### **4.1 ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE TODOS LOS ENSAYOS**

##### **4.1.1 CÁLCULO DE PROBABILIDADES**

El principal objetivo de la estadística es poder cuantificar determinada muestra en una población lo más parecido a la realidad. Para lo cual, es indispensable crear un modelo de esta realidad específica (objeto de estudio), partiendo del supuesto de que lo real es lo más complejo que se pueda construir en cualquier prototipo, los cuales permiten eludir la existencia del error entre la realidad y el modelo desarrollado; dichos modelos se sintetizan en funciones de probabilidad (Epidat4, 2014).

Teniendo en cuenta que la probabilidad se basa en una función que determina a cada posible resultado de un ensayo o investigación aleatoria un valor mayor a cero, tal que se cumpla la propiedad aditiva. Uno de los parámetros fundamentales de la teoría de probabilidades es la variable aleatoria la cual se puede establecer como cualquier característica ponderable que puede tomar diferentes valores con probabilidades establecidas. Además, toda variable aleatoria está fijada por una distribución de probabilidad que detalla su comportamiento (Epidat4, 2014).

La variable aleatoria puede ser discreta o continua. Si es discreta, la variable puede tomar valores aislados dentro de un intervalo determinado, su función de probabilidad detalla los valores posibles que pueda tomar teniendo en cuenta su probabilidad de ocurrencia, al contrario. Si es continua la variable puede tener cualquier valor en un intervalo y mediante su distribución de probabilidades se puede determinar las probabilidades pertinentes a subintervalos de valores (Epidat4, 2014).

Uno de los obstáculos más importantes ha sido elaborar modelos de distribuciones de probabilidad que permitan aparentar el comportamiento ideal de los distintos

fenómenos aleatorios que se presentan en la realidad. Para poder interpretar dichos fenómenos, ha surgido la necesidad de modelar prototipos que se aproximen a lo real; y con ayuda de estos poder interpretar y experimentar diversos casos que la realidad no lo permita, en conclusión, un modelo es extremadamente útil siempre y cuando se incluya la mayor cantidad de propiedades de este en su estructura para así poder predecir o interpretar cualquier situación o problema que se presenta en la naturaleza (Epidat4, 2014).

En este caso para la obtención de las curvas de fragilidad se utiliza una distribución de probabilidades continua, usualmente se utiliza la distribución normal, pero por la gran cantidad de variables aleatorias que existen en este estudio, se utiliza la distribución lognormal que se ajusta mejor a la realidad, a continuación, se presentan las características de dicha distribución empleada en este estudio.

#### **4.1.2 DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL**

##### **4.1.2.1 Definición**

“La variable resultante de aplicar la función exponencial a una variable que se distribuye normal con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$ , sigue una distribución lognormal con parámetros  $\mu$  (escala) y  $\sigma$  (forma). Dicho de otro modo, si una variable  $X$  sigue una distribución lognormal entonces la variable  $\ln X$  se distribuye normalmente (Epidat4, 2014).”

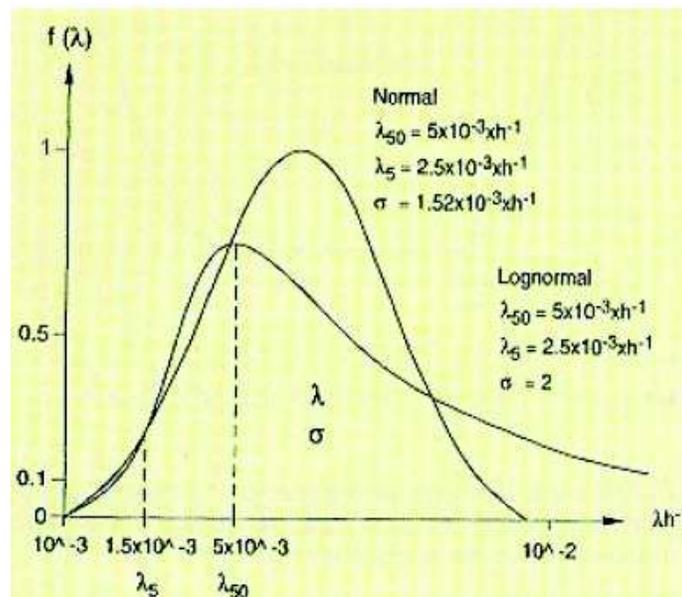
“La distribución lognormal se obtiene cuando los logaritmos de una Variable se describen mediante una distribución normal. Es el caso en el que las variaciones en la fiabilidad de una misma clase de componentes técnicos se representan considerando la tasa de fallos  $\lambda$  aleatoria en lugar de una variable constante (Tamborero del Pino & Cejalvo, 2008).”

##### **4.1.2.2 Características**

Según (Herrerías & Palacios, 2007) la distribución lognormal presenta las siguientes propiedades :

- Toma valores de las tasas y probabilidades de fallo que solamente pueden ser positivas (variables aleatorias mayores que cero).
- Como únicamente depende de dos parámetros (media, desviación estándar), se adapta bien a una gran cantidad de distribuciones empíricas.
- Es ideal para el estudio en los cuales los parámetros principales dependen de varias componentes aleatorias, es decir, múltiples efectos intervienen en la fiabilidad y comportamiento de un sistema.
- La media en una distribución lognormal es mayor que su mediana, de tal manera que da más importancia a los valores grandes de las medidas de fallo que en una distribución normal suponiendo los mismos percentiles del 5% y 50%, por lo que tiende a ser pesimista, como se lo puede observar en la FIGURA 4.1.

**FIGURA 4.1** COMPARACIÓN ENTRE LA DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL Y NORMAL CON LOS MISMOS PERCENTILES (5%, 50%)



**FUENTE:** (Tamborero del Pino & Cejalvo, 2008)

#### 4.1.2.3 Fórmulas

Están son aplicables para variables aleatorias no negativas.

La variable aleatoria  $X$  tiene una distribución lognormal si la variable aleatoria  $Y = \ln(X)$ , tiene una distribución normal.

**Función de densidad:**

$$f(x; u, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma x} e^{-\frac{[\ln(x)-u]^2}{2\sigma^2}}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

Donde:

**x**: variable aleatoria.

**u**: media muestral de Y (parámetro de ubicación).

**σ**: desviación estándar de Y (parámetro de escala).

**Media de la distribución lognormal**

$$E(X) = e^{u + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (4.2)$$

**Varianza de la distribución lognormal**

$$V(X) = e^{2u + \sigma^2} * (e^{\sigma^2} - 1) \quad (4.3)$$

**Distribución Acumulativa**

Dado que  $\ln(X)$  tiene una distribución normal, la función de distribución acumulativa de  $X$  puede relacionarse con la distribución acumulativa  $\Phi(z)$  de una variable aleatoria estándar  $Z$ .

$$\begin{aligned} F(x; u, \sigma) &= P(X \leq x) = P[\ln(X) \leq \ln(x)] = P\left(Z \leq \frac{\ln(x) - u}{\sigma}\right) \\ &= \Phi\left(\frac{\ln(x) - u}{\sigma}\right) \quad x \geq 0 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Para obtener la probabilidad de  $Z$  se emplean las tablas de la distribución normal.

**4.1.2.4 Aplicaciones de la distribución lognormal**

Entre las principales utilidades se tienen (Tamborero del Pino & Cejalvo, 2008):

- Es conveniente en la representación de fenómenos con efectos proporcionales como por ejemplo en los que, un cambio de variable en cualquier punto de un proceso representa una relación aleatoria de un valor previo de dicha variable.

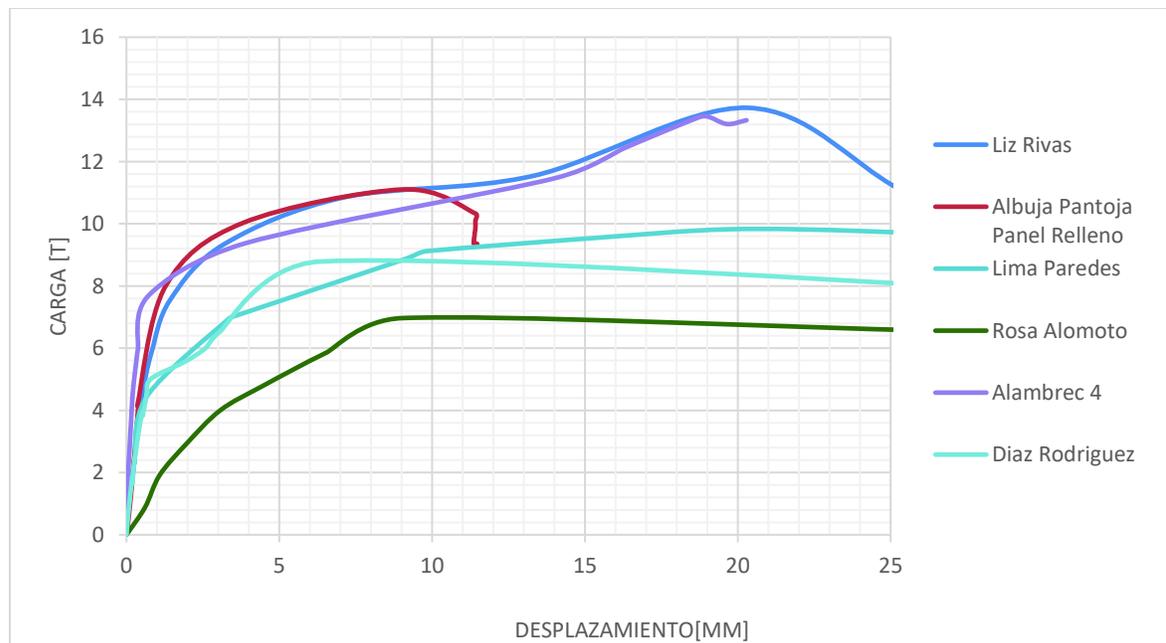
- Está relacionada con varios tipos de fallo como por ejemplo procesos técnicos, procesos continuos, fatiga de componentes metálicos, etc., los cuales están involucrados directamente con su tiempo de ejecución.
- Es esencial en la evaluación de sistemas que se pueden reparar, como en este caso las estructuras de pórtico con mampostería.

En general para la construcción de curvas de fragilidad se utiliza la función de distribución lognormal (HAZUS-MH 2.1, 2013), ya que asocia a varias características en una y siempre trabaja con valores positivos, que en este caso será el desplazamiento por lo cual no se considera una distribución normal.

## 4.2 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD CON DATOS EXISTENTES

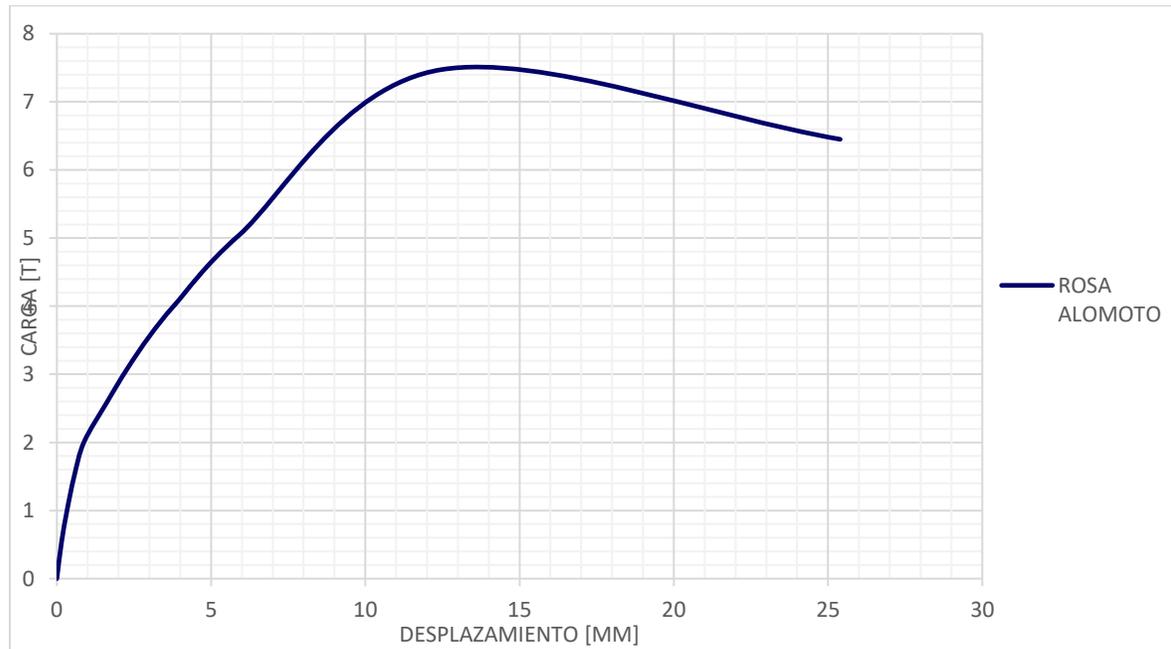
Para la obtención de las curvas de fragilidad de los dos tipos de mamposterías analizadas, se utiliza el método analítico probabilístico descrito en la sección 2.5, para lo cual primero se debe obtener las curvas de capacidad de la estructura (pórtico-mampostería de relleno), como se lo puede observar en la FIGURA 4.2 y 4.3.

**FIGURA 4.2** CURVAS DE CAPACIDAD PÓRTICOS DE RELLENO DE MAMPOSTERIA (BLOQUE)



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.3** CURVAS DE CAPACIDAD PÓRTICOS DE RELLENO DE MAMPOSTERÍA (LADRILLO)

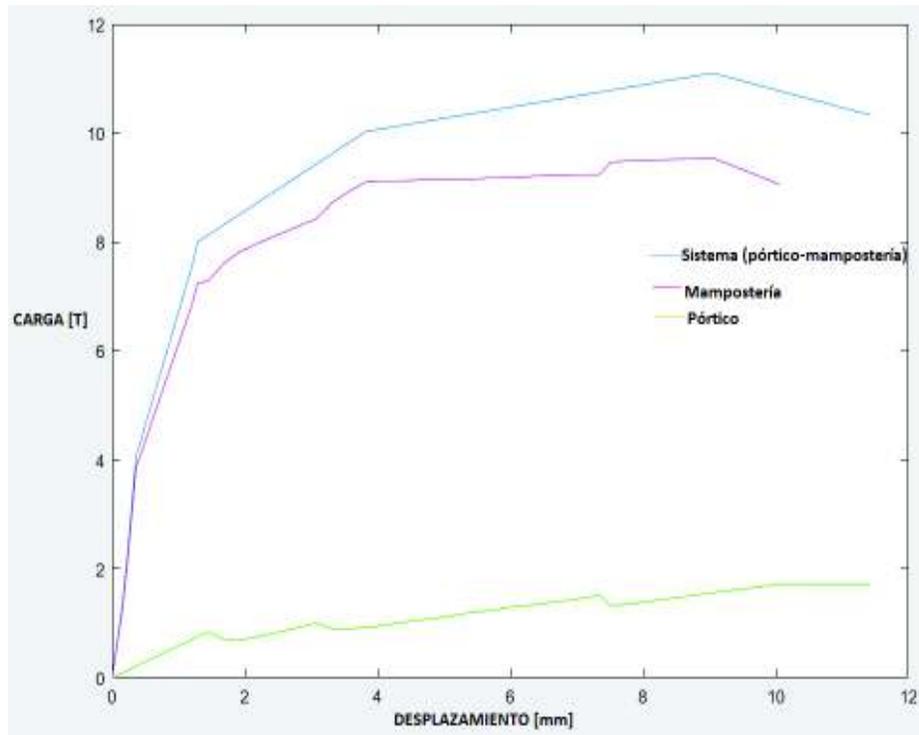


**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Como simplemente se necesita la rigidez de la mampostería, se procede a realizar el cálculo de esta mediante la aplicación de la condensación estática y con la ayuda de la codificación obtenida como se explica en la sección 3.1.2, de esta manera se puede obtener la curva de capacidad de la mampostería para poder identificar los diferentes puntos e identificar los niveles de daño de esta.

#### **4.2.1 EJEMPLO DE CÁLCULO DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍAS (BLOQUE, LADRILLO) DESPRECIANDO LA RESISTENCIA DEL PÓRTICOS**

A continuación, se utiliza como ejemplo la curva de capacidad del modelo del trabajo de titulación (Albuja & Pantoja, 2017) a la cual se le aplica la programación de los ANEXOS 2 (como se lo explico en la sección 3.1.1) utilizando las curvas de capacidad obtenidas del programa SeismoStruct y se obtienen las tres curvas de capacidad como se puede observar en la FIGURA 4.4.

**FIGURA 4.4** CURVAS DE CAPACIDAD SISTEMA, MAMPOSTERÍA, PÓRTICO

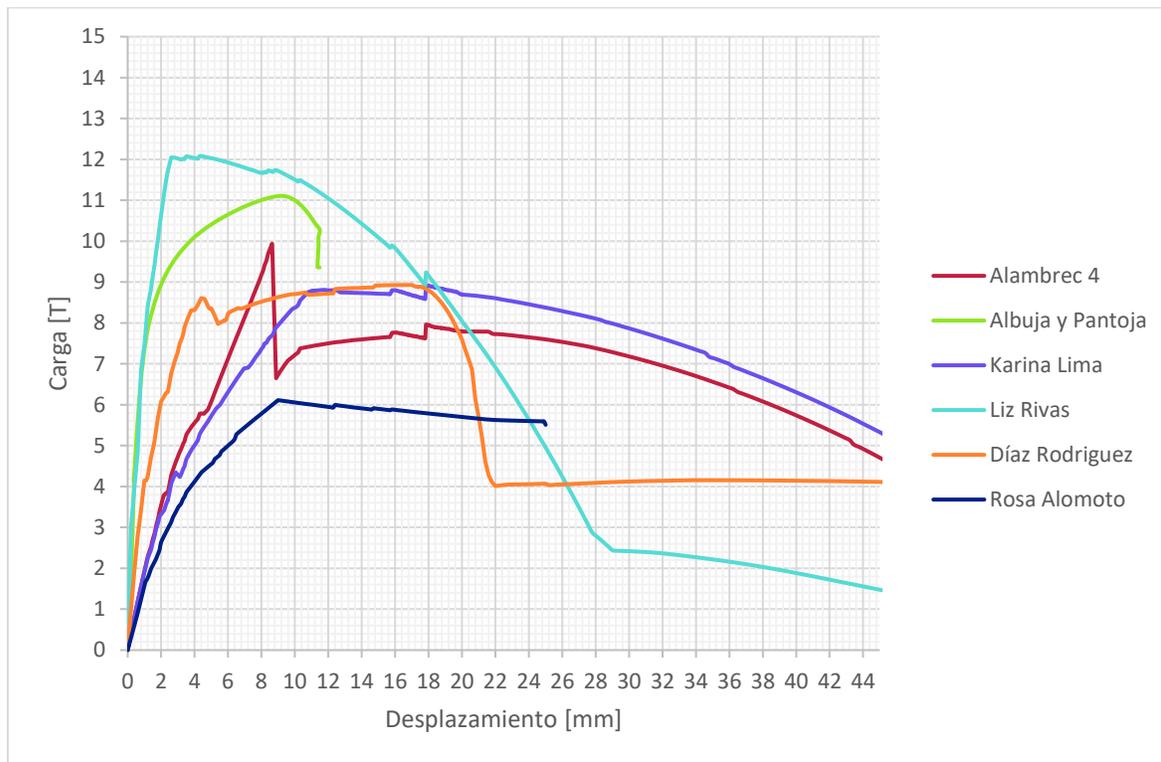
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Para el análisis final simplemente se toman las curvas de capacidad de la mampostería que es el objetivo de este estudio, este proceso se lo realiza para todos los modelos obtenidos tanto para ensayos experimentales y modelos obtenidos con los datos de los muretes ya expuestos.

#### 4.2.2 OBTENCIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍAS

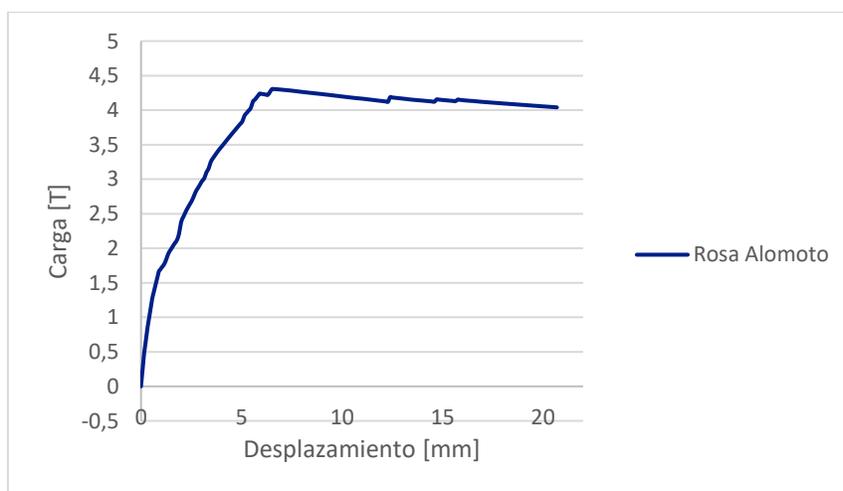
Realizando el mismo procedimiento (sección 4.2.1) para cada uno de los ensayos se obtienen las curvas de capacidad de la mampostería tanto para bloque (FIGURA 4.5) y ladrillo (FIGURA 4.6).

**FIGURA 4.5** CURVAS DE CAPACIDAD ENSAYOS (CIV) DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

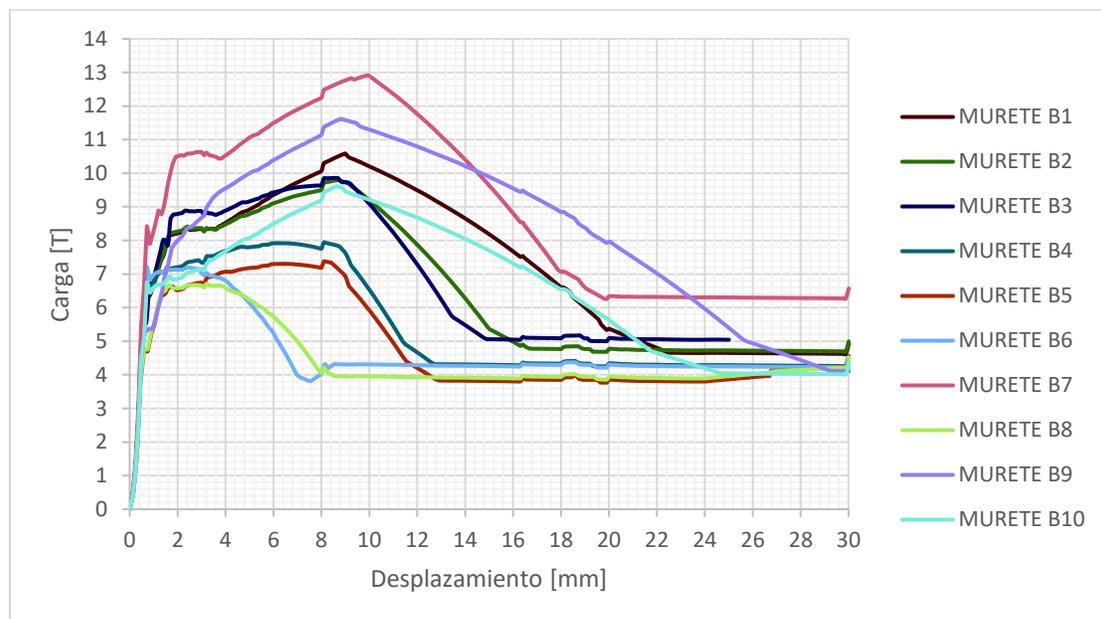
**FIGURA 4.6** CURVAS DE CAPACIDAD ENSAYOS (CIV) DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

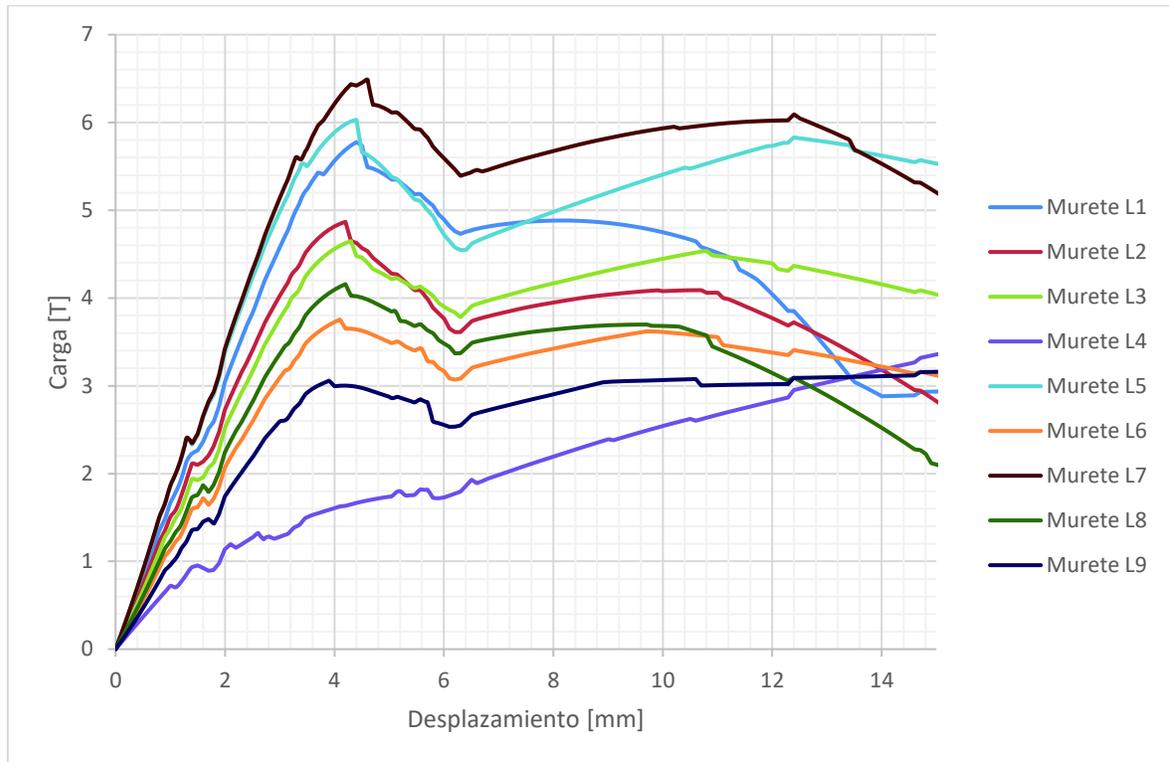
Como el espacio muestral es escaso, se procede a modelar más sistemas (pórtico-mampostería de relleno) con las consideraciones del SeismoStruct; realizando el procesamiento de datos de la TABLA 3.4 y 3.5 con los cuales se obtienen las curvas de capacidad de todas las modelaciones (FIGURA 4.7, 4.8) y de todos los ensayos (FIGURA 4.9, 4.10).

**FIGURA 4.7** CURVAS DE CAPACIDAD OBTENIDAS DE MODELOS UTILIZANDO LOS MURETES PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

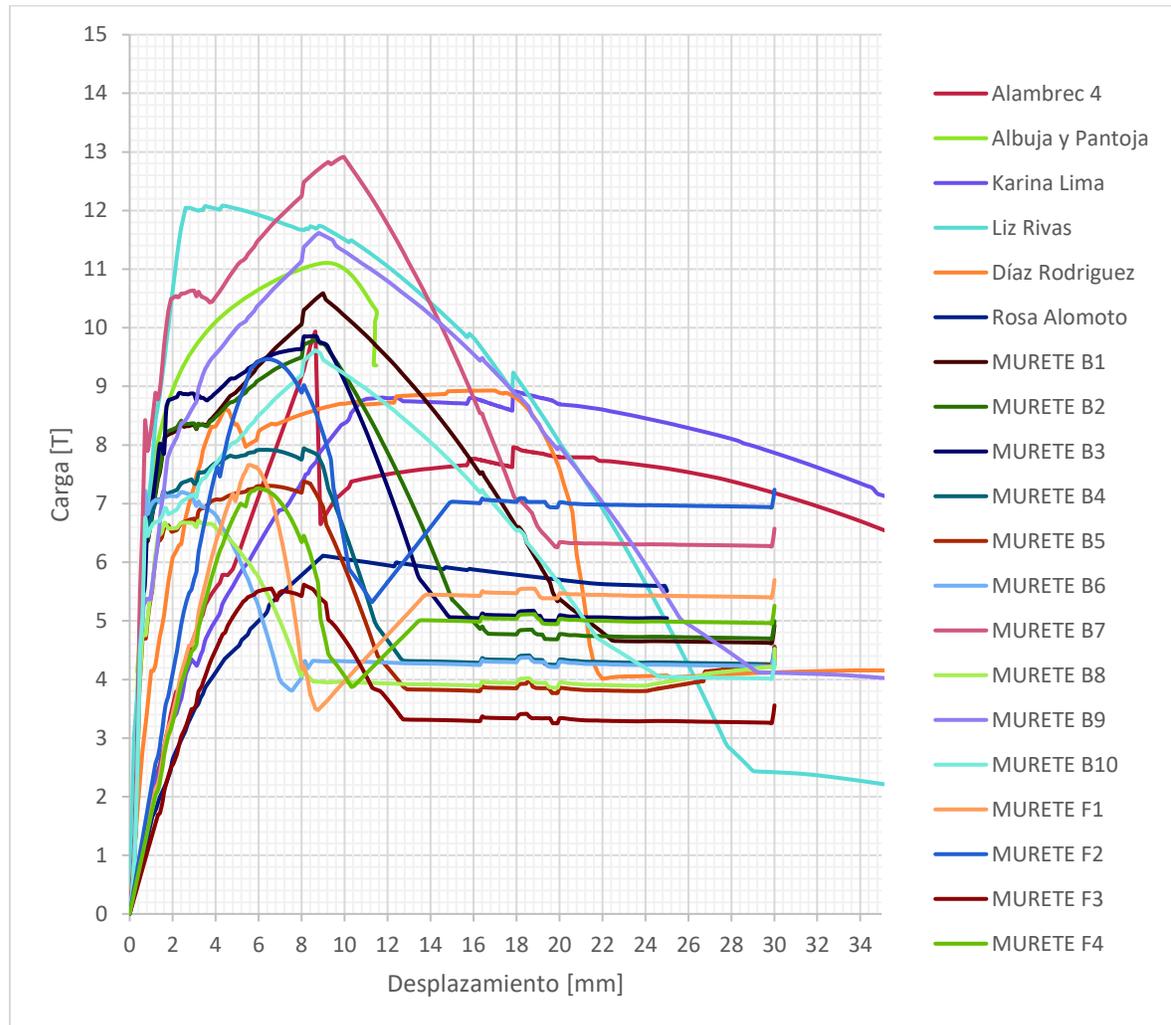
**FIGURA 4.8** CURVAS DE CAPACIDAD OBTENIDAS DE MODELOS UTILIZANDO LOS MURETES PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

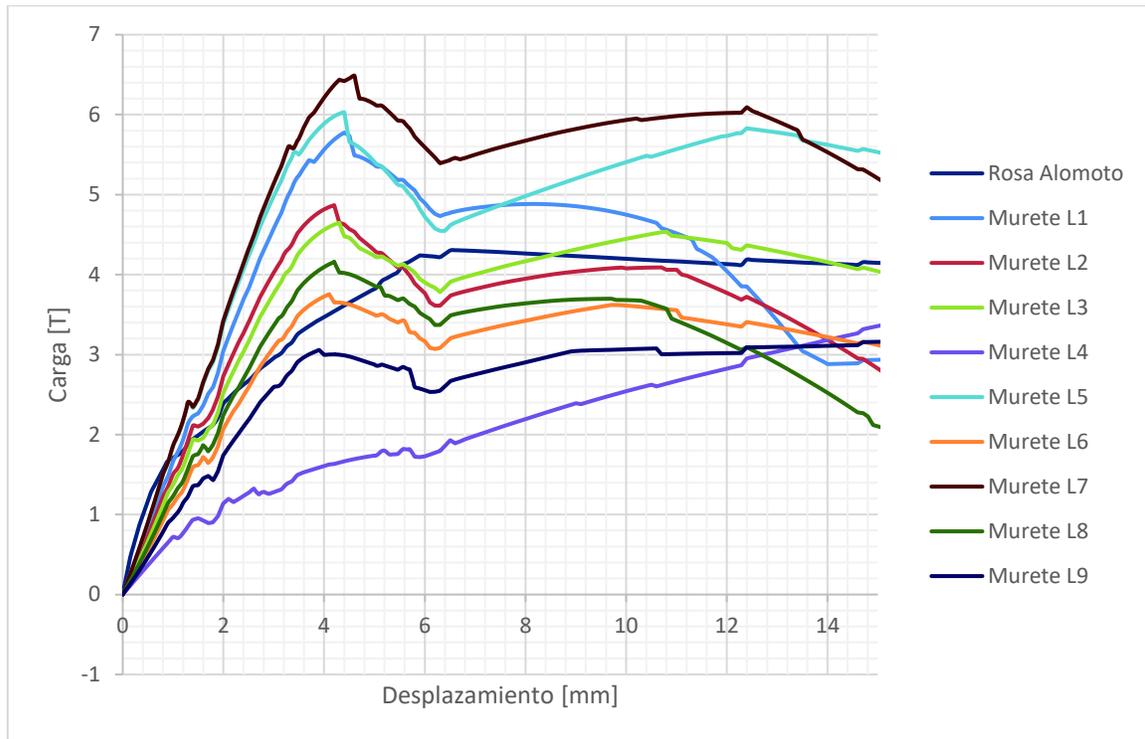
Finalmente se obtienen 20 curvas de capacidad para mampostería de bloque y 10 curvas de capacidad para mampostería de ladrillo como se detalla en las secciones 3.3.1.3.1 y 3.3.1.3.2 se tiene un nivel de confiabilidad de 72% para mampostería de bloque y 66.7% para mamposterías de ladrillo (sección 3.3.2.1 y 3.3.2.2) y lograr obtener buenas apreciaciones y aproximaciones a la realidad.

**FIGURA 4.9** RESULTADOS FINAL DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.10** RESULTADOS FINAL DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO

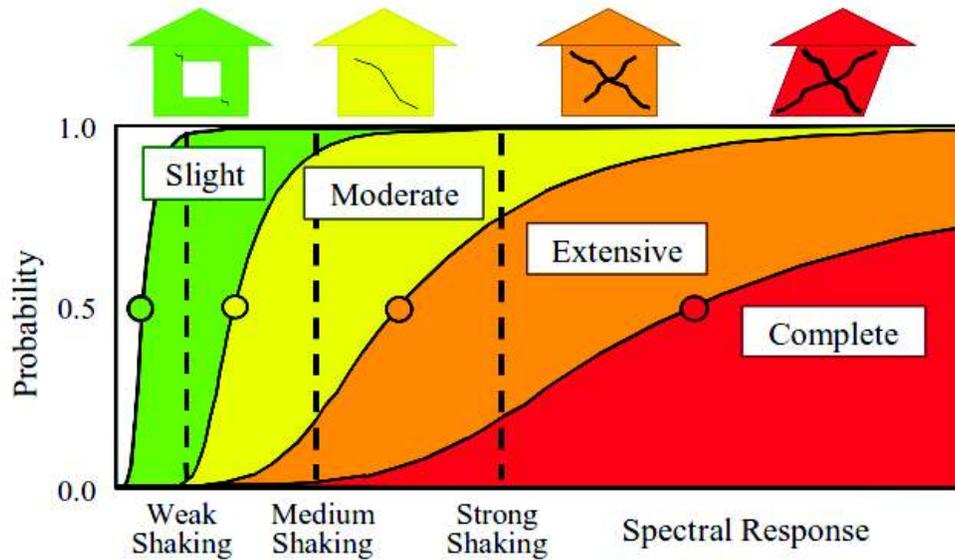


**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.2.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN LAS CURVAS DE CAPACIDAD DE MAMPOSTERÍAS

Se procede a identificar los puntos en los cuales haya un cambio considerable de la pendiente según lo expuesto en la sección 2.4, para convertir o sintetizar las curvas de capacidad en un modelo lineal y poder trabajarlas más fácilmente; se van a identificar cuatro puntos como se puede observar en la FIGURA 4.11.

**FIGURA 4.11** CURVAS DE FRAGILIDAD SEGÚN HAZUS-MH 2.1

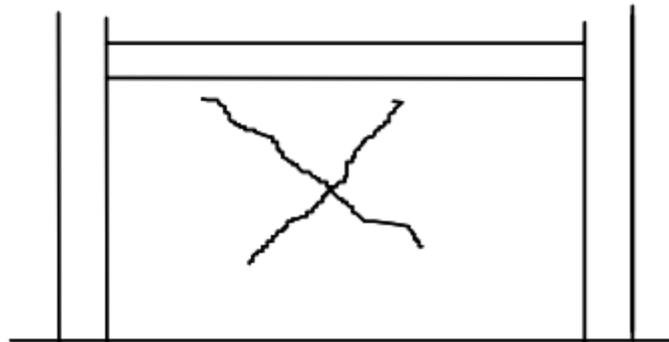


**FUENTE:** (HAZUS-MH 2.1, 2013)

- **Primera fisura Diagonal (Daño Leve)**

La fisuración se produce en las diagonales de la mampostería, esto se asocia principalmente con la ruptura del vínculo entre el mortero y el mampuesto como se puede observar en la FIGURA 4.12 (FEMA, 1998).

**FIGURA 4.12** PRIMERA FISURA DIAGONAL (DAÑO LEVE)

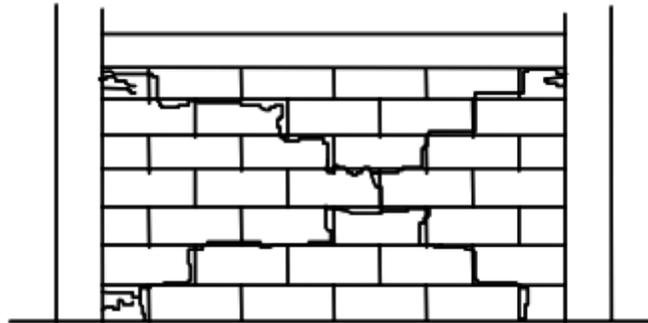


**FUENTE:** FEMA 306 (FEMA, 1998)

- **Degradación de Rigidez (Daño Moderado)**

Las grietas se extienden completamente al largo de las diagonales siguiendo las direcciones del mortero en forma de escalera, pero a veces se propaga a través de la mampostería como se puede observar en la FIGURA 4.13 (FEMA, 1998).

**FIGURA 4.13** DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ (DAÑO MODERADO)

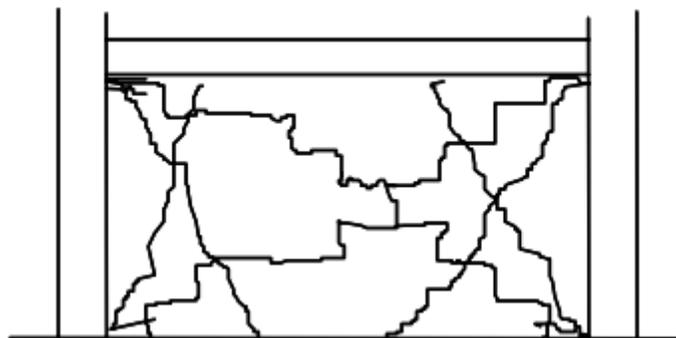


**FUENTE:** FEMA 306 (FEMA, 1998)

- **Degradación de Rigidez y Resistencia (Daño Severo)**

Las grietas se ensanchan aproximadamente a 1/8 " y generalmente se asocian con el aplastamiento de la esquina, pérdida considerable del mortero, se evidencia fisuras en las unidades de mampostería ya no solo en la diagonal del panel como se muestra en la FIGURA 4.14 (FEMA, 1998).

**FIGURA 4.14** DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ Y RESISTENCIA (DAÑO SEVERO)

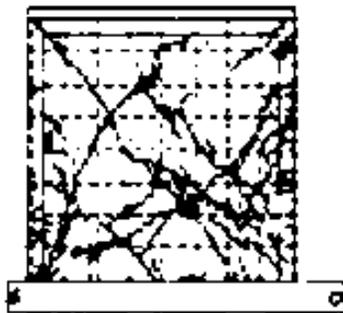


**FUENTE:** FEMA 306 (FEMA, 1998)

- **Colapso (Daño Total de la estructura)**

Los elementos de mampostería ya no aportan rigidez al sistema, además los elementos estructurales presentan fisuras en toda su longitud como se observa en la FIGURA 4.15 (Ruiz, 2009).

**FIGURA 4.15 COLAPSO**



**FUENTE:** (Ruiz, 2009)

#### 4.2.3.1 Curvas de Capacidad simplificadas y niveles de daño para mampostería (bloque)

Analizando minuciosamente la FIGURA 4.9 se obtuvieron los puntos en los cuales se producen los daños más notables en la mampostería. A continuación, se presenta en la TABLA 4.1 de cada una de las curvas de capacidad de mampostería con sus respectivos niveles de daño.

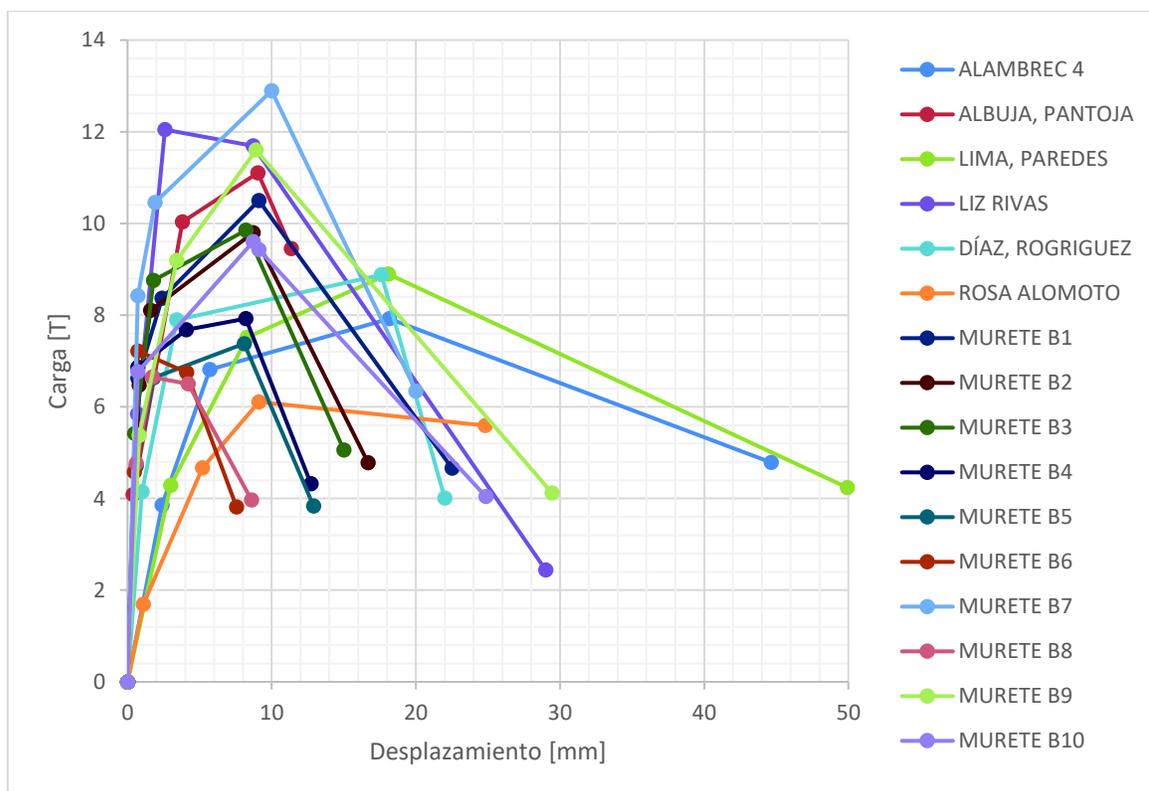
**TABLA 4.1 PUNTOS EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DAÑO EN LA MAMPOSTERÍA (BLOQUE)**

ENSAYO	NIVELES DE DAÑO REPRESENTADO EN DERIVA [%]							
	Primera fisura diagonal		Degradación de rigidez		Degradación de rigidez y resistencia		Colapso	
	Deriva [%]	Carga [T]	Deriva [%]	Carga [T]	Deriva [%]	Carga [T]	Deriva [%]	Carga [T]
ALAMBREC 4	0,100	3,853	0,238	6,813	0,757	7,921	1,860	4,783
ALBUJA, PANTOJA	0,016	4,085	0,159	10,031	0,377	11,104	0,473	9,449
LIMA, PAREDES	0,125	4,288	0,346	7,517	0,754	8,895	2,080	4,237
LIZ RIVAS	0,029	5,844	0,108	12,047	0,363	11,691	1,209	2,442
DÍAZ ROGRIGUEZ	0,042	4,148	0,142	7,895	0,733	8,878	0,917	4,011
ROSA ALOMOTO	0,046	1,693	0,217	4,666	0,379	6,106	1,034	5,594
MURETE B1	0,030	6,625	0,100	8,370	0,379	10,501	0,938	4,661
MURETE B2	0,033	6,475	0,067	8,104	0,363	9,796	0,695	4,780
MURETE B3	0,021	5,417	0,075	8,757	0,342	9,850	0,625	5,060
MURETE B4	0,030	6,860	0,170	7,681	0,342	7,924	0,530	4,318
MURETE B5	0,025	4,707	0,075	6,631	0,338	7,378	0,538	3,832
MURETE B6	0,020	4,580	0,030	7,217	0,171	6,750	0,315	3,811
MURETE B7	0,030	8,425	0,079	10,459	0,417	12,895	0,834	6,341
MURETE B8	0,025	4,765	0,071	6,646	0,175	6,504	0,358	3,964
MURETE B9	0,033	5,375	0,142	9,193	0,371	11,599	1,227	4,117
MURETE B10	0,030	6,763	0,363	9,603	0,379	9,429	1,035	4,045
MURETE F1	0,117	4,580	0,200	7,172	0,250	7,582	0,367	3,493
MURETE F2	0,171	7,597	0,235	9,306	0,338	9,021	0,471	5,331
MURETE F3	0,121	3,495	0,230	5,406	0,340	5,604	0,535	3,317
MURETE F4	0,120	4,479	0,229	7,110	0,340	6,395	0,434	3,884

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Después de la identificación de los puntos específicos (ANEXOS 5) donde se produce cada nivel de daño, se procede a esquematizar estos para tener una mejor interpretación de las curvas de capacidad, para la mampostería como se observa en la FIGURA 4.16.

**FIGURA 4.16** ESQUEMATIZACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváz, 2018)

#### 4.2.3.2 Curvas de Capacidad simplificadas y niveles de daño para mampostería (ladrillo)

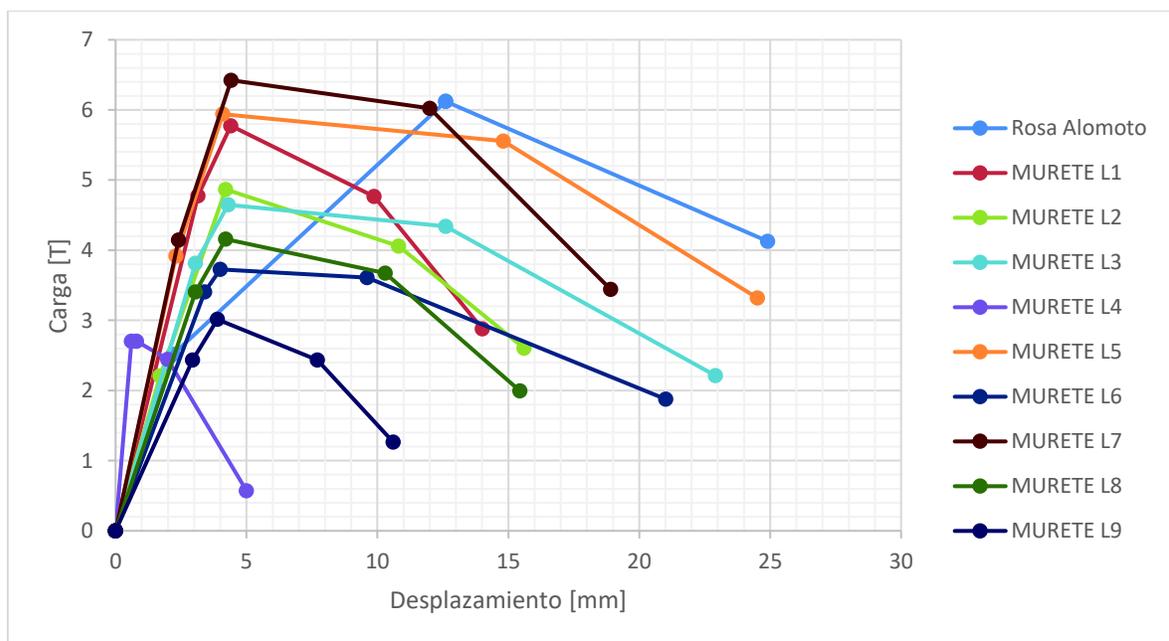
Se realiza el mismo análisis y procedimiento 4.2.3.1. en las curvas de capacidad reflejadas en la FIGURA 4.10, con la única diferencia que el espacio muestral para este tipo de mampostería es muy escaso; a continuación, se presentan los resultados en la TABLA 4.2 y su respectiva grafica en la FIGURA 4.17.

**TABLA 4.2 PUNTOS EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DAÑO EN LA MAMPOSTERIA (LADRILLO)**

NIVELES DE DAÑO CON DERIVA								
ENSAYO	Primera fisura diagonal		Degradación de rigidez		Degradación de rigidez y resistencia		Colapso	
	Deriva [%]	Carga [T]	Deriva [%]	Carga [T]	Deriva [%]	Carga [T]	Deriva [%]	Carga [T]
ROSA ALOMOTO	0,100	2,515	0,573	6,121	0,573	6,121	1,132	4,125
MURETE L1	0,143	4,774	0,200	5,775	0,449	4,767	0,637	2,882
MURETE L2	0,077	2,208	0,191	4,867	0,491	4,060	0,709	2,602
MURETE L3	0,138	3,812	0,196	4,648	0,573	4,341	1,041	2,213
MURETE L4	0,027	2,702	0,036	2,704	0,091	2,446	0,227	0,571
MURETE L5	0,105	3,918	0,186	5,939	0,673	5,557	1,114	3,318
MURETE L6	0,155	3,404	0,182	3,726	0,437	3,610	0,955	1,875
MURETE L7	0,109	4,145	0,201	6,423	0,546	6,021	0,859	3,444
MURETE L8	0,138	3,405	0,191	4,158	0,468	3,674	0,702	1,996
MURETE L9	0,134	2,434	0,177	3,014	0,350	2,433	0,482	1,267

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.17 ESQUEMATIZACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO**



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.2.4 PARAMETRIZACIÓN DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA

Para representar estos datos de otra manera, con la base de información ya obtenida se procede a la parametrización la cual consiste en organizar y estandarizar los resultados que se obtienen para cada sistema (bloque, ladrillo); entonces se procedió a parametrizar el eje de las abscisas correspondiente al desplazamiento en derivas usando la ecuación 4.5 de la (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN , 2015), y el eje de las ordenas correspondiente a la fuerza en función a la resistencia a la compresión para cada modelo y ensayo realizado mediante la ecuación 4.6.

$$\Delta[\%] = \frac{\Delta_{p2} - \Delta_{p1}}{\Delta h} * 100[\%] \quad (4.5)$$

Donde:

$\Delta$  = Deriva %

$\Delta_{p1}$  = Desplazamiento piso inferior

$\Delta_{p2}$  = Desplazamiento piso superior

$\Delta h$  = Altura de entrepiso

$$\sigma = \frac{F}{A_e} \quad (4.6)$$

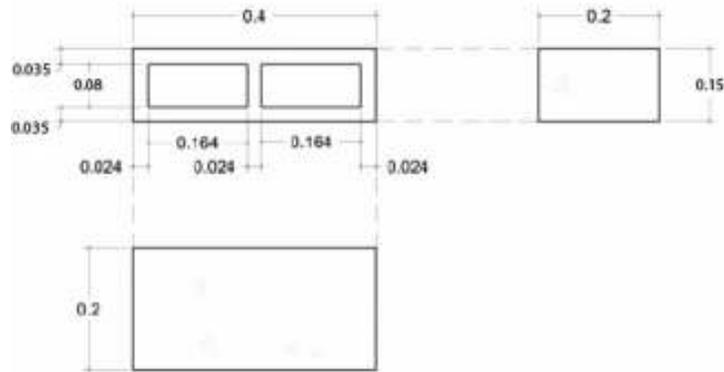
Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo a compresion de la unidad de mamposteria

$F$  = Fuerza de compresion

$A_e$  = Area efectiva de la unidad de mamposteria

Nota: para obtener el área efectiva en las unidades de bloque, se debe considerar los espacios huecos de estos como se puede observar en la FIGURA 4.18.

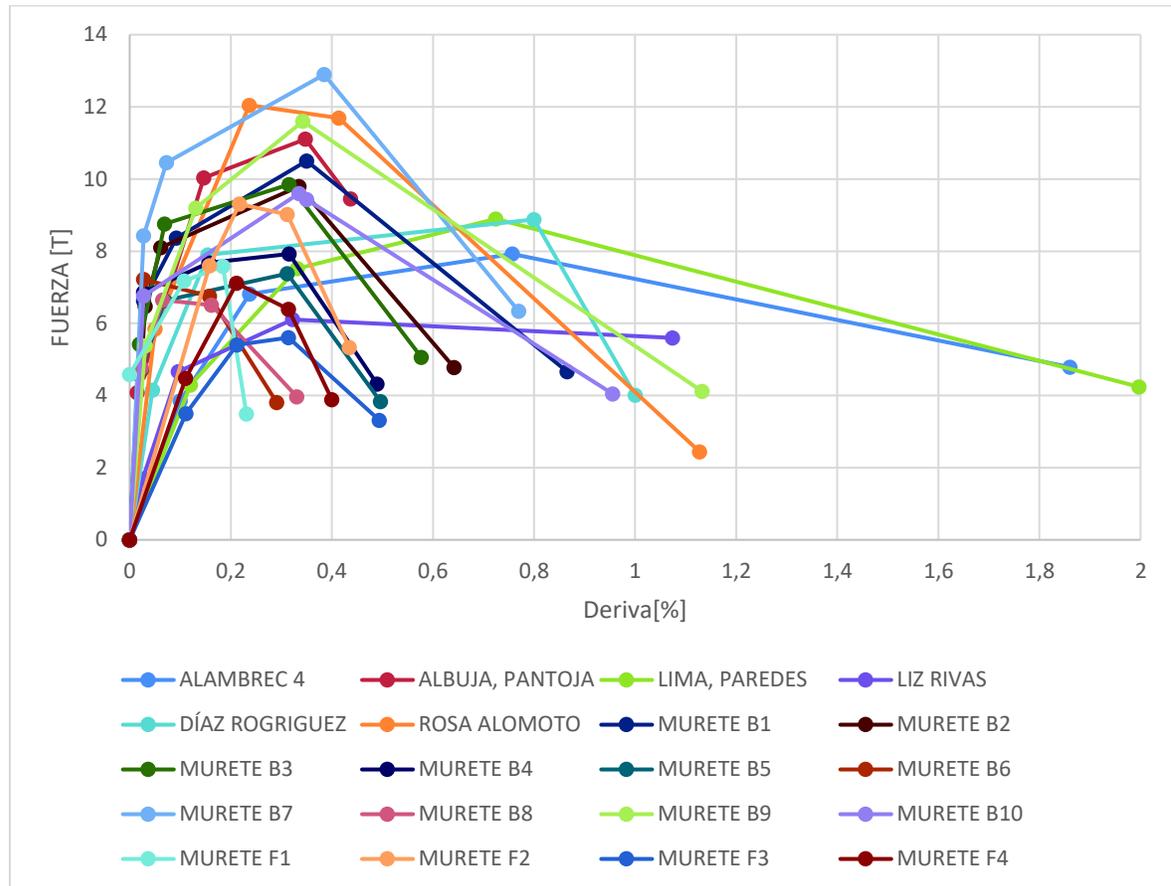
**FIGURA 4.18** DIMENSIONES MAMPOSTERÍA DE BLOQUE

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.2.4.1 CURVAS DE CAPACIDAD PARAMETRIZADA EN FUNCIÓN DE LA DERIVA (BLOQUE)

En esta sección se presenta la esquematización (FIGURA 4.19) de las curvas de capacidad de los ensayos de mampostería de bloque en base a su deriva, sin parametrizar la fuerza, es decir, la fuerza que se presentan en los graficas es la misma que se aplica en los ensayos, despreciando obviamente la resistencia del pórtico.

**FIGURA 4.19** ESQUEMATIZACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE EN FUNCIÓN DE LA DERIVA

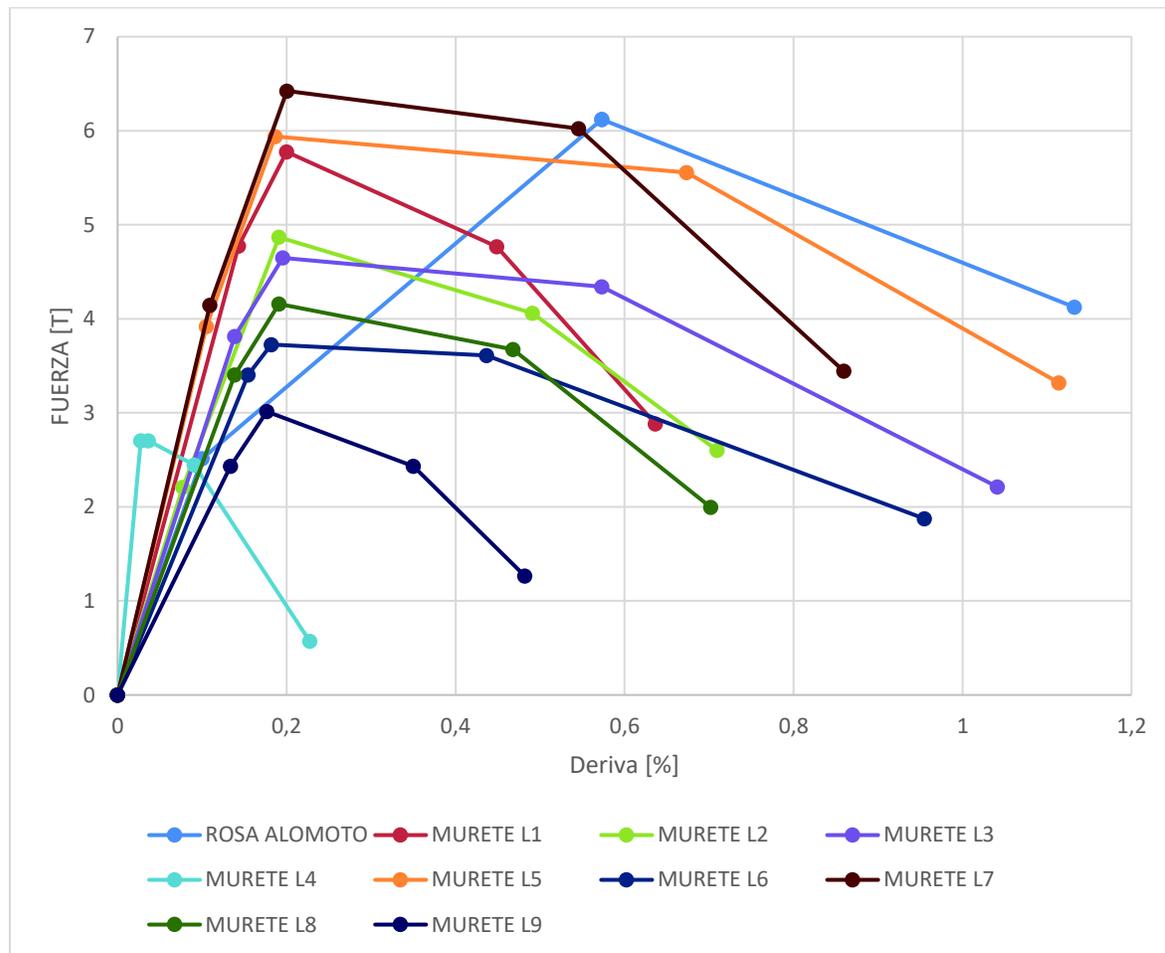


**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

#### 4.2.4.2 CURVAS DE CAPACIDAD PARAMETRIZADA EN FUNCIÓN DE LA DERIVA (LADRILLO)

En esta sección se presenta la esquematización (FIGURA 4.20) de las curvas de capacidad de los ensayos de mampostería de ladrillo en base a su deriva, sin parametrizar la fuerza, es decir, la fuerza que se presentan en los graficas es la misma que se aplica en los ensayos, despreciando obviamente la resistencia del pórtico.

**FIGURA 4.20** ESQUEMATIZACIÓN DE CURVAS DE CAPACIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO EN FUNCION DE LA DERIVA

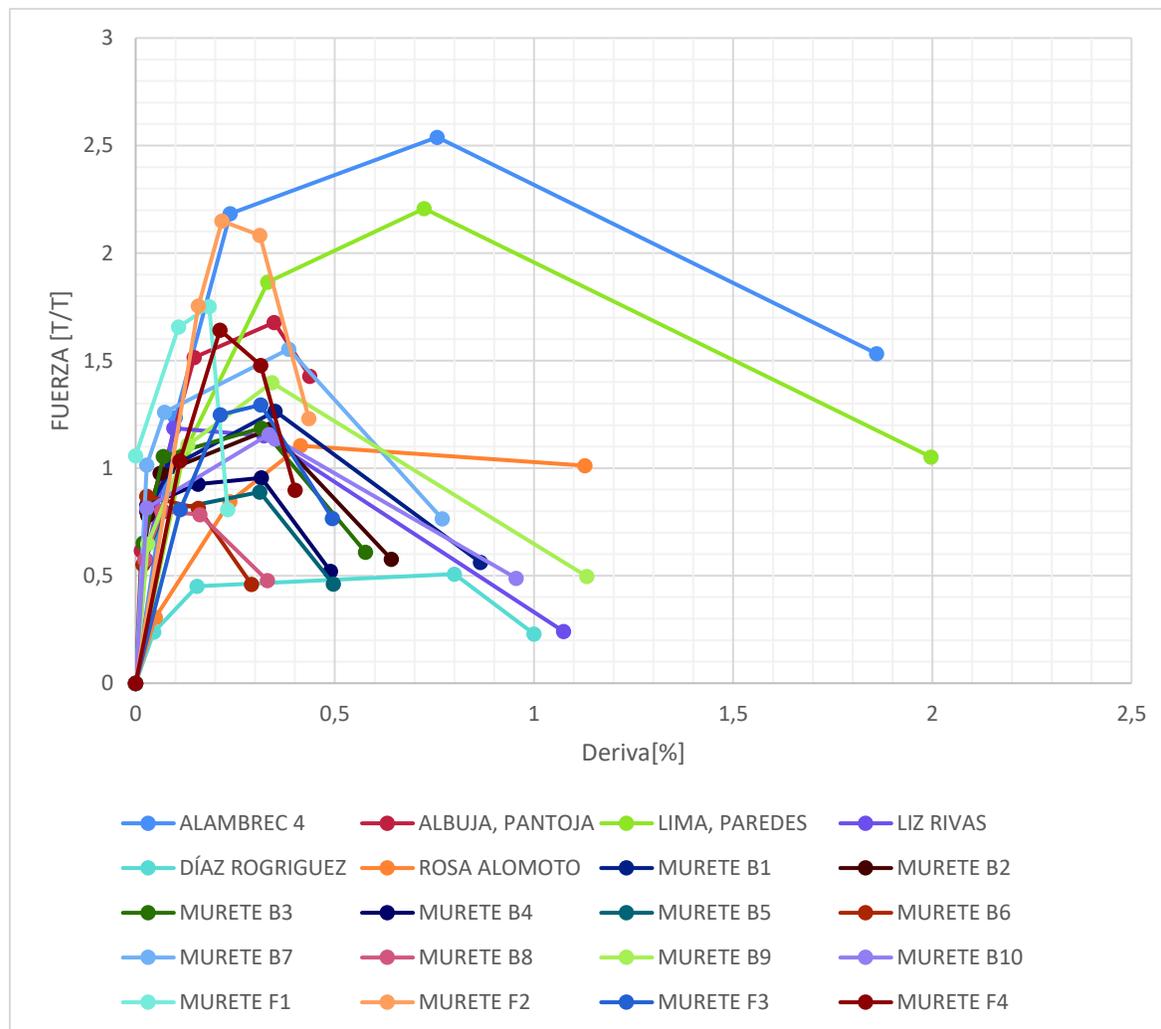


**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.2.4.3 CURVAS DE CAPACIDAD PARAMETRIZADA (BLOQUE)

A continuación, se presenta (FIGURA 4.21) las curvas de capacidad en el eje "X" respecto a su deriva y en el eje "Y" respecto a la fuerza de compresión del bloque para la mampostería de bloque.

**FIGURA 4.21** CURVA DE CAPACIDAD PARAMETRIZADA DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)



Entonces  $X$ =Desplazamiento, para cada nivel de daño; haciendo la transformación para obtener una distribución lognormal:  $Y=\ln(X)$ , y después se aplican las fórmulas 2.1 y 2.2 para obtener la media y la desviación estándar (únicos parámetros que se necesitan para el cálculo de esta distribución).

Finalmente, con los datos obtenidos se aplica la ecuación 4.1 para obtener la densidad de probabilidades para cada intervalo y poder representar gráficamente las curvas de fragilidad, a continuación, en la sección 4.2.3.1 y 4.2.3.2, se presentan las tablas y las figuras que en las cuales se puede apreciar muy fácilmente la distribución de los datos.

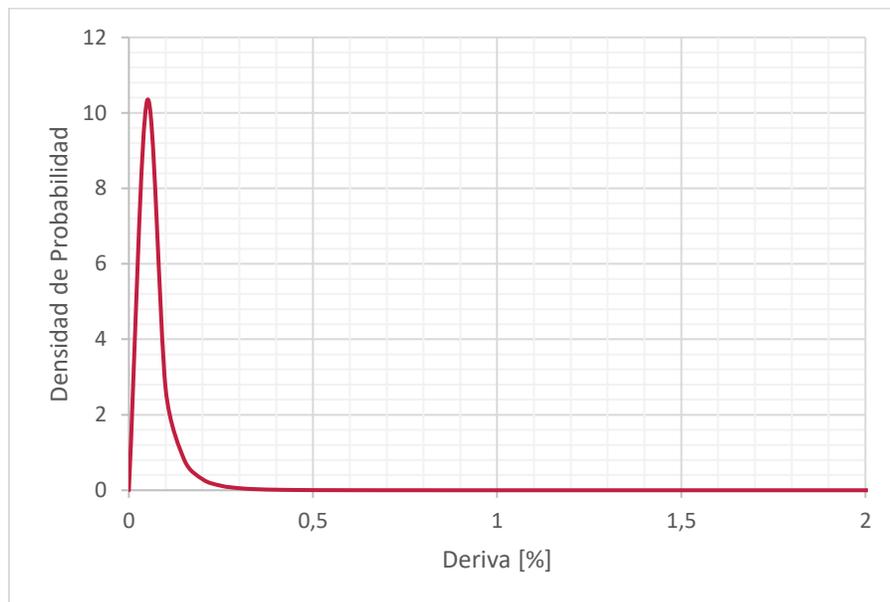
#### 4.2.5.1 Niveles de daño para mampostería de bloque

##### 4.2.5.1.1 Daño Leve (Primera fisura Diagonal)

ENSAYOS	Primera fisura diagonal	
	Deriva [%]	ln(Deriva)
ALAMBREC 4	0,100	-2,302
ALBUJA, PANTOJA	0,015	-4,220
LIMA, PAREDES	0,120	-2,120
ROSA ALOMOTO	0,050	-2,995
DÍAZ, ROGRIGUEZ	0,045	-3,091
LIZ RIVAS	0,026	-3,652
MURETE B1	0,028	-3,586
MURETE B2	0,031	-3,481
MURETE B3	0,019	-3,951
MURETE B4	0,028	-3,586
MURETE B5	0,023	-3,769
MURETE B6	0,018	-3,992
MURETE B7	0,028	-3,586
MURETE B8	0,023	-3,769
MURETE B9	0,031	-3,481
MURETE B10	0,028	-3,586
MURETE F1	0,108	-2,228
MURETE F2	0,158	-1,847
MURETE F3	0,112	-2,193
MURETE F4	0,111	-2,200
DESVIACIÓN ESTANDAR	0,044	0,749
PROMEDIO	0,055	-3,182

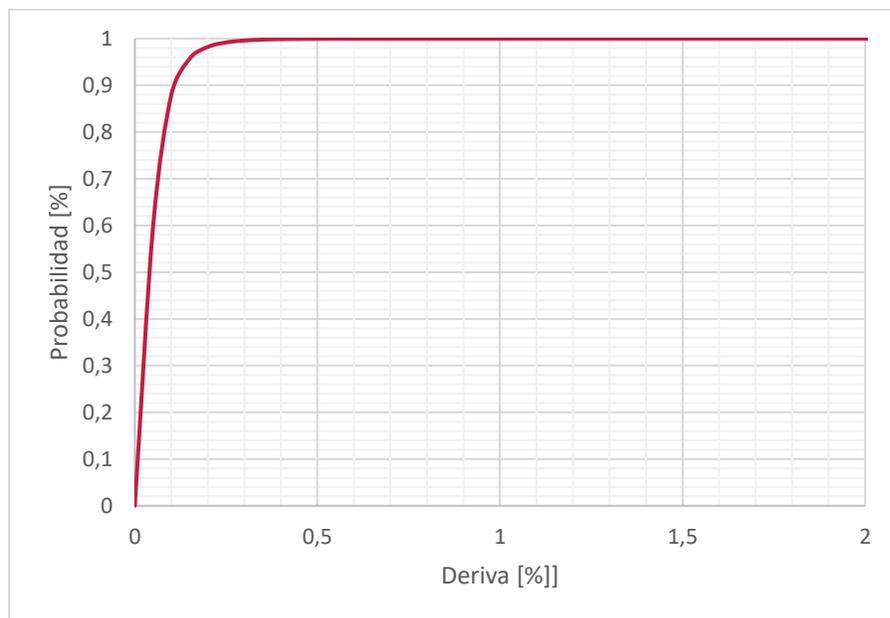
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváz, 2018)

**FIGURA 4.23** DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO LEVE PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.24** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO LEVE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



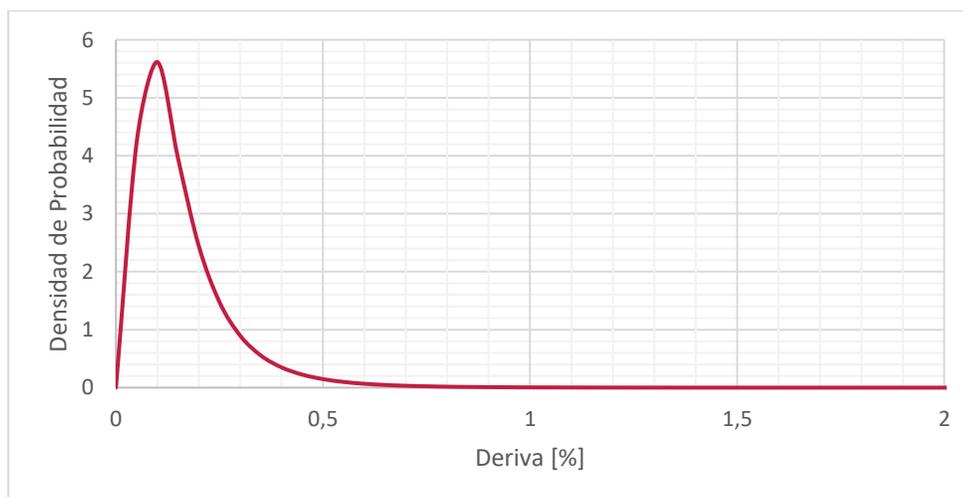
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.2.5.1.2 Daño Moderado (Degradación de Rigidez)

ENSAYOS	Degradación de rigidez	
	Deriva [%]	ln(Deriva)
ALAMBREC 4	0,238	-1,437
ALBUJA, PANTOJA	0,147	-1,919
LIMA, PAREDES	0,332	-1,102
ROSA ALOMOTO	0,236	-1,442
DÍAZ, ROGRIGUEZ	0,155	-1,867
LIZ RIVAS	0,096	-2,340
MURETE B1	0,092	-2,382
MURETE B2	0,062	-2,788
MURETE B3	0,069	-2,670
MURETE B4	0,157	-1,852
MURETE B5	0,069	-2,670
MURETE B6	0,028	-3,586
MURETE B7	0,073	-2,616
MURETE B8	0,065	-2,727
MURETE B9	0,131	-2,034
MURETE B10	0,335	-1,094
MURETE F1	0,185	-1,689
MURETE F2	0,217	-1,528
MURETE F3	0,212	-1,549
MURETE F4	0,212	-1,553
DESVIACIÓN ESTANDAR	0,089	0,657
PROMEDIO	0,156	-2,042

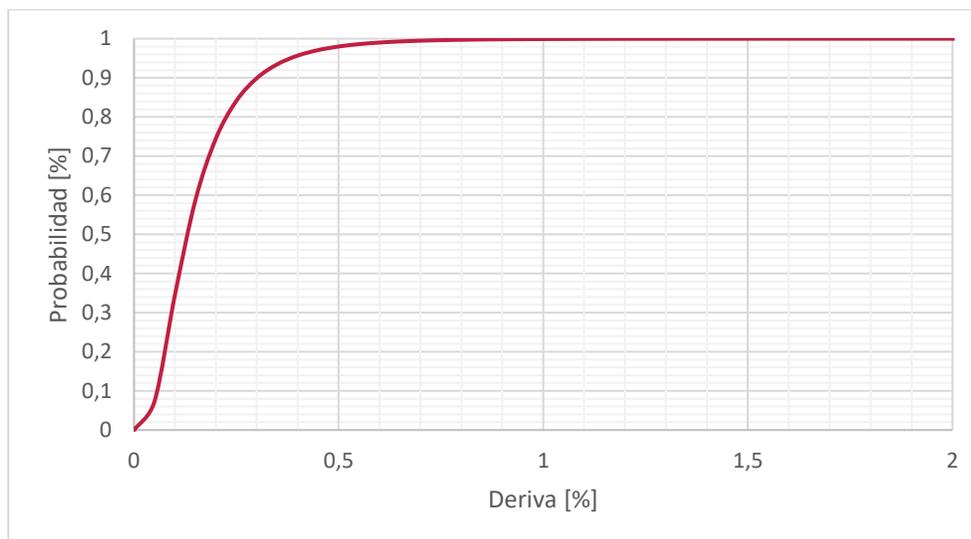
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.25** DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO MODERADO PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.26** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO MODERADO MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



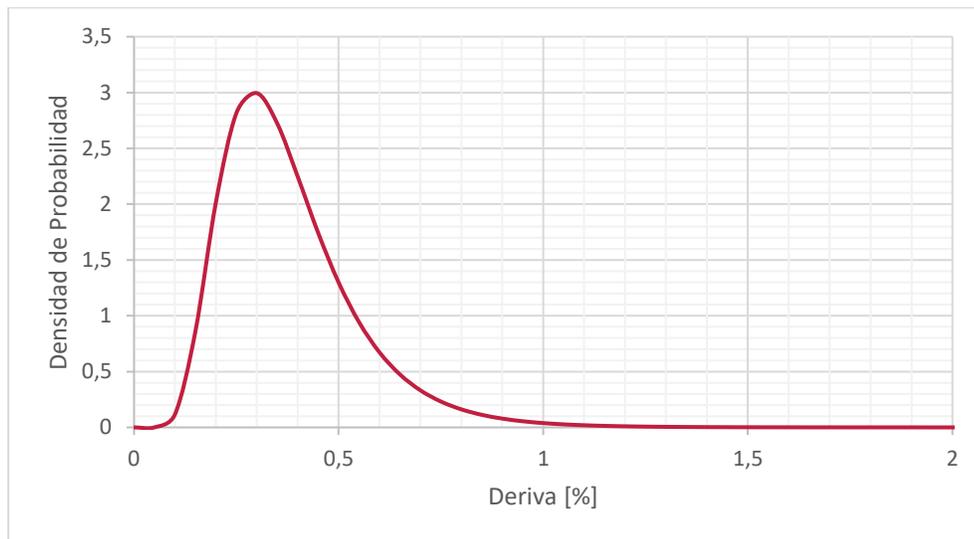
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

4.2.5.1.3 *Daño Severo (Degradación de Rigidez y Resistencia)*

ENSAYOS	Degradación de rigidez y resistencia	
	Deriva [%]	ln(Deriva)
ALAMBREC 4	0,757	-0,278
ALBUJA, PANTOJA	0,348	-1,056
LIMA, PAREDES	0,724	-0,323
ROSA ALOMOTO	0,414	-0,882
DÍAZ, ROGRIGUEZ	0,800	-0,223
LIZ RIVAS	0,322	-1,132
MURETE B1	0,350	-1,049
MURETE B2	0,335	-1,094
MURETE B3	0,316	-1,154
MURETE B4	0,316	-1,154
MURETE B5	0,312	-1,166
MURETE B6	0,158	-1,847
MURETE B7	0,385	-0,955
MURETE B8	0,162	-1,823
MURETE B9	0,342	-1,072
MURETE B10	0,350	-1,049
MURETE F1	0,231	-1,466
MURETE F2	0,312	-1,166
MURETE F3	0,314	-1,159
MURETE F4	0,314	-1,159
DESVIACIÓN ESTANDAR	0,177	0,419
PROMEDIO	0,378	-1,060

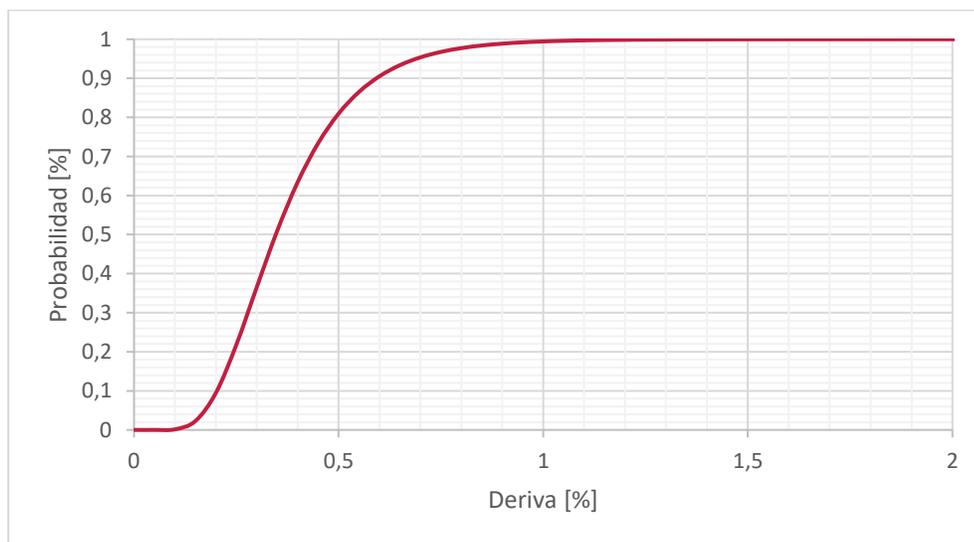
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.27** DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO SEVERO PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.28** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO SEVERO MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



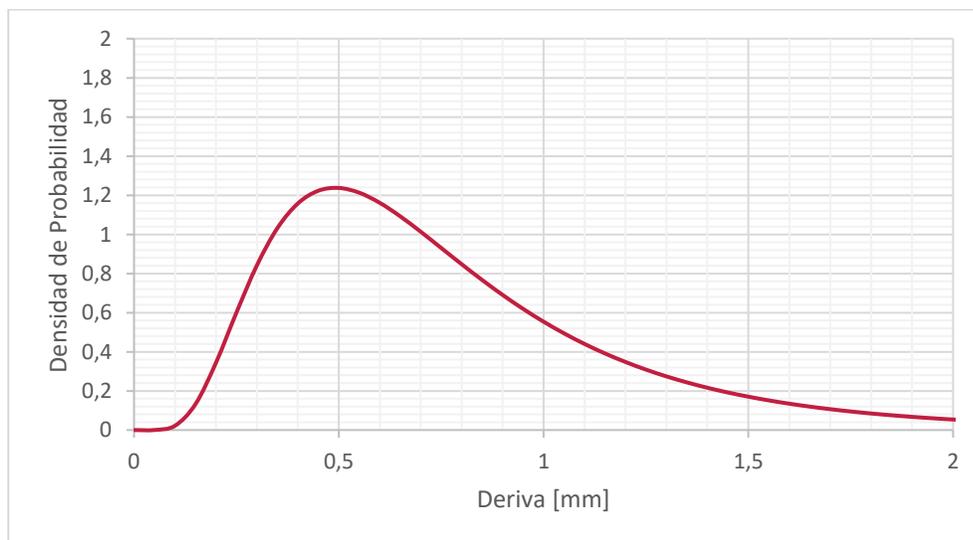
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.2.5.1.4 Colapso (Daño Total de la estructura)

ENSAYOS	Colapso	
	Deriva [%]	ln(Deriva)
ALAMBREC 4	1,860	0,621
ALBUJA, PANTOJA	0,437	-0,828
LIMA, PAREDES	1,997	0,692
ROSA ALOMOTO	1,128	0,120
DÍAZ, ROGRIGUEZ	1,000	0,000
LIZ RIVAS	1,074	0,072
MURETE B1	0,866	-0,144
MURETE B2	0,642	-0,444
MURETE B3	0,577	-0,550
MURETE B4	0,489	-0,715
MURETE B5	0,496	-0,701
MURETE B6	0,291	-1,235
MURETE B7	0,770	-0,262
MURETE B8	0,331	-1,106
MURETE B9	1,133	0,125
MURETE B10	0,956	-0,045
MURETE F1	0,339	-1,083
MURETE F2	0,435	-0,833
MURETE F3	0,494	-0,705
MURETE F4	0,400	-0,916
DESVIACIÓN ESTANDAR	0,481	0,561
PROMEDIO	0,786	-0,397

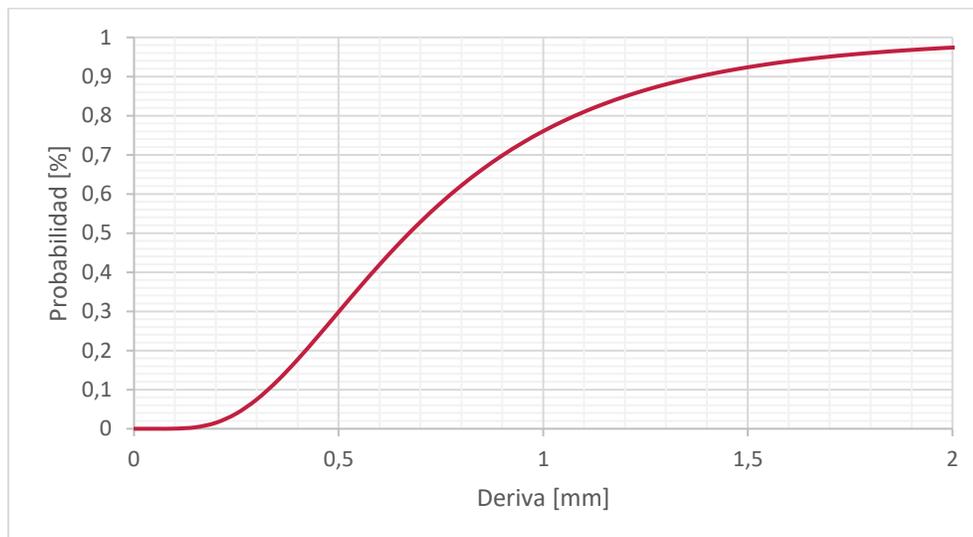
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváz, 2018)

**FIGURA 4.29** DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE COLAPSO PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.30** CURVA DE FRAGILIDAD PARA COLAPSO MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

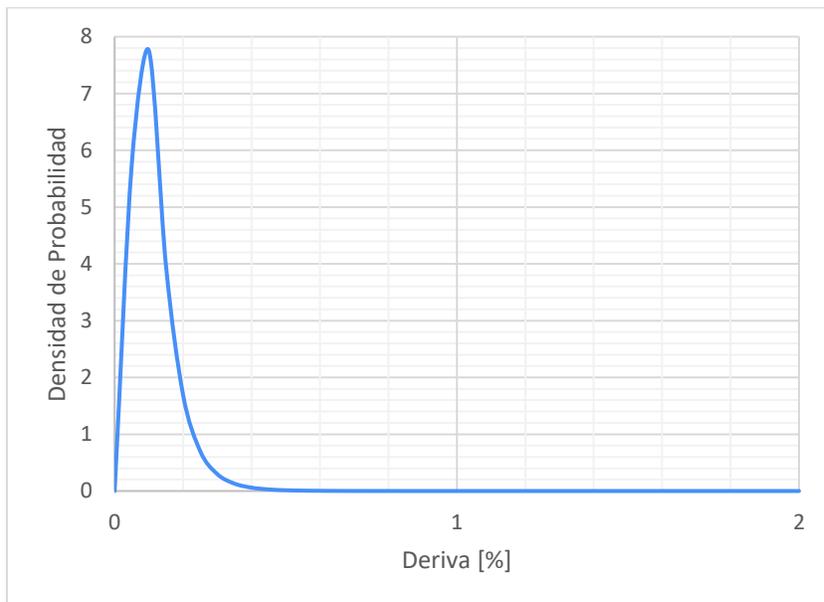
#### 4.2.5.2 Niveles de daño para mampostería de ladrillo

##### 4.2.5.2.1 Daño Leve (Primera fisura Diagonal)

ENSAYOS	Primera fisura diagonal	
	Deriva [%]	ln(Deriva)
Rosa Alomoto	0,100	-2,302
Murete L1	0,143	-1,943
MURETE L2	0,077	-2,560
MURETE L3	0,138	-1,977
MURETE L4	0,027	-3,601
MURETE L5	0,105	-2,253
MURETE L6	0,155	-1,867
MURETE L7	0,109	-2,215
MURETE L8	0,138	-1,977
MURETE L9	0,134	-2,012
DESVIACION ESTANDAR	0,038	0,513
PROMEDIO	0,113	-2,271

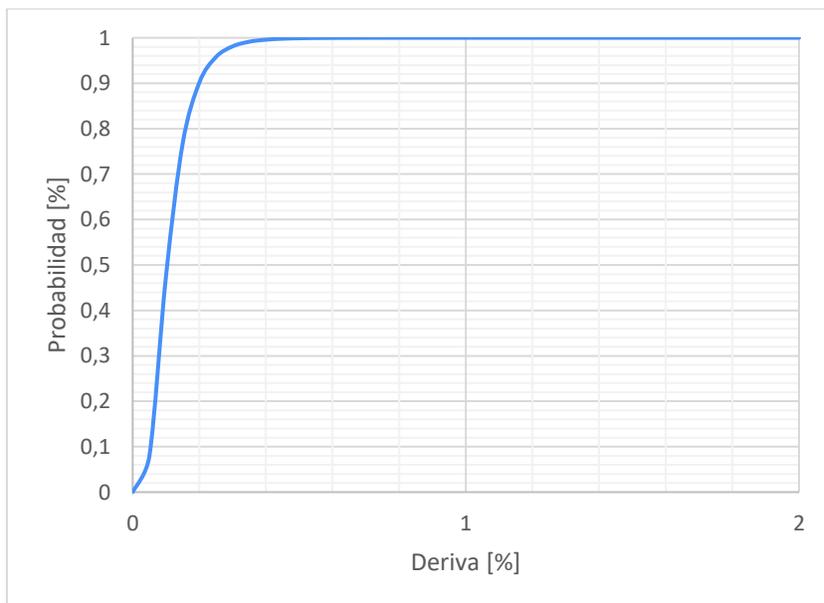
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.31** DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO LEVE PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

**FIGURA 4.32** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO LEVE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



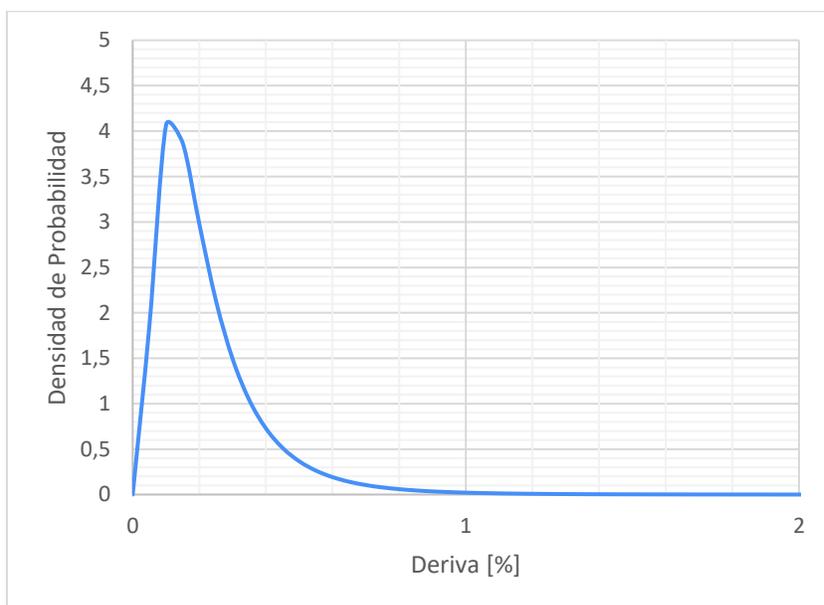
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

#### 4.2.5.2.2 Daño Moderado (Degradación de Rigidez)

ENSAYOS	Degradación de rigidez	
	Deriva [%]	ln(Deriva)
Rosa Alomoto	0,573	-0,557
Murete L1	0,200	-1,609
MURETE L2	0,191	-1,655
MURETE L3	0,196	-1,632
MURETE L4	0,036	-3,314
MURETE L5	0,186	-1,680
MURETE L6	0,182	-1,704
MURETE L7	0,201	-1,607
MURETE L8	0,191	-1,655
MURETE L9	0,177	-1,733
DESVIACION ESTANDAR	0,136	0,661
PROMEDIO	0,213	-1,715

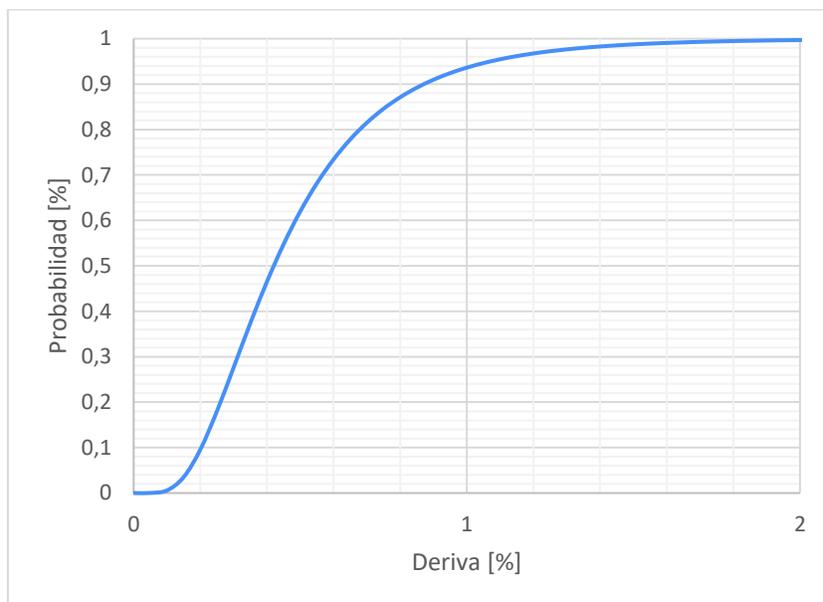
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

**FIGURA 4.33** DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO MODERADO PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

**FIGURA 4.34** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO MODERADO MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



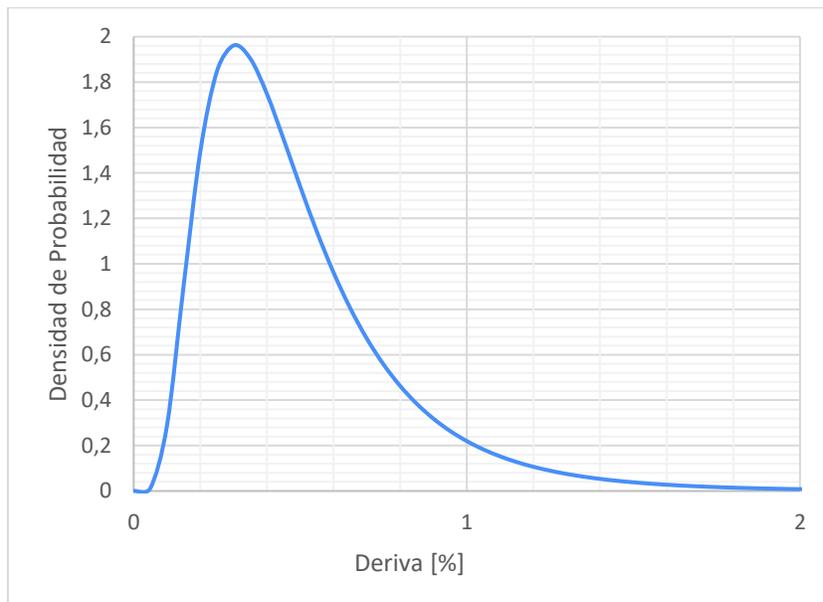
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.2.5.2.3 Daño Severo (Degradación de Rigidez y Resistencia)

ENSAYOS	Degradación de rigidez y resistencia	
	Deriva [%]	ln(Deriva)
Rosa Alomoto	0,573	-0,557
Murete L1	0,449	-0,801
MURETE L2	0,491	-0,711
MURETE L3	0,573	-0,557
MURETE L4	0,091	-2,400
MURETE L5	0,673	-0,396
MURETE L6	0,437	-0,829
MURETE L7	0,546	-0,606
MURETE L8	0,468	-0,759
MURETE L9	0,350	-1,049
DESVIACION ESTANDAR	0,159	0,568
PROMEDIO	0,465	-0,867

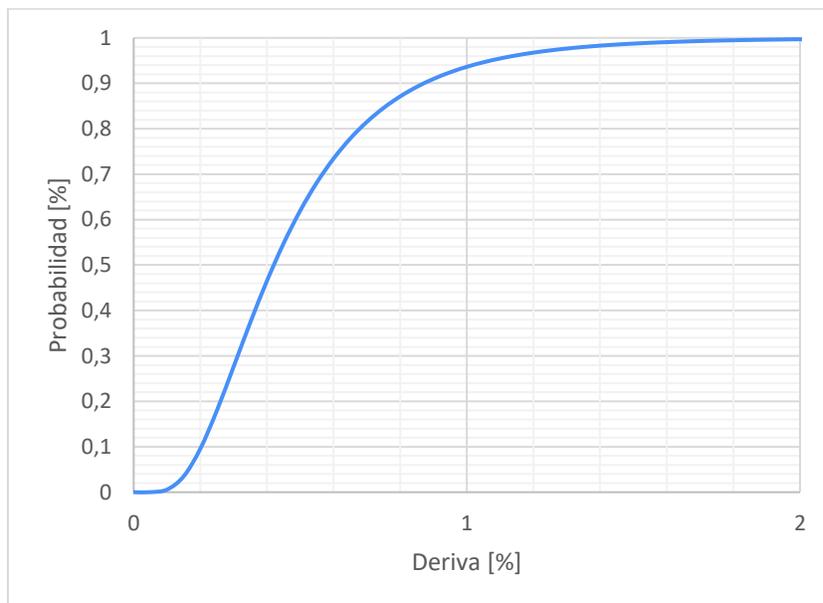
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.35** DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE DAÑO SEVERO PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.36** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO SEVERO MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



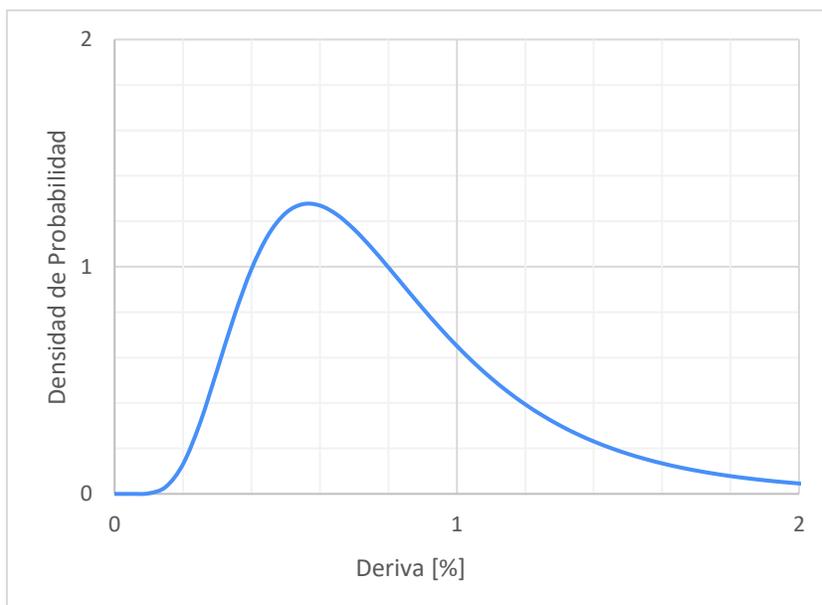
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.2.5.2.4 Colapso (Daño Total de la estructura)

ENSAYOS	Colapso	
	Deriva [%]	ln(Deriva)
Rosa Alomoto	1,132	0,124
Murete L1	0,637	-0,452
MURETE L2	0,709	-0,343
MURETE L3	1,041	0,040
MURETE L4	0,227	-1,481
MURETE L5	1,114	0,108
MURETE L6	0,955	-0,046
MURETE L7	0,859	-0,151
MURETE L8	0,702	-0,354
MURETE L9	0,482	-0,730
DESVIACION ESTANDAR	0,292	0,489
PROMEDIO	0,786	-0,328

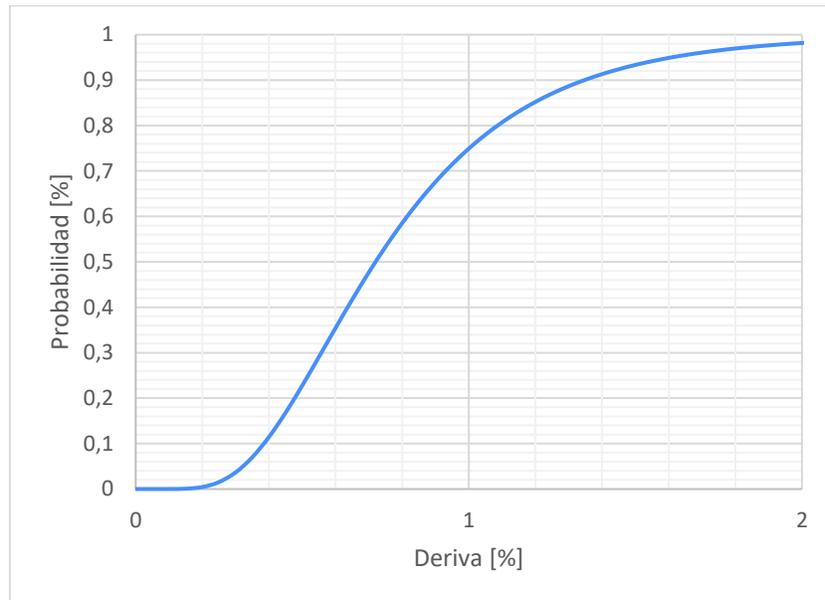
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

**FIGURA 4.37** DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL DE COLAPSO PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

**FIGURA 4.38** CURVA DE FRAGILIDAD PARA COLAPSO MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

### 4.3 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Cuando se recolecta información de una muestra, actúan un gran número de variables que intervienen en la muestra, sin embargo, cuando nos encontramos un número muy grande de variables, es muy difícil ver relaciones entre ellas, cuando esto sucede se hace indispensable reducir el número de variables con la mínima pérdida de información (Marín, 2006).

El análisis de componentes principales es una técnica que fue desarrollada por Pearson en el siglo XIX es una técnica estadística en la cual se tiene una matriz de datos con la serie de muestras que se han recolectado y las variables medidas, por eso también es llamada técnica multivariante. Para estudiar las relaciones que existen entre  $X$  variables correlacionadas, este conjunto de variables  $X$  se puede transformar (reducir) en un nuevo conjunto de variables que no presentan correlaciones, llamado conjunto de componentes principales (Marín, 2006).

El nuevo conjunto está constituido de variables que son combinaciones lineales de las anteriores y que se van formando dependiendo de la importancia en cuanto a

variabilidad total que obtienen de la muestra, de modo que se buscan  $Y$  variables tal que  $Y < X$  variables, que sean combinaciones lineales de  $X$  originales, y que no sean correlacionadas entre sí, además que también guarden la mayor cantidad de información de variabilidad de los datos (Marín, 2006).

Se debe tener en cuenta que las variables iniciales deben estar correlacionadas, sino no se puede realizar un análisis de componentes principales; para el cálculo de componentes principales encontramos que las variables más representativas son 9, para cada nivel de daño ya mencionado, las cuales son:

$E_m$ = Módulo de elasticidad de la mampostería [ $\text{kg/ cm}^2$ ]

$F_m$ = resistencia a la compresión de la mampostería [ $\text{kg/ cm}^2$ ]

$F_s$ = Resistencia al corte de la mampostería [ $\text{kg/ cm}^2$ ]

$e$ = Espesor de la unidad de mampostería [cm]

$h$ = Altura del pórtico [cm]

$a$ = Ancho del pórtico [cm]

$f_b$ = Resistencia a la compresión de la unidad de mampostería [ $\text{kg/ cm}^2$ ]

$F$ = Fuerza [T]

$\Delta$ = Deriva [%]

### **4.3.1 ANÁLISIS FACTORIAL PARA EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.**

#### **4.3.1.1 Concepto**

El Análisis Factorial es una técnica que consiste en la reducción de las dimensiones de los datos. Su propósito es buscar el número mínimo de dimensiones capaces de explicar el máximo de información contenida en las distintas variables. El objetivo principal del Análisis Factorial (Análisis de Componentes Principales o de Factores Comunes) es simplificar la información que nos da una matriz de correlaciones para hacerla más fácilmente interpretable. En consecuencia, se encarga de analizar la varianza común a todas las variables, partiendo de una matriz de correlaciones y sintetizando la información que se posee mediante las correlaciones elevadas al cuadrado  $R^2$  (coeficientes de determinación), que

expresan la proporción de varianza común entre las variables (Barbero, Vila, & Holgado Tello, 2013).

#### 4.3.1.2 Análisis de la matriz de correlación

La finalidad de analizar la matriz de las correlaciones muestrales  $R = (r_{ij})$ , donde  $r_{ij}$  es la correlación muestral obtenida entre las variables  $(X_i, X_j)$ , es corroborar si sus características son las adecuadas para realizar un Análisis Factorial. Una de las condiciones que deben cumplirse es que las variables se encuentran altamente intercorrelacionadas. Además, se espera que las variables que tengan correlación muy alta entre sí la tengan con el mismo factor o factores. En consecuencia, si las correlaciones entre todas las variables son bajas, tal vez no sea apropiado el Análisis Factorial (Barbero, Vila, & Holgado Tello, 2013).

Por lo que existen varios indicadores para analizar la matriz de correlación entre los cuales tenemos:

##### 4.3.1.2.1 Test de esfericidad de Bartlett

Se realiza bajo la hipótesis de normalidad multivariante (generalización de la distribución normal de una componente a varias componentes), si la matriz de correlación de las  $p$  variables observadas ( $R_p$ ) es la identidad. Lo que significa que las intercorrelaciones entre las variables son cero. Si se confirma la hipótesis nula  $H_0 = |R_p| = 1$ , las variables no están intercorrelacionadas (De La Fuente, 2011).

Esta prueba evalúa la aplicabilidad del análisis factorial de las variables estudiadas.

- Si Sig. (p-valor) < 0.05 aceptamos  $H_0$  (hipótesis nula) > se puede aplicar el análisis factorial.
- Si Sig. (p-valor) > 0.05 rechazamos  $H_0$  > no se puede aplicar el análisis factorial.

##### 4.3.1.2.2 Índice KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)

El índice KMO se usa para comparar las magnitudes de los coeficientes de correlación parcial, de forma que cuánto más pequeño sea su valor, mayor será el valor de los coeficientes de correlación parciales  $r_{ij(p)}$  y, en consecuencia, menos apropiado es realizar un Análisis Factorial (De La Fuente, 2011).

- $KMO \geq 0,75 \Rightarrow$  Bien
- $KMO \geq 0,5 \Rightarrow$  Aceptable
- $KMO < 0,5 \Rightarrow$  Inaceptable

Según (De La Fuente, 2011) es precipitado tomar el índice KMO como única medida de evaluación de la muestra a las hipótesis del modelo de Análisis Factorial, sobre todo si hay un número pequeño de variables consideradas.

#### 4.3.2 CÁLCULO DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES A PARTIR DE LA MATRIZ DE CORRELACIONES

Normalmente se calcula los componentes principales con las variables originales estandarizadas, es decir que su varianza 1 y media 0, esta equivale a tomar los componentes no de la matriz de covarianza sino de la matriz de correlaciones. Teniendo esto en cuenta el problema a resolver se transforma en un problema de autovectores de la matriz de correlaciones, siendo los componentes principales los propios autovectores, con este método se da importancia a todas las variables originales con la mínima pérdida de información de la variación de datos (Marín, 2006).

La matriz de correlaciones muestra cómo están relacionadas cada variable con las otras del conjunto, su diagonal siempre tendrá el valor de 1, si tiene valor 0 indica que no se tiene ninguna relación entre variables.

Para calcular la matriz de correlaciones primero se debe calcular la desviación estándar de cada vector correspondiente a cada variable, y la covarianza de cada combinación de variables (vectores) posibles.

**FIGURA 4.39** FORMA DE LA MATRIZ DE VARIABLES ORIGINALES

	x	y	z	w
M 1	x1	y1	z1	w1
M 2	x2	y2	z2	w2
M 3	x3	y3	z3	w3
M 4	x4	y4	z4	w4

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Entonces, para obtener la correlación que existe entre todas las variables se procede a utilizar las siguientes ecuaciones:

- **Covarianza**

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1} \quad (4.6)$$

Donde:

$X_i$  : Término de cada vector variable.

$\bar{X}$  : Promedio de los valores de la variable.

$Y_i$  : Término de cada vector de la siguiente variable.

$\bar{Y}$  : Promedio de los valores de la siguiente variable.

$n$  : Numero de términos del vector.

- **Desviación Estándar**

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (4.7)$$

Donde:

$S_x$  : Desviación estándar de la variable en analizada.

$X_i$  : Valor de la variable independiente

$\bar{X}$  : Promedio de los valores de la variable en estudio.

$n$  : Numero de términos del vector.

- **Coficiente de Correlación**

$$R = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} \quad (4.8)$$

Donde:

$S_{XY}$ : Covarianza entre las variables XY.

$S_x$ : Desviación estándar para variable X.

$S_y$ : Desviación estándar para la variable Y.

$R^2$ : Coeficiente de determinación

A continuación, se presenta el proceso de cómo se va desarrollando la matriz de correlaciones, sabiendo que la covarianza se calcula con la siguiente expresión para todas las combinaciones entre las variables.

Para la matriz de correlaciones se va a calcular la correlación para cada término, siguiendo el ejemplo de la FIGURA 3.33.

**FIGURA 4.40** EJEMPLO MATRIZ DE CORRELACIONES

	x	y	z	w
x	$\sigma_{xx}$	$\sigma_{yx}$	$\sigma_{zx}$	$\sigma_{wx}$
y	$\sigma_{xy}$	$\sigma_{yy}$	$\sigma_{zy}$	$\sigma_{wy}$
z	$\sigma_{xz}$	$\sigma_{yz}$	$\sigma_{zz}$	$\sigma_{wz}$
w	$\sigma_{xw}$	$\sigma_{yw}$	$\sigma_{zw}$	$\sigma_{ww}$

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Para el ejemplo se utilizan las dos primeras variables que son el Em que se la denomina como la variable X y Fm que se la denomina como la variable Y.

**TABLA 4.3** MEDIDAS DE LOCALIZACIÓN PARA CÁLCULO DE AUTOVALORES

x	y	$x-\bar{x}$	$y-\bar{y}$	$(x-\bar{x})^2$	$(y-\bar{y})^2$	$(x-\bar{x})(y-\bar{y})$
873025.25	777.67	-346568.64	53.01	1.2011E+11	2809.74735	-18370581.1
9288888.94	928.83	8069295.05	204.17	6.5114E+13	41684.18431	1647484166
653740.71	425.12	-565853.18	-299.54	3.2019E+11	89724.18165	169495632
588000.00	1470.00	-631593.89	745.34	3.9891E+11	555531.7901	-470752218
1144800.00	501.57	-74793.89	-223.09	5594125321	49771.35672	16686138.2
4850000.00	3800.00	3630406.11	3075.34	1.318E+13	9457716.423	1.1165E+10
575036.26	507.98	-644557.62	-216.68	4.1545E+11	46950.20073	139662714
583875.43	503.66	-635718.45	-221.00	4.0414E+11	48840.9779	140493747
622273.87	536.79	-597320.02	-187.87	3.5679E+11	35295.11811	112218482
531223.98	458.25	-688369.91	-266.41	4.7385E+11	70974.26146	183388593
473140.53	408.13	-746453.36	-316.53	5.5719E+11	100191.2092	236274843
526756.27	454.39	-692837.61	-270.27	4.8002E+11	73045.84587	187253186
773434.29	667.18	-446159.60	-57.48	1.9906E+11	3303.944652	25645231.5
484129.44	417.62	-735464.44	-307.04	5.4091E+11	94273.5309	225816966
513764.12	443.18	-705829.76	-281.48	4.982E+11	79230.96225	198676927
501823.62	432.89	-717770.26	-291.77	5.1519E+11	85129.70372	209423793
370149.53	462.69	-849444.36	-261.97	7.2156E+11	68628.2547	222528895
469321.67	586.65	-750272.22	-138.01	5.6291E+11	19046.7463	103545031
227676.88	284.59	-991917.01	-440.07	9.839E+11	193661.5609	436512867
340816.92	426.02	-878776.97	-298.64	7.7225E+11	89185.81974	262437909
<b>SUMA</b>				8.662E+13	11204995.82	1.5193E+10
<b>PROMEDIO</b>	1219593.89	724.66				

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1} = \frac{15193155643}{20 - 1} = 799639770.7 \rightarrow \text{Covarianza}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{8.66E + 13}{20 - 1}} = 2135164.21 \rightarrow \text{Desviacion Standar } x$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{11204995.82}{20 - 1}} = 767.94 \rightarrow \text{Desviacion Standar } y$$

$$R = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{799639770.7}{2135164.21 * 767.94} = 0.4876 \rightarrow \text{Coeficiente de Correlacion}$$

$$R^2 = 0.4876^2 = 0.2378 = 23.78\% \rightarrow \text{Coeficiente de Determinacion}$$

Una vez encontrada la matriz de correlaciones se tiene que encontrar los autovalores para esta matriz en este proceso, se buscó la ecuación característica de la matriz de correlaciones con la siguiente expresión:

$$|[C] - (\lambda * [I])| = 0 \quad (4.9)$$

Donde

[C]: matriz de correlación

[I]: matriz identidad de la misma dimensión de [C]

$\lambda$ : autovalores

$$\lambda^{10} - 10\lambda^9 + 39.64\lambda^8 - 80.36\lambda^7 + 89.25\lambda^6 - 53.99\lambda^5 + 16.59\lambda^4 - 2.11\lambda^3 + 0.05\lambda^2 - 2. \quad (4.10)$$

$$* 10^{-4}\lambda + 1.54 * 10^{-7} = 0$$

Ya obtenida la ecuación característica (ecuación 4.10), que con ayuda del programa computacional SPSS (software para el análisis estadístico de una base de datos) se obtienen los autovalores de para cada variable en base a 2 componentes principales, esto se realiza para cada nivel de daño en cada tipo de mampostería.

**TABLA 4.4** EJEMPLO AUTOVALORES PARA CADA VARIABLE EN BASE A DOS COMPONENTES PRINCIPALES

	componente 1	componente 2
$\lambda 1$	0,002352181	-0,828328823
$\lambda 2$	0,257514857	-0,819674041
$\lambda 3$	-0,34476875	-0,36073942
$\lambda 4$	-0,790835305	-0,167547913
$\lambda 5$	0,751917569	-0,481689587
$\lambda 6$	0,861403791	0,108484917
$\lambda 7$	-0,555179838	0,213331277
$\lambda 8$	-0,125996572	-0,034344501
$\lambda 9$	0,642768281	0,458065046
$\lambda 10$	0,622187386	0,071640692

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Con la TABLA 4.4 de autovalores se procede a obtener el gráfico de componentes principales para los distintos niveles de daño, también se detallan las variables que se usó

para cada gráfica de componentes principales de cada tipo de mampostería (bloque y ladrillo).

Para poder simplificar el procedimiento de estos cálculos se utiliza el software IBM SPSS Statistics Data Editor, el cual utiliza un análisis factorial ya explicado en la sección 4.3.1.

### **4.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA NIVEL DE DAÑO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES UTILIZANDO SPSS**

Para la obtención de las gráficas de las componentes principales se utiliza el software SPSS el cual no presenta complejidad al momento de introducir las variables de nuestra base de datos obtenidas para cada tipo de mampostería, reflejando el resultado para cada nivel de daño ya establecido mediante el proceso de análisis factorial.

#### **4.3.3.1 Componentes Principales para Mampostería de Bloque**

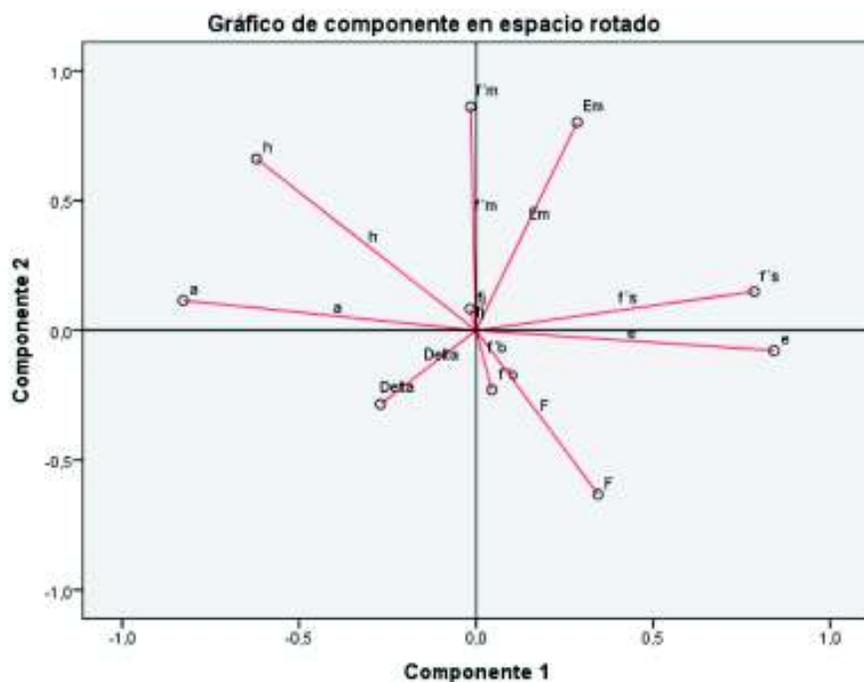
Para obtener el análisis de las componentes principales y sus gráficas es indispensable realizar el test de esfericidad Bartlett y el índice de KMO (sección 4.3.1) para saber si es aplicable y se tiene datos confiables, estos resultados se presentan en el ANEXO 6, para este tipo de mampostería existen 10 variables manteniéndose constante 8 y variando simplemente la fuerza y deriva para cada nivel de daño (leve, moderado, severo, colapso); a continuación se presentan los resultados obtenidos utilizando el SPSS.

#### **TABLA 4.5 VARIABLES PARA DAÑO LEVE (BLOQUE)**

MUESTRA	VARIABLES									
	Em [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fm [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Espesor [cm]	Alto [cm]	Ancho [cm]	Resistencia del Bloque [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [Kg]	Deriva [%]	Resistencia del mortero [kg/cm <sup>2</sup> ]
ALAMBREC 4	8902.38	7.93	1.12	14.2	250	325	25.85	3853.31	0.10	114.88
ALBUJA, PANTOJA	94720.31	9.47	6.15	15	235	250	19.60	4085.08	0.02	92.53
LIMA, PAREDES	6666.30	4.34	1.26	14	250	325	9.99	4288.02	0.13	118.63
ROSA ALOMOTO	5995.93	14.99	6.12	15	220	240	18.90	5843.62	0.05	114.88
DÍAZ, ROGRIGUEZ	11673.71	5.11	1.50	15	220	220	51.80	4147.70	0.04	0.00
LIZ RIVAS	49456.24	38.75	1.22	15	270	260	10.29	1693.22	0.03	102.35
MURETE B1	5863.74	5.18	2.28	15	235	250	19.60	6625.42	0.03	30.21
MURETE B2	5953.87	5.14	2.31	15	235	250	19.60	6474.52	0.03	30.21
MURETE B3	6345.43	5.47	2.47	15	235	250	19.60	5417.08	0.02	30.21
MURETE B4	5416.98	4.67	2.11	15	235	250	19.60	6859.94	0.03	30.21
MURETE B5	4824.69	4.16	1.88	15	235	250	19.60	4706.89	0.03	30.21
MURETE B6	5371.42	4.63	2.09	15	235	250	19.60	4579.84	0.02	30.21
MURETE B7	7886.83	6.80	3.07	15	235	250	19.60	8425.00	0.03	30.21
MURETE B8	4936.75	4.26	1.92	15	235	250	19.60	4764.77	0.03	30.21
MURETE B9	5238.94	4.52	2.04	15	235	250	19.60	5375.18	0.03	30.21
MURETE B10	5117.18	4.41	1.99	15	235	250	19.60	6763.13	0.03	30.21
MURETE F1	3774.47	4.72	2.65	15	235	250	12.86	4579.93	0.12	185.69
MURETE F2	4785.75	5.98	3.36	15	235	250	12.86	7596.82	0.17	185.69
MURETE F3	2321.66	2.90	1.63	15	235	250	12.86	3495.47	0.12	185.69
MURETE F4	3475.37	4.34	2.44	15	235	250	12.86	4479.21	0.12	185.69

ELABORACIÓN: (Grijalva & Narváez, 2018)

FIGURA 4.41 COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO LEVE (MAMPOSTERÍA DE BLOQUE)



ELABORACIÓN: (Grijalva & Narváez, 2018)

FUENTE: (IBM SPSS STATISTICS, 2015)

El resultado de la prueba de KMO para el daño leve de mampostería bloque es de 0.256 lo que indica que no es aceptable realizar el análisis de componentes principales pero por otro lado realizando el Test de esfericidad de Bartlett se obtiene

un resultado de 0.000 lo que indica que se puede aplicar el análisis factoriales es decir, el análisis de componentes principales; en este análisis se simplifica las variables en 3 componentes las cuales abarcan el 74.33% de información, las cuales están representadas por:

Componente 1: Módulo de corte, Espesor de bloque.

Componente 2: Módulo de elasticidad, Resistencia a la compresión.

Componente 3: Deriva, Resistencia del mortero

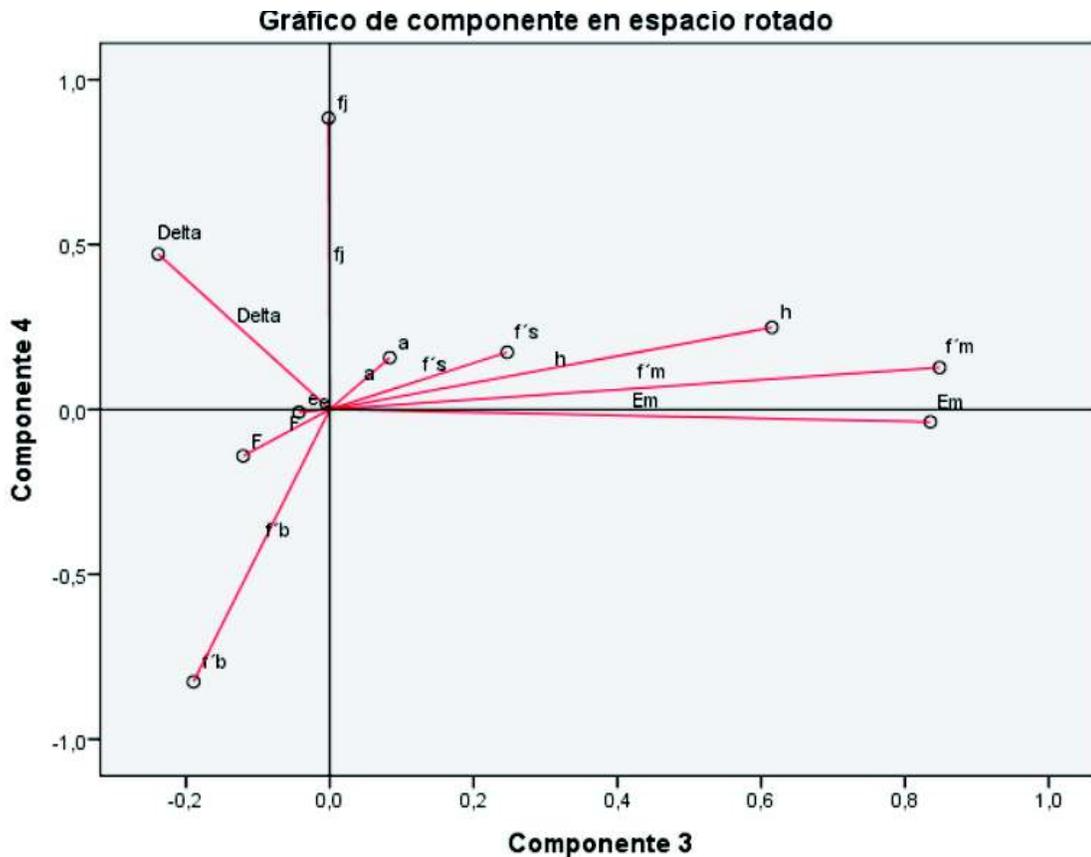
En la matriz de transformación de componente se puede observar que la mayor correlación existente entre la componente 1 y 3, pero como la componente 3 está compuesta por las variables deriva y mortero las cuales no tienen relación entre sí, se eligen las componentes 1 y 2 como ejes para analizar las variables ya que son parte de las propiedades mecánicas y físicas del material. En la FIGURA 4.41 se aprecia que mientras la deriva y la fuerza aumentan el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión disminuyen, esto podría explicarse debido a la aparición de las primeras fisuras las cuales degradan el material y pierde su resistencia.

**TABLA 4.6** VARIABLES PARA DAÑO MODERADO (BLOQUE)

MUESTRA	VARIABLES									
	Em [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fm [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Espesor [cm]	Alto [cm]	Ancho [cm]	Resistencia del Bloque [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [Kg]	Deriva [%]	Resistencia del mortero [kg/cm <sup>2</sup> ]
ALAMBREC 4	8902.38	7.93	1.12	14.2	250	325	25.85	6813.46	0.24	114.88
ALBUJA, PANTOJA	94720.31	9.47	6.15	15	235	250	19.60	10030.89	0.16	92.53
LIMA, PAREDES	6666.30	4.34	1.26	14	250	325	9.99	7516.86	0.35	118.63
ROSA ALOMOTO	5995.93	14.99	6.12	15	220	240	18.90	12046.87	0.22	114.88
DÍAZ, ROGRIGUEZ	11673.71	5.11	1.50	15	220	220	51.80	7894.72	0.14	0.00
LIZ RIVAS	49456.24	38.75	1.22	15	270	260	10.29	4665.62	0.11	102.35
MURETE B1	5863.74	5.18	2.28	15	235	250	19.60	8369.67	0.10	30.21
MURETE B2	5953.87	5.14	2.31	15	235	250	19.60	8103.65	0.07	30.21
MURETE B3	6345.43	5.47	2.47	15	235	250	19.60	8756.93	0.08	30.21
MURETE B4	5416.98	4.67	2.11	15	235	250	19.60	7680.92	0.17	30.21
MURETE B5	4824.69	4.16	1.88	15	235	250	19.60	6630.75	0.08	30.21
MURETE B6	5371.42	4.63	2.09	15	235	250	19.60	7217.28	0.03	30.21
MURETE B7	7886.83	6.80	3.07	15	235	250	19.60	10458.97	0.08	30.21
MURETE B8	4936.75	4.26	1.92	15	235	250	19.60	6645.63	0.07	30.21
MURETE B9	5238.94	4.52	2.04	15	235	250	19.60	9192.70	0.14	30.21
MURETE B10	5117.18	4.41	1.99	15	235	250	19.60	9603.25	0.36	30.21
MURETE F1	3774.47	4.72	2.65	15	235	250	12.86	7172.14	0.20	185.69
MURETE F2	4785.75	5.98	3.36	15	235	250	12.86	9305.83	0.24	185.69
MURETE F3	2321.66	2.90	1.63	15	235	250	12.86	5406.35	0.23	185.69
MURETE F4	3475.37	4.34	2.44	15	235	250	12.86	7109.78	0.23	185.69

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.42** COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO MODERADO (MAMPOSTERIA DE BLOQUE)



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváz, 2018)

**FUENTE:** (IBM SPSS STATISTICS, 2015)

El resultado de la prueba de KMO para el daño moderado de mampostería bloque es de 0.192 lo que indica que no es aceptable realizar el análisis de componentes principales pero por otro lado realizando el Test de esfericidad de Bartlett se obtiene un resultado de 0.000 lo que indica que se puede aplicar el análisis factoriales es decir, el análisis de componentes principales; en este análisis se simplifica las variables en 4 componentes las cuales abarcan el 84.77% de información, las cuales están representadas por:

Componente 1: Ancho del pórtico, Deriva.

Componente 2: Módulo de corte, Fuerza.

Componente 3: Módulo de elasticidad, Resistencia a la compresión.

Componente 4: Resistencia del mortero.

En la matriz de transformación de componente se puede observar que la mayor correlación existente entre la componente 3 y 1, pero como la componente 1 está

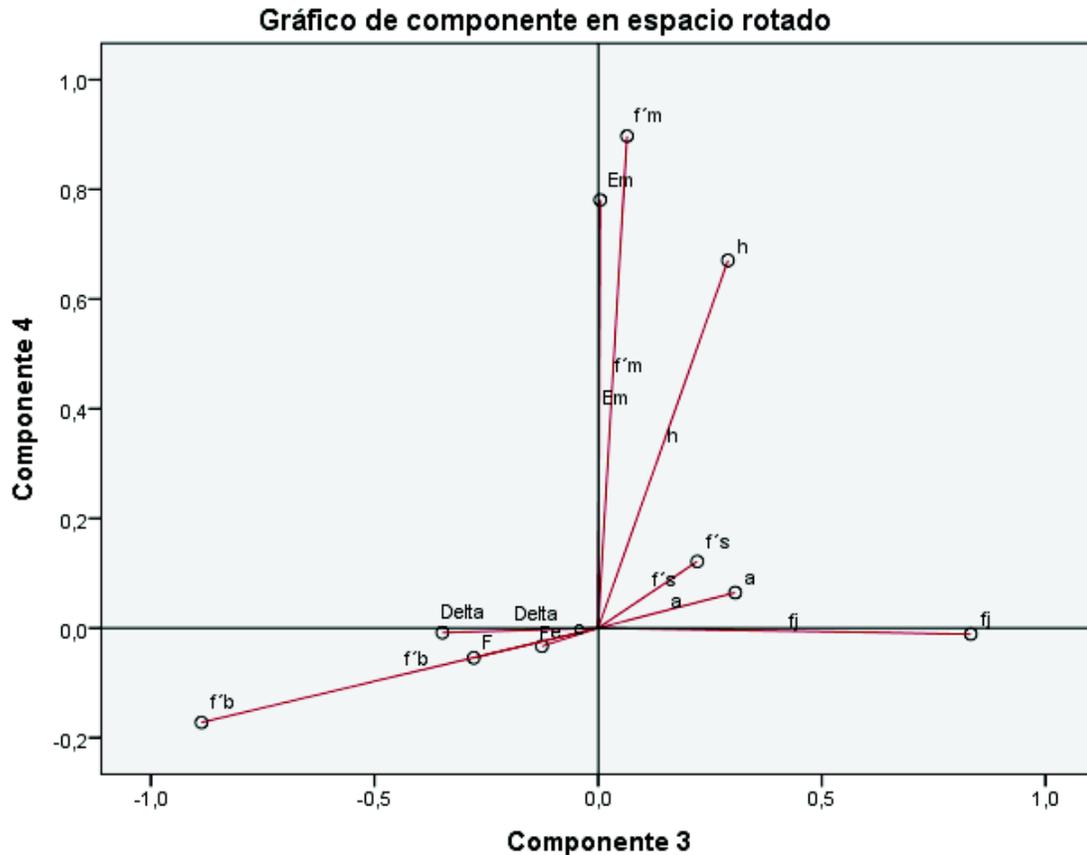
compuesta por las variables deriva y ancho del pórtico las cuales no tienen relación entre sí, se eligen las componentes 3 y 4 como ejes para analizar las variables ya que son parte de las propiedades mecánicas del material. En la FIGURA 4.42 se aprecia que mientras la Deriva aumenta el módulo de corte disminuye en menor proporción, por otra parte, al observar la relación entre la deriva y la resistencia a compresión en sentido de la componente 3 mientras la resistencia a la compresión aumenta la deriva disminuye, esto podría explicarse a que la rigidez depende de las propiedades mecánicas de los elementos.

**TABLA 4.7 VARIABLES PARA DAÑO SEVERO (BLOQUE)**

MUESTRA	VARIABLES							Resistencia del Bloque [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [Kg]	Deriva [%]	Resistencia del mortero [kg/cm <sup>2</sup> ]
	Em [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fm [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Espesor [cm]	Alto [cm]	Ancho [cm]					
ALAMBREC 4	8902.38	7.93	1.12	14.2	250	325	25.85	7921.47	0.76	114.88	
ALBUJA, PANTOJA	94720.31	9.47	6.15	15	235	250	19.60	11104.41	0.38	92.53	
LIMA, PAREDES	6666.30	4.34	1.26	14	250	325	9.99	8895.12	0.75	118.63	
ROSA ALOMOTO	5995.93	14.99	6.12	15	220	240	18.90	11691.35	0.38	114.88	
DÍAZ, ROGRIGUEZ	11673.71	5.11	1.50	15	220	220	51.80	8878.22	0.73	0.00	
LIZ RIVAS	49456.24	38.75	1.22	15	270	260	10.29	6105.92	0.36	102.35	
MURETE B1	5863.74	5.18	2.28	15	235	250	19.60	10501.16	0.38	30.21	
MURETE B2	5953.87	5.14	2.31	15	235	250	19.60	9796.33	0.36	30.21	
MURETE B3	6345.43	5.47	2.47	15	235	250	19.60	9850.09	0.34	30.21	
MURETE B4	5416.98	4.67	2.11	15	235	250	19.60	7924.00	0.34	30.21	
MURETE B5	4824.69	4.16	1.88	15	235	250	19.60	7378.44	0.34	30.21	
MURETE B6	5371.42	4.63	2.09	15	235	250	19.60	6750.41	0.17	30.21	
MURETE B7	7886.83	6.80	3.07	15	235	250	19.60	12894.56	0.42	30.21	
MURETE B8	4936.75	4.26	1.92	15	235	250	19.60	6504.13	0.18	30.21	
MURETE B9	5238.94	4.52	2.04	15	235	250	19.60	11598.86	0.37	30.21	
MURETE B10	5117.18	4.41	1.99	15	235	250	19.60	9429.12	0.38	30.21	
MURETE F1	3774.47	4.72	2.65	15	235	250	12.86	7581.60	0.25	185.69	
MURETE F2	4785.75	5.98	3.36	15	235	250	12.86	9021.10	0.34	185.69	
MURETE F3	2321.66	2.90	1.63	15	235	250	12.86	5604.45	0.34	185.69	
MURETE F4	3475.37	4.34	2.44	15	235	250	12.86	6395.32	0.34	185.69	

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.43 COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO SEVERO (MAMPOSTERIA DE BLOQUE)**



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FUENTE:** (IBM SPSS STATISTICS, 2015)

El resultado de la prueba de KMO para el daño severo de mampostería bloque es de 0.285 lo que indica que no es aceptable realizar el análisis de componentes principales pero por otro lado realizando el Test de esfericidad de Bartlett se obtiene un resultado de 0.000 lo que indica que se puede aplicar el análisis factoriales es decir, el análisis de componentes principales; en este análisis se simplifica las variables en 4 componentes las cuales abarcan el 85.54% de información, las cuales están representadas por:

Componente 1: Ancho del pórtico, Deriva.

Componente 2: Módulo de corte, Fuerza.

Componente 3: Resistencia del mortero.

Componente 4: Módulo de elasticidad, Resistencia a la compresión.

En la matriz de transformación de componente se puede observar que la mayor correlación existente entre la componente 3 y 4, por lo cual se eligen estas

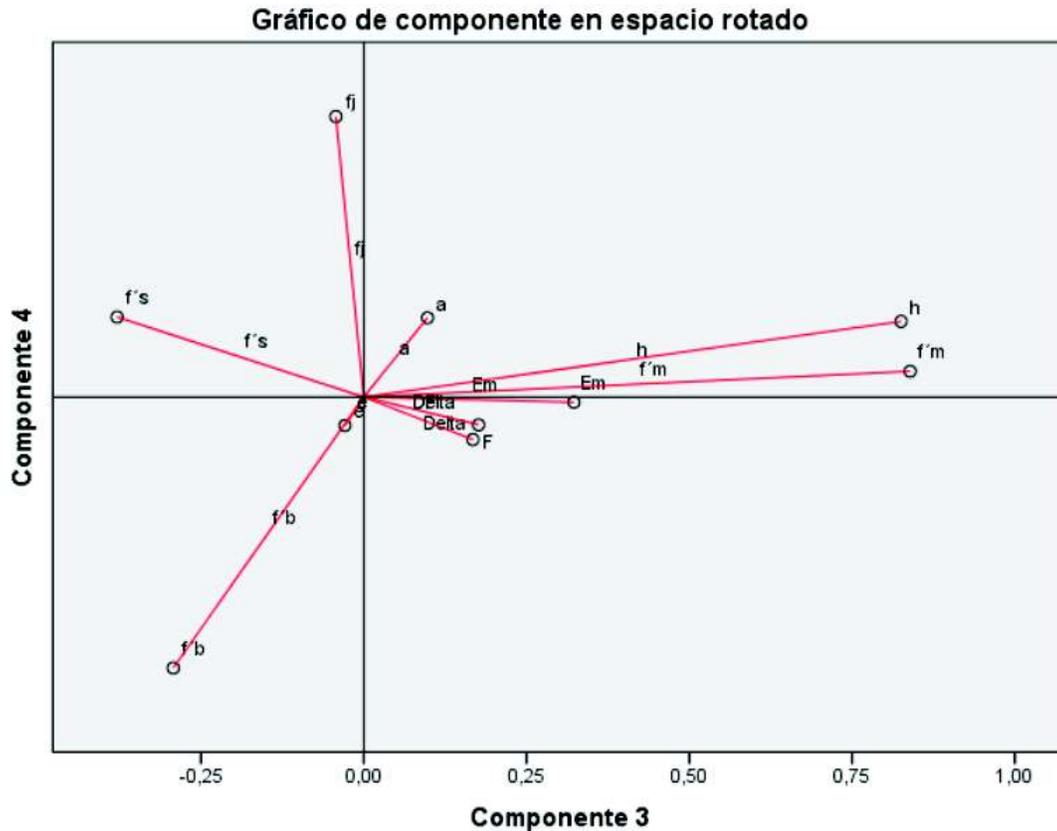
componentes como ejes para analizar las variables ya que son parte de las propiedades mecánicas del material. En la FIGURA 4.43 se aprecia que mientras el módulo de cote, ancho y principalmente la resistencia del mortero aumenta la deriva disminuyo en diferentes proporciones, presentado una similitud con el daño moderado.

**TABLA 4.8 VARIABLES PARA COLAPSO (BLOQUE)**

MUESTRA	VARIABLES									
	Em [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fm [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Espesor [cm]	Alto [cm]	Ancho [cm]	Resistencia del Bloque [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [Kg]	Deriva [%]	Resistencia del mortero [kg/cm <sup>2</sup> ]
ALAMBREC 4	8902.38	7.93	1.12	14.2	250	325	25.85	4783.02	1.86	114.88
ALBUJA, PANTOJA	94720.31	9.47	6.15	15	235	250	19.60	9448.76	0.47	92.53
LIMA, PAREDES	6666.30	4.34	1.26	14	250	325	9.99	4237.31	2.08	118.63
ROSA ALOMOTO	5995.93	14.99	6.12	15	220	240	18.90	2441.64	1.03	114.88
DÍAZ, ROGRIGUEZ	11673.71	5.11	1.50	15	220	220	51.80	4011.24	0.92	0.00
LIZ RIVAS	49456.24	38.75	1.22	15	270	260	10.29	5593.84	1.21	102.35
MURETE B1	5863.74	5.18	2.28	15	235	250	19.60	4660.98	0.94	30.21
MURETE B2	5953.87	5.14	2.31	15	235	250	19.60	4779.96	0.70	30.21
MURETE B3	6345.43	5.47	2.47	15	235	250	19.60	5060.16	0.63	30.21
MURETE B4	5416.98	4.67	2.11	15	235	250	19.60	4318.19	0.53	30.21
MURETE B5	4824.69	4.16	1.88	15	235	250	19.60	3832.06	0.54	30.21
MURETE B6	5371.42	4.63	2.09	15	235	250	19.60	3811.14	0.32	30.21
MURETE B7	7886.83	6.80	3.07	15	235	250	19.60	6341.28	0.83	30.21
MURETE B8	4936.75	4.26	1.92	15	235	250	19.60	3964.02	0.36	30.21
MURETE B9	5238.94	4.52	2.04	15	235	250	19.60	4117.28	1.23	30.21
MURETE B10	5117.18	4.41	1.99	15	235	250	19.60	4045.22	1.04	30.21
MURETE F1	3774.47	4.72	2.65	15	235	250	12.86	3492.94	0.37	185.69
MURETE F2	4785.75	5.98	3.36	15	235	250	12.86	5331.18	0.47	185.69
MURETE F3	2321.66	2.90	1.63	15	235	250	12.86	3316.68	0.54	185.69
MURETE F4	3475.37	4.34	2.44	15	235	250	12.86	3884.27	0.43	185.69

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.44 COMPONENTES PRINCIPALES PARA COLAPSO (MAMPOSTERIA DE BLOQUE)**



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FUENTE:** (IBM SPSS STATISTICS, 2015)

El resultado de la prueba de KMO para colapso de mampostería bloque es de 0.267 lo que indica que no es aceptable realizar el análisis de componentes principales pero por otro lado realizando el Test de esfericidad de Bartlett se obtiene un resultado de 0.000 lo que indica que se puede aplicar el análisis factoriales es decir, el análisis de componentes principales; en este análisis se simplifica las variables en 4 componentes las cuales abarcan el 86.44% de información, las cuales están representadas por:

Componente 1: Ancho del pórtico, Deriva.

Componente 2: Módulo de corte, Modulo de elasticidad, Fuerza.

Componente 3: Resistencia a la compresión, Altura del pórtico.

Componente 4: Resistencia del mortero.

En la matriz de trasformación de componente se puede observar que la mayor correlación existente entre la componente 1 y 3, pero como la componente 1 está compuesta por las variables deriva y ancho del pórtico las cuales no tienen relación

entre sí, se eligen las componentes 3 y 4 como ejes para analizar las variables ya que son parte de las propiedades mecánicas del material. En la FIGURA 4.44 se aprecia que mientras la deriva aumenta el módulo de corte disminuye, teniendo una semejanza con los niveles de daño anteriores.

#### 4.3.3.2 Componentes Principales para Mampostería de Ladrillo

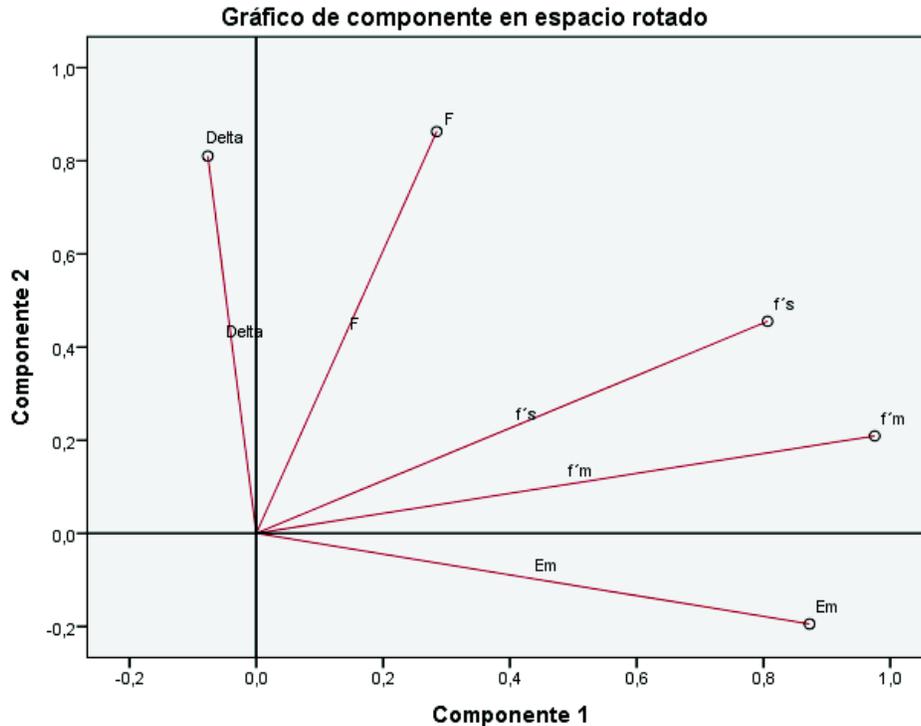
De la misma manera que en la mampostería de bloque, para obtener el análisis de las componentes principales y sus gráficas es indispensable realizar el test de esfericidad Bartlett y el índice de KMO (sección 4.3.1) para saber si es aplicable y se tiene datos confiables, estos resultados se presentan en el ANEXO 6, para este tipo de mampostería existen 10 variables teniendo presente que 5 de estas tienen valores constantes (espesor, alto, ancho, resistencia del bloque, resistencia del mortero) con los cuales no se puede trabajar debido la varianza entre los datos es nula y no es posible la ejecución del análisis factorial, de igual manera para cada nivel de daño (leve, moderado, severo, colapso) se realiza en análisis de componentes principales teniendo simplemente 5 variables; a continuación se presentan los resultados obtenidos utilizando el SPSS.

**TABLA 4.9 VARIABLES PARA DAÑO LEVE (LADRILLO)**

VARIABLES										
MUESTRA	Em [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fm [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Espesor [cm]	Alto [m]	Ancho [m]	Resistencia del bloque [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [Kg]	Deriva [%]	Resistencia del mortero [kg/cm <sup>2</sup> ]
Rosa Alomoto	8599.47	7.17	0.83	15	2.2	2.3	20.28	2515.36	0.10	114.88
MURETE L1	3798.58	6.33	1.18	15	2.2	2.3	20.28	4773.98	0.14	114.88
MURETE L2	3244.43	5.41	1.01	15	2.2	2.3	20.28	2207.93	0.08	114.88
MURETE L3	2805.63	4.68	0.87	15	2.2	2.3	20.28	3812.29	0.14	114.88
MURETE B4	1320.58	2.20	0.41	15	2.2	2.3	20.28	2701.92	0.03	114.88
MURETE B5	4307.46	7.18	1.34	15	2.2	2.3	20.28	3917.74	0.11	114.88
MURETE B6	2120.60	3.53	0.66	15	2.2	2.3	20.28	3404.02	0.15	114.88
MURETE B7	4402.77	7.34	1.37	15	2.2	2.3	20.28	4145.08	0.11	114.88
MURETE B8	2437.33	4.06	0.76	15	2.2	2.3	20.28	3405.09	0.14	114.88
MURETE L9	1621.02	2.70	0.50	15	2.2	2.3	20.28	2433.71	0.13	114.88

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 4.45 COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO LEVE (MAMPOSTERIA DE LADRILLO)**



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváz, 2018)

**FUENTE:** (IBM SPSS STATISTICS, 2015)

El resultado de la prueba de KMO para daño leve de mampostería ladrillo es de 0.432 lo que indica que no es aceptable realizar el análisis de componentes principales pero por otro lado realizando el Test de esfericidad de Bartlett se obtiene un resultado de 0.000 lo que indica que se puede aplicar el análisis factoriales es decir, el análisis de componentes principales; en este análisis se simplifica las variables en 2 componentes las cuales abarcan el 82.8% de información, las cuales están representadas por:

Componente 1: Módulo de corte, Modulo de elasticidad, Resistencia a la compresión.

Componente 2: Deriva, Fuerza.

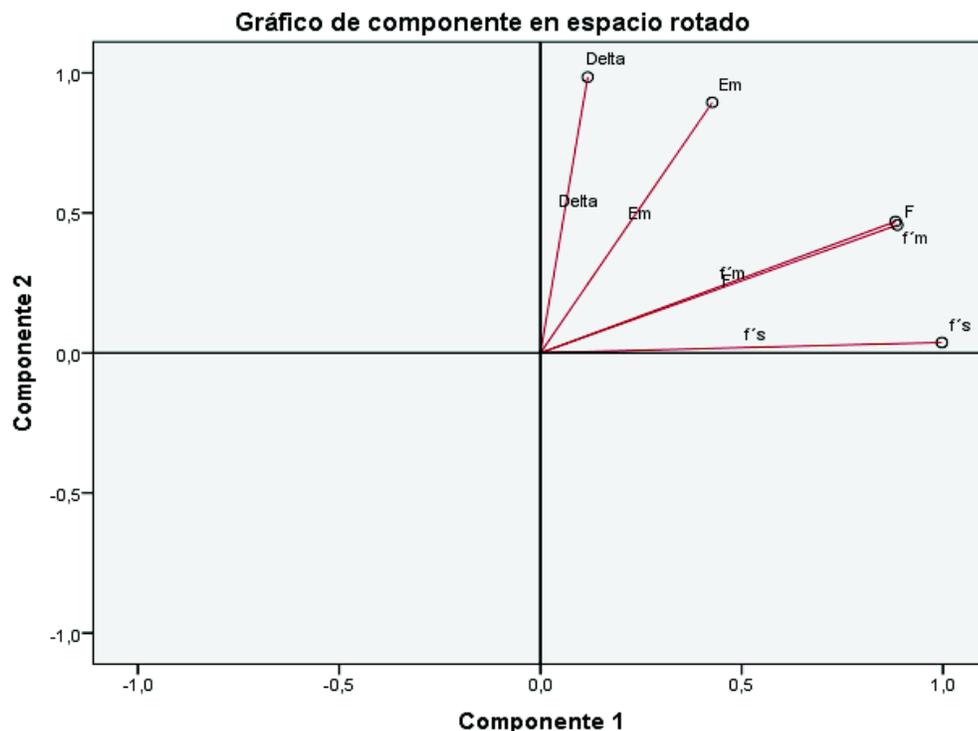
En la FIGURA 4.45 se aprecia que la fuerza y la deriva aumentan progresivamente, por otra parte, al observar el eje de la componente 1 que depende de las propiedades mecánicas del material están directamente relacionadas entre sí.

**TABLA 4.10** VARIABLES PARA DAÑO MODERADO (LADRILLO)

VARIABLES										
MUESTRA	Em [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fm [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Espesor [cm]	Alto [m]	Ancho [m]	Resistencia del bloque [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [Kg]	Deriva [%]	Resistencia del mortero [kg/cm <sup>2</sup> ]
Rosa Alomoto	8599.47	7.17	0.83	15	2.2	2.3	20.28	6120.52	0.57	114.88
MURETE L1	3798.58	6.33	1.18	15	2.2	2.3	20.28	5775.27	0.20	114.88
MURETE L2	3244.43	5.41	1.01	15	2.2	2.3	20.28	4867.47	0.19	114.88
MURETE L3	2805.63	4.68	0.87	15	2.2	2.3	20.28	4647.80	0.20	114.88
MURETE B4	1320.58	2.20	0.41	15	2.2	2.3	20.28	2703.58	0.04	114.88
MURETE B5	4307.46	7.18	1.34	15	2.2	2.3	20.28	5939.36	0.19	114.88
MURETE B6	2120.60	3.53	0.66	15	2.2	2.3	20.28	3726.47	0.18	114.88
MURETE B7	4402.77	7.34	1.37	15	2.2	2.3	20.28	6423.49	0.20	114.88
MURETE B8	2437.33	4.06	0.76	15	2.2	2.3	20.28	4157.82	0.19	114.88
MURETE L9	1621.02	2.70	0.50	15	2.2	2.3	20.28	3013.71	0.18	114.88

ELABORACIÓN: (Grijalva & Narváez, 2018)

FIGURA 4.46 COMPONENTES PRINCIPALES PARA DAÑO MODERADO (MAMPOSTERIA DE LADRILLO)



ELABORACIÓN: (Grijalva & Narváez, 2018)

FUENTE: (IBM SPSS STATISTICS, 2015)

El resultado de la prueba de KMO para daño moderado de mampostería ladrillo es de 0.535 lo que indica que es aceptable realizar el análisis de componentes principales además, realizando el Test de esfericidad de Bartlett se obtiene un resultado de 0.000 lo que indica que se puede aplicar el análisis factoriales es decir, el análisis de componentes principales; en este análisis se simplifica las variables

en 2 componentes las cuales abarcan el 99.13% de información, las cuales están representadas por:

Componente 1: Módulo de corte, Fuerza, Resistencia a la compresión.

Componente 2: Deriva, Modulo de Elasticidad.

En la FIGURA 4.46 se aprecia que la fuerza y la deriva aumentan em diferente proporción con una menor fuerza se tiene una mayor deriva, lo mismo ocurre con las propiedades mecánicas las cuales están relacionadas directamente, pero la proporción cambia como se observa en la figura.

**TABLA 4.11** VARIABLES PARA DAÑO SEVERO (LADRILLO)

VARIABLES										
MUESTRA	Em [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fm [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Espesor [cm]	Alto [m]	Ancho [m]	Resistencia del bloque [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [Kg]	Deriva [%]	Resistencia del mortero [kg/cm <sup>2</sup> ]
Rosa Alomoto	8599.47	7.17	0.83	15	2.2	2.3	20.28	6120.52	0.57	114.88
MURETE L1	3798.58	6.33	1.18	15	2.2	2.3	20.28	4766.99	0.45	114.88
MURETE L2	3244.43	5.41	1.01	15	2.2	2.3	20.28	4060.00	0.49	114.88
MURETE L3	2805.63	4.68	0.87	15	2.2	2.3	20.28	4340.89	0.57	114.88
MURETE B4	1320.58	2.20	0.41	15	2.2	2.3	20.28	2445.79	0.09	114.88
MURETE B5	4307.46	7.18	1.34	15	2.2	2.3	20.28	5556.62	0.67	114.88
MURETE B6	2120.60	3.53	0.66	15	2.2	2.3	20.28	3609.98	0.44	114.88
MURETE B7	4402.77	7.34	1.37	15	2.2	2.3	20.28	6021.13	0.55	114.88
MURETE B8	2437.33	4.06	0.76	15	2.2	2.3	20.28	3673.88	0.47	114.88
MURETE L9	1621.02	2.70	0.50	15	2.2	2.3	20.28	2433.03	0.35	114.88

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

El resultado de la prueba de KMO para daño severo de mampostería ladrillo es de 0.646 lo que indica que es aceptable realizar el análisis de componentes principales además, realizando el Test de esfericidad de Bartlett se obtiene un resultado de 0.000 lo que indica que se puede aplicar el análisis factoriales es decir, el análisis de componentes principales; en este análisis se simplifica las variables en 1 componente (no se puede generar la gráfica) la cual abarca el 82.16% de información la cual está representada por todas las variables mencionadas, según la matriz de componentes la variable que más influencia este nivel de daño es la resistencia a la compresión.

**TABLA 4.12 VARIABLES PARA COLAPSO (LADRILLO)**

VARIABLES										
MUESTRA	Em [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fm [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Espesor [cm]	Alto [m]	Ancho [m]	Resistencia del bloque [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [Kg]	Deriva [%]	Resistencia del mortero [kg/cm <sup>2</sup> ]
Rosa Alomoto	8599.47	7.17	0.83	15	2.2	2.3	20.28	4124.68	1.13	114.88
MURETE L1	3798.58	6.33	1.18	15	2.2	2.3	20.28	2881.54	0.64	114.88
MURETE L2	3244.43	5.41	1.01	15	2.2	2.3	20.28	2601.66	0.71	114.88
MURETE L3	2805.63	4.68	0.87	15	2.2	2.3	20.28	2212.54	1.04	114.88
MURETE B4	1320.58	2.20	0.41	15	2.2	2.3	20.28	570.61	0.23	114.88
MURETE B5	4307.46	7.18	1.34	15	2.2	2.3	20.28	3318.16	1.11	114.88
MURETE B6	2120.60	3.53	0.66	15	2.2	2.3	20.28	1874.96	0.96	114.88
MURETE B7	4402.77	7.34	1.37	15	2.2	2.3	20.28	3443.51	0.86	114.88
MURETE B8	2437.33	4.06	0.76	15	2.2	2.3	20.28	1996.24	0.70	114.88
MURETE L9	1621.02	2.70	0.50	15	2.2	2.3	20.28	1266.51	0.48	114.88

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

El resultado de la prueba de KMO para colapso de mampostería ladrillo es de 0.512 lo que indica que es aceptable realizar el análisis de componentes principales además, realizando el Test de esfericidad de Bartlett se obtiene un resultado de 0.000 lo que indica que se puede aplicar el análisis factoriales es decir, el análisis de componentes principales; en este análisis se simplifica las variables en 1 componente (no se puede generar la gráfica) la cual abarca el 79.88% de información la cual está representada por todas las variables mencionadas, según la matriz de componentes la variable que más influencia este nivel de daño es la Fuerza.

#### **4.4 SISTEMATIZACIÓN DEL CÁLCULO DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ENSAYOS FUTUROS**

En esta sección se explica un procedimiento sencillo el cual permite ir incrementando el número de ensayos, de tal manera se incrementará el espacio muestral y a su vez mejorar  el porcentaje de confiabilidad de las curvas de fragilidad ya expuesto en la sección 3.3.1. Con ayuda de la codificación (Mora, 2018) expuesto en el ANEXO 7, la sistematización sigue los siguientes pasos para su ejecución:

Debe existir una hoja de Excel con los datos almacenados de cada ensayo, la cual debe tener el siguiente formato (FIGURA 4.45) donde consta la fecha de realización del ensayo, y los datos en porcentaje de deriva para cada nivel de daño ya mencionados.

Nota: no deben existir filas vacías en el documento de Excel en el que se encuentren almacenados la base de datos de los ensayos como se muestra claramente en la (FIGURA 4.47) y este archivo debe estar cerrado.

**FIGURA 4.47** BASE DE DATOS EXCEL

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		FECHA	May-17	Jun-17	Jul-17	Ene-16	Ene-11	Jul-17
2			ALAMBREC 4	ALBUJA, PANTOJA	LIMA, PAREDES	ROSA ALOMOTO	DÍAZ ROGRIGUEZ	LIZ RIVAS
3	NIVELES DE DAÑO	Primera fisura diagonal	3.853	4.085	4.288	5.844	4.148	1.693
4		Degradación de rigidez	6.813	10.031	7.517	12.047	7.895	4.666
5		Degradación de rigidez y resistencia	7.921	11.104	8.895	11.691	8.878	6.106
6		Colapso	4.783	9.449	4.237	2.442	4.011	5.594

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

A continuación, se ejecuta el archivo “Ejm\_cdf\_mamp.m” en el cual se introducen los puntos de la curva de capacidad del sistema pòrtico con mampostería y la curva de capacidad del pòrtico sin mampostería en porcentaje de deriva como se muestra en la FIGURA 4.48.

**FIGURA 4.48** EJEMPLO DE DATOS DE CURVA DE CAPACIDAD (DERIVA %) DE PÓRTICO CON MAMPOSTERÍA Y SIN MAMPOSTERÍA.

```

%%
Portico_con_mamp=[0.00 0.01
0.01 0.33
0.20 2.00
0.26 2.33
0.26 2.31
0.66 4.44
1 4.756
1.31 5.032
3.36 6.96
3.56 7.04
6.5 8.016
];
Portico_sin_mamp=[0.00 0.00
1.00 0.35
1.31 0.372
3.00 0.52
6.5 0.731
7.00 0.80
9.82 1.123
15.00 1.24
31.00 2.17];

```

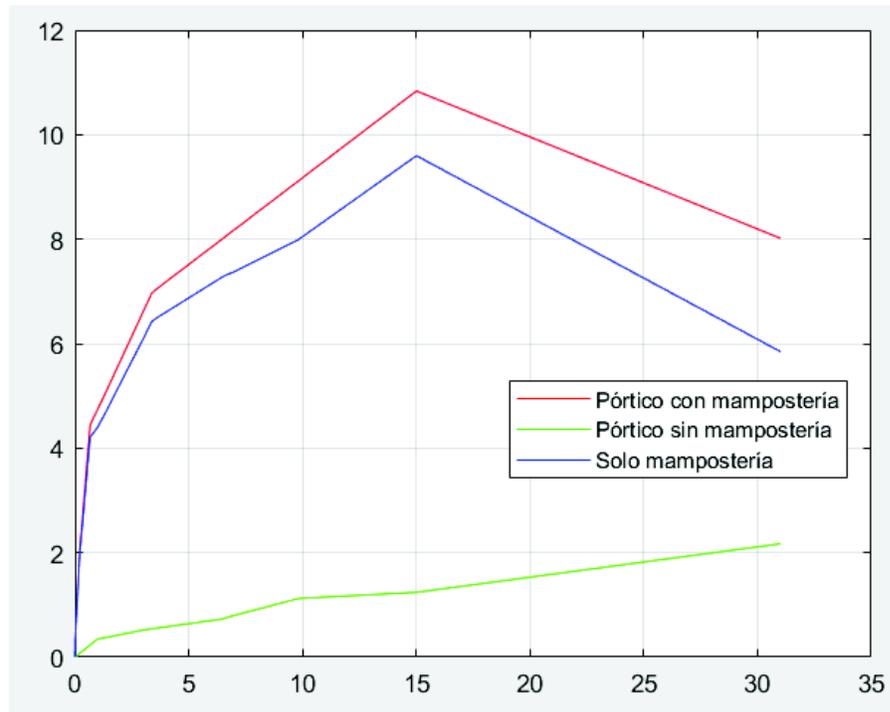
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

Además, este archivo (Ejm\_cdf\_mamp.m) está construido en base de la función “CDFmamposteria” la cual consta de las siguientes partes:

- **Curvas con todos los posibles puntos interpolados:** Esta función toma los datos de la curva de capacidad que posea el mayor número de puntos (ya sea del sistema pórtico con mampostería o el pórtico sin mampostería) y los convierte en igual número de intervalos para obtener los datos de la curva de capacidad de la mampostería.
- **FunctionFuerzaMampT=RigMampTesis(FuerzaCompletaT,FuerzaPorticoT,Despl):** Esta función realiza lo expuesto en la sección 3.1.
- **Gráficos:** esta función grafica las curvas de capacidad del sistema pórtico con mampostería, del pórtico sin mampostería y de la mampostería.
- **Linealización por usuario:** esta función permite al usuario identificar los puntos en los cuales se producen los distintos niveles de daño expuestos en la sección 4.2.3.
- **Datos de Excel:** Esta función permite que se guarden automáticamente los puntos seleccionados en la “linealización por usuario” en la base de datos (Hoja de Excel):
- **Curvas CDF (Arrange):** esta función calcula las medidas de localización (media aritmética, desviación estándar) las cuales emplea la distribución lognormal para obtener las curvas de fragilidad respecto a lavase de datos obtenida.

Entonces, continuando con la ejecución del programa, después de haber ingresado las curvas de capacidad mencionadas en la FIGURA 4.48 se ejecuta en programa e inmediatamente se obtienen los datos de las curvas de capacidad para los 3 casos como se observa en la FIGURA 4.49

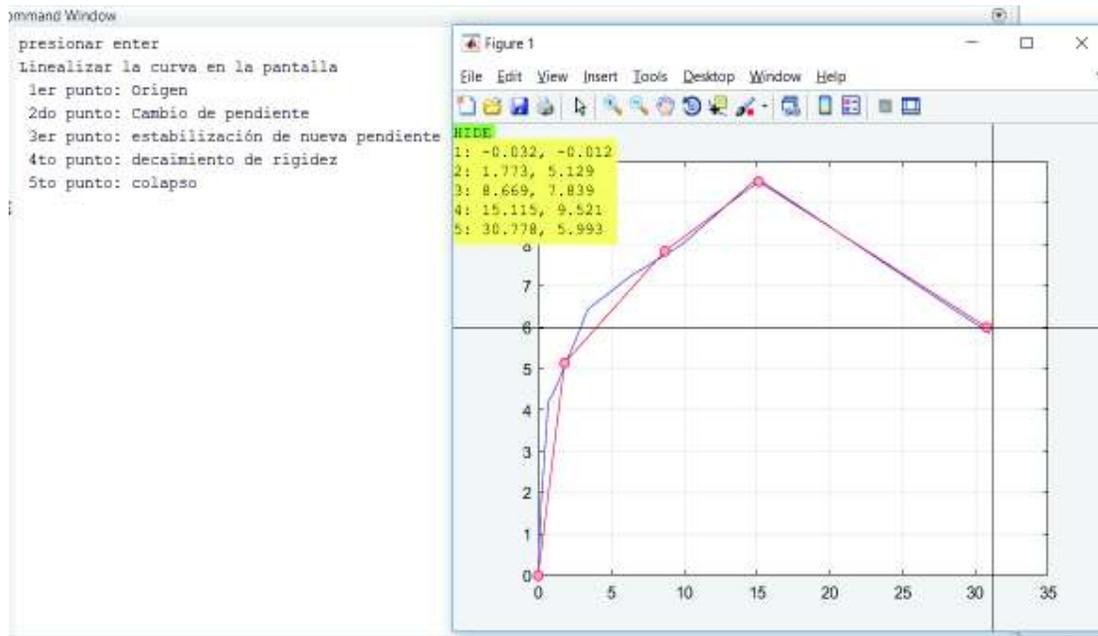
**FIGURA 4.49** CURVAS DE CAPACIDAD SISTEMA PÓRTICO CON MAMPOSTERÍA, MAMPOSTERÍA Y PÓRTICO.



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

A continuación, en el programa se mostrará un mensaje “presionar enter”, entonces aparecerá un cuadro que presenta la curva de capacidad de la mampostería en el cual se deben seleccionar manualmente los 5 puntos que nos indica la FIGURA 4.50.

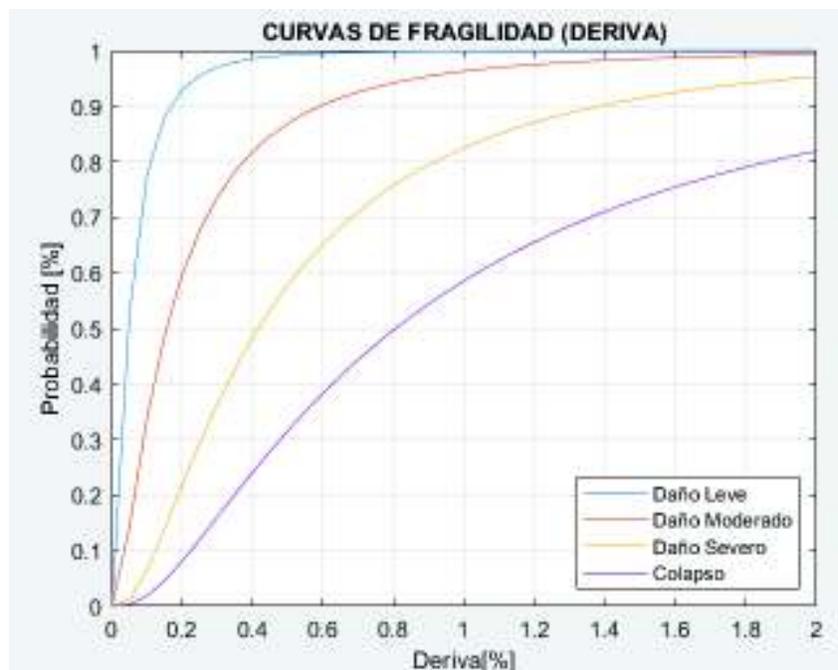
**FIGURA 4.50** LINEALIZACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DE MAMPOSTERÍA.



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

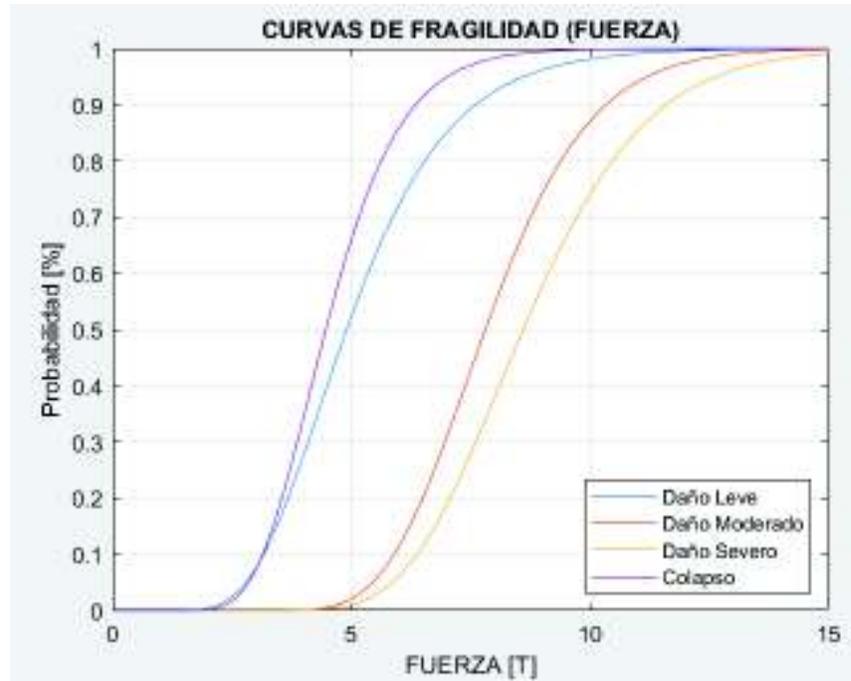
Finalmente presionamos “enter” para obtener las curvas de fragilidad tanto para deriva y para fuerza, como se indica en la FIGURA 4.51 y 4.52.

**FIGURA 4.51** CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DERIVA.



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

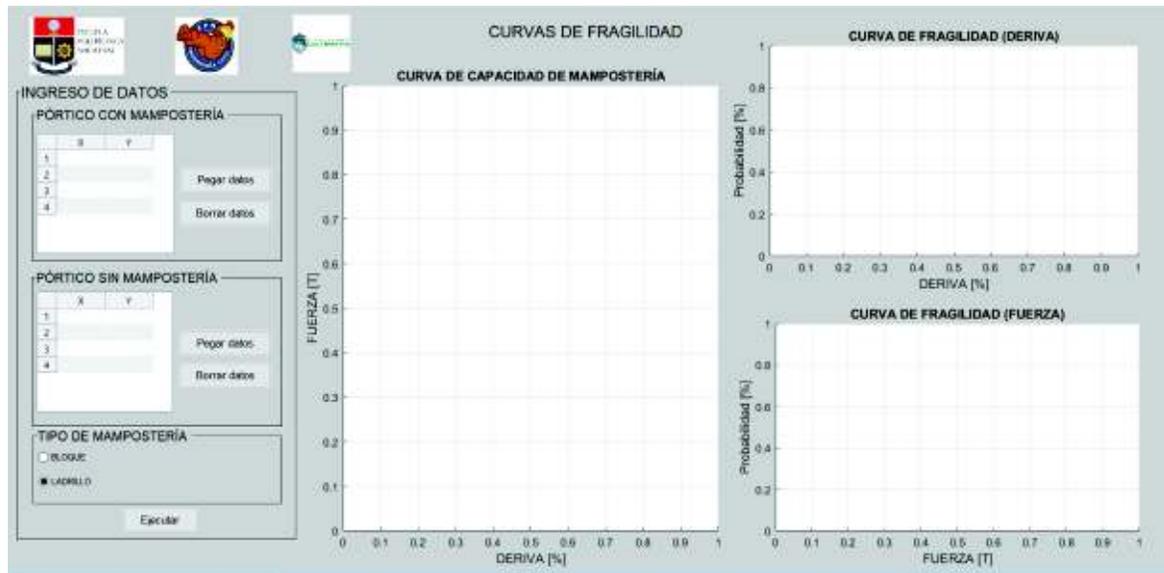
**FIGURA 4.52** CURVAS DE CAPACIDAD PARA FUERZA.



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

#### 4.4.1 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA

Con toda la explicación del funcionamiento de la codificación empleada, a continuación, se presenta un programa FIGURA 4.53 de fácil ejecución con el cual en 3 sencillos pasos se pueden implementar más ensayos e ir actualizando de manera automática las curvas de fragilidad para la mampostería de bloque y ladrillo.

**FIGURA 4.53** PROGRAMA PARA CUERVAS DE FRAGILIDAD

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**Paso 1:** Se debe ingresar los datos de las curvas de capacidad de los ensayos del “PÓRTICO CON MAMPOSTERÍA” y “PÓRTICO SIN MAMPOSTERÍA” simplemente copiando los datos obtenidos y dando click en el botón “Pegar datos” como se indica en la FIGURA 4.54. Además, existe la opción de “Borrar datos” en el caso que se copien datos erróneos en el cuadro.

Nota: Es importante tener en cuenta que en el eje “X” se debe colocar los datos de la curva de capacidad en función de la deriva y en el eje “Y” los datos de la Fuerza.

**FIGURA 4.54** INGRESO DE DATOS

**INGRESO DE DATOS**

**PÓRTECO CON MAMPOSTERÍA**

	X	Y
1	0	0.0100
2	0.0100	0.3300
3	0.2000	2
4	0.2600	2.3300
5	0.2600	2.3100
6	0.8500	1.1400

Pegar datos  
Borrar datos

**PÓRTECO SIN MAMPOSTERÍA**

	X	Y
1	0	0
2	1	0.3500
3	1.3100	0.3720
4	3	0.5200
5	6.5000	0.7310
6	7	0.8000

Pegar datos  
Borrar datos

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**Paso 2:** Se selecciona el tipo de mampostería a cual pertenecen los datos ingresados de las curvas de capacidad mencionadas en el paso 1 y se da clic en el botón “ejecutar” como se muestra en la FIGURA 4.55.

**FIGURA 4.55** TIPO DE MAMPOSTERÍA

**TIPO DE MAMPOSTERÍA**

BLOQUE

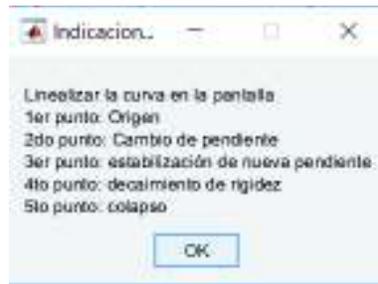
LADRILLO

Ejecutar

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**Paso 3:** A continuación, se presentan las indicaciones a seguir (FIGURA 4.56), las cuales son los puntos que se deben seleccionar en la curva de capacidad de la mampostería (FIGURA 4.57), y automáticamente luego de haber seleccionado los 5 puntos se grafican las curvas de fragilidad actualizadas (FIGURA 4.58) con los datos del ensayo ingresado, estos datos se guardan en una base de datos ya creada.

FIGURA 4.56 INDICACIONES S SEGUIR



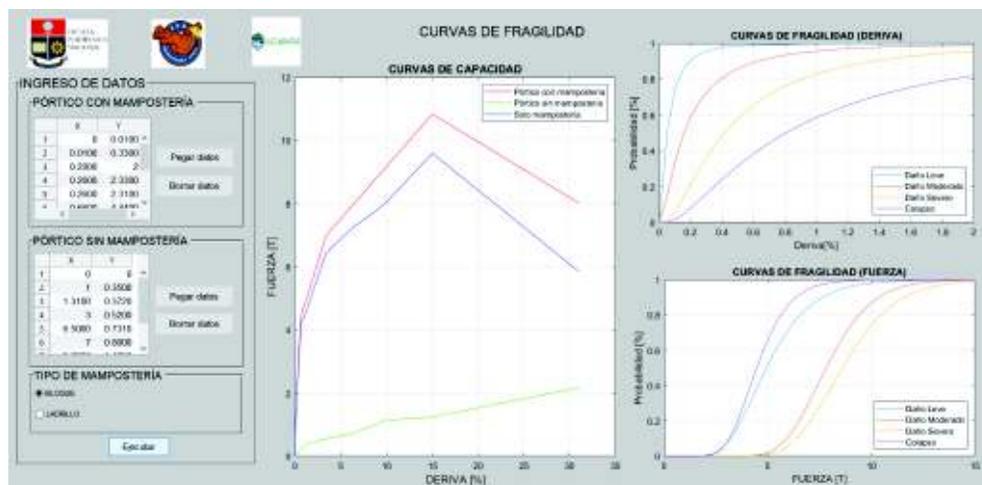
ELABORACIÓN: (Grijalva &amp; Narvárez, 2018)

FIGURA 4.57 SELECCIÓN DE PUNTOS EN CURVA DE FRAGILIDAD



ELABORACIÓN: (Grijalva &amp; Narvárez, 2018)

FIGURA 4.58 CURVA DE FRAGILIDAD ACTUALIZADA



ELABORACIÓN: (Grijalva &amp; Narvárez, 2018)

## CAPÍTULO 5

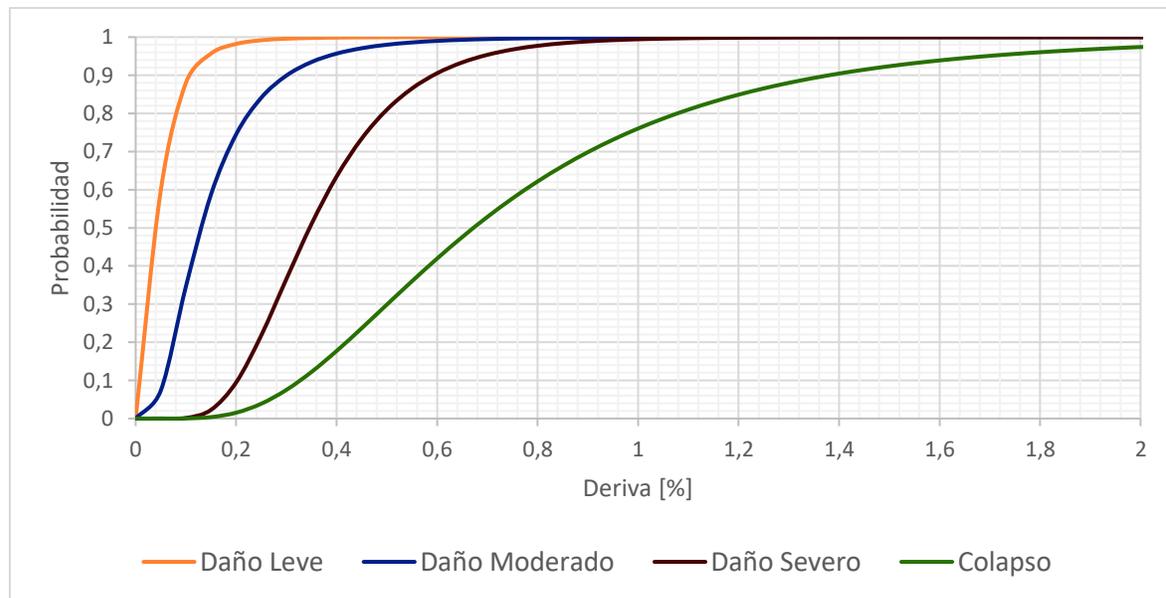
### DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 RESUMEN

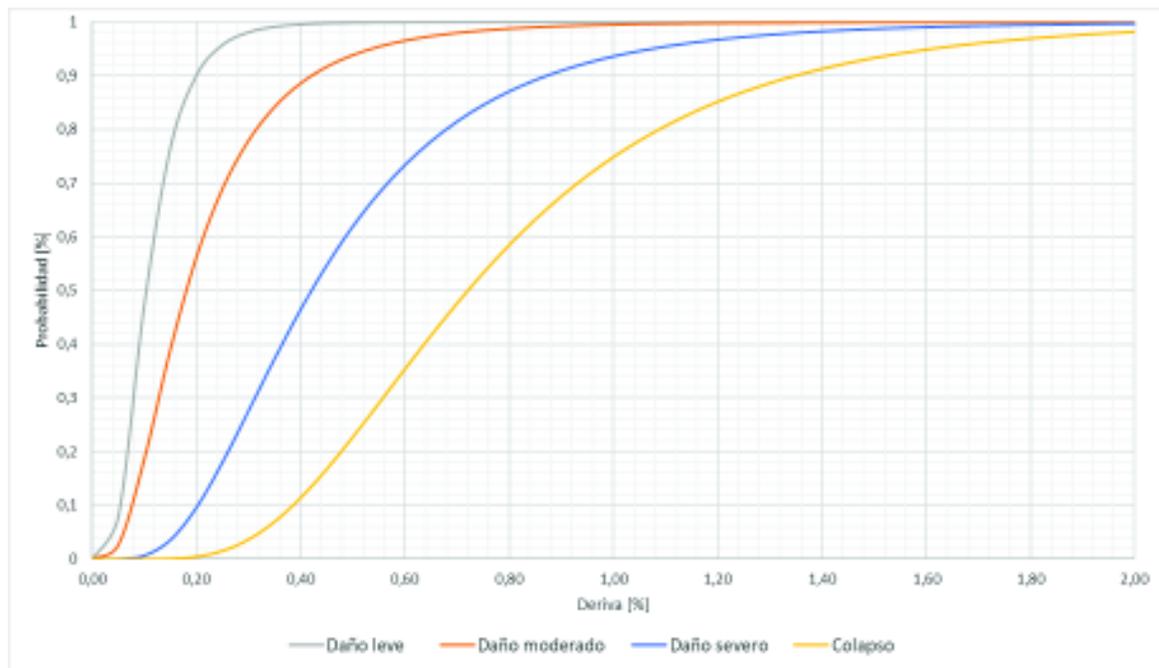
Se expone información a manera de comentarios explicando cada gráfica fruto de los resultados obtenidos en este estudio, así como también algunas observaciones relevantes que podrían ser de gran beneficio al momento de aplicar este trabajo en futuras investigaciones.

Con lo mencionado en el capítulo 4, finalmente, utilizando la distribución de probabilidad lognormal, previo a una clasificación de las curvas de capacidad para cada tipo de mampostería e identificación de sus etapas de fallo, se establecen las curvas de fragilidad para cada estado de daño propuesto a continuación en la FIGURA 5.1 y 5.2.

**FIGURA 5.1** CURVAS DE FRAGILIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



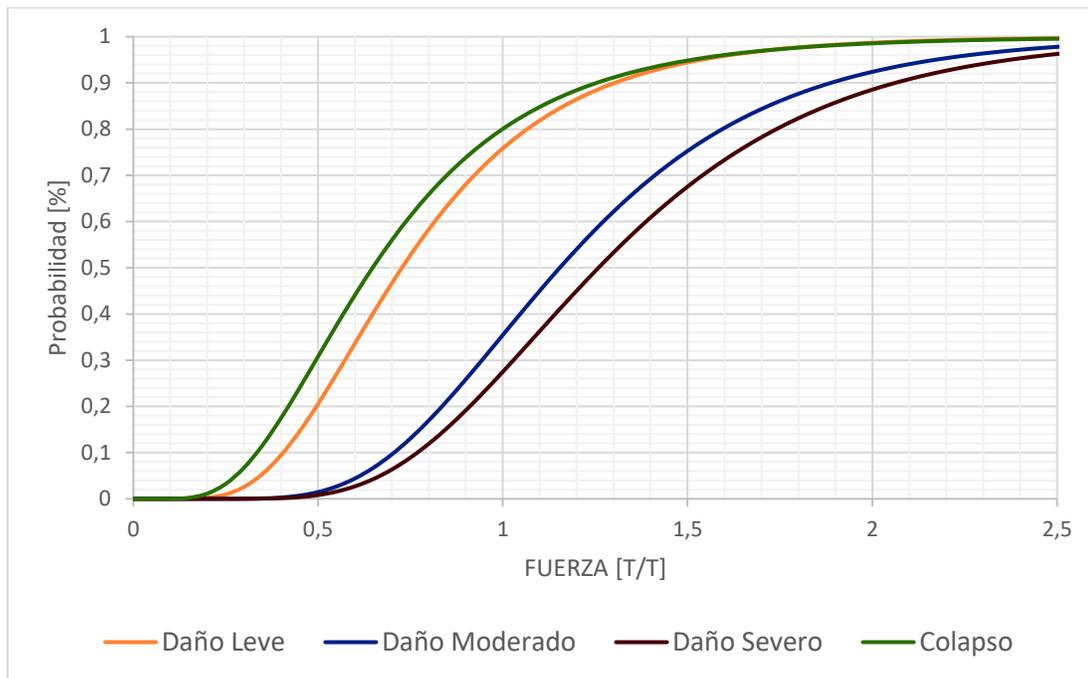
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

**FIGURA 5.2** CURVAS DE FRAGILIDAD PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO

**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

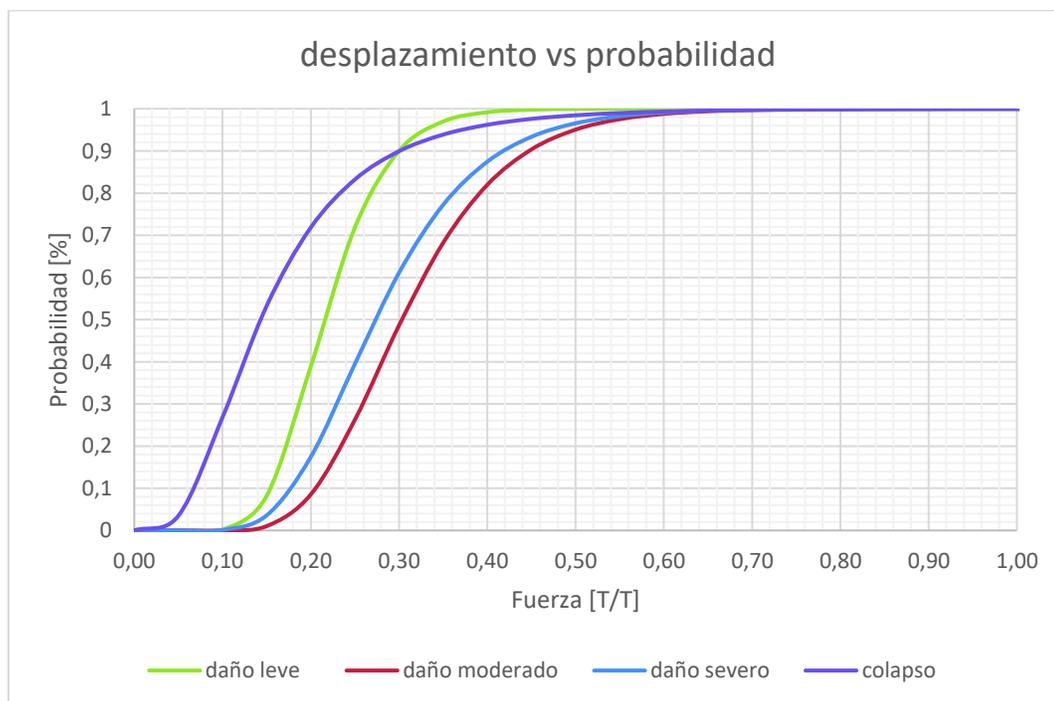
De la misma manera que se obtuvieron las curvas de fragilidad en función de la deriva [%], se realiza el mismo procedimiento para obtener las curvas de fragilidad en función de la fuerza parametrizada  $[T/T]$  y poder observar la variabilidad que presentan estas, además obtener las respectivas conclusiones, a continuación, se presentan dichas curvas en la FIGURA 5.3 y 5.4.

**FIGURA 5.3** CURVAS DE FRAGILIDAD EN FUERZA (PARAMETRIZADAS) PARA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

**FIGURA 5.4** CURVAS DE FRAGILIDAD EN FUERZA (PARAMETRIZADAS) PARA MAMPOSTERÍA DE LADRILLO



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

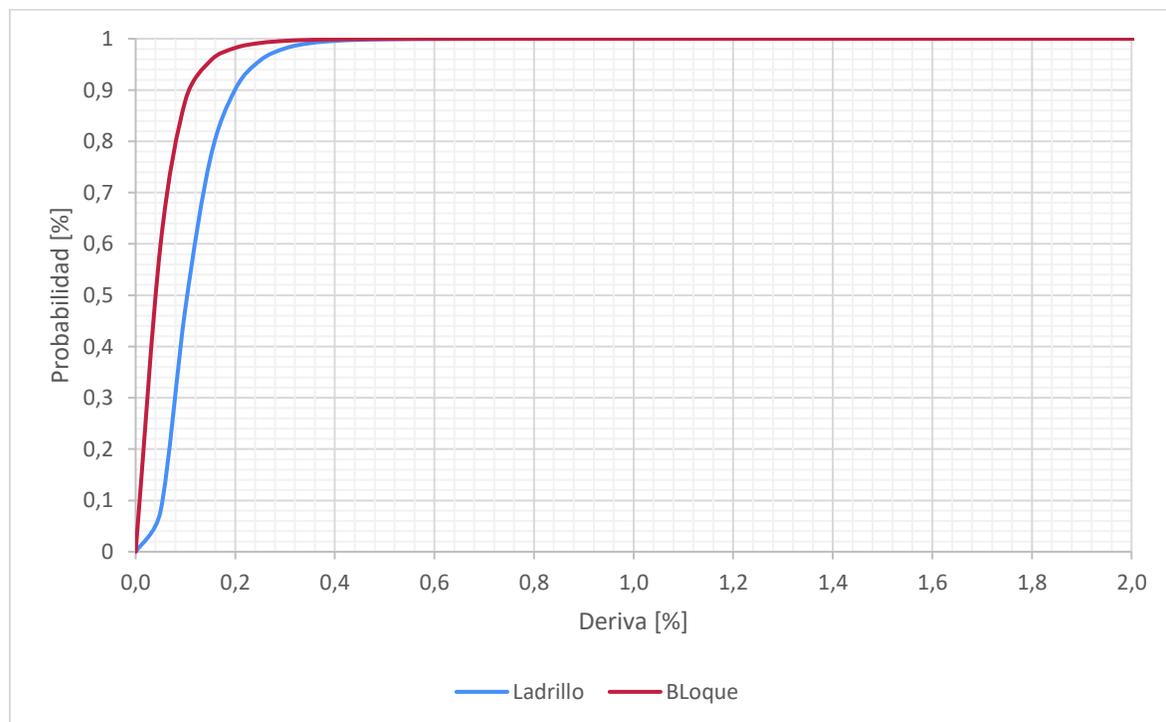
## 5.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se analiza 3 puntos importantes: 25%, 50% y 100% de probabilidad de que exista fallos en la mampostería, para los 4 niveles de daño establecidos, comparando para cada tipo de mampostería.

En esta sección se realiza una ligera comparación entre las curvas de fragilidad obtenidas para cada tipo de mampostería en deriva enfocada a cada nivel de daño ya propuesto.

### 5.2.1 CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO LEVE (BLOQUE VS LADRILLO)

**FIGURA 5.5** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO LEVE (BLOQUE VS LADRILLO)



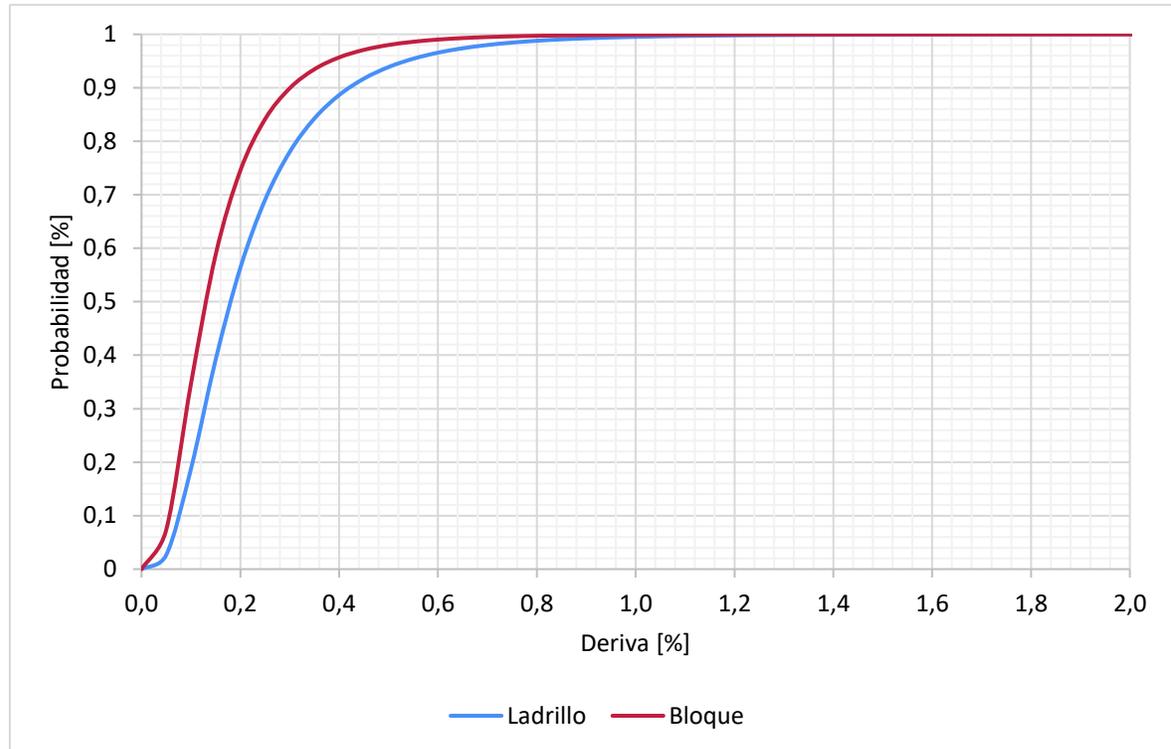
**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

En la FIGURA 5.5 claramente se puede evidenciar que en la mampostería de bloque se tiene menor variabilidad que la mampostería de ladrillo al momento de presentar las primeras fisuras o estado de daño; esto se puede comprobar y observar en la curva de bloque ya que esta tiene una pendiente mucho más

pronunciada que la curva de ladrillo, en la curva de bloque existe una variabilidad de 0 a 0.3 % de deriva mientras que en la mampostería de ladrillo va desde 0 a 0.4% de deriva.

### 5.2.2 CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO MODERADO (BLOQUE VS LADRILLO)

**FIGURA 5.6** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO MODERADO (BLOQUE VS LADRILLO)

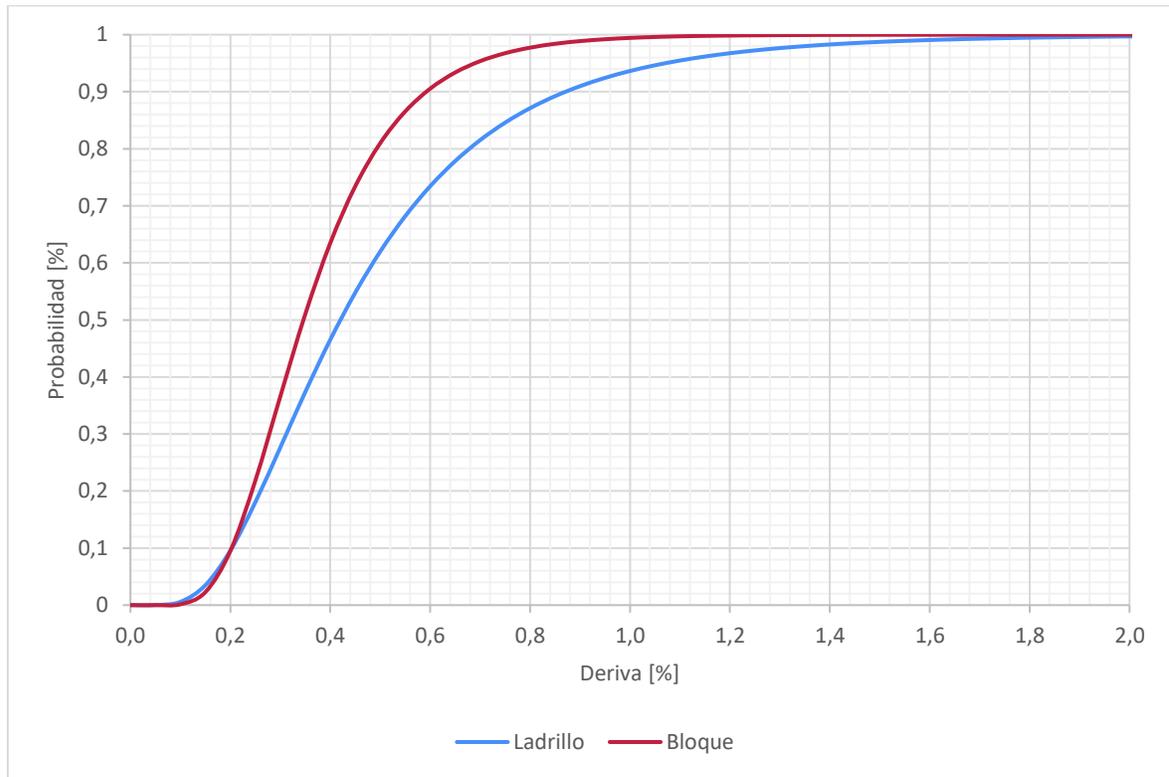


**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narvárez, 2018)

En la FIGURA 5.6 en este gráfico se puede observar que la mampostería de bloque continúa presentando menor variabilidad a la de ladrillo al momento de alcanzar el segundo estado de daño; esto se puede evidenciar analizando a que en la curva de bloque persiste una pendiente más pronunciada que la curva de ladrillo, presentado una variabilidad para la curva de mampostería de bloque de 0 a 0.75 % de deriva y para la mampostería de ladrillo de 0 a 0.9% de deriva.

### 5.2.3 CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO SEVERO (BLOQUE VS LADRILLO)

**FIGURA 5.7** CURVA DE FRAGILIDAD DAÑO SEVERO (BLOQUE VS LADRILLO)

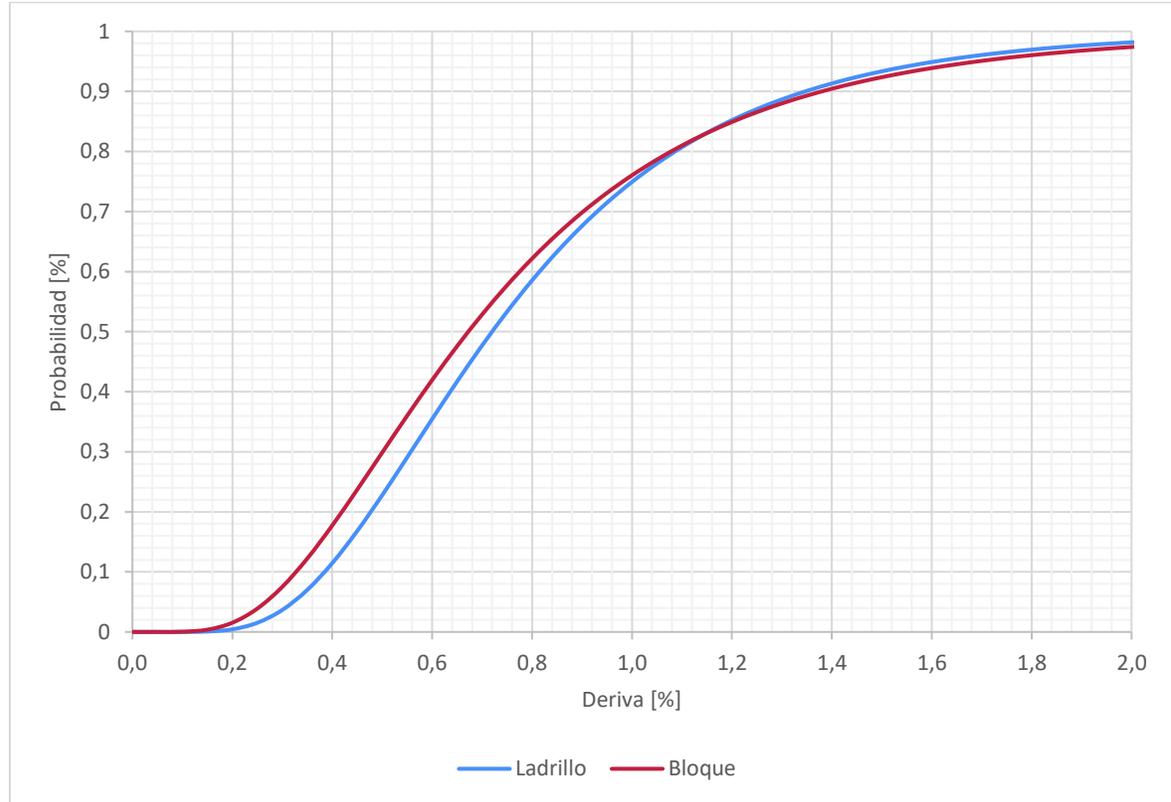


**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

En la FIGURA 5.7 se puede observar que el comportamiento de la mampostería de bloque no posee mucha variabilidad con un rango en deriva que va del 0 a 1.1 % de deriva presentando una pendiente más pronunciada en comparación a la mampostería de ladrillo la cual tiene un rango de variabilidad que va de 0 a 1.8 % de deriva y una pendiente menor.

### 5.2.4 CURVA DE FRAGILIDAD COLAPSO (BLOQUE VS LADRILLO)

**FIGURA 5.8** CURVA DE FRAGILIDAD COLAPSO (BLOQUE VS LADRILLO)



**ELABORACIÓN:** (Grijalva & Narváez, 2018)

En la FIGURA 5.8 se analiza que las mamposterías de bloque y ladrillo presentan una variabilidad similar que va desde 0.18 a 2 % de deriva, con una pendiente igual.

## 5.3 CONCLUSIONES

- Debido a que en el país la gran parte de construcciones se realiza mediante sistemas constructivos con pórticos de relleno con mampostería, es necesario estudiar el comportamiento de los diferentes tipos de mampuestos y es indispensable conocer sus propiedades mecánicas así como su desempeño; ya que en Ecuador se construyen estructuras muy flexibles con mamposterías rígidas puede ser incierta la influencia de estas en las edificaciones, y no suelen ser consideradas al momento de diseñar o realizar

un modelo. Por lo que, este trabajo es un paso importante para evaluar estructuras considerando la incertidumbre del comportamiento de las mamposterías.

- Uno de los problemas más grandes que tienen la construcción con mampostería dentro de Quito es que existen muchos centros de manufactura de mampostería, a lo que se suma que la mayoría de estos centros no cumplen con ninguna norma técnica y su elaboración no es supervisada, todo esto conlleva a tener una mampostería muy variable en sus propiedades mecánicas y poco predecible.
- Para que los resultados de esta investigación sean más confiables es necesario tener y analizar un número más grande de muestras, ya que con los datos analizados y procesados para la mampostería de bloque se tiene un nivel de confianza del 72% y para mampostería de ladrillo del 67.7% ambas considerando un 10% de error, es importante tomar en cuenta este rango de confiabilidad al momento de utilizar las curvas de fragilidad para cualquier análisis a futuro.
- La mampostería es un sistema constructivo muy variable debido a factores como la mano de obra (la cual no es cuantificable), Además, como se explica en esta investigación hay que tomar en cuenta muchas variables las cuales influyen en gran medida al comportamiento del sistema constructivo, entre las más relevantes se tiene: módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, resistencia del mortero, espesor de los mampuestos, dimensiones del pórtico, deformación unitaria, resistencia al corte, todas estas son las más contribuyentes al momento de realizar la modelación.
- Se establecieron los niveles de daño de la curvas de los diferentes ensayos y modelos con una de 4 puntos que son representativos del comportamiento estructural, estos puntos de niveles de daño se pueden identificar por el cambio de pendiente (comportamiento) en la curva de capacidad, dicho cambio de pendiente es causado por la variación de la rigidez en los elementos del pórtico relleno, hasta llegar a la resistencia remanente del ensayo esto se da en los modelos computacionales cuando ya no se observa una variación en la curva de capacidad y esta es una línea constante.

- En la curva de fragilidad para daño leve se tiene un 25% de probabilidad de que la mampostería de bloque y ladrillo presenten una deriva de 0.02% y 0.076% respectivamente, un 50% de probabilidad que alcancen derivas de 0.04% y 0.1% para bloque y ladrillo respectivamente, un 90% de probabilidad que alcancen derivas de 0.1% y 0.2% para bloque y ladrillo respectivamente, un 95% de probabilidad que alcancen derivas de 0.13% y 0.24% para bloque y ladrillo respectivamente, finalmente para que se presente un 99% de probabilidad de ocurrencia se tiene una deriva de 0.32% para bloque y 0.4% para ladrillo.
- En la curva de fragilidad para daño moderado se tiene un 25% de probabilidad a que la mampostería de bloque y ladrillo presenten una deriva de 0.08% y 0.12% respectivamente, un 50% de probabilidad que alcancen derivas de 0.14% y 0.17% para bloque y ladrillo respectivamente, un 90% de probabilidad que alcancen derivas de 0.3% y 0.4% para bloque y ladrillo respectivamente, un 95% de probabilidad que alcancen derivas de 0.33% y 0.54% para bloque y ladrillo respectivamente, finalmente para que se presente un 99% de probabilidad de ocurrencia se tiene una deriva de 0.7% para bloque y 0.95% para ladrillo.
- En la curva de fragilidad para daño severo se tiene un 25% de probabilidad a que ambos tipos de mampostería presenten una deriva de 0.28%, un 50% de probabilidad que alcancen derivas de 0.36% y 0.42% para bloque y ladrillo respectivamente, un 90% de probabilidad que alcancen derivas de 0.58% y 0.88% para bloque y ladrillo respectivamente, un 95% de probabilidad que alcancen derivas de 0.7% y 1.12 % para bloque y ladrillo respectivamente, finalmente para que se presente un 99%de probabilidad de ocurrencia se tiene una deriva de 1.1% para bloque y 1.7% para ladrillo.
- En la curva de fragilidad para el último estado de daño (colapso) se tienen variabilidades muy similares, teniendo un 25% de probabilidad a que la mampostería de bloque y ladrillo presenten una deriva de 0.52% y 0.54% respectivamente, un 50% de probabilidad que alcancen derivas de 0.72% para ambas mamposterías, un 90% de probabilidad que alcancen derivas de 1.38% y 1.35% para bloque y ladrillo respectivamente, un 95% de

probabilidad que alcancen derivas de 1.7% para ambas mamposterías, finalmente para que se presente un 99% de probabilidad de ocurrencia se tiene una deriva de 2% tanto para bloque y ladrillo.

- En la curva de fragilidad respecto a la fuerza parametrizada (mampostería de bloque), se observa que la variabilidad de las curvas para daño leve y colapso son similares debido a la forma que presenta la curva de capacidad, es decir, ambos estados de daño se encuentran en rangos semejantes; de igual manera ocurre para el estado de daño moderado y severo.
- En la curva de fragilidad respecto a la fuerza parametrizada (mampostería de ladrillo), se observa que la variabilidad para el primer estado de daño (leve) no existe gran variabilidad de datos, esto se evidencia debido a que su pendiente es más pronunciada que las demás, por el contrario para el último estado de daño (colapso), se puede evidenciar que existe un rango de variabilidad de 0 a 0.55 [T/T], mientras que para los estados de daño restantes (moderado, severo) presentan variabilidades similares de un rango de 0.12 a 0.6 [T/T].
- Se puede observar en la TABLA 3.11 que los coeficientes de variación para la mampostería de bloque son mayores a los de mampostería de ladrillo, debido a que las curvas de capacidad de mampostería de ladrillo presentan gran similitud ya que estas fueron obtenidas mediante la calibración en el programa SeismoStruct de tal manera que los puntos para cada nivel de daño son similares.
- En el análisis componentes principales para la mampostería de bloque, en el cual se analizaron 10 variables, la variable que más influencia presenta respecto a la deriva es la resistencia al corte, esto se debe a que los ensayos presentan una falla a tracción diagonal y en este tipo de falla gobierna esta propiedad mecánica del material.
- En el análisis componentes principales para la mampostería de ladrillo, en el cual se analizaron 5 variables debido a que las restantes presentaban una desviación estándar y varianza 0, la variable que más influencia presenta

respecto a la deriva la fuerza, esto se debe a que la deriva es directamente proporcional a la fuerza.

#### **5.4 RECOMENDACIONES**

- Se puede ampliar el número de muestras clasificando de mejor manera los tipos de mampostería, según su lugar de origen con los cuales se procedería a realizar el ensayo a tracción diagonal de los muretes de bloque y ladrillo; para después realizar su respectiva modelación en el programa SeismoStruct el cual nos presenta resultados similares realizando su correcta calibración, y sería recomendable utilizar datos de ensayos reales de pórticos rellenos de mampostería (bloque, ladrillo).
- Para tener una base de datos con un nivel de confiabilidad mayor a los obtenidos en este estudio es necesario ampliar el espacio muestral a un número mínimo de ensayos de 88 para mampostería de bloque y 73 para ladrillo, considerando la desviación estándar utilizada en este estudio, logrando así tener un nivel de confianza del 90% con un margen de error del 10%.
- Uno de los parámetros más complicados para calcular es el módulo de elasticidad de la mampostería ya que este es muy variable por los aspectos que se han explicado anteriormente, en varias investigaciones se concluyen varias ecuaciones empíricas las cuales arrojan una gran dispersión de resultados, según (Crisafulli, 1997) este parámetro tiene una variación de 400 a 1000 f'm como recomendación, aquí podemos ver que es un parámetro muy variable, en una investigación anterior realizada por (López & Ushiña, 2017) se obtuvo una ecuación (ecuación 3.32) representativa para las mampostería locales la cual se usó para esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuja, D., & Pantoja, J. (Junio de 2017). *ESTUDIO DEL REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE HORMIGÓN CON MALLA ELECTROSOLDADA MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Angúlo, G., & López, C. (2008). *REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO ARTESANAL*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Angulo, L., & López, C. (Octubre de 2008). *REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO ARTESANAL*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Aráoz, G., & Luccioni, B. (2007). *CURVA DE FRAGILIDAD PARA MURO DE MAMPOSTERÍA BAJO CARGAS EXPLOSIVAS A PARTIR DE SIMULACIONES NUMÉRICAS*. Córdoba, Argentina.
- Barbero, M., Vila, E., & Holgado Tello, F. P. (2013). *INTRODUCCIÓN BÁSICA AL ANÁLISIS FACTORIAL*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid.
- Barroso, H., & De Sousa, M. (Junio de 2016). *EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE MAISTONE COMPARANDOLA CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS EN PORTICOS DE CONCRETO CON MAMPOSTERÍA*. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello. Obtenido de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/Febrero%202018/AAT3164.pdf>
- Bertoldi S.H., D. L. (1993). *Telai tamponati soggetti ad azione sismica, un modello semplificato: confronto sperimentale e numerico*. Paerugia, Italy.
- Bobadilla, C. (21 de 12 de 2005). *CURVAS DE FRAGILIDAD Y EVALUCION RAPIDA DE LA VULNERABILIDAD DE ESTRUCTURAS*. Sangolqui, Pichincha, Ecuador: Escuela Politecnica del Ejercito.
- Bonett Días, R. L. (15 de Diciembre de 2003). *COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA. Vulnerabilidad y riesgo*

- sismico de edificios. Aplicaciones a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada.* Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Bonett Días, R. L. (15 de Diciembre de 2003). *COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA. APLICACIÓN A ENTORNOS URBANOS EN ZONAS DE AMENAZA ALTA Y MODERADA. Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño.* Cataluña, España: Universidad Politecnica de Cataluña. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/6230>
- Campaña Guarderas, J. A. (2015). *ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES: APORTICADO Y MUROS PORTANTES, EDIFICIO DE 10 PISOS EN QUITO. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES.* Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- CIV, C. d. (2017). *PORTICO IDEAL ALAMBREC-FEPP.* Quito: Escuela Politecnica Nacional .
- Cornejo, D. (19 de Agosto de 2017). *INFLUENCIA DE MUROS DE MAMPOSTERÍA EN EL COMPORTAMIENTO DE EDIFICIOS DE MANTA DURANTE EL TERREMOTO DE 16 DE ABRIL.* San Mateo, Manta, Ecuador: Universidad central de Ecuador, Escula politecnica del Ejercito. Obtenido de [www.research.net](http://www.research.net)
- Coronel D., G., López, O. A., & Betancourt, N. (2010). *EVALUACIÓN DE NIVELES DE RIESGO SÍSMICO EN ESCUELAS DE VENEZUELA MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD.* Mayo: Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (UCV).
- Crisafulli, F. (1997). *SEISMIC BEHAVIOUR OF REINFORCES CONCRETE STRUCTURES WITH MANSORY INFILLS.* Christchurch, New Zealand: University of Canterbury.
- De La Fuente, S. (2011). *ANÁLISIS FACTORIAL.* Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Díaz, J., & Rodríguez, D. (Enero de 2011). *ENSAYOS A CARGA HORIZONTAL DE MAMPOSTERÍAS SIN MORTERO DE UNIÓN, CONFINADAS, CON EL*

- SISTEMA CONSTRUCTIVO MULTIBLOCK*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Division, D. o. (2013). *HAZUS-MH 2.1. EARTHQUAKE LOSS ESTIMATION METHODOLOGY*. Washington, Washington ,D.C, Estados Unidos.
- Epidat4. (2014). *DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD*.
- FEMA. (1998). *EVALUATION OF EARTHQUAKE DAMAGED CONCRETE AND MANSORY WALL BUILDINGS FEMA-306*. Washington, D. C.: Federal Emergency Management Agency.
- Fernández, L., & Paredes, P. (Noviembre de 2010). *INVESTIGACIÓN TEÓRICO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL ALTERNATIVO*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Fiore, A., Mezzina, M., & Uva, G. (2013). *SOLIDARIZZAZIONE DELLE TAMPONATURE PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI*. Obtenido de <http://www.ingenio-web.it/immagini/CKEditor/M3.pdf>
- Furtado, A., Rodrigues, H., & Arêde, A. (29 de Septiembre de 2015). *CALIBRACIÓN DE UN MACRO-MODELO SIMPLIFICADO PARA MARCOS RELLENOS CON ABERTURAS. Macro-modelo simplificado para muros de mampostería de relleno considerando el comportamiento fuera del plan*. Leiria, Oporto, Portugal: Universidad de Oporto.
- Galindo, E. (2011). *ESTADÍSTICA "MÉTODOS Y APLICACIONES"*. Quito, Ecuador: Prociencia Editores.
- Gallegos, H., & Casabone, C. (2005). *ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL*. LIMA: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gualacata, G., & Ortega, J. (Noviembre de 2017). *DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA ASOCIADA A LA FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL DE DOS TIPOS DE MAMPOSTERÍA SIMPLE: BLOQUE Y LADRILLO PARA SER USADOS EN MODELOS COMPUTACIONALES*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Hernández, R. (Septiembre de 2013). *COMPORTAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA DE BLOCK HUECO SUJETO A CARGAS LATERALES,*

- REFORZADO CON VARILLAS DE FIBRA DE VIDRIO EN LAS JUNTAS DE MORTERO*. Mexico: Universidad Autonoma de Querétaro.
- Herrera, J., & Narváez, J. (OCTUBRE de 2017). *PROPUESTA Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DENOMINADO MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANADA (MRA), PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN ECUADOR*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Herrerías, R., & Palacios, F. (2007). *CURSO DE INFERENCIA ESTADÍSTICA Y DEL MODELO LINEAL SIMPLE*. Madrid: Delta, Publicaciones Univesitarias.
- Hofacker, A. (2008). *RAPID LEAN CONSTRUCTION - QUALITY RATING MODEL*. Manchester: s.n.
- Holcim. (2017). *Altamezcla*. Obtenido de <https://www.altamezcla.com.ar/notas/139/ladrillos-o-bloques-de-cemento>
- Hurtado, Á. (Septiembre de 2015). *ESTUDIO DE DEFLEXIONES EN MUROS DE LADRILLO PORTANTES CON REFORZAMIENTO DE MALLA ELECTRO-SOLDADA PARA EDIFICACIONES DE HASTA 4 PISOS APLICANDI LA NEC 2011*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.
- IBM. (2015). IBM SPSS STATISTICS.
- INEN. (1987). GUÍA PRACTICA DE MAMPOSTERIA REFORZADA. *GPE INEN 021*. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN. (04 de Junio de 2014). LADRILLOS CERAMICOS, DEFINICIONES CLASIFICACIÓN Y CONDICIONES GENERALES. *INEN 293*. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN. (Noviembre de 2016). BLOQUES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO. *INEN 3066*. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Koskela, L. (1992). *APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION*. Finland: VTT Building Technology.
- Kulindi, A. (11 de Febrero de 2013). *New Vision*. Obtenido de New Vision: [https://www.newvision.co.ug/new\\_vision/news/1314073/bricks-vs-blocks](https://www.newvision.co.ug/new_vision/news/1314073/bricks-vs-blocks)

- López, K., & Ushiña, W. (Agosto de 2017). *DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE NO ESTRUCTURAL UTILIZADA EN LA VIVIENDA ECUATORIANA*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Mander. (1988). *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*. *Journal of Structural Engineering*,.
- Marín, J. (07 de Septiembre de 2006). *ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Menegotto, M. (1973). *METHO OF ANALYSIS FO CICLICALLY LOADER R. C. PLANE FRAMES INCLUDING CHANGES IN GEOMETRY AND NON-ELASTIC BEHAVIOUR OF ELEMENTS UNDER COMBINED NORMAL FORCE AND BENDING*. Lisboa: LASE Symposium.
- MIDUVI. (ENERO de 2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN . MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL*. Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Moreno, R., & Bairán, J. (Octubre de 2010). *CURVAS DE FRAGILIDAD PARA EVALUAR EL DAÑO SÍSMICO EN EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO CON LOSAS RETICULARES*. Barcelona, España: Universida Politécnica de Cataluña.
- Naranjo, F., & Barahona, A. (Noviembre de 1997). *ESTADO DEL ARTE DE LA INVESNTIGACIÓN DE MAMPOSTERÍAS EN EL ECUADOR*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Oliva, J. (2017). *CURVAS DE CAPACIDAD Y FRAGILIDAD ESTRUCTURAL DE TIPOLOGIAS COMUNMENTE USADAS EN EL SALVADOR*. Ciudad Universitaria: Universidad de el Salvador.
- Pachano, F. (Mayo de 2018). *DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS PARA MODELOS NO LINEALES DE MAMPOSTERÍA DE RELLENO EN PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO OBTENIDOS DE MANERA EXPERIMENTAL*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Quizanga, D. (1 de Agosto de 2006). *CURVAS DE FRAGILIDAD PARA LAS DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR E INFLUENCIA DEL*

- REFUERZO TRANSVERSAL*. Sangolqui, Quito, Ecuador: Escuela Politecnica del Ejercito.
- Rangel, J. (Septiembre de 2012). *GUIA PARA EL ANÁLISI DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA*. (J. J. Gavilán, Ed.) México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Hugo, Y. (2007). *BREVES FUNDAMENTOS SOBRE LOS TERREMOTOS EN ECUADOR*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Rivas, L. (2017). *ANÁLISIS EXPERIMENTAL ANÁLITICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA CONFINADA Y UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA*. QUITO: Escuela Politécnica Nacional.
- Ruiz, J. (Junio de 2009). *EVALUACIÓN DE LA FRAGILIDAD BASADA EN DISTORSIÓN LATERAL PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA*. Obtenido de scielo: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2009000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2009000100003)
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). *INFORME DE SITUACIÓN N° 65 - 16/05/2016*. Quito: Ecuador Listo y Solidario.
- Seismosoft. (2016). *A COMPUTER PROGRAM FOR STATIC AND DYNAMIC NONLINEAR ANALYSIS OF FRAMED*. Obtenido de <http://www.seismosoft.com>.
- SIDUE. (2017). *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DE LA LEY DE EDIFICACIONES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL EN MATERIA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MAMPOSTERÍA. Diseño y construccion de mampostería*. Baja California, Baja California, Mexico: Secretaria de infraestructura y desarrollo urbano del estado. Obtenido de <http://www.sidue.gob.mx/doctos/2017/normas/l-04%20DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCION%20DE%20MAMPOSTERIA%202017.pdf>

- Silvero, M. (Octubre de 2011). *Civilgeeks*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/10/07/ciencia-geek-ii-%E2%80%93propiedades-de-los-materiales/>
- Smyrou, E., Blandon, C., & Crisafulli, F. (Octubre de 2011). IMPLEMENTATION AND VERIFICATION OF A MASONRY PANEL MODEL FOR NONLINEAR DYNAMIC ANALYSIS OF INFILLED RC FRAMES. *IMPLEMENTATION AND VERIFICATION OF A MASONRY PANEL MODEL FOR NONLINEAR DYNAMIC ANALYSIS OF INFILLED RC FRAMES*, 9, 9:1519. (S. P. bajos, Ed.) Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9262->
- SNGR. (2012). *GUÍA PARA IMPLEMENTAR EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL CANTONAL*. Quito: AH/editorial.
- Soulas, J., Eguez, A., Yepes, H., & Perez, H. (1991). TECTONICA ACTIVA Y RIESGO SISMICO EN LOS ANDES ECUATORIANOS Y EL EXTREMO SUR DE COLOMBIA. *Boletín Geológico Ecuatorian*, 3-11.
- Tamborero del Pino, J., & Cejalvo, A. (2008). *FIABILIDAD: LA DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL*.
- Tena, A., & Miranda, E. (Septiembre de 2002). COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MAMPOSTERÍA. *Edificaciones de Mampostería para la Vivienda, Segunda*. (A. Sergio , Ed.) Mexico: ICA editores.
- Vielma, J. (2013). *UN ENFOQUE PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO DE BAJA ALTURA*. SAN JOSE, COSTARICA. Obtenido de [www.upcommons.upc.edu](http://www.upcommons.upc.edu)
- Westfall, P., & Henning , K. (2013). *UNDERTANDING ADVANCED STATISTICAL METHODS*. New York: CRC Press.
- Yanes, M. I. (2016). En M. I. Yanes, *EVALUACIÓN DEL RIESGO POR SUBSIDENCIA EN LA ZONA DE TURUBAMBA, SUR DE QUITO, COMO APORTE AL DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DE RIEGOS DEL*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Yépez Moya, F. (2000). *flacso andes* . Obtenido de <http://www.flacsoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=24693>
- Zuñiga, O., & Terán, A. (23 de Enero de 2006). *EVALUACIÓN BASADA EN DESPLAZAMIENTOS DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA*

*CONFINADA*. Reynosa, Tamaulipas, Mexico: Universidad Autónoma  
Metropolitana. Obtenido de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2008000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2008000200002)

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1**  
ESCALAS DE MAGNITUD E INTENSIDAD (MSK, MERCALLI MODIFICADA,  
EMS-98)

## ■ ESCALA MSK

**E**n la mayoría de los países de Europa, la escala sísmica utilizada es la MSK propuesta en 1964 por **S. V. Medvedev, W. Sponheuer y V. Karnik.**

### ● Grado I

La sacudida no es percibida por los sentidos humanos, siendo detectada y registrada solamente por los sismógrafos.

### ● Grado II

La sacudida es perceptible solamente por algunas personas en reposo, en particular en los pisos superiores de los edificios.

### ● Grado III

La sacudida es percibida por algunas personas en el interior de los edificios y solo en circunstancias muy favorables en el exterior de los mismos.

La vibración percibida es semejante a la causada por el paso de un camión ligero.

Observadores muy atentos pueden notar ligeros balanceos de objetos colgados, más acentuados en los pisos altos de los edificios.

### ● Grado IV

- El sismo es percibido por personas en el interior de los edificios y por algunas en el exterior.
- Algunas personas se despiertan, pero nadie se atemoriza.
- La vibración es comparable a la producida por el paso de un camión pesado con carga.
- Las ventanas, puertas y vajillas vibran.
- Los pisos y muros producen chasquidos.
- El mobiliario comienza a moverse.
- Los líquidos contenidos en recipientes abiertos se agitan ligeramente.

### ● Grado V

a.

- El sismo es percibido en el interior de los edificios por la mayoría de las personas y por muchas en el exterior.
- Muchas personas que duermen se despiertan y algunas huyen.
- Los animales se ponen nerviosos.
- Las construcciones se agitan con una vibración general.
- Los objetos colgados se balancean ampliamente.
- Los cuadros golpean sobre los muros o son lanzados fuera de su emplazamiento.
- En algunos casos los relojes de péndulo se paran.
- Los objetos ligeros se desplazan o vuelcan.
- Las puertas o ventanas abiertas baten con violencia.
- Se vierten en pequeña cantidad los líquidos contenidos en recipientes abiertos y llenos.
- La vibración se siente en la construcción como la producida por un objeto pesado arrastrándose.

**b.**

- En las construcciones de tipo A son posibles ligeros daños (clase 1).

**c.**

- En ciertos casos se modifica el caudal de los manantiales.

**● Grado VI****a.**

- Lo siente la mayoría de las personas, tanto dentro como fuera de los edificios.
- Muchas personas salen a la calle atemorizadas.
- Algunas personas llegan a perder el equilibrio.
- Los animales domésticos huyen de los establos.
- En algunas ocasiones, la vajilla y la cristalería se rompen, los libros caen de sus estantes, los cuadros se mueven y los objetos inestables vuelcan.
- Los muebles pesados pueden llegar a moverse.
- Las campanas pequeñas de torres y campanarios pueden sonar.

**b.**

- Se producen daños moderados (clase 2) en algunas construcciones del tipo A.
- Se producen daños ligeros (clase 1) en algunas construcciones de tipo B y en muchas del tipo A.

**● Grado VII****a.**

- La mayoría de las personas se aterroriza y corre a la calle.
- Muchas tienen dificultad para mantenerse en pie.
- Las vibraciones son sentidas por personas que conducen automóviles.
- Suenan las campanas grandes.

**b.**

- Muchas construcciones del tipo A sufren daños graves (clase 3) y algunas incluso destrucción (clase 4).
- Muchas construcciones del tipo B sufren daños moderados (clase 2).
- Algunas construcciones del tipo C experimentan daños ligeros (clase 1).

**c.**

- En algunos casos, se producen deslizamientos en las carreteras que transcurren sobre laderas con pendientes acusadas; se producen daños en las juntas de las canalizaciones y aparecen fisuras en muros de piedra.
- Se aprecia oleaje en las lagunas y el agua se enturbia por remoción del fango.
- Cambia el nivel de agua de los pozos y el caudal de los manantiales. En algunos casos, vuelven a manar manantiales que estaban secos y se secan otros que manaban.
- En ciertos casos se producen derrames en taludes de arena o de grava.

**● Grado VIII****a.**

- Miedo y pánico general, incluso en las personas que conducen automóviles.

- En algunos casos se desgajan las ramas de los árboles.
- Los muebles, incluso los pesados, se desplazan o vuelcan.
- Las lámparas colgadas sufren daños parciales.

**b.**

- Muchas construcciones de tipo A sufren destrucción (clase 4) y algunos colapso (clase 5).
- Muchas construcciones de tipo B sufren daños graves (clase 3) y algunas destrucción (clase 4).
- Muchas construcciones de tipo C sufren daños moderados (clase 2) y algunas graves (clase 3).
- En ocasiones, se produce la rotura de algunas juntas de canalizaciones. Las estatuas y monumentos se mueven y giran.
- Se derrumban muros de piedra.

**c.**

- Pequeños deslizamientos en las laderas de los barrancos y en las trincheras y terraplenes con pendientes pronunciadas.
- Grietas en el suelo de varios centímetros de ancho.
- Se enturbia el agua de los lagos.
- Aparecen nuevos manantiales.
- Vuelven a tener agua pozos secos y se secan pozos existentes.
- En muchos casos cambia el caudal y el nivel de agua de los manantiales y pozos.

**● Grado IX****a.**

- Pánico general.
- Daños considerables en el mobiliario.
- Los animales corren confusamente y emiten sus sonidos peculiares.
- Muchas construcciones del tipo A sufren colapso (clase 5).

**b.**

- Muchas construcciones de tipo B sufren destrucción (clase 4) y algunas colapso (clase 5).
- Muchas construcciones del tipo C sufren daños graves (clase 3) y algunas destrucción (clase 4).
- Caen monumentos y columnas.
- Daños considerables en depósitos de líquidos.
- Se rompen parcialmente las canalizaciones subterráneas.
- En algunos casos, los carriles del ferrocarril se curvan y las carreteras quedan fuera de servicio.

**c.**

- Se observa con frecuencia que se producen extrusiones de agua, arena y fango en los terrenos saturados.
- Se abren grietas en el terreno de hasta 10 centímetros de ancho y de más de 10 centímetros en las laderas y en las márgenes de los ríos.
- Aparecen, además, numerosas grietas pequeñas en el suelo.
- desprendimientos de rocas y aludes.
- Muchos deslizamientos de tierras.
- Grandes olas en lagos y embalses.
- Se renuevan pozos secos y se secan otros existentes.

● **Grado X**

a.

- La mayoría de las construcciones del tipo A sufren colapso (clase 5). Muchas construcciones de tipo B sufren colapso (clase 5).
- Muchas construcciones de tipo C sufren destrucción (clase 4) y algunos colapso (clase 5).
- Daños peligrosos en presas; daños serios en puentes.
- Los carriles de las vías férreas se desvían y a veces se ondulan.
- Las canalizaciones subterráneas son retorcidas o rotas.
- El pavimento de las calles y el asfalto forman grandes ondulaciones.

b.

- Grietas en el suelo de algunos decímetros de ancho que pueden llegar a un metro.
- Se producen anchas grietas paralelamente a los cursos de los ríos.
- Deslizamientos de tierras sueltas en las laderas con fuertes pendientes.
- En los ribazos de los ríos y en las laderas escarpadas se producen considerables deslizamientos.
- Desplazamientos de arenas y fangos en las zonas litorales.
- Cambio del nivel de agua en los pozos.
- El agua de canales y ríos es lanzado fuera de su cauce normal.
- Se forman nuevos lagos.

● **Grado XI**

a.

- Daños importantes en construcciones, incluso en las bien realizadas, en puentes, presas y líneas de ferrocarril.
- Las carreteras importantes quedan fuera de servicio.
- Las canalizaciones subterráneas quedan destruidas.

b.

- El terreno queda considerablemente deformado por desplazamientos de terrenos y caídas de rocas.
- Para determinar la intensidad de las sacudidas sísmicas se precisan investigaciones especiales.

● **Grado XII**

a.

- Prácticamente se destruyen o quedan gravemente dañadas todas las estructuras, incluso las subterráneas.

b.

- La topografía cambia.
- Grandes grietas en el terreno con importantes desplazamientos horizontales y verticales.
- Caída de rocas y hundimientos en los escarpes de los valles, producidos en vastas extensiones.
- Se cierran valles y se transforman en lagos.
- Aparecen cascadas y se desvían los ríos.

### ■ ESCALA MERCALLI MODIFICADA

I	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
II	Se percibe solo por algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
IV	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V	La mayoría de las personas lo percibe aún en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y aún pueden derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
VI	Lo perciben todas las personas. Se atemorizan y huyen hacia el exterior. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se producen grietas en algunos estucos. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien se les oye crujir.
VII	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Se dañan los muebles. Caen trozos de estucos, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos; el agua se enturbia.
VIII	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aún el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. Caen igualmente monumentos, columnas, torres y estanques elevados. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
IX	Se produce pánico general.
X	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. El agua de canales, ríos, lagos, etc., sale proyectada a las riberas.
XI	Muy pocas estructuras de albañilerías quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las tuberías (cañerías subterráneas) quedan totalmente fuera de servicio.
XII	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

## 8 Versión abreviada de la EMS-98

Esta versión corta de la Escala Macrosísmica Europea, resumida de su núcleo, tiene la intención de brindar una vista simplificada y generalizada de la escala EM. Se puede usar por ejemplo para fines educativos. *Esta versión corta no es adecuada para la asignación de intensidades.*

INTENSIDAD EMS	Definición	TIPOS DE DAÑOS
I	No sensible	No se siente.
II	Sentido levemente	Sentido solamente por muy pocas personas en reposo en viviendas.
III	Débil	Sentido en el interior por poca gente. La gente en reposo siente una oscilación o temblor leve.
IV	Observado ampliamente	Sentido por muchos en el interior y por unos pocos en el exterior. Algunas pocas personas se despiertan. Las ventanas, puertas y platos vibran.
V	Fuerte	Sentidos por casi todos en el interior y por pocos en el exterior. Muchas personas se despiertan. Algunos se asustan. Los edificios tiemblan en su totalidad. Los objetos colgantes se balancean considerablemente. Pequeños objetos se desplazan. Las puertas y ventanas se abren y se cierran.
VI	Causa daños leves	Mucha gente se asusta y corre al exterior. Algunos objetos caen. Muchas viviendas sufren daños leves no estructurales, como grietas muy delgadas y la caída de piezas de guarnecido.
VII	Causa daños	La mayoría de la gente se asusta y corre al exterior. Los muebles son desplazados y se caen muchos objetos de repisas. Muchos edificios ordinarios bien contruidos sufren daños moderados; pequeñas grietas en los muros, caída de guarnecido, se caen partes de chimeneas; los edificios antiguos pueden mostrar grandes grietas en los muros y fallas en las paredes y tabiques.
VIII	Causa daños severos	A mucha gente le cuesta mantenerse de pie. Muchas viviendas muestran grietas grandes en los muros. Unos pocos edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios en los muros, mientras que las estructuras antiguas y débiles pueden colapsar.
IX	Destruccionivo	Pánico general. Muchas construcciones débiles colapsan. Incluso los edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios: fallas graves en los muros y fallas estructurales parciales.
X	Muy destructivo	Muchos edificios ordinarios bien contruidos colapsan.
XI	Devastador	La mayoría de los edificios ordinarios bien contruidos colapsan, incluso algunos con buen diseño sismorresistente son destruidos.
XII	Completamente devastador	Casi todos los edificios son destruidos.

**ANEXO N° 2**  
**CODIFICACIÓN**

## INTERPOLACIÓN CURVA

```
function
[FuerzaCompletaT, FuerzaPorticoT, Despl]=InterpCurv(CurvCompl, CurvPort)
%% Curvas con todos los posibles puntos interpolados
CurvCompl(1,:)= [0,0];
CurvPort(1,:)= [0,0];
%%Para evitar problemas con valores repetidos
CurvCompl(:,1)=CurvCompl(:,1)+(0:0.01/(size(CurvCompl,1)-1):0.01)';
CurvPort(:,1)=CurvPort(:,1)+(0:0.01/(size(CurvPort,1)-1):0.01)';
%%Todos los desplazamientos únicos de ambas curvas
Despl=unique(sort([CurvCompl(:,1);CurvPort(:,1)]));
LD=length(Despl);
%% Para cada curva
for j=1:2
    if j==1, Curv=CurvCompl;else Curv=CurvPort;end
    FuerzaT=zeros(LD,1);
    cont=2;
    pendiente=Curv(cont,2)/Curv(cont,1); %pendiente inicial para proceso
    for i=2:LD-1
        if sum(Despl(i)==Curv(:,1))==1
            FuerzaT(i)=Curv(cont,2);
            try pendiente=(Curv(cont+1,2)-Curv(cont,2))/(Curv(cont+1,1)-
Curv(cont,1));catch, end
            cont=cont+1;
        else
            FuerzaT(i)=FuerzaT(i-1)+(Despl(i)-Despl(i-1))*pendiente;
        end
    end
    FuerzaT(i+1)=Curv(end,2);
    if j==1, FuerzaCompletaT=FuerzaT;else FuerzaPorticoT=FuerzaT;end
end
```

## RIGIDEZ MAMPOSTERÍA

```
function FuerzaMampT=RigMampTesis(FuerzaCompletaT, FuerzaPorticoT, Despl)
%%Rigideces
DELTAfuerzaCompletaT=(FuerzaCompletaT(2:end)-FuerzaCompletaT(1:end-1));
DELTADespl=(Despl(2:end)-Despl(1:end-1));
DELTAfuerzaPorticoT=(FuerzaPorticoT(2:end)-FuerzaPorticoT(1:end-1));
RigCompleta=DELTAfuerzaCompletaT./DELTADespl;
RigPort=DELTAfuerzaPorticoT./DELTADespl;
RigMamp=RigCompleta-RigPort;
DELTAfuerzaMampT=RigMamp.*DELTAfuerzaCompletaT.*DELTAfuerzaPorticoT./...
(2.*RigCompleta.*DELTAfuerzaPorticoT-RigPort.*DELTAfuerzaCompletaT);
FuerzaMampT=[0;cumsum(DELTAfuerzaMampT)];
```

## RIGIDEZ MAMPOSTERÍA (EJEMPLO)

```
CurvCompl=[0      0.007236937
0.007546121 0.332899109
0.202236041 2.00221936
0.662463188 4.440424805
3.35558872 6.955263184
3.556228638 7.037260254
```

```
8.972995758 8.817074219
9.424135208 8.988303711
9.822464943 9.120945313
];
CurvPort=[0 0
0.15 0.059768974
0.3 0.119736233
0.45 0.179698672
0.6 0.239657032
2.1 0.481556384
3.75 0.606909125
3.9 0.628692976
4.05 0.650407487
4.95 0.665460299
5.1 0.682997099
5.7 0.758528318
5.85 0.776151793
6 0.791578834
6.6 0.864174336
6.75 0.810707387
6.9 0.775122916
7.5 0.773299692
7.65 0.787202282
7.8 0.801327166
7.95 0.815549942
8.1 0.82918741
8.7 0.833689385
8.85 0.847107617
9 0.860545224
9.15 0.874055229
9.3 0.887778352
9.9 0.942098791
10.05 0.955709746
10.2 0.969376785
11.7 1.103407173
11.85 1.117045661
12 1.130008087
12.15 1.143108173
12.6 1.179780664
13.8 1.288001425
13.95 1.301574651
14.1 1.315127484
14.7 1.369632488
14.85 1.382538831
15 1.395502277
15.15 1.408194483
15.3 1.421340456
15.75 1.461927575
15.9 1.475432482
16.8 1.556453765
17.55 1.522333583
17.7 1.532123723
17.85 1.544820008
18 1.55776306
18.15 1.570820318
18.3 1.583890833
19.65 1.701469381
```

```

19.8    1.714344113
20.7    1.789996676
20.85   1.802513493
21      1.815019094
21.15   1.827525714
21.3    1.840025197
21.45   1.852500207
21.6    1.864987453
21.75   1.877468581
21.9    1.88994767
22.05   1.902416561
22.2    1.914903807
22.35   1.927390034
22.5    1.939871162
23.1    1.989696763
23.25   2.002136083
23.4    2.014573364
25.05   2.122189443
25.65   2.159716442
25.8    2.16920781
25.95   2.178619641
26.7    2.187473696
26.85   2.19351236
27      2.200467733
27.15   2.207240581
27.3    2.2139033
28.2    2.251195769
28.35   2.257475081
29.25   2.292520131
29.4    2.297489129
29.55   2.303260631
29.7    2.309000522
29.85   2.314706764
30      2.320361
];

```

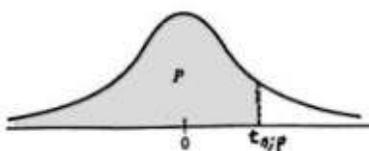
```

[FuerzaCompletaT,FuerzaPorticoT,Despl]=InterpCurv(CurvCompl,CurvPort);
clf
plot(Despl,FuerzaCompletaT)
hold on,plot(Despl,FuerzaPorticoT,'g')
FuerzaMampT=RigMampTesis(FuerzaCompletaT,FuerzaPorticoT,Despl);
hold on,plot(Despl,FuerzaMampT,'m')

```

**ANEXO N° 3**

**TABLA DE DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT**

Distribución  $t$  de Student

La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores  $p$  y  $t_{n,p}$  que satisfacen

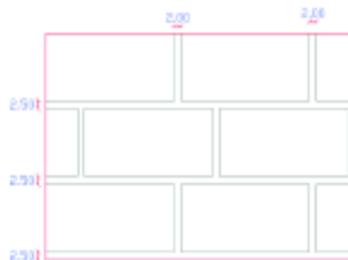
$$P(t_n \leq t_{n,p}) = p.$$

$n$	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
$\infty$	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

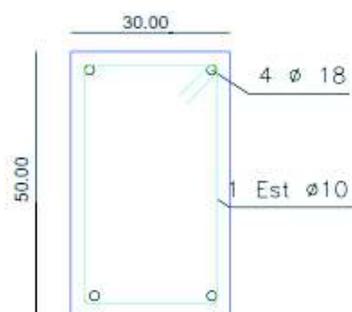
**ANEXO N° 4**  
CALIBRACIÓN DE MODELOS

## MODELO PÓRTICO (BLOQUE)

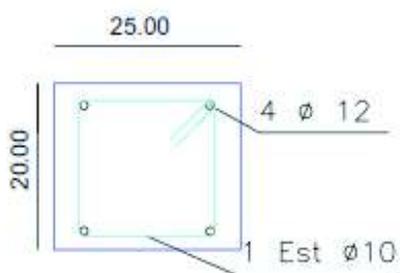
Distribución de la mampostería



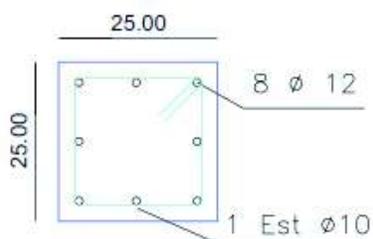
Viga de Cimentación



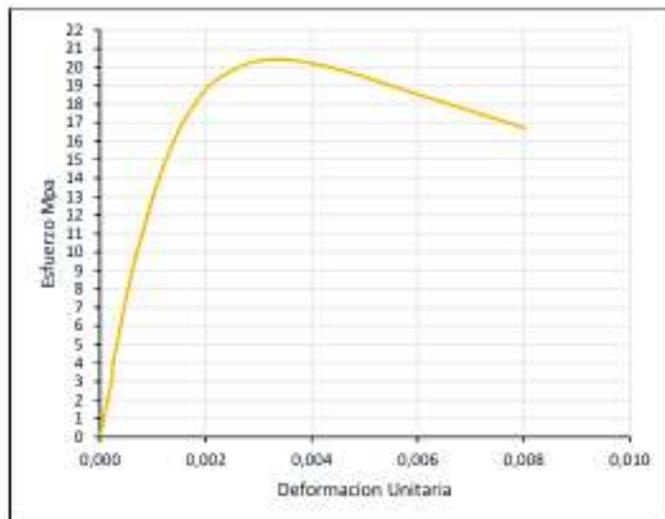
Viga



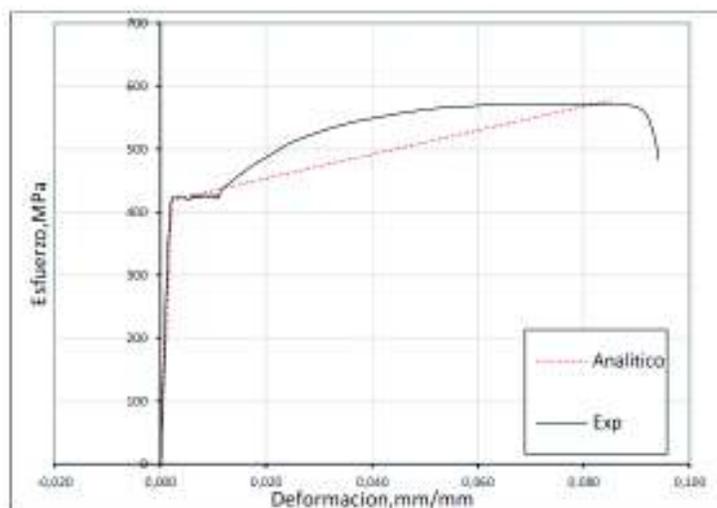
Columna



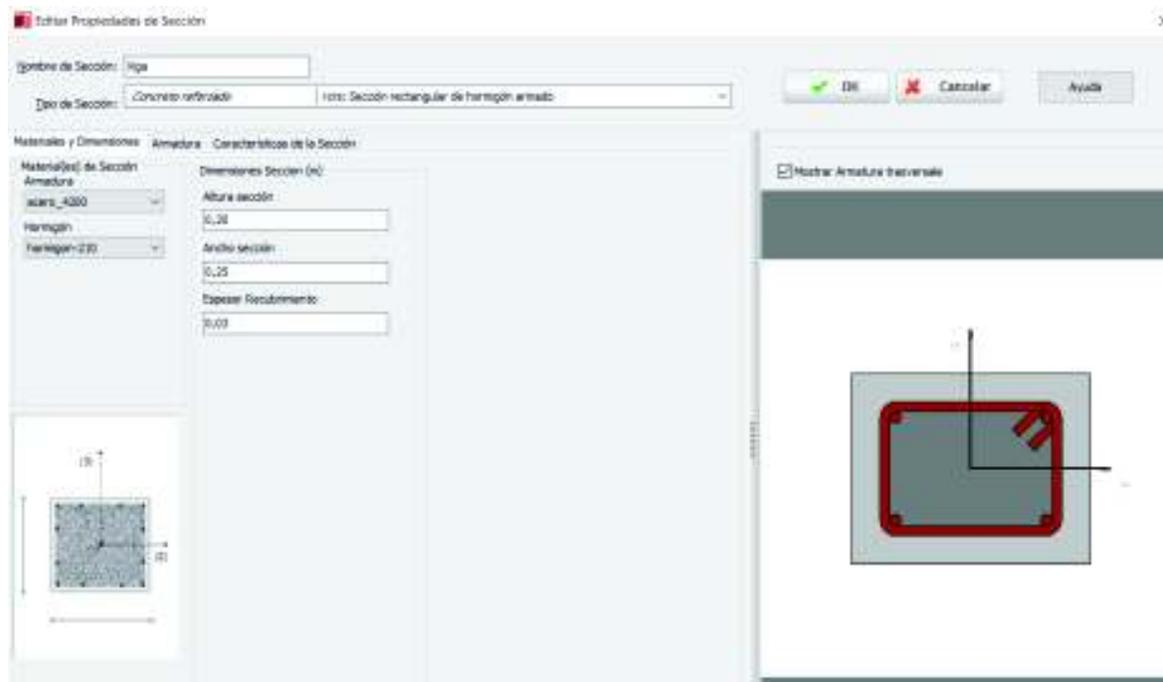
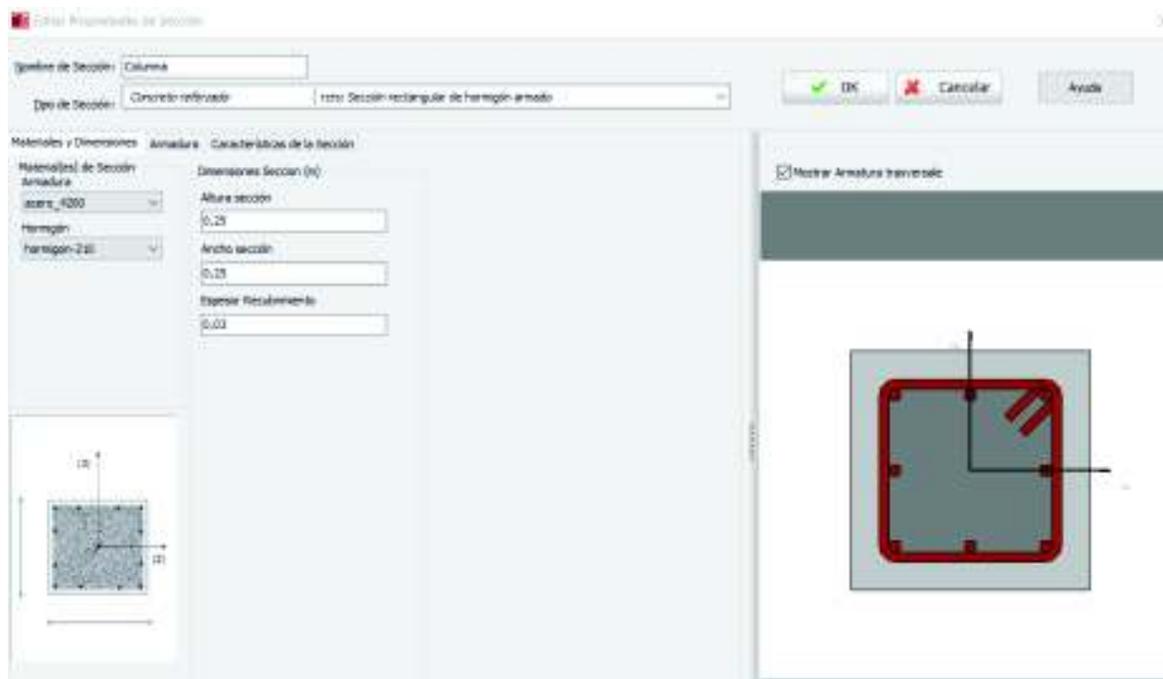
<b>HORMIGÓN</b>					
Detalle de propiedades	Columnas	Vigas	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Resistencia a la compresión - $f_c$	20179,536	20179,536			kPa
Resistencia a la tracción - $f_t$	2017,819	2017,819			kPa
Módulo de elasticidad - $E_c$	17584000	17584000			kPa
Deformación al valor pico del esfuerzo	0,0024	0,0024	0,002-0,0022	0,002	mm/mm
Peso específico - $\gamma$	24	24			kN/m <sup>3</sup>



<b>ACERO</b>					
Detalle de propiedades	Columnas	Vigas	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Módulo de elasticidad - $E$	205940000	205940000			kPa
Límite de fluencia - $f_y$	421333,333	421333,333			kPa
Parámetro de endurecimiento por deformación - $n$	0,0091	0,0091			-
Parámetro de forma inicial de la curva de transición - $R_0$	20	20			-
Coeficientes de calibración de la forma de la curva de transición	A1	18,5	18,5		-
	A2	0,15	0,15		-
Coeficientes de calibración del endurecimiento isotrópico	A3	0	0		-
	A4	1	1		-
deformación de rotura/pandeo	0,087	0,087			-
peso específico	78	78			kN/m <sup>3</sup>



Secciones



MAMPOSTERÍA					
Características de la mampostería		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Espesor del panel - t		0,15			m
Deriva de Colapso Fuera del plano		5			% LV
Área de la Biela 1 - A1		0,112	[10-40]%		m2
Área de la Biela 2 - A2		70			% A1
Longitud equivalente de contacto - hz		1,00	[1/3 a 1/2] z		% LV
Compensaciones horizontales y verticales	Xo	5,95			% LH
	Yo	4,00			% LV
Proporción de la rigidez asignada al corte - Ys		35	[20-60]		%
Peso específico Y		17,15			Kn/m3
Parámetros de la curva de la Biela		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Módulo de elasticidad inicial - Em		928888,938	[350fm-1000fm]	1600000	Kpa
Resistencia a compresión - fθ		928,827		1000	Kpa
Resistencia a tracción - ft		0,01		0	Kpa
Deformación correspondiente al esfuerzo máximo - εm		0,00012	0.001-0.005	0,0012	m/m
Deformación última - εu		0,0027	-	0,024	m/m
Deformación del cerramiento - ecl		0,01	0-0.003	0,004	m/m
Deformación de reducción del área de la biela y deformación residual del área de la biela	ε1	0,00004	[0.0003-0.0008]	0,0006	m/m
	ε2	0,0007	[0.0006-0.016]	0,001	m/m
Factor de rigidez de descarga inicial, Yun		2	[1.5-2.5]	1,5	
Factor de recarga de la deformación, are		1,5	[0.2-0.4]	0,2	
Factor de recarga de la inflexión, αch		0,6	[0.1-0.7]	0,7	
Factor de deformación de descarga completa, βa		1,5	[1.5-2]	1,5	
Factor de inflexión de estrés, βch		0,7	[0.5-0.9]	0,9	
Factor de rigidez de tensión cero, Ypu		1	-	1	(-)
Factor de rigidez de recarga, Ypr		1,1	-	1,5	(-)
Factor de rigidez de descarga de plástico, ex1		1,5	-	3	(-)
Factor de deformación de ciclo repetido, ex2		1,4	-	1,4	(-)
Parámetros de la Curva de Corte		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Resistencia al corte por adherencia tao		27,86	[300-600] Hendry	300	Kpa
			[100-1500] Paulay	300	Kpa
			[100-700] Shrive	300	Kpa
Coeficiente de fricción, μ		0,4	[0.1-1.2]	0,7	(-)
Máxima resistencia al corte, tao Max		603,31	-	600	Kpa
Factor de reducción de corte		1,5	[1.4-1.65]	1,5	(-)

## MODELO PÓRTICO (LADRILLO)

### SECCIONES

Se consideraron las siguientes secciones para columnas y vigas, tanto para dimensiones como armados. Estas longitudes son recomendaciones del código NEC para viviendas de hasta dos pisos con luces menores a 4m.

#### *Dimensiones consideradas*

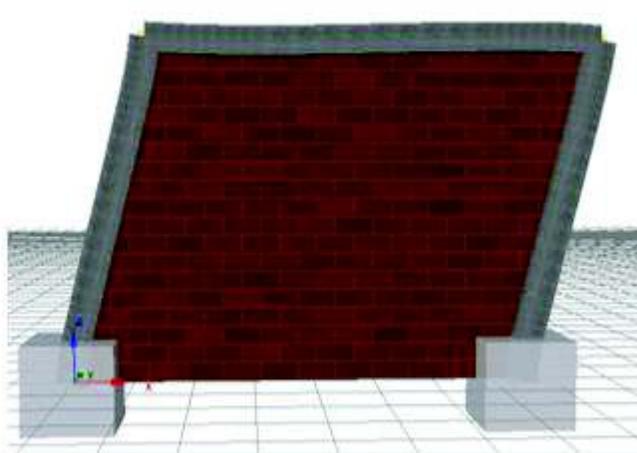
COLUMNAS:	BASE [cm]	20	ALTURA [cm]	20
VIGAS :	BASE [cm]	20	ALTURA [cm]	20

#### *Armado considerado en columnas*

% LONGITUDINAL:	1
AS LONG req.[cm <sup>2</sup> ]	4
Armado long. =	4 fi 12mm.
Estribo=	fi 8 mm @ 10

#### *Armado considerado en vigas*

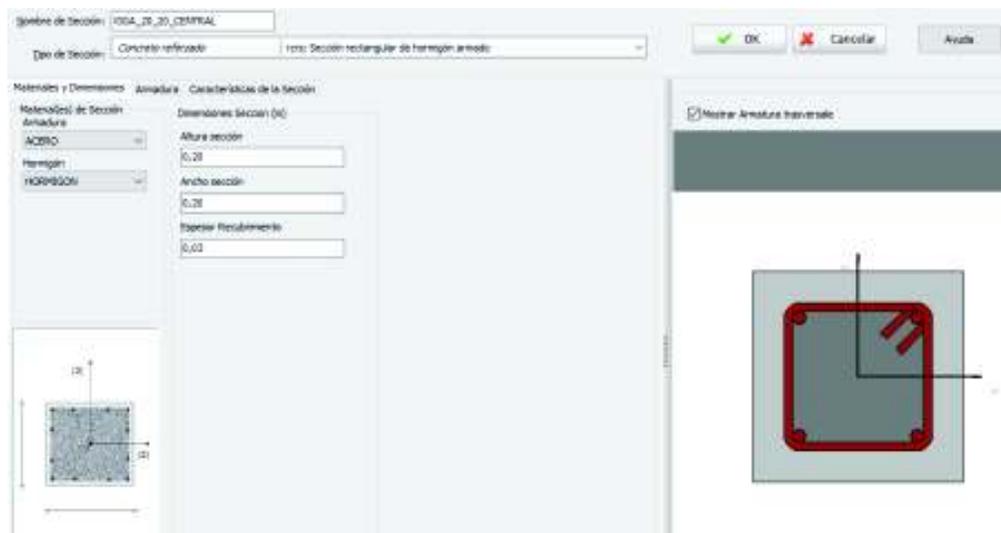
AS LONG mín.[cm <sup>2</sup> ] =	1.333	
Armado long. =	4 fi 12mm.	
Estribo=	fi 8 mm @ 5	fi 8 mm @ 5
	centro	extremo

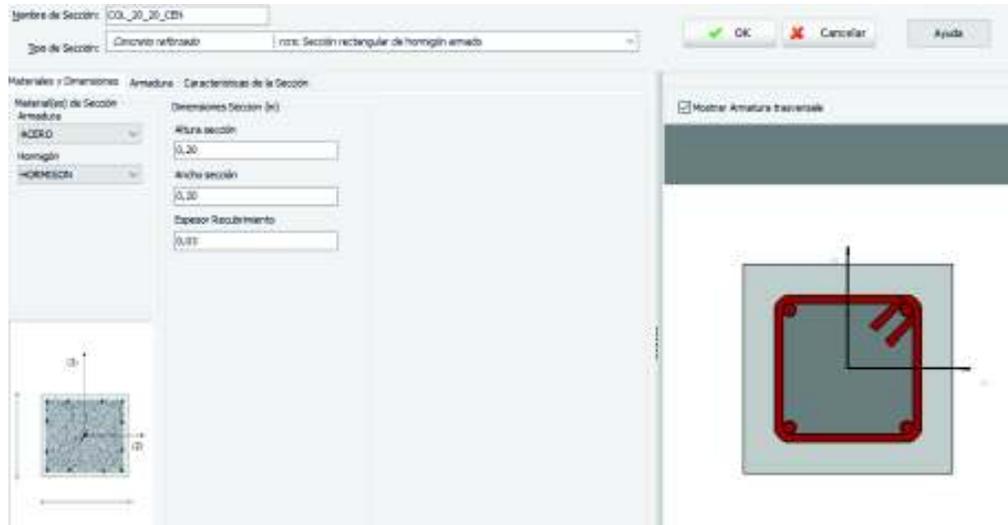


MAMPOSTERÍA					
Características de la mampostería		Modelo	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Espesor del panel - t		0.137			m
Deriva de Colapso Fuera del plano		5			% LV
Área de la Biela 1 - A1		0.125	[10-40]%		m <sup>2</sup>
Área de la Biela 2 - A2		50			% A1
Longitud equivalente de contacto - hz		14.26	[1/3 a 1/2] z		% LV
Compensaciones horizontales y verticales	Xo	4.31			% LH
	Yo	3.57			% LV
Proporción de la rigidez asignada al corte - Ys		20	[20-60]		%
Peso específico $\gamma$		10.96			Kn/m <sup>3</sup>

Parámetros de la curva de la Biela		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Módulo de elasticidad inicial - Em		843316	[350fm-1000fm]	1600000	Kpa
Resistencia a compresión - f $\theta$		702.76		1000	Kpa
Resistencia a tracción - ft		0		0	Kpa
Deformación correspondiente al esfuerzo máximo - $\epsilon_m$		0.005	0.001-0.005	0,0012	m/m
Deformación última - $\epsilon_u$		0.024	-	0,024	m/m
Deformación del cerramiento - $\epsilon_{cl}$		0.0015	0-0.003	0,004	m/m
Deformación de reducción del área de la biela y deformación residual del área de la biela	$\epsilon_1$	0.0003	[0.0003-0.0008]	0,0006	m/m
	$\epsilon_2$	0.0016	[0.0006-0.016]	0,001	m/m
Factor de rigidez de descarga inicial, $\gamma_{un}$		2.5	[1.5-2.5]	1,5	
Factor de recarga de la deformación, $\alpha_{re}$		0.4	[0.2-0.4]	0,2	
Factor de recarga de la inflexión, $\alpha_{ch}$		0.4	[0.1-0.7]	0,7	
Factor de deformación de descarga completa, $\beta_a$		1.5	[1.5-2]	1,5	
Factor de inflexión de estrés, $\beta_{ch}$		0.7	[0.5-0.9]	0,9	
Factor de rigidez de tensión cero, $\gamma_{pu}$		1	-	1	(-)
Factor de rigidez de recarga, $\gamma_{pr}$		1.5	-	1,5	(-)
Factor de rigidez de descarga de plástico, $\epsilon_{x1}$		3	-	3	(-)
Factor de deformación de ciclo repetido, $\epsilon_{x2}$		1.4	-	1,4	(-)

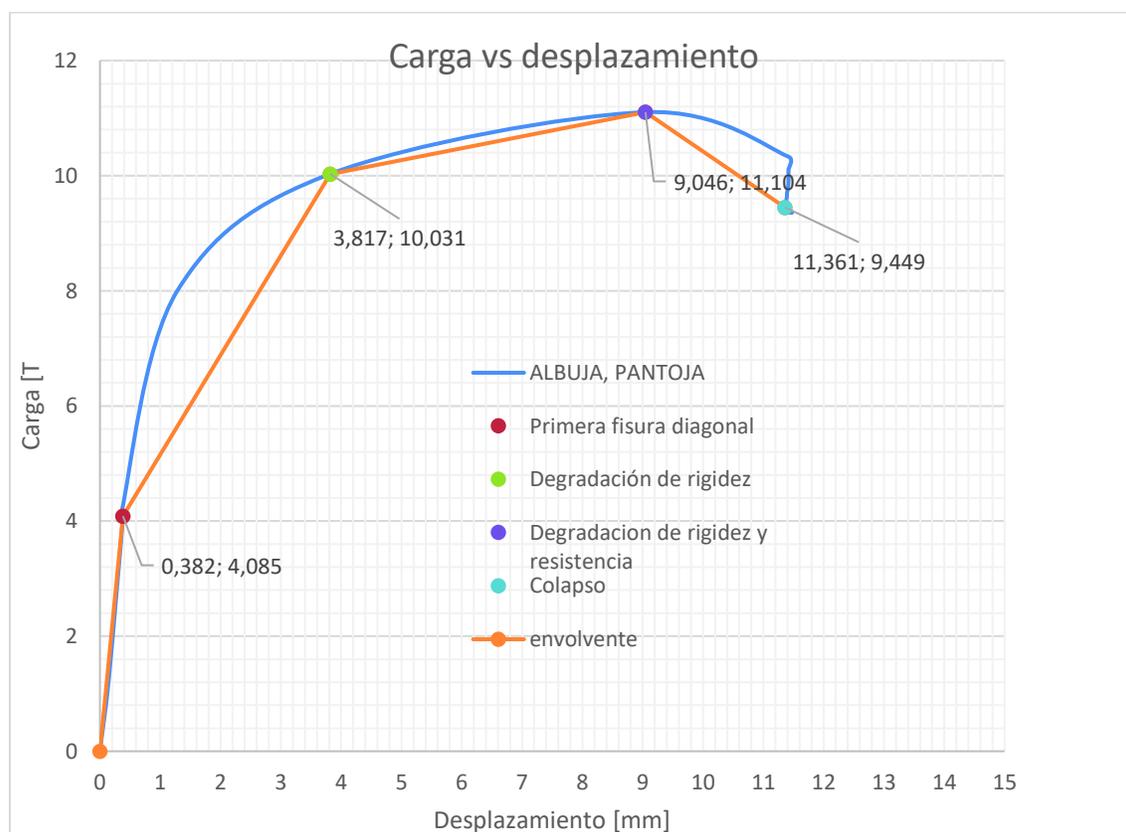
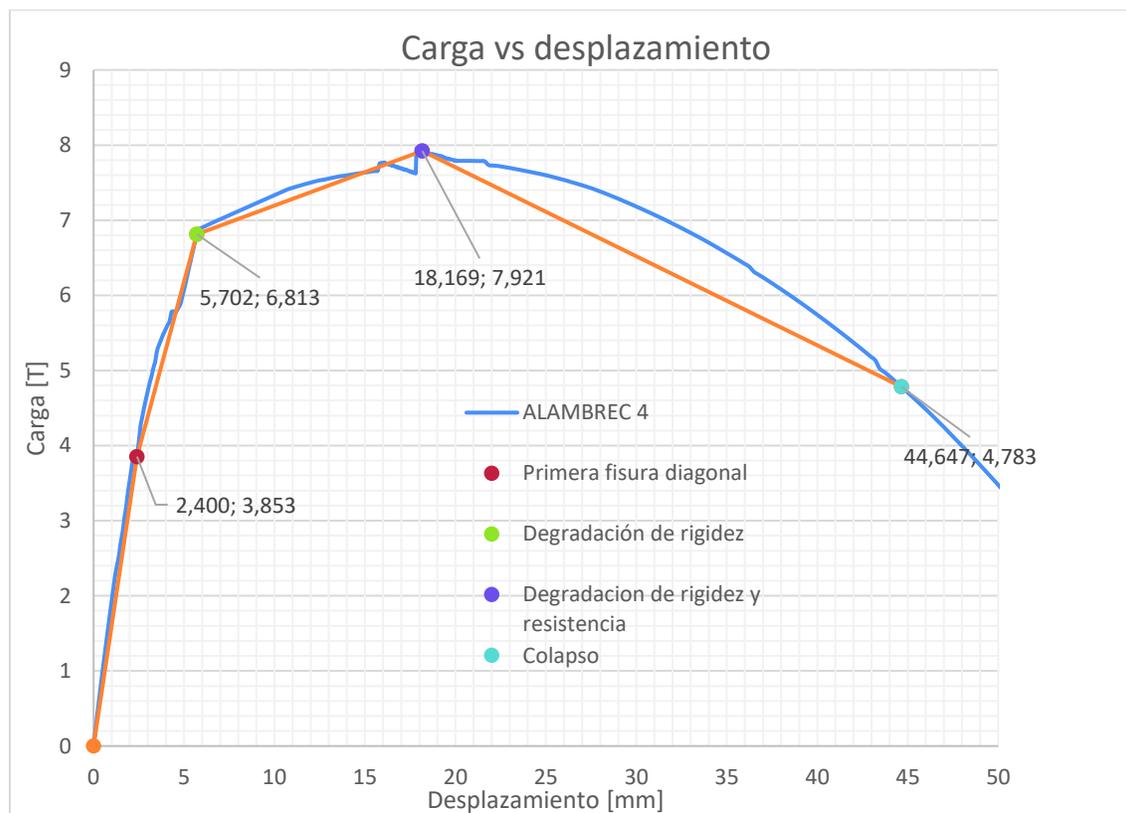
Parámetros de la Curva de Corte		Mampostería	Rangos	Valores por Defecto	Unidades
Resistencia al corte por adherencia $\tau_{ao}$		81.662	[300-600] Hendry	300	Kpa
			[100-1500] Paulay		Kpa
			[100-700] Shrive		Kpa
Coeficiente de fricción, $\mu$		0.3	[0.1-1.2]	0,7	(-)
Máxima resistencia al corte, $\tau_{ao Max}$		292.46	-	600	Kpa
Factor de reducción de corte		1.5	[1.4-1.65]	1,5	(-)

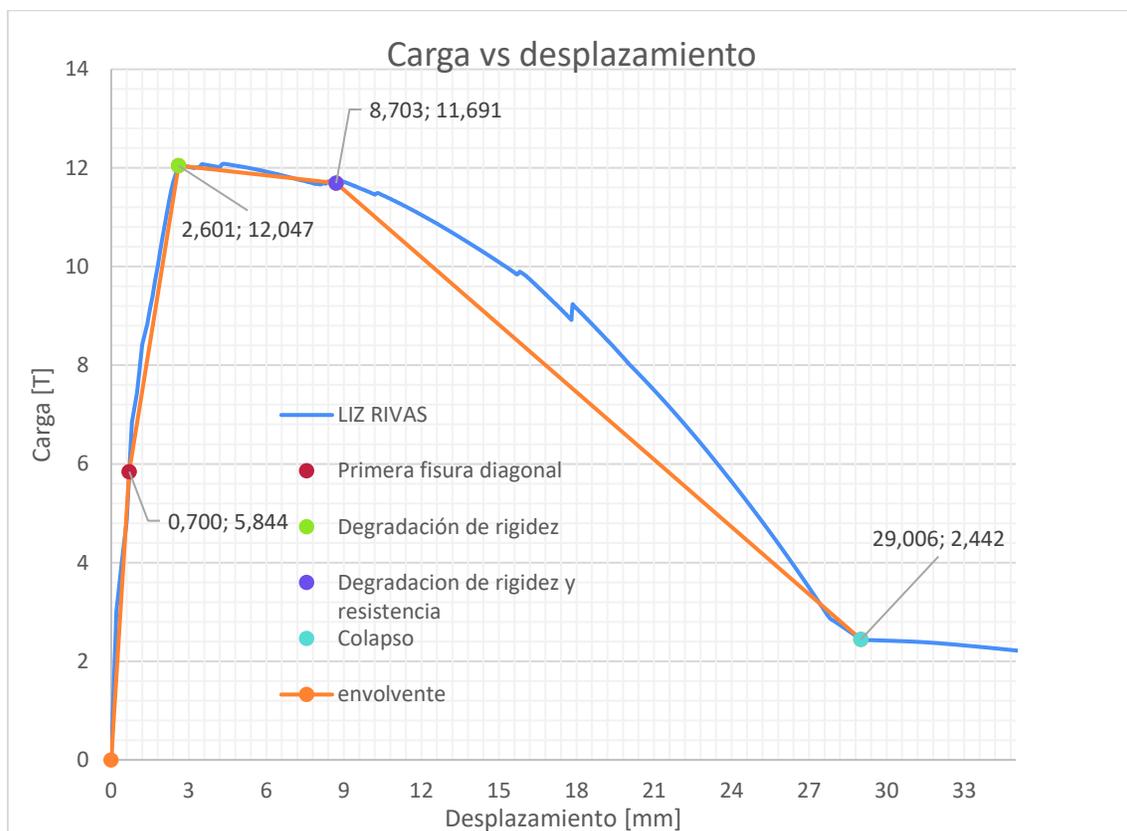
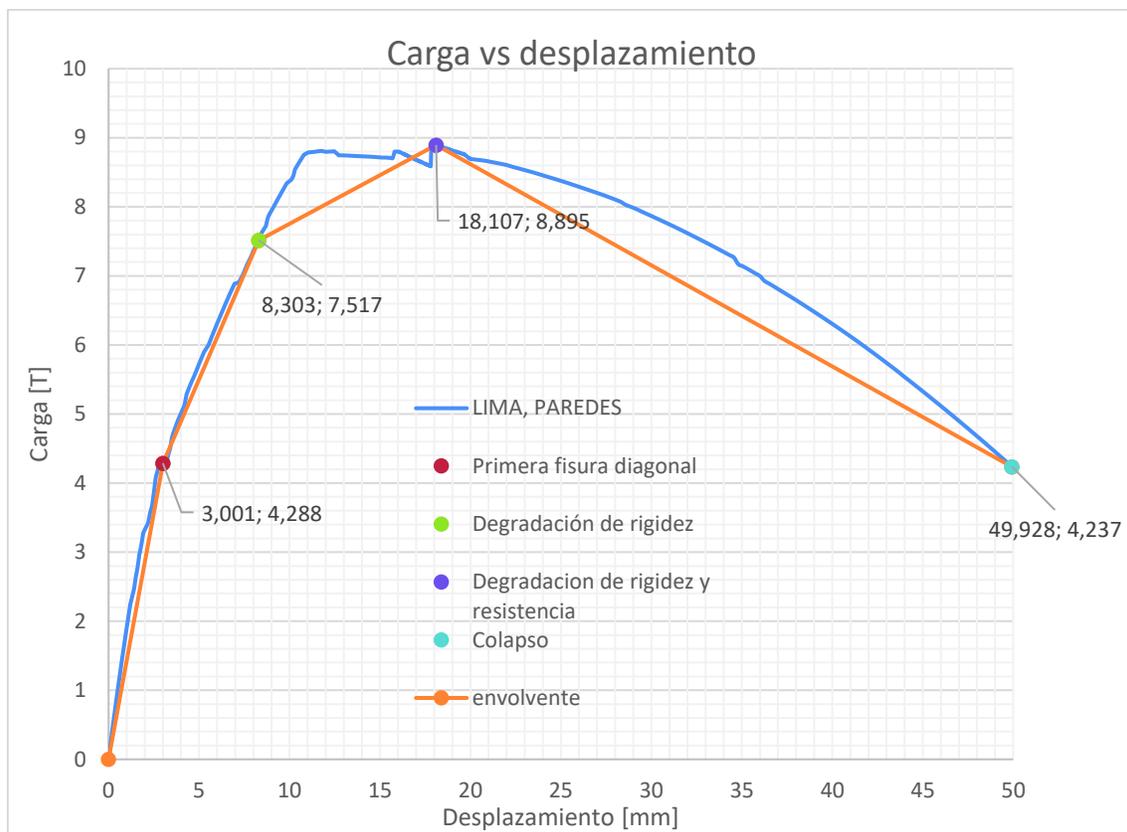


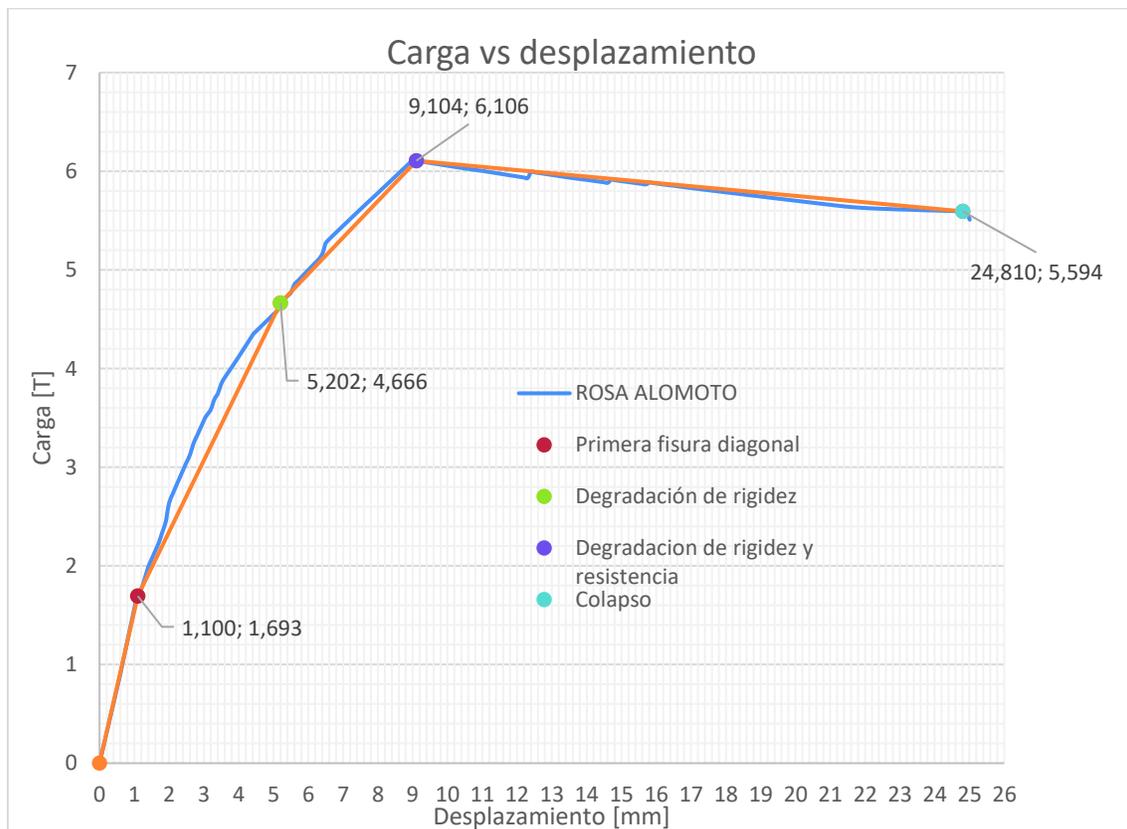
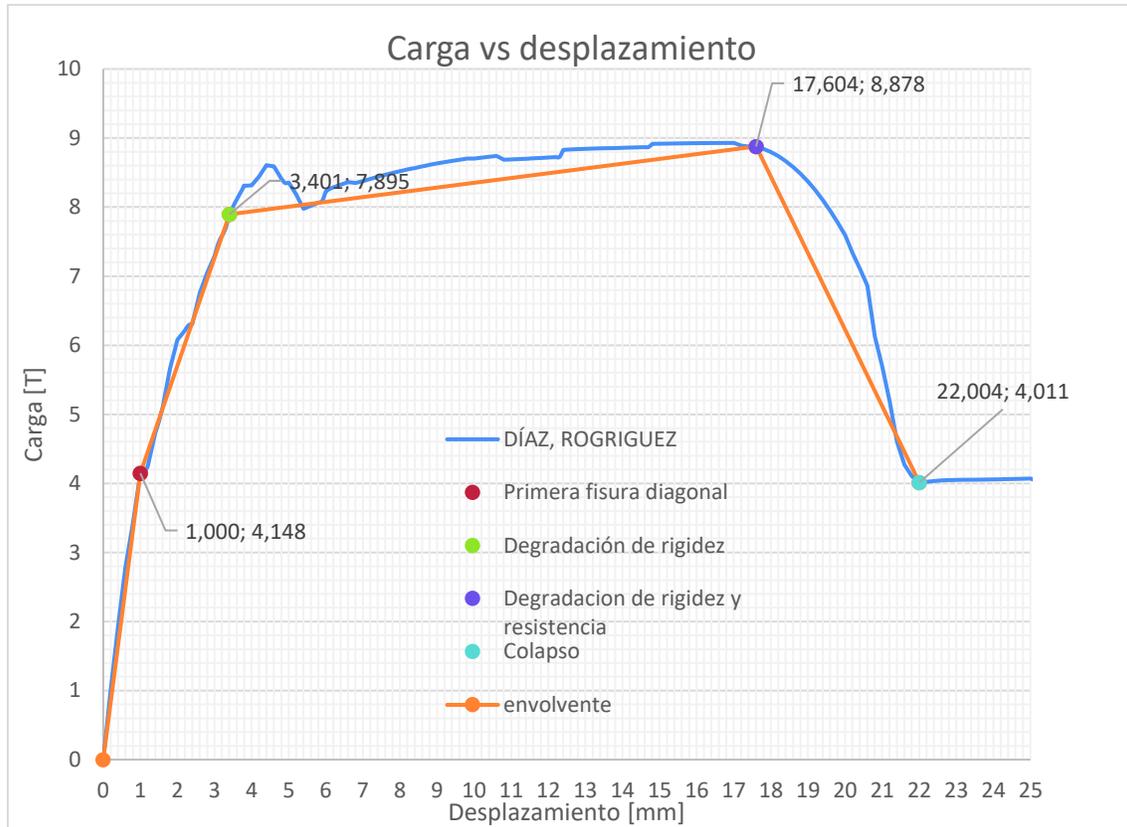


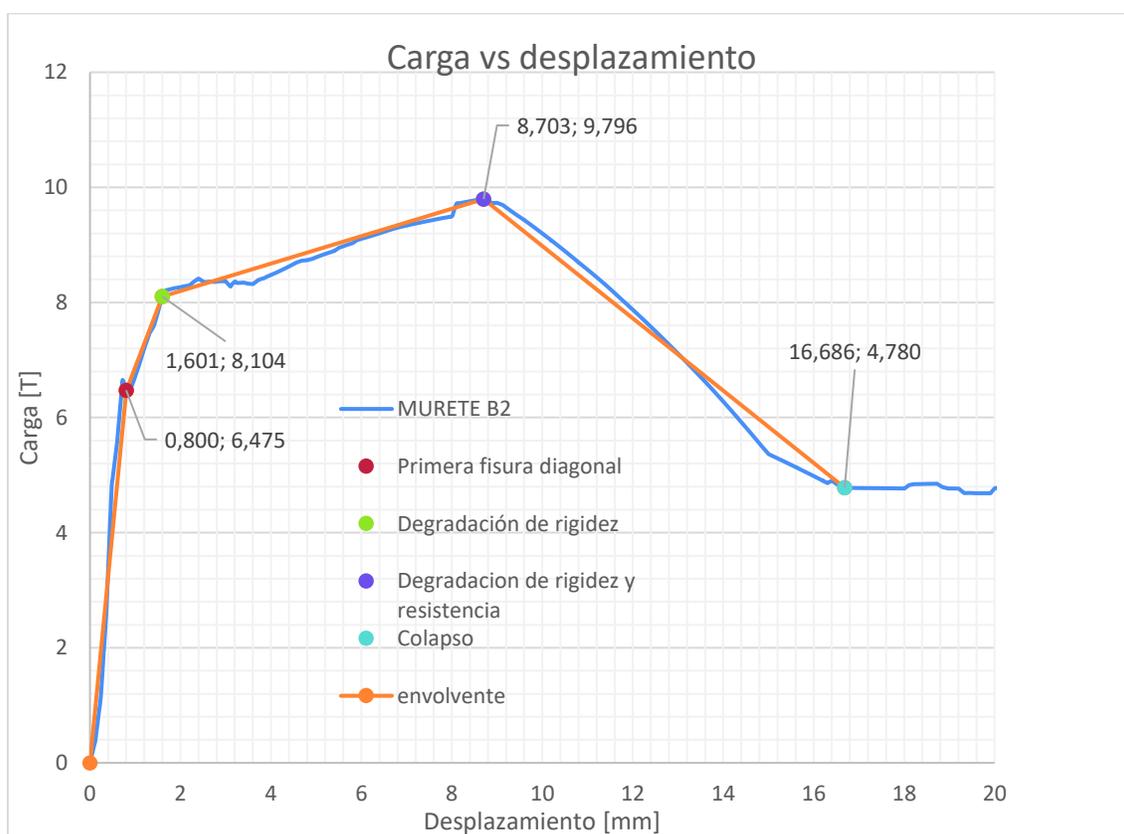
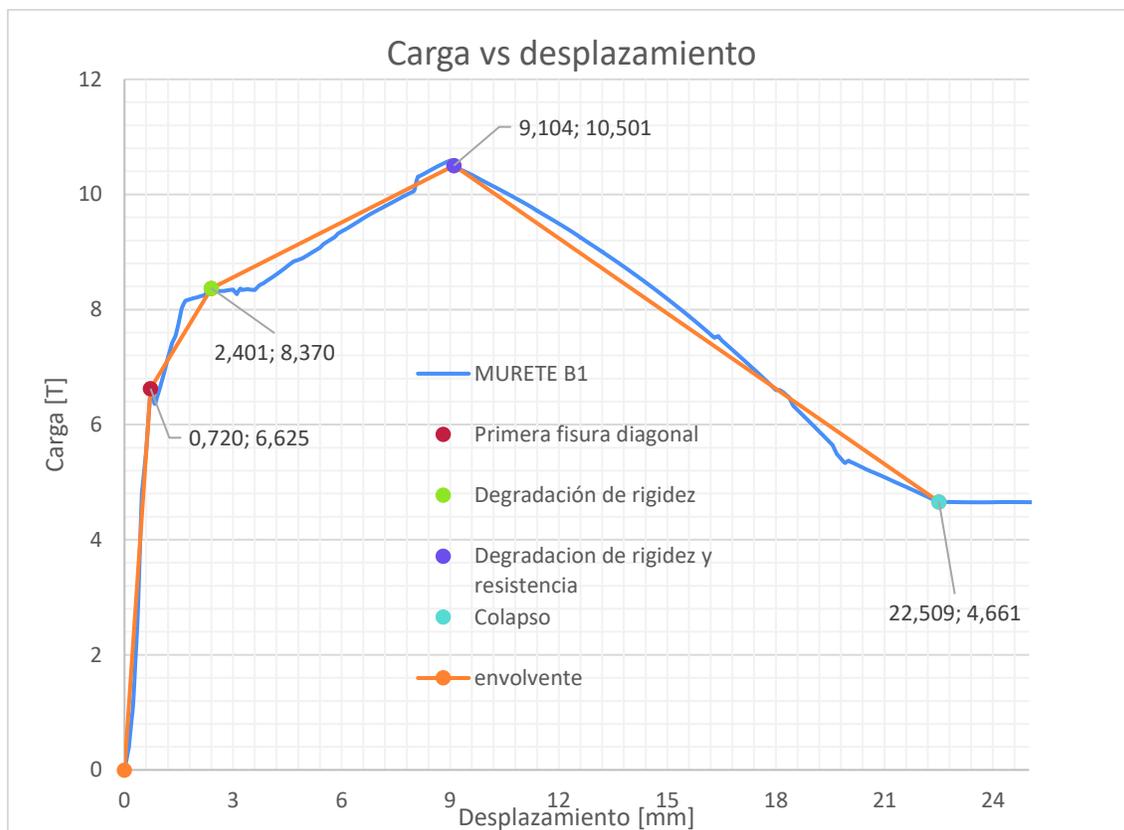
**ANEXO N° 5**  
CURVAS DE CAPACIDAD DE MAMPOSTERÍAS

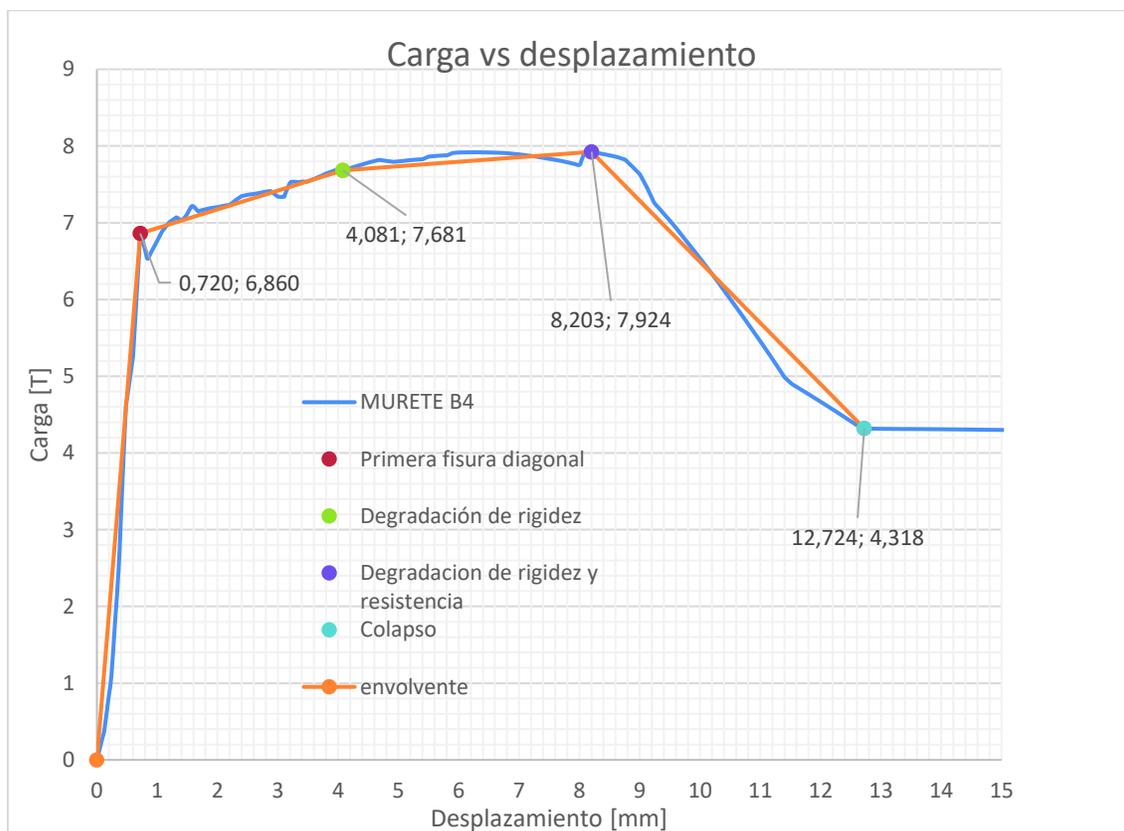
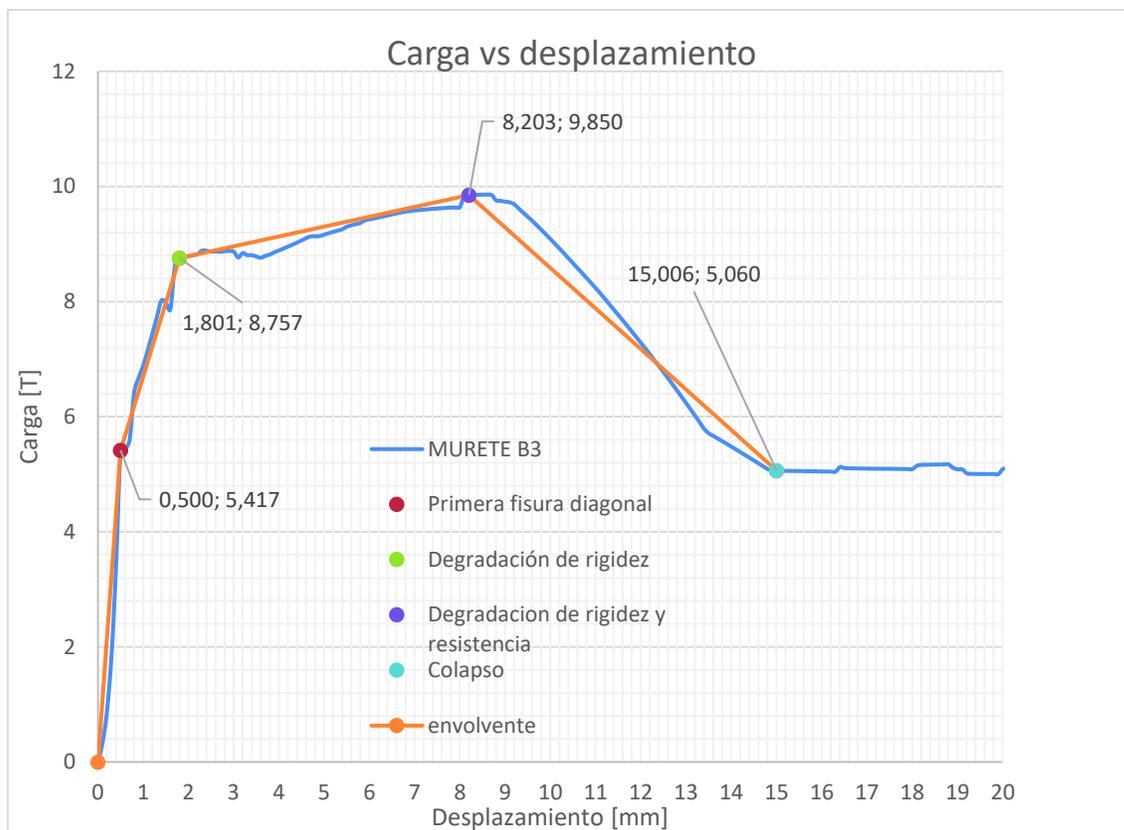
## MAMPOSTERÍA DE BLOQUE

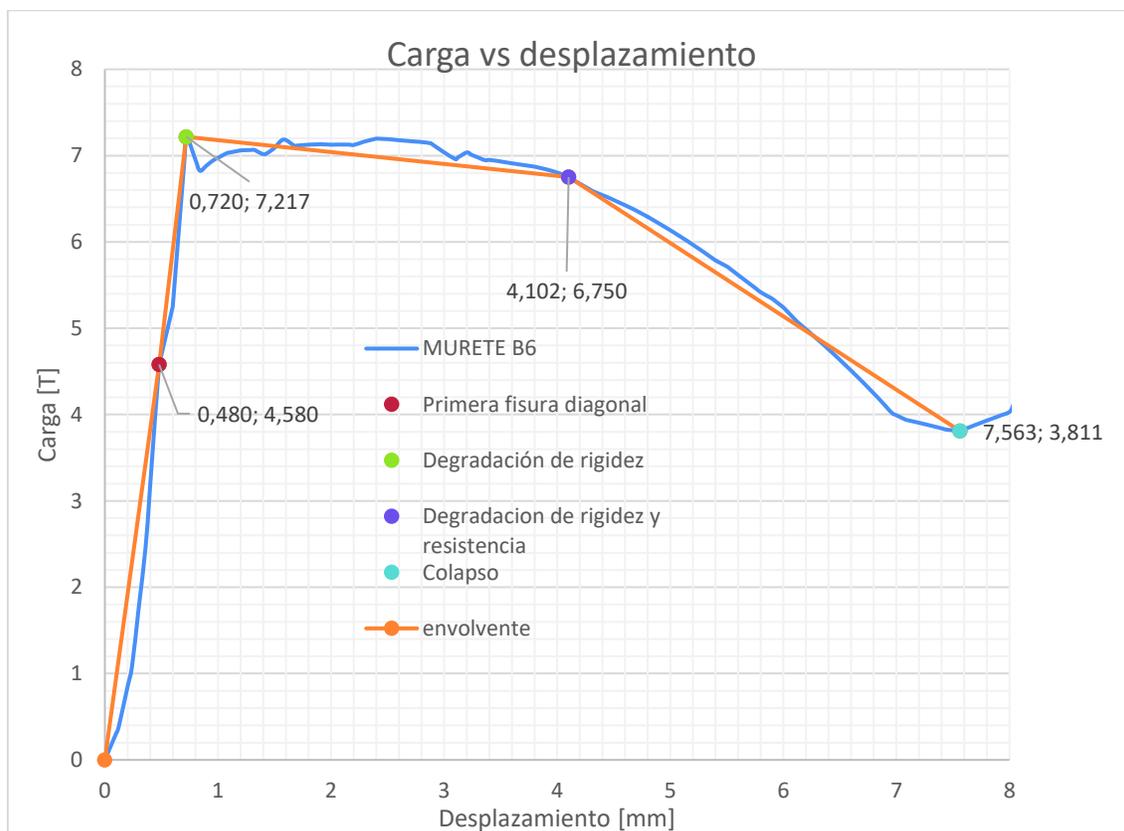
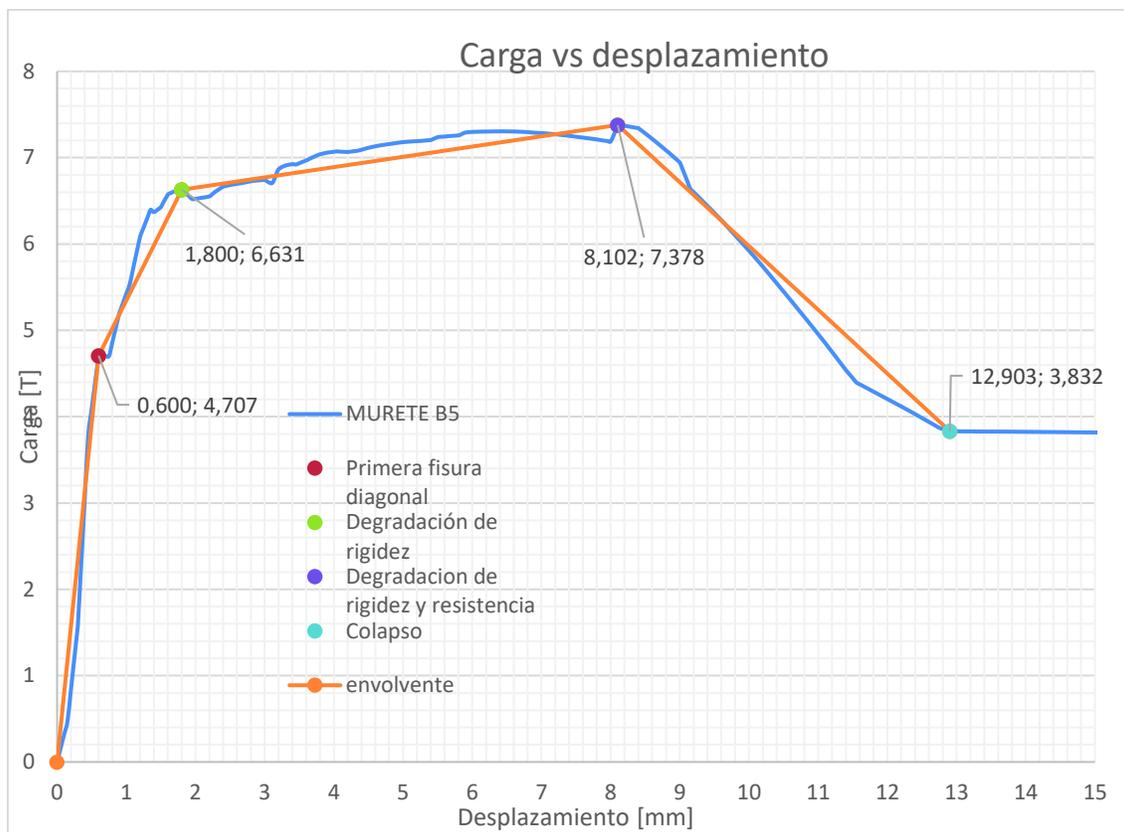


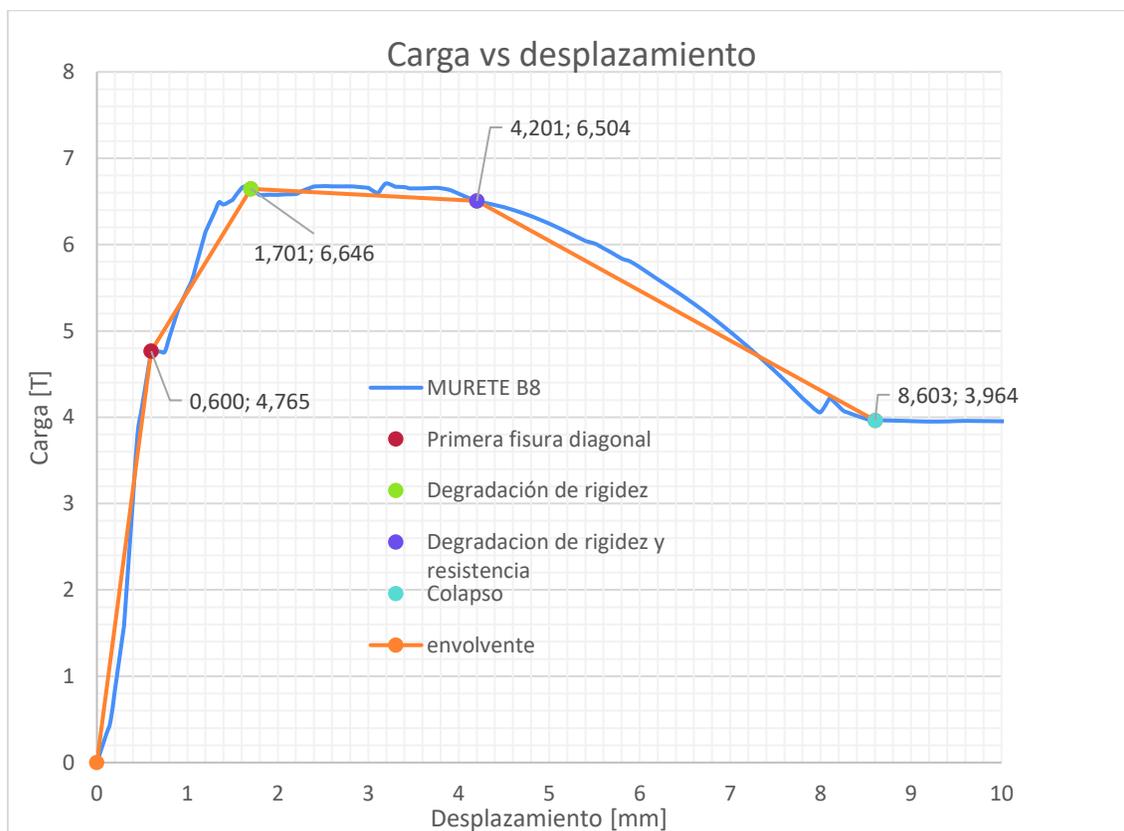
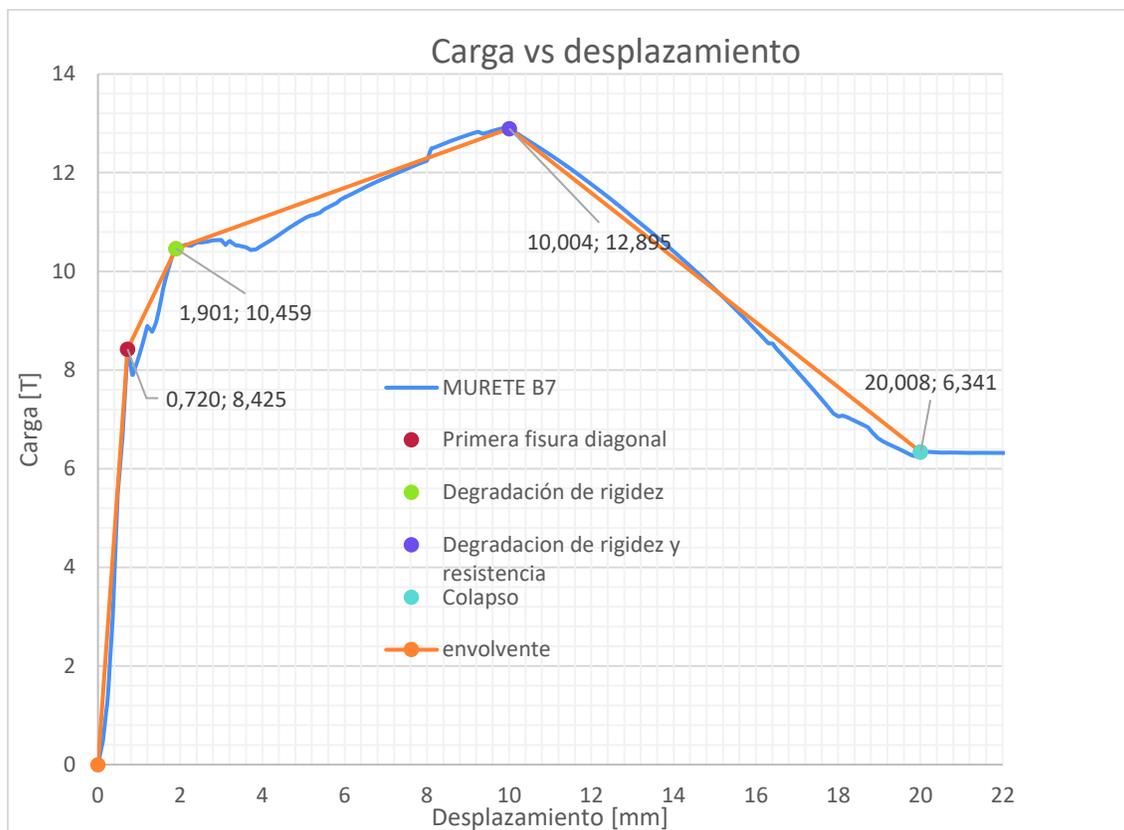


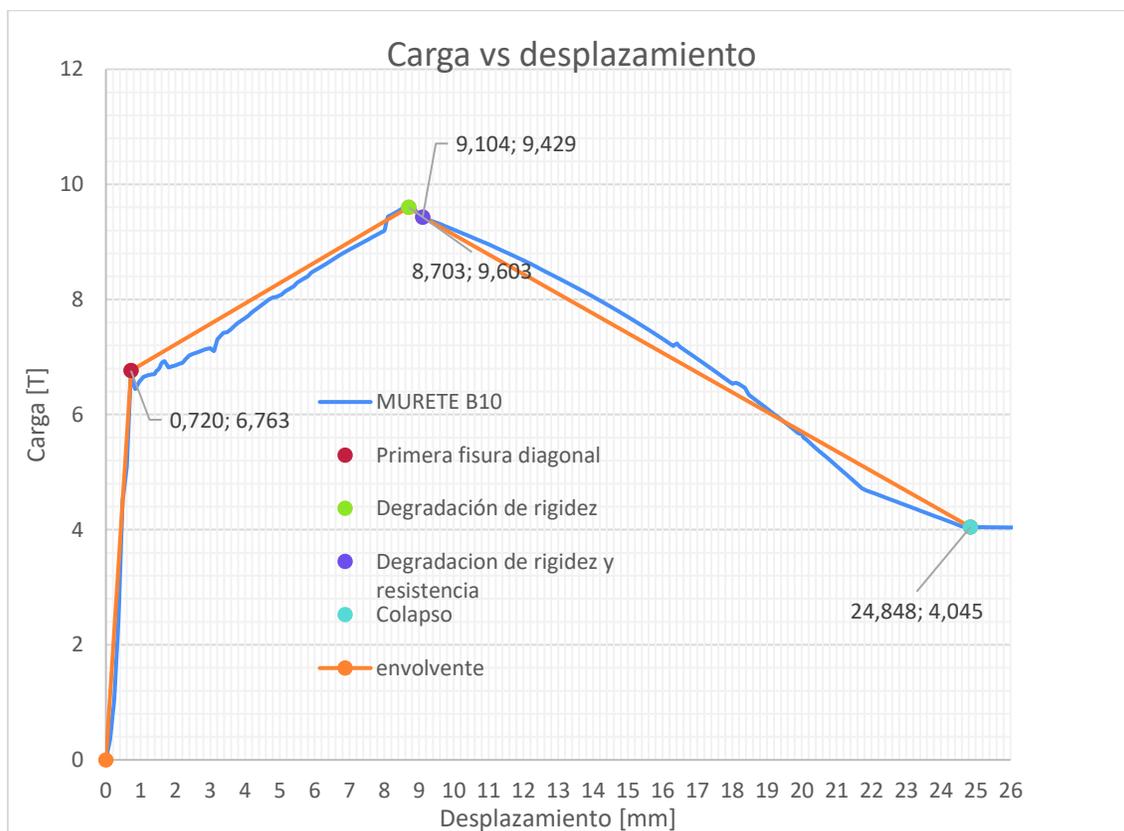
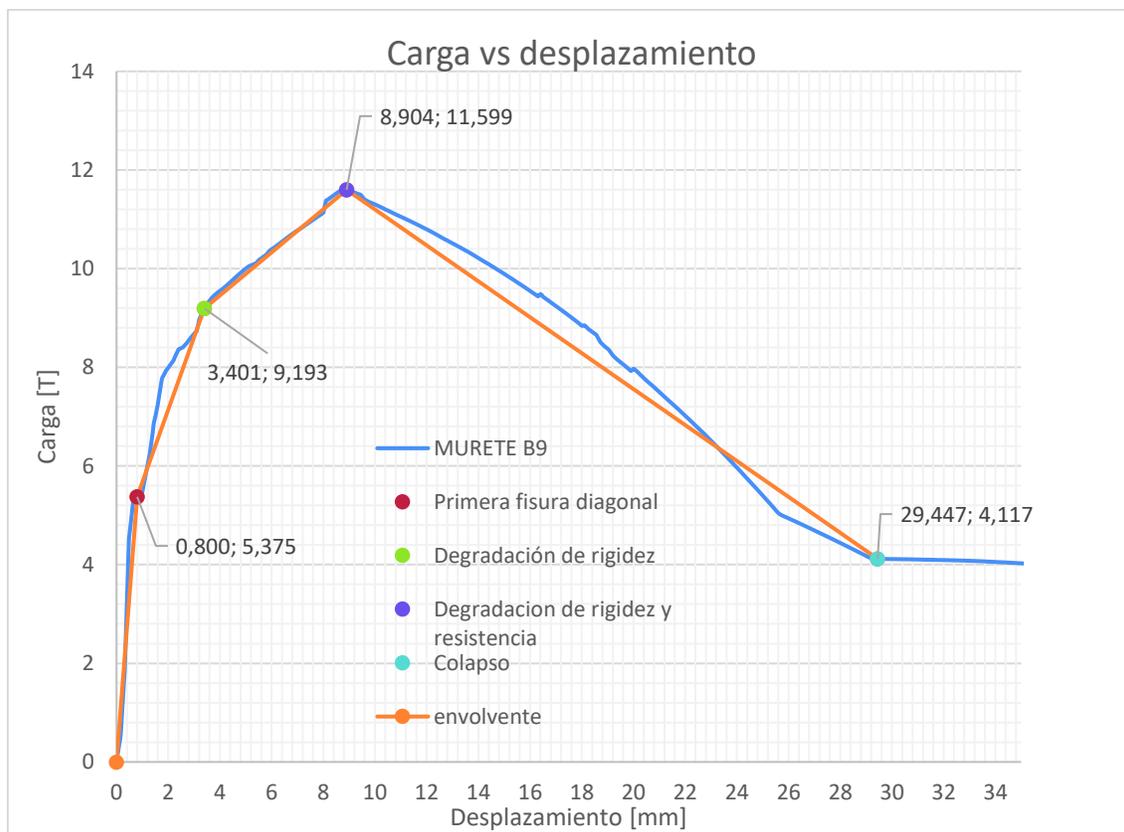


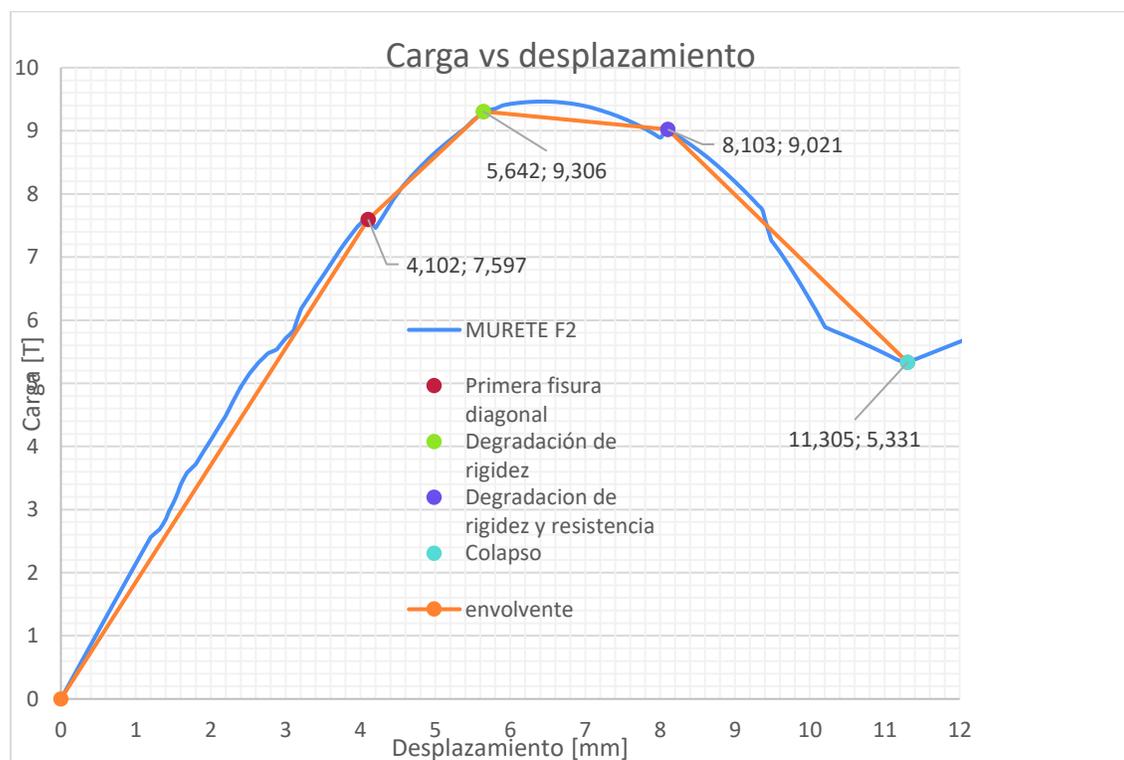
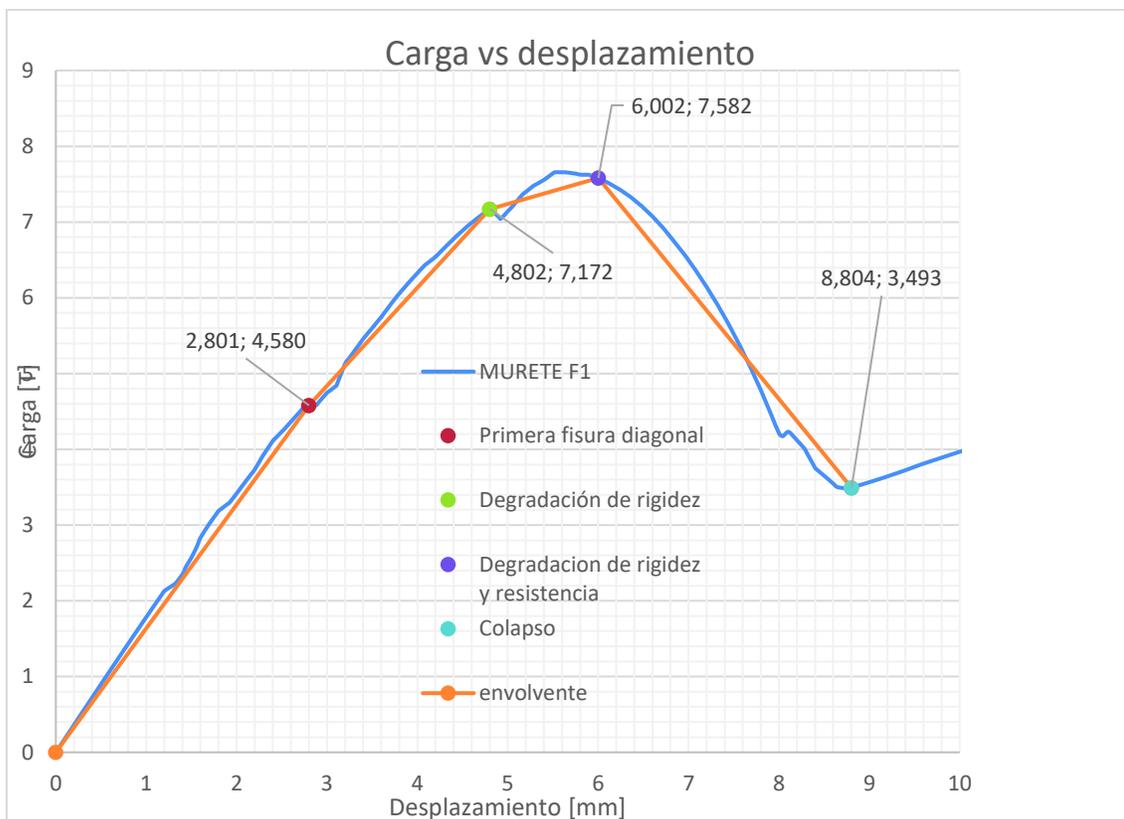


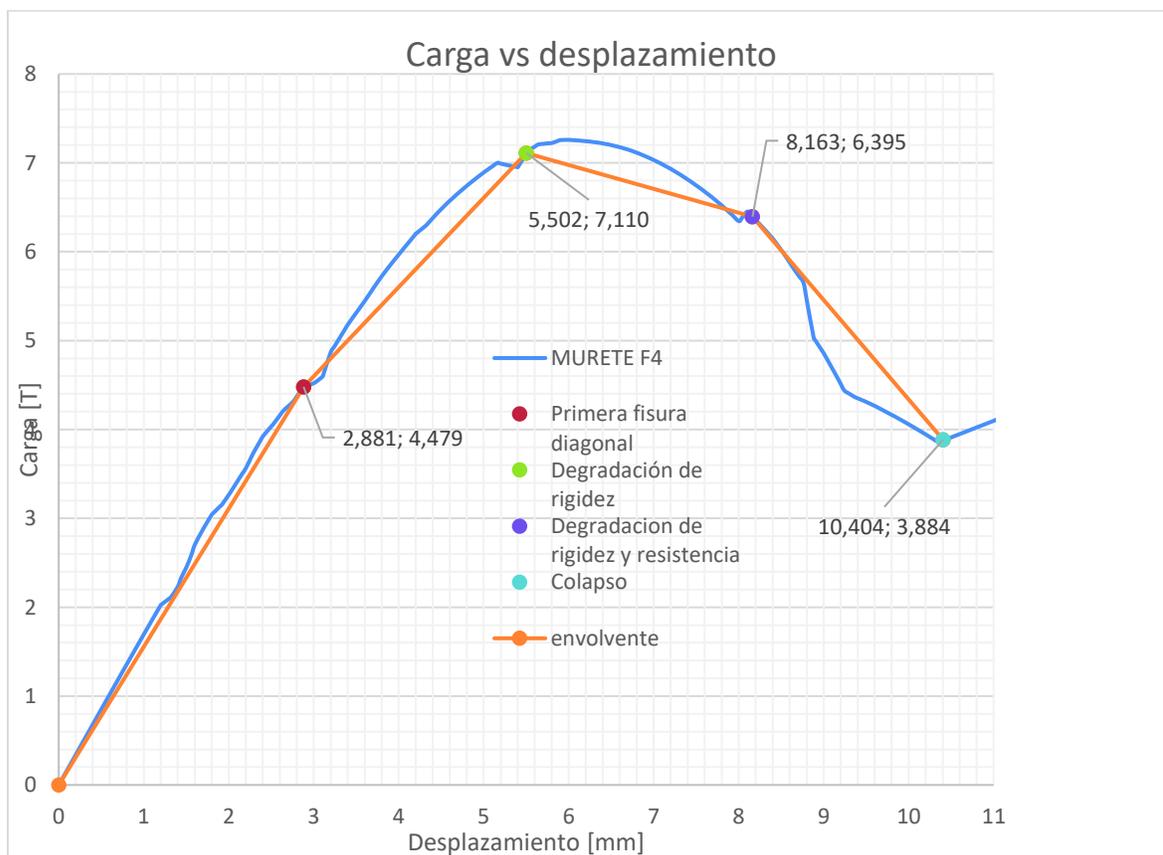
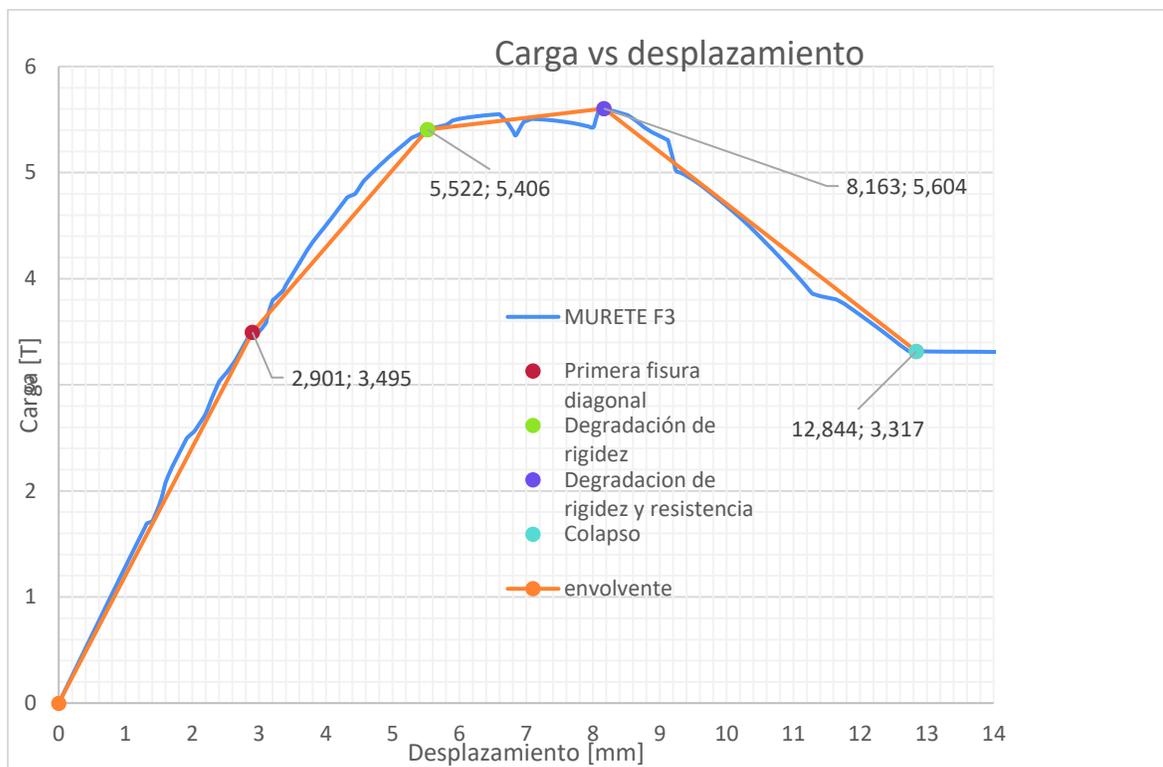




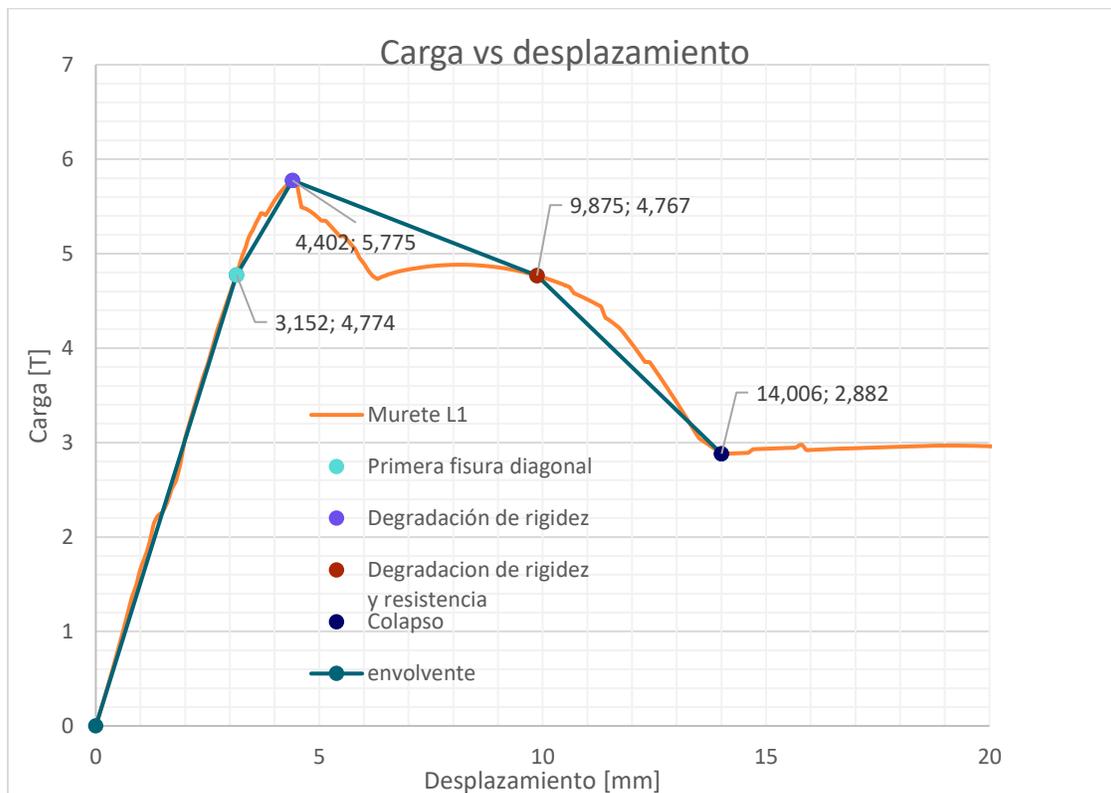
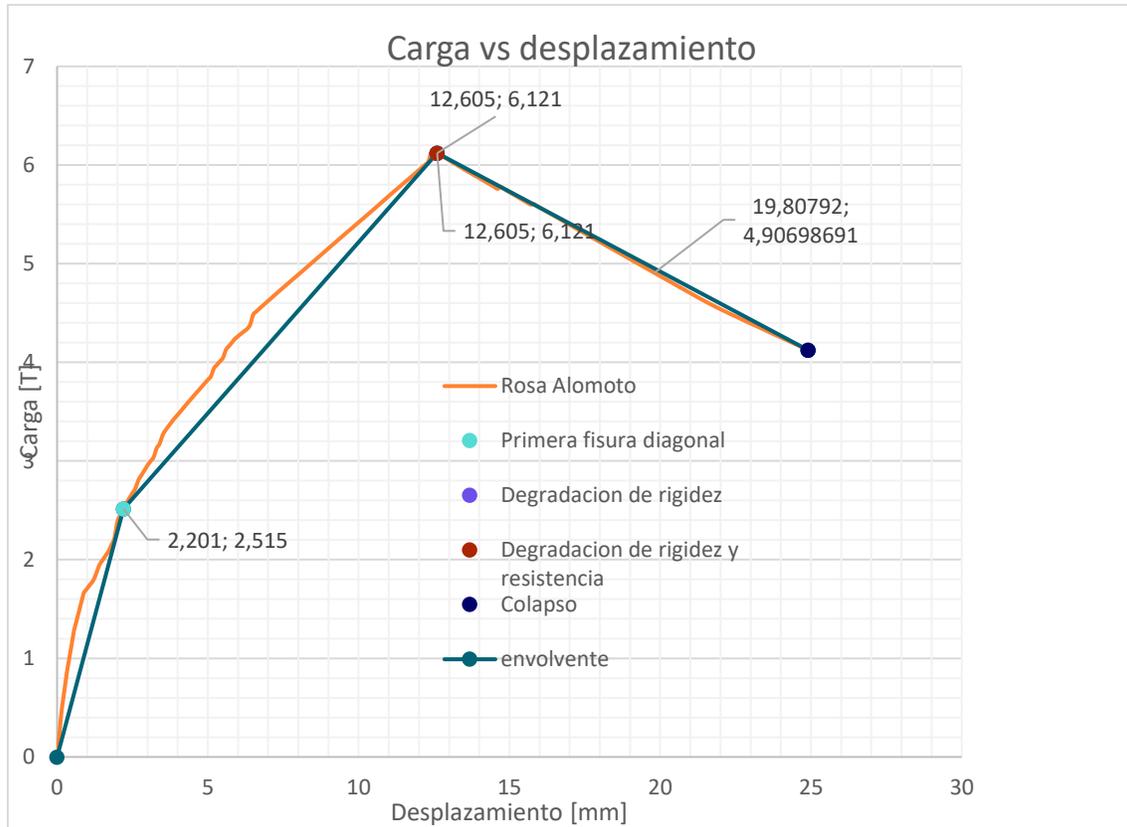


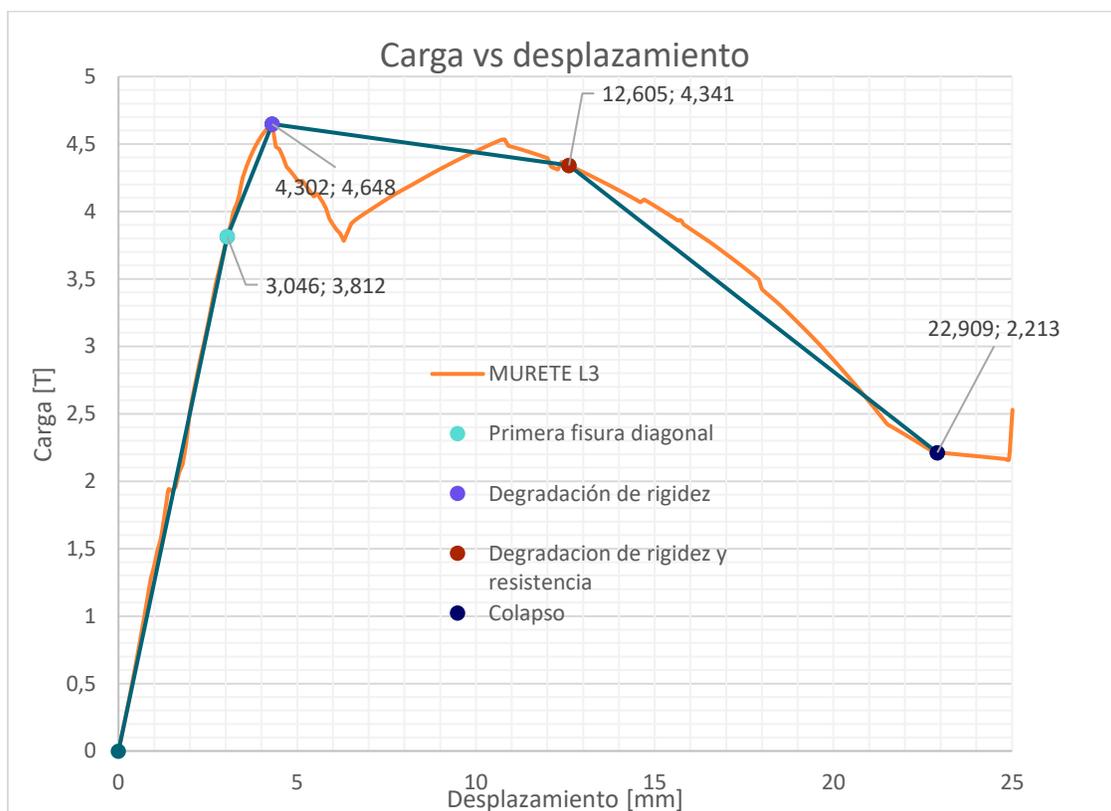
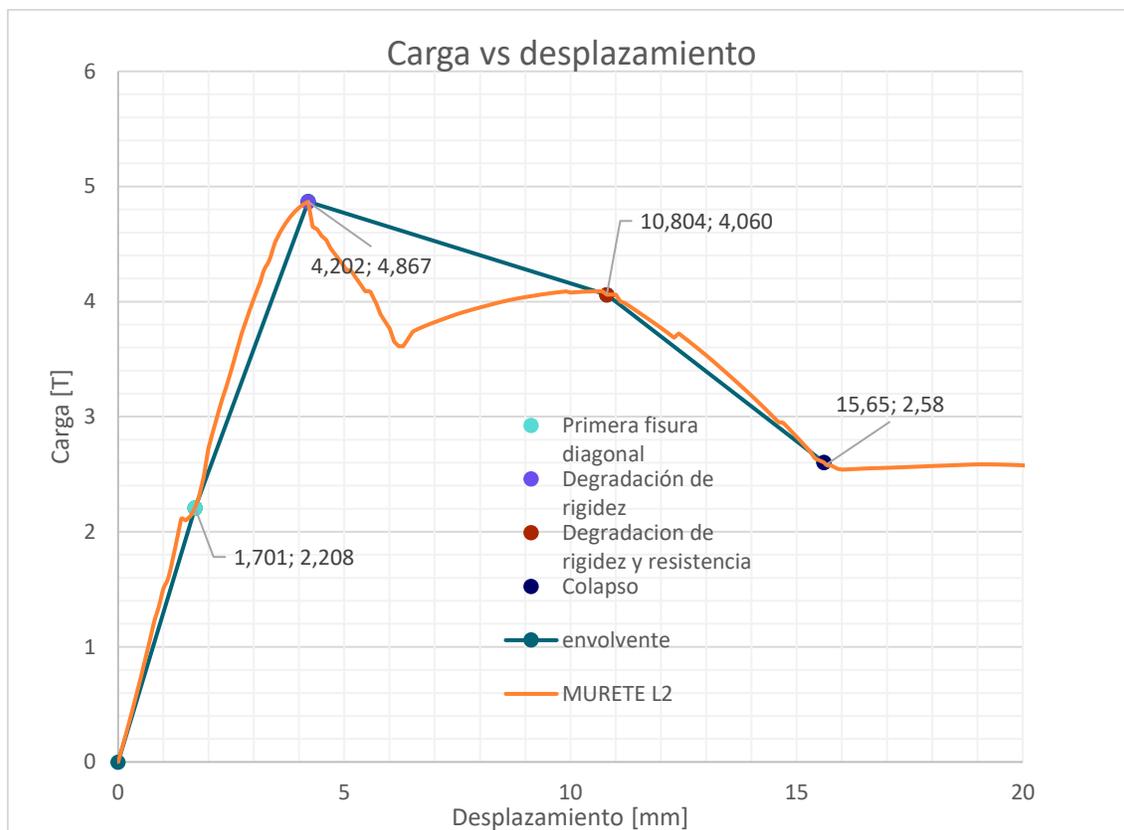


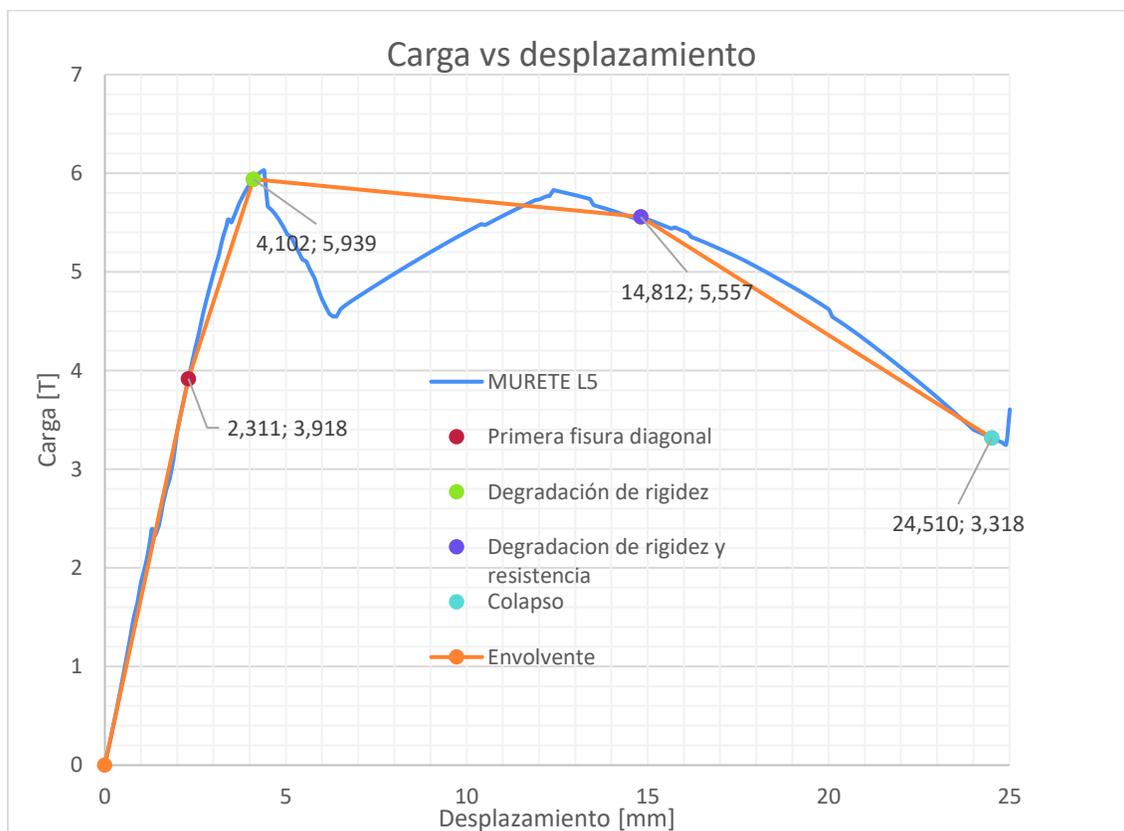
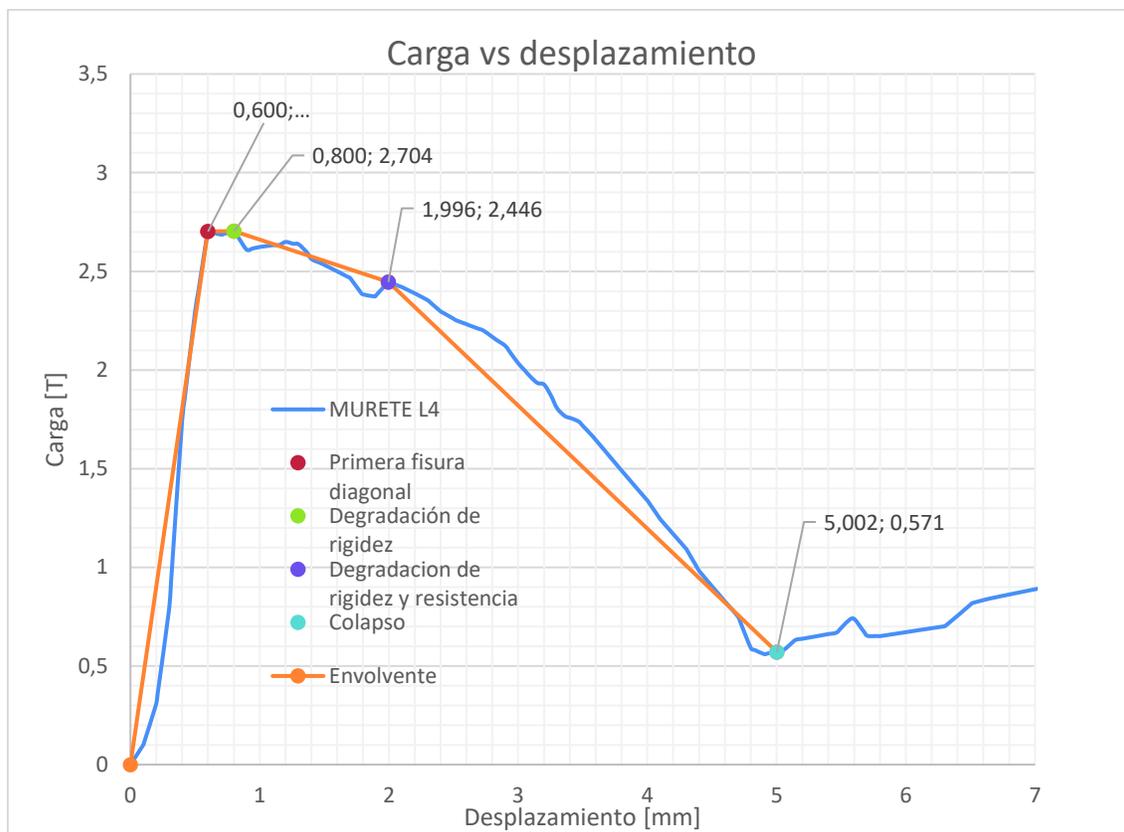


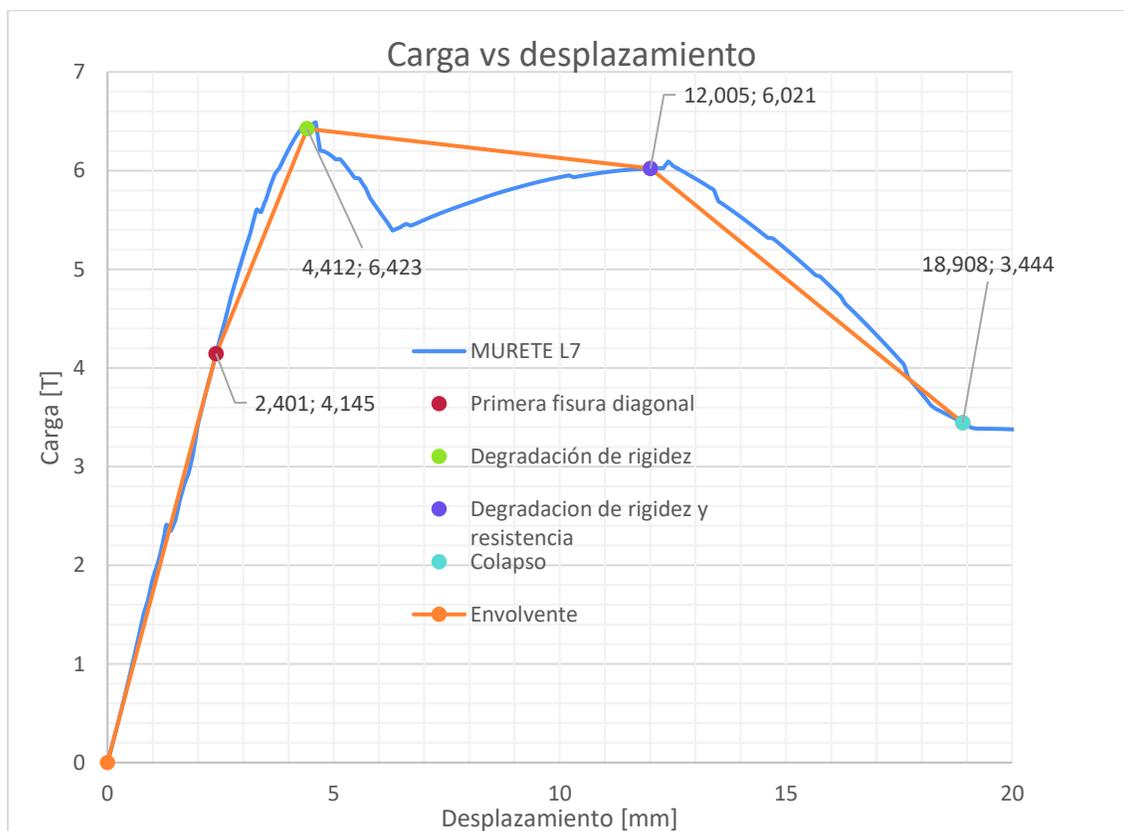
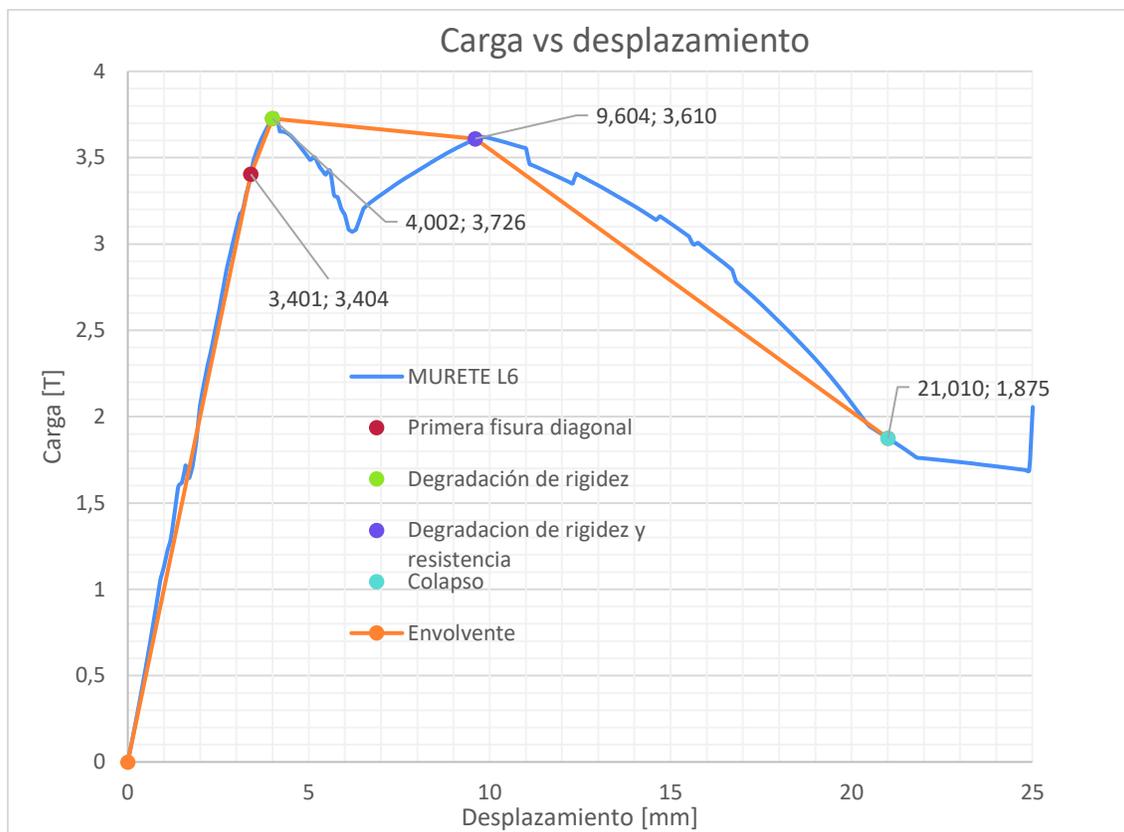


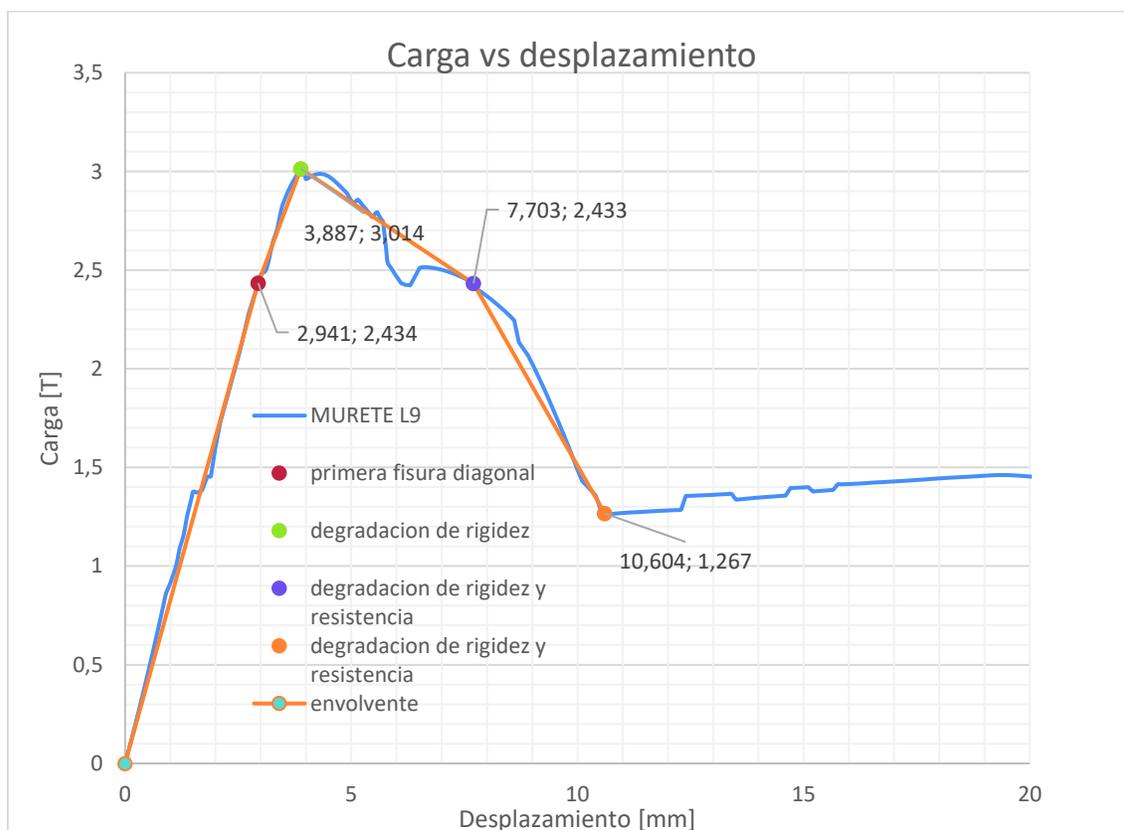
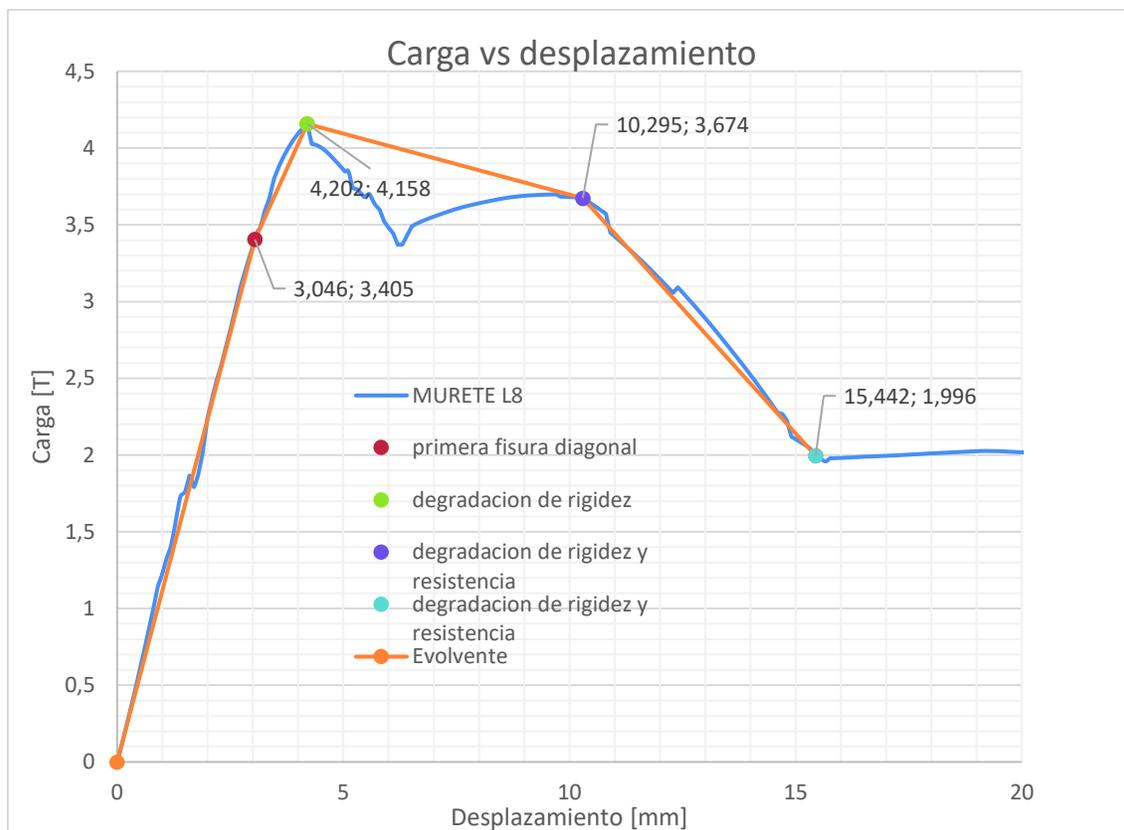
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO











**ANEXO N° 6**  
TABLAS DE ANÁLISIS FACTORIAL (SPSS)

## Daño Leve (Bloque)

Matriz de correlaciones

		Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Compresión	Módulo de corte	Espesor del bloque	Altura del pórtico	Ancho del pórtico	Resistencia a compresión del bloque	Carga	Deriva	Resistencia del mortero
Correlación	Módulo de Elasticidad	1,000	,488	,468	,837	,293	-,823	-,826	-,384	-,290	,836
	Resistencia a la Compresión	,488	1,000	,881	-,831	,832	,832	-,201	-,466	-,180	,111
	Módulo de corte	,468	,881	1,000	,341	-,450	-,330	-,889	,262	-,120	,183
	Espesor del bloque	,837	-,831	,341	1,000	-,534	-,360	,872	,200	-,380	-,234
	Altura del pórtico	,293	,832	-,450	-,534	1,000	,810	-,485	-,481	,110	,390
	Ancho del pórtico	-,823	,832	-,330	-,360	,810	1,000	-,387	-,242	,390	,257
	Resistencia a compresión del bloque	-,826	-,201	-,889	,872	-,485	-,387	1,000	,012	-,335	-,542
	Carga	-,384	-,466	,262	,200	-,481	-,242	,012	1,000	-,882	-,274
	Deriva	-,290	-,180	-,120	-,380	,110	,390	-,335	-,882	1,000	,857
	Resistencia del mortero	,836	,111	,183	-,234	,390	,257	-,542	-,274	,857	1,000

Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestra		,256
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	237,398
	gl	45
	Sig.	,000

Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,444	34,438	34,438	3,444	34,438	34,438	2,673	26,725	26,725
2	2,189	21,887	56,325	2,189	21,887	56,325	2,403	24,031	50,756
3	1,801	18,008	74,334	1,801	18,008	74,334	2,358	23,578	74,334
4	,972	9,718	84,051						
5	,911	9,113	93,165						
6	,395	3,949	97,113						
7	,260	2,604	99,718						
8	,021	,213	99,931						
9	,006	,062	99,993						
10	,001	,007	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Matriz de componente rotado<sup>a</sup>

	Componente		
	1	2	3
Módulo de Elasticidad	,285	,801	-,009
Resistencia a la Compresión	-,016	,862	,022
Módulo de corte	,788	,150	,242
Espesor del bloque	,842	-,078	-,228
Altura del pórtico	-,621	,861	,192
Ancho del pórtico	-,828	,115	,328
Resistencia a compresión del bloque	,045	-,229	-,694
Carga	,345	-,633	-,068
Deriva	-,270	-,284	,842
Resistencia del mortero	-,017	,083	,952

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser. <sup>a</sup>

Matriz de transformación de componente

Componente	1	2	3
1	-,716	,415	,561
2	,276	,907	-,320
3	,641	,074	,784

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

## Daño Moderado (Bloque)

Matriz de correlaciones

		Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Compresión	Módulo de corte	Espesor del bloque	Altura del pórtico	Ancho del pórtico	Resistencia a compresión del bloque	Carga	Deriva	Resistencia del mortero
Correlación	Módulo de Elasticidad	1,000	,468	,468	,037	,293	-,023	-,026	,883	-,088	,036
	Resistencia a la Compresión	,468	1,000	,061	-,031	,632	,032	-,201	-,288	-,111	,111
	Módulo de corte	,468	,061	1,000	,341	-,450	-,330	-,009	,742	,001	,163
	Espesor del bloque	,037	-,031	,341	1,000	-,504	-,960	,072	,211	-,461	-,204
	Altura del pórtico	,293	,632	-,450	-,504	1,000	,610	-,485	-,582	,077	,200
	Ancho del pórtico	-,023	,032	-,330	-,960	,610	1,000	-,307	-,242	,431	,257
	Resistencia a compresión del bloque	-,026	-,201	-,009	,072	-,485	-,307	1,000	,147	-,204	-,542
	Carga	,082	-,208	,742	,211	-,582	-,242	,147	1,000	,125	-,189
	Deriva	-,088	-,111	,001	-,461	,077	,431	-,204	-,125	1,000	,627
	Resistencia del mortero	,036	,111	,163	-,204	,200	,257	-,542	-,189	,627	1,000

Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,192
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	209,818
	gl	45
	Sig.	,000

Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,406	34,064	34,064	3,406	34,064	34,064	2,410	24,099	24,099
2	1,993	19,927	53,992	1,993	19,927	53,992	2,254	22,542	46,642
3	1,874	18,744	72,736	1,874	18,744	72,736	1,973	19,731	66,373
4	1,203	12,034	84,770	1,203	12,034	84,770	1,840	18,398	84,770
5	,650	6,499	91,269						
6	,476	4,760	96,030						
7	,321	3,208	99,237						
8	,068	,682	99,920						
9	,007	,071	99,990						
10	,001	,010	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Matriz de componente rotado<sup>a</sup>

	Componente			
	1	2	3	4
Módulo de Elasticidad	,010	,325	,836	-,038
Resistencia a la Compresión	-,043	-,174	,848	,127
Módulo de corte	-,238	,893	,247	,173
Espesor del bloque	-,964	,179	-,043	-,009
Altura del pórtico	,409	-,589	,615	,249
Ancho del pórtico	,921	-,231	,083	,157
Resistencia a compresión del bloque	-,036	,143	-,190	-,826
Carga	-,035	,896	-,121	-,141
Deriva	,611	,250	-,239	,471
Resistencia del mortero	,176	,050	-,002	,884

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.<sup>a</sup>

Matriz de transformación de componente

Componente	1	2	3	4
1	,695	-,530	,259	,411
2	-,149	,508	,714	,457
3	,431	,583	-,571	,384
4	,556	,347	,310	-,689

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

## Daño Severo (Bloque)

Matriz de correlaciones

		Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Compresión	Módulo de corte	Espesor del bloque	Altura del pórtico	Ancho del pórtico	Resistencia a compresión del bloque	Carga	Deriva	Resistencia del mortero
Correlación	Módulo de Elasticidad	1,000	,488	,468	,037	,293	-,023	-,026	-,137	,021	,036
	Resistencia a la Compresión	,488	1,000	,061	-,031	,632	,032	-,201	-,112	,000	,111
	Módulo de corte	,468	,061	1,000	,341	-,450	-,330	-,088	,553	-,248	,163
	Espesor del bloque	,037	-,031	,341	1,000	-,504	-,960	,072	,897	-,745	-,204
	Altura del pórtico	,293	,032	-,450	-,504	1,000	,610	-,485	-,368	,149	,200
	Ancho del pórtico	-,023	,032	-,330	-,960	,610	1,000	-,307	-,119	,364	,257
	Resistencia a compresión del bloque	-,026	-,201	-,088	,072	-,485	-,307	1,000	,388	,445	-,542
	Carga	,137	-,112	,553	,091	-,368	-,119	,388	1,000	,165	-,348
	Deriva	,021	,000	-,248	-,745	,149	,364	,445	,165	1,000	-,007
	Resistencia del mortero	,036	,111	,163	-,204	,200	,257	-,542	-,348	-,007	1,000

Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,285
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	216,069
	gl	45
	Sig.	,000

Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,288	32,880	32,880	3,288	32,880	32,880	2,771	27,709	27,709
2	2,200	22,005	54,885	2,200	22,005	54,885	1,940	19,399	47,108
3	1,757	17,574	72,459	1,757	17,574	72,459	1,926	19,264	66,373
4	1,308	13,078	85,537	1,308	13,078	85,537	1,916	19,164	85,537
5	,752	7,516	93,053						
6	,449	4,485	97,538						
7	,190	1,900	99,439						
8	,048	,483	99,922						
9	,006	,064	99,986						
10	,001	,014	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Matriz de componente rotado<sup>a</sup>

	Componente			
	1	2	3	4
Módulo de Elasticidad	-,013	,417	,005	,761
Resistencia a la Compresión	-,020	-,105	,065	,897
Módulo de corte	-,292	,894	,222	,121
Espesor del bloque	-,968	,135	-,126	-,033
Altura del pórtico	,407	-,491	,290	,870
Ancho del pórtico	,898	-,175	,306	,065
Resistencia a compresión del bloque	,056	,118	-,887	-,172
Carga	,087	,801	-,278	-,054
Deriva	,863	,100	-,348	-,008
Resistencia del mortero	,140	,021	,833	-,011

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.<sup>a</sup>

Matriz de transformación de componente

Componente	1	2	3	4
1	,761	-,443	,329	,293
2	-,483	,020	,646	,591
3	,329	,734	-,264	,532
4	-,222	-,514	-,636	,531

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

## Colapso (Bloque)

Matriz de correlaciones

		Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Compresión	Módulo de corte	Espesor del bloque	Altura del pórtico	Ancho del pórtico	Resistencia a compresión del bloque	Carga	Deriva	Resistencia del mortero
Correlación	Módulo de Elasticidad	1,000	,488	,468	,697	,293	-,023	-,026	,923	-,029	,036
	Resistencia a la Compresión	,488	1,000	,661	-,691	,692	,692	-,261	,212	,234	,111
	Módulo de corte	,468	,661	1,000	,341	-,458	-,338	-,689	,367	-,292	,163
	Espesor del bloque	,697	-,691	,341	1,000	-,584	-,588	,672	,900	-,828	-,284
	Altura del pórtico	,293	,692	-,458	-,584	1,000	,618	-,485	,261	,451	,268
	Ancho del pórtico	-,023	,692	-,338	-,588	,618	1,000	-,367	,958	,758	,257
	Resistencia a compresión del bloque	-,026	-,261	-,689	,672	-,485	-,367	1,000	-,027	,646	-,542
	Carga	,923	,212	,367	,668	,261	,658	-,027	1,000	-,045	-,085
	Deriva	-,029	,234	-,292	-,828	,451	,758	,646	-,045	1,000	-,019
	Resistencia del mortero	,036	,111	,163	-,284	,268	,257	-,542	-,085	-,019	1,000

Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,267
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	227,158
	gl	45
	Sig.	,000

Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,489	34,891	34,891	3,489	34,891	34,891	2,978	29,780	29,780
2	2,459	24,593	59,485	2,459	24,593	59,485	2,166	21,661	51,442
3	1,565	15,655	75,139	1,565	15,655	75,139	1,790	17,899	69,341
4	1,130	11,305	86,444	1,130	11,305	86,444	1,710	17,103	86,444
5	,698	6,984	93,429						
6	,431	4,307	97,736						
7	,128	1,282	99,018						
8	,092	,921	99,939						
9	,005	,053	99,992						
10	,001	,008	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Matriz de componente rotado<sup>a</sup>

	Componente			
	1	2	3	4
Módulo de Elasticidad	-,019	,907	,323	-,016
Resistencia a la Compresión	-,019	,269	,839	,081
Módulo de corte	-,338	,702	-,379	,250
Espesor del bloque	-,983	,040	-,029	-,089
Altura del pórtico	,475	,040	,625	,237
Ancho del pórtico	,945	-,032	,098	,248
Resistencia a compresión del bloque	-,026	,023	-,292	-,848
Carga	,067	,878	,176	-,087
Deriva	,873	-,044	,168	-,133
Resistencia del mortero	,107	,027	-,043	,878

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser. <sup>a</sup>

Matriz de transformación de componente

Componente	1	2	3	4
1	,860	-,024	,443	,254
2	-,236	,867	,385	,210
3	,267	,284	,026	-,921
4	,367	,408	-,809	,209

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

## Daño Leve (Ladrillo)

**Matriz de correlaciones**

		Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Compresión	Módulo de corte	Carga	Deriva
Correlación	Módulo de Elasticidad	1,000	,800	,452	,019	-,017
	Resistencia a la Compresión	,800	1,000	,896	,436	,107
	Módulo de corte	,452	,896	1,000	,634	,171
	Carga	,019	,436	,634	1,000	,475
	Deriva	-,017	,107	,171	,475	1,000

**Prueba de KMO y Bartlett**

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,432
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	115,100
	gl	10
	Sig.	,000

**Varianza total explicada**

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2,768	55,356	55,356	2,768	55,356	55,356	2,451	49,012	49,012
2	1,372	27,444	82,800	1,372	27,444	82,800	1,689	33,788	82,800
3	,657	13,133	95,933						
4	,203	4,067	100,000						
5	4,022E-8	8,045E-7	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

**Matriz de componente rotado<sup>a</sup>**

	Componente	
	1	2
Módulo de Elasticidad	,873	-,195
Resistencia a la Compresión	,976	,209
Módulo de corte	,807	,455
Carga	,285	,863
Deriva	-,076	,810

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.<sup>a</sup>**Matriz de transformación de componente**

Componente	1	2
1	,879	,477
2	-,477	,879

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

## Daño Moderado (Ladrillo)

Matriz de correlaciones

		Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Compresión	Módulo de corte	Carga	Deriva
Correlación	Módulo de Elasticidad	1,000	,800	,452	,785	,915
	Resistencia a la Compresión	,800	1,000	,896	,994	,563
	Módulo de corte	,452	,896	1,000	,899	,161
	Carga	,785	,994	,899	1,000	,555
	Deriva	,915	,563	,161	,555	1,000

Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,535
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	160,923
	gl	10
	Sig.	,000

Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,859	77,190	77,190	3,859	77,190	77,190	2,755	55,095	55,095
2	1,096	21,924	99,113	1,096	21,924	99,113	2,201	44,018	99,113
3	,037	,744	99,857						
4	,007	,143	100,000						
5	1,577E-8	3,153E-7	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Matriz de componente rotado<sup>a</sup>

	Componente	
	1	2
Módulo de Elasticidad	,427	,895
Resistencia a la Compresión	,882	,469
Módulo de corte	,997	,037
Carga	,887	,457
Deriva	,117	,985

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.<sup>a</sup>

Matriz de transformación de componente

Componente	1	2
1	,775	,632
2	-,632	,775

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

## Daño Severo (Ladrillo)

## Advertencias

Sólo se ha extraído un componente. No se pueden generar gráficos de componente.
---

## Matriz de correlaciones

		Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Compresión	Módulo de corte	Carga	Deriva
Correlación	Módulo de Elasticidad	1,000	,800	,452	,846	,591
	Resistencia a la Compresión	,800	1,000	,896	,972	,794
	Módulo de corte	,452	,896	1,000	,821	,745
	Carga	,846	,972	,821	1,000	,794
	Deriva	,591	,794	,745	,794	1,000

## Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olson de adecuación de muestreo		,646
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	136,406
	gl	10
	Sig.	,000

## Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	4,108	82,164	82,164	4,108	82,164	82,164
2	,582	11,632	93,795			
3	,281	5,614	99,409			
4	,030	,591	100,000			
5	3,884E-8	7,768E-7	100,000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Matriz de componente<sup>a</sup>

	Componente
	1
Módulo de Elasticidad	,813
Resistencia a la Compresión	,988
Módulo de corte	,870
Carga	,981
Deriva	,866

Método de extracción: análisis de componentes principales.

## Colapso (Ladrillo)

**Advertencias**

Sólo se ha extraído un componente. No se pueden generar gráficos de componente.

**Matriz de correlaciones**

		Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Compresión	Módulo de corte	Carga	Deriva
Correlación	Módulo de Elasticidad	1,000	,800	,452	,894	,644
	Resistencia a la Compresión	,800	1,000	,896	,967	,679
	Módulo de corte	,452	,896	1,000	,778	,534
	Carga	,894	,967	,778	1,000	,767
	Deriva	,644	,679	,534	,767	1,000

**Prueba de KMO y Bartlett**

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		,512
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	143,316
	gl	10
	Sig.	,000

**Varianza total explicada**

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,994	79,881	79,881	3,994	79,881	79,881
2	,603	12,068	91,949			
3	,392	7,845	99,794			
4	,010	,206	100,000			
5	2,732E-8	5,464E-7	100,000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

**Matriz de componente<sup>a</sup>**

	Componente
	1
Módulo de Elasticidad	,855
Resistencia a la Compresión	,977
Módulo de corte	,823
Carga	,991
Deriva	,806

Método de extracción: análisis de componentes principales.

a. 1 componentes extraídos.

**ANEXO N° 7**  
CODIFICACIÓN DE LA SISTEMATIZACIÓN PARA LAS CURVAS DE  
FRAGILIDAD

```

function
CDF=CDFmamposteria(Excel,Hoja_Deriva,Hoja_Fuerza,Fecha,Portico_con_mamp,P
ortico_sin_mamp)
%Función: CDFmamposteria(Excel,Hoja,Portico_con_mamp,Portico_sin_mamp)
%Función que entrega curvas de Función de Distribución Acumulada (CDF)
%
%Excel: Archivo de Excel de donde se extrairán e incorporarán datos, de
%      solo la mampostería. No debe haber filas vacías.
%Hoja_Deriva: Hoja del archivo de Excel donde se encuentran las derivas.
%Hoja_Fuerza: Hoja del archivo de Excel donde se encuentran las fuerzas.
%Fecha: Fecha de ensayo.
%Portico_con_mamp=Matriz Deriva vs Fuerza (toneladas) de pórtico con
%      mampostería.
%Portico_sin_mamp=Matriz Deriva vs Fuerza (toneladas) de pórtico sin
%      mampostería.
%
%
%Autor y fecha: E. David Mora, 05/11/2018
%Modificado por, qué se modificó, y fecha de modificación: Lenin Grijalva
%&Henry Narváez, Curvas CDF (Arrange), 07/11/2018
CurvCompl=Portico_con_mamp;
CurvPort=Portico_sin_mamp;
%% function
[FuerzaCompletaT,FuerzaPorticoT,Despl]=InterpCurv(CurvCompl,CurvPort)
%% Curvas con todos los posibles puntos interpolados
CurvCompl(1,:)=[0,0];
CurvPort(1,:)=[0,0];
%Para evitar problemas con valores repetidos
CurvCompl(:,1)=CurvCompl(:,1)+(0:0.01/(size(CurvCompl,1)-1):0.01)';
CurvPort(:,1)=CurvPort(:,1)+(0:0.01/(size(CurvPort,1)-1):0.01)';
%Todos los desplazamientos únicos de ambas curvas
Despl=unique(sort([CurvCompl(:,1);CurvPort(:,1)]));
LD=length(Despl);
%% Para cada curva
for j=1:2
    if j==1, Curv=CurvCompl;else Curv=CurvPort;end
    FuerzaT=zeros(LD,1);
    cont=2;
    pendiente=Curv(cont,2)/Curv(cont,1); %pendiente inicial para proceso
    for i=2:LD-1
        if sum(Despl(i)==Curv(:,1))==1
            FuerzaT(i)=Curv(cont,2);
            try pendiente=(Curv(cont+1,2)-Curv(cont,2))/(Curv(cont+1,1)-
Curv(cont,1));catch, end
            cont=cont+1;
        else
            FuerzaT(i)=FuerzaT(i-1)+(Despl(i)-Despl(i-1))*pendiente;
        end
    end
    FuerzaT(i+1)=Curv(end,2);
    if j==1, FuerzaCompletaT=FuerzaT;else FuerzaPorticoT=FuerzaT;end
end
%% function
FuerzaMampT=RigMampTesis(FuerzaCompletaT,FuerzaPorticoT,Despl)
%Rigideces
DELTAfuerzaCompletaT=(FuerzaCompletaT(2:end)-FuerzaCompletaT(1:end-1));
DELTADespl=(Despl(2:end)-Despl(1:end-1));
DELTAfuerzaPorticoT=(FuerzaPorticoT(2:end)-FuerzaPorticoT(1:end-1));

```

```

RigCompleta=DELTAfuerzaCompletaT./DELTADespl;
RigPort=DELTAfuerzaPorticoT./DELTADespl;
RigMamp=RigCompleta-RigPort;
DELTAfuerzaMampT=RigMamp.*DELTAfuerzaCompletaT.*DELTAfuerzaPorticoT./...
    (2.*RigCompleta.*DELTAfuerzaPorticoT-RigPort.*DELTAfuerzaCompletaT);
FuerzaMampT=[0;cumsum(DELTAfuerzaMampT)];
%% Gráficos
plot(Despl,FuerzaCompletaT,'r')
hold on,plot(Despl,FuerzaPorticoT,'g')
hold on,plot(Despl,FuerzaMampT,'b')
grid on
legend('Pórtico con mampostería','Pórtico sin mampostería','Solo
mampostería')
input('presionar enter')
drawnow
%% Linealización por usuario
fprintf('Linealizar la curva en la pantalla \n 1er punto: Origen \n 2do
punto: Cambio de pendiente \n 3er punto: estabilización de nueva
pendiente\n 4to punto: decaimiento de rigidez\n 5to punto: colapso\n')
close(clf)
plot(Despl,FuerzaMampT,'b'),
grid on
drawnow
[xx,yy]=ginputcD('ShowPoints', true, 'ConnectPoints', true);
%% Datos de Excel
% Excel2 = actxserver('excel.application');WB =
Excel2.Workbooks.Open(fullfile(pwd, Excel),0,false);
% Excel2.Quit();
[~,~,c]=xlsread(Excel,Hoja_Deriva);
for i=1:size(c,2),if isnumeric(cell2mat(c(end,i))) &&
isnan(cell2mat(c(end,i)))==0,primernumero=i;break,end,end
for i=primernumero:size(c,2),if isnumeric(cell2mat(c(end,i)))==0 ||
isnan(cell2mat(c(end,i)))==1,ultimonumero=i-1;break,end,end
Columnas=['A' 'B' 'C' 'D' 'E' 'F' 'G' 'H' 'I' 'J' 'K' 'L' 'M' 'N' 'O' 'P'
'Q' 'R' 'S' 'T' 'U' 'V' 'W' 'X' 'Y' 'Z'];
if ultimonumero>26
xlRange=strcat(Columnas(floor((ultimonumero+1)/26)),Columnas(mod((ultimon
umero+1),26)));
else
xlRange=Columnas(ultimonumero+1);
end
Range=strcat(xlRange,num2str(size(c,1)-
3),':',xlRange,num2str(size(c,1)));
xlswrite(Excel,xx(2:end),Hoja_Deriva,Range)
xlswrite(Excel,yy(2:end),Hoja_Fuerza,Range)
xlswrite(Excel,mat2cell(Fecha,1),Hoja_Deriva,strcat(xlRange,num2str(size(
c,1)-4)))
xlswrite(Excel,mat2cell(Fecha,1),Hoja_Fuerza,strcat(xlRange,num2str(size(
c,1)-4)))

[~,~,
InputDeriv]=xlsread(Excel,Hoja_Deriva);InputDeriv=cell2mat(InputDeriv((si
ze(c,1)-3):end,primernumero:ultimonumero));
[~,~,InputFuerza]=xlsread(Excel,Hoja_Fuerza);InputFuerza=cell2mat(InputFu
erza((size(c,1)-3):end,primernumero:ultimonumero));
%% Curvas CDF (Arrange)
%CDF={ [X,Y de CDF 1er nivel],[X,Y de CDF 2do nivel],[X,Y de CDF 3er

```

```

% nivel],[X,Y de CDF 4to nivel]}
close all
input('presionar enter');
%
Delta=xlsread(Excel,Hoja_Deriva);
nd1=Delta(1,:);
nd2=Delta(2,:);
nd3=Delta(3,:);
nd4=Delta(4,:);
Fuerza=xlsread(Excel,Hoja_Fuerza);
nf1=Fuerza(1,:);
nf2=Fuerza(2,:);
nf3=Fuerza(3,:);
nf4=Fuerza(4,:);
%%
mu_d1=mean(log(nd1));
mu_d2=mean(log(nd2));
mu_d3=mean(log(nd3));
mu_d4=mean(log(nd4));
sigma_d1=std(log(nd1));
sigma_d2=std(log(nd2));
sigma_d3=std(log(nd3));
sigma_d4=std(log(nd4));
mu_f1=mean(log(nf1));
mu_f2=mean(log(nf2));
mu_f3=mean(log(nf3));
mu_f4=mean(log(nf4));
sigma_f1=std(log(nf1));
sigma_f2=std(log(nf2));
sigma_f3=std(log(nf3));
sigma_f4=std(log(nf4));
%%
x=(0.001:0.05:2.5);
y=(0.001:0.05:15.5);
D1=logncdf(x,mu_d1,sigma_d1);
D2=logncdf(x,mu_d2,sigma_d2);
D3=logncdf(x,mu_d3,sigma_d3);
D4=logncdf(x,mu_d4,sigma_d4);
F1=logncdf(y,mu_f1,sigma_f1);
F2=logncdf(y,mu_f2,sigma_f2);
F3=logncdf(y,mu_f3,sigma_f3);
F4=logncdf(y,mu_f4,sigma_f4);
plot(x,D1)
axis([0 2 0 1]);
hold on, grid on
plot(x,D2)
plot(x,D3)
plot(x,D4)
title('CURVAS DE FRAGILIDAD (DERIVA)');
legend('Daño Leve','Daño Moderado','Daño Severo','Colapso','location','southeast');
xlabel('Deriva[%]');
ylabel('Probabilidad [%]');
input('presione enter');
close all
plot(y,F1)
axis([0 15 0 1]);

```

```

hold on, grid on
plot (y,F2)
plot (y,F3)
plot (y,F4)
title ('CURVAS DE FRAGILIDAD (FUERZA)');
legend ('Daño Leve','Daño Moderado', 'Daño
Severo','Colapso','location','southeast');
xlabel ('FUERZA [T]');
ylabel ('Probabilidad [%]');
function [x, y, button, ax] = ginputcD(varargin)
%GINPUTC Graphical input from mouse.
%   GINPUTC behaves similarly to GINPUT, except you can customize the
%   cursor color, line width, and line style.
%
%   [X,Y] = GINPUTC(N) gets N points from the current axes and returns
%   the X- and Y-coordinates in length N vectors X and Y. The cursor
%   can be positioned using a mouse. Data points are entered by pressing
%   a mouse button or any key on the keyboard except carriage return,
%   which terminates the input before N points are entered.
%   Note: if there are multiple axes in the figure, use mouse clicks
%   instead of key presses. Key presses may not select the axes
%   where the cursor is.
%
%   [X,Y] = GINPUTC gathers an unlimited number of points until the
return
%   key is pressed.
%
%   [X,Y] = GINPUTC(N, PARAM, VALUE) and [X,Y] = GINPUTC(PARAM, VALUE)
%   specifies additional parameters for customizing. Valid values for
PARAM
%   are:
%       'FigHandle'      : Handle of the figure to activate. Default is
gcf.
%       'Color'         : A three-element RGB vector, or one of the
MATLAB
%                       predefined names, specifying the line color.
See
%                       the ColorSpec reference page for more
information
%                       on specifying color. Default is 'k' (black).
%       'LineWidth'     : A scalar number specifying the line width.
%                       Default is 0.5.
%       'LineStyle'     : '-', '--', '-.', ':'. Default is '-'.
%       'ShowPoints'    : TRUE or FALSE specifying whether to show the
%                       points being selected. Default is false.
%       'ConnectPoints' : TRUE or FALSE specifying whether to connect the
%                       points as they are being selected. This only
%                       applies when 'ShowPoints' is set to TRUE.
Default
%                       is true.
%
%   [X,Y,BUTTON] = GINPUTC(...) returns a third result, BUTTON, that
%   contains a vector of integers specifying which mouse button was used
%   (1,2,3 from left) or ASCII numbers if a key on the keyboard was used.
%
%   [X,Y,BUTTON,AX] = GINPUTC(...) returns a fourth result, AX, that
%   contains a vector of axes handles for the data points collected.

```

```

%
% Requires MATLAB R2007b or newer.
%
% Examples:
%     [x, y] = ginputc;
%
%     [x, y] = ginputc(5, 'Color', 'r', 'LineWidth', 3);
%
%     [x, y, button] = ginputc(1, 'LineStyle', ':');
%
%     subplot(1, 2, 1); subplot(1, 2, 2);
%     [x, y, button, ax] = ginputc;
%
%     [x, y] = ginputc('ShowPoints', true, 'ConnectPoints', true);
%
% See also GINPUT, GTEXT, WAITFORBUTTONPRESS.
% Jiro Doke
% October 19, 2012
% Copyright 2012 The MathWorks, Inc.
try
    if verLessThan('matlab', '7.5')
        error('ginputc:Init:IncompatibleMATLAB', ...
            'GINPUTC requires MATLAB R2007b or newer');
    end
catch %#ok<CTCH>
    error('ginputc:Init:IncompatibleMATLAB', ...
        'GINPUTC requires MATLAB R2007b or newer');
end
% Check input arguments
p = inputParser();
addOptional(p, 'N', inf, @(x) validateattributes(x, {'numeric'}, ...
    {'scalar', 'integer', 'positive'}));
addParamValue(p, 'FigHandle', [], @(x) numel(x)==1 && ishandle(x));
addParamValue(p, 'Color', 'k', @colorValidFcn);
addParamValue(p, 'LineWidth', 0.5, @(x) validateattributes(x, ...
    {'numeric'}, {'scalar', 'positive'}));
addParamValue(p, 'LineStyle', '-', @(x) validatestring(x, ...
    {'-', '--', '-.', ':'}));
addParamValue(p, 'ShowPoints', false, @(x) validateattributes(x, ...
    {'logical'}, {'scalar'}));
addParamValue(p, 'ConnectPoints', true, @(x) validateattributes(x, ...
    {'logical'}, {'scalar'}));
parse(p, varargin{:});
N = p.Results.N;
hFig = p.Results.FigHandle;
color = p.Results.Color;
linewidth = p.Results.LineWidth;
linestyle = p.Results.LineStyle;
showpoints = p.Results.ShowPoints;
connectpoints = p.Results.ConnectPoints;
%-----
function tf = colorValidFcn(in)
    % This function validates the color input parameter

    validateattributes(in, {'char', 'double'}, {'nonempty'});
    if ischar(in)
        validatestring(in, {'b', 'g', 'r', 'c', 'm', 'y', 'k', 'w'});
    end
end

```

```

else
    assert(isequal(size(in), [1 3]) && all(in>=0 & in<=1), ...
        'ginputc:InvalidColorValues', ...
        'RGB values for "Color" must be a 1x3 vector between 0 and
1');
    % validateattributes(in, {'numeric'}, {'size', [1 3], '>=', 0, '<=',
1})
        end
        tf = true;
    end
end
-----
if isempty(hFig)
    hFig = gcf;
end
% Try to get the current axes even if it has a hidden handle.
hAx = get(hFig, 'CurrentAxes');
if isempty(hAx)
    allAx = findall(hFig, 'Type', 'axes');
    if ~isempty(allAx)
        hAx = allAx(1);
    else
        hAx = axes('Parent', hFig);
    end
end
end
% Handle interactive properties of HG objects. Save the current settings
so
% that they can be restored later
allHG = findall(hFig);
propsToChange = {...
    'WindowButtonUpFcn', ...
    'WindowButtonDownFcn', ...
    'WindowButtonMotionFcn', ...
    'WindowKeyPressFcn', ...
    'WindowKeyReleaseFcn', ...
    'ButtonDownFcn', ...
    'KeyPressFcn', ...
    'KeyReleaseFcn', ...
    'ResizeFcn'};
validObjects = false(length(allHG), length(propsToChange));
curCallbacks = cell(1, length(propsToChange));
% Save current properties and set them to ''
for id = 1:length(propsToChange)
    validObjects(:, id) = isprop(allHG, propsToChange{id});
    curCallbacks{id} = get(allHG(validObjects(:, id)),
propsToChange{id});
    set(allHG(validObjects(:, id)), propsToChange{id}, '');
end
% Save current pointer
curPointer = get(hFig, 'Pointer');
curPointerShapeCData = get(hFig, 'PointerShapeCData');
% Change window functions
set(hFig, ...
    'WindowButtonDownFcn', @mouseClickFcn, ...
    'WindowButtonMotionFcn', @mouseMoveFcn, ...
    'KeyPressFcn', @keyPressFcn, ...
    'ResizeFcn', @resizeFcn, ...
    'Pointer', 'custom', ...

```

```

    'PointerShapeCData', nan(16, 16));
% Create an invisible axes for displaying the full crosshair cursor
hInvisibleAxes = axes(...
    'Parent', hFig, ...
    'Units', 'normalized', ...
    'Position', [0 0 1 1], ...
    'XLim', [0 1], ...
    'YLim', [0 1], ...
    'HitTest', 'off', ...
    'HandleVisibility', 'off', ...
    'Visible', 'off');
% Create line object for the selected points
if showpoints
    if connectpoints
        pointsLineStyle = '-';
    else
        pointsLineStyle = 'none';
    end
    selectedPoints = [];
    hPoints = line(nan, nan, ...
        'Parent', hInvisibleAxes, ...
        'HandleVisibility', 'off', ...
        'HitTest', 'off', ...
        'Color', [1 0 0], ...
        'Marker', 'o', ...
        'MarkerFaceColor', [1 .7 .7], ...
        'MarkerEdgeColor', [1 0 0], ...
        'LineStyle', pointsLineStyle);
end
% Create tooltip for displaying selected points
hTooltipControl = text(0, 1, 'HIDE', ...
    'Parent', hInvisibleAxes, ...
    'HandleVisibility', 'callback', ...
    'FontName', 'FixedWidth', ...
    'VerticalAlignment', 'top', ...
    'HorizontalAlignment', 'left', ...
    'BackgroundColor', [.5 1 .5]);
hTooltip = text(0, 0, 'No points', ...
    'Parent', hInvisibleAxes, ...
    'HandleVisibility', 'off', ...
    'HitTest', 'off', ...
    'FontName', 'FixedWidth', ...
    'VerticalAlignment', 'top', ...
    'HorizontalAlignment', 'left', ...
    'BackgroundColor', [1 1 .5]);
% Call resizeFcn to update tooltip location
resizeFcn();
% Create full crosshair lines
hCursor = line(nan, nan, ...
    'Parent', hInvisibleAxes, ...
    'Color', color, ...
    'LineWidth', linewidth, ...
    'LineStyle', linestyle, ...
    'HandleVisibility', 'off', ...
    'HitTest', 'off');
% Prepare results
x = [];

```

```

y = [];
button = [];
ax = [];
% Wait until enter is pressed.
uiwait(hFig);
%-----
function mouseMoveFcn(varargin)
    % This function updates cursor location based on pointer location
    cursorPt = get(hInvisibleAxes, 'CurrentPoint');
    set(hCursor, ...
        'XData', [0 1 nan cursorPt(1) cursorPt(1)], ...
        'YData', [cursorPt(3) cursorPt(3) nan 0 1]);
end
%-----
function mouseClickedFcn(varargin)
    % This function captures mouse clicks.
    % If the tooltip control is clicked, then toggle tooltip display.
    % If anywhere else is clicked, record point.
    if isequal(gcf, hTooltipControl)
        tooltipClickFcn();
    else
        updatePoints(get(hFig, 'SelectionType'));
    end
end
%-----
function keyPressFcn(obj, edata) %#ok<INUSL>
    % This function captures key presses.
    % If "return", then exit.
    % If "delete" (or "backspace"), then delete previous point.
    % If any other key, record point.

    key = double(edata.Character);
    if isempty(key)
        return;
    end
    switch key
        case 13 % return
            exitFcn();
        case {8, 127} % delete or backspace
            if ~isempty(x)
                x(end) = [];
                y(end) = [];
                button(end) = [];
                ax(end) = [];

                if showpoints
                    selectedPoints(end, :) = [];
                    set(hPoints, ...
                        'XData', selectedPoints(:, 1), ...
                        'YData', selectedPoints(:, 2));
                end
                displayCoordinates();
            end
        otherwise
            updatePoints(key);
    end
end
end

```

```

%-----
--
function updatePoints(clickType)
    % This function captures the information for the selected point

    hAx = gca;
    pt = get(hAx, 'CurrentPoint');
    x = [x; pt(1)];
    y = [y; pt(3)];
    ax = [ax; hAx];
    if ischar(clickType) % Mouse click
        switch lower(clickType)
            case 'open'
                clickType = 1;
            case 'normal'
                clickType = 1;
            case 'extend'
                clickType = 2;
            case 'alt'
                clickType = 3;
        end
    end
    button = [button; clickType];

    displayCoordinates();

    if showpoints
        cursorPt = get(hInvisibleAxes, 'CurrentPoint');
        selectedPoints = [selectedPoints; cursorPt([1 3])];
        set(hPoints, ...
            'XData', selectedPoints(:, 1), ...
            'YData', selectedPoints(:, 2));
    end

    % If captured all points, exit
    if length(x) == N
        exitFcn();
    end
end
%-----
--
function tooltipClickFcn()
    % This function toggles the display of the tooltip

    if strcmp(get(hTooltipControl, 'String'), 'SHOW')
        set(hTooltipControl, 'String', 'HIDE');
        set(hTooltip, 'Visible', 'on');
    else
        set(hTooltipControl, 'String', 'SHOW');
        set(hTooltip, 'Visible', 'off');
    end
end
%-----
--
function displayCoordinates()
    % This function updates the coordinates display in the tooltip

```

```

if isempty(x)
    str = 'No points';
else
    str = sprintf('%d: %0.3f, %0.3f\n', [1:length(x); x'; y']);
    str(end) = '';
end
set(hTooltip, ...
    'String', str);
end
%-----
function resizeFcn(varargin)
% This function adjusts the position of tooltip when the figure
is
% resized

sz = get(hTooltipControl, 'Extent');
set(hTooltip, 'Position', [0 sz(2)]);
end
%-----
function exitFcn()
% This function exits GINPUTC and restores previous figure
settings

for idx = 1:length(propsToChange)
    set(allHG(validObjects(:, idx)), propsToChange(idx),
curCallbacks{idx});
end

% Restore window functions and pointer
%     set(hFig, 'WindowButtonDownFcn', curWBDF);
%     set(hFig, 'WindowButtonMotionFcn', curWBMF);
%     set(hFig, 'WindowButtonUpFcn', curWBUF);
%     set(hFig, 'KeyPressFcn', curKPF);
%     set(hFig, 'KeyReleaseFcn', curKRF);
%     set(hFig, 'ResizeFcn', curRF);

% Restore pointer
set(hFig, 'Pointer', curPointer);
set(hFig, 'PointerShapeCData', curPointerShapeCData);

% Delete invisible axes and return control
delete(hInvisibleAxes);
uiresume(hFig);
end
%-----
end
end

```