

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS
PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES
DE UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO EL
BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA
INOVA TK**

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

KARINA LIZBETH AGUIRRE MANOSALVAS

karina.aguirre@hotmail.es

NIDIA MARCELA POMA PATIÑO

epnmarce@gmail.com

DIRECTOR: Ing. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO MSc.

maria.corream@epn.edu.ec

CODIRECTOR: Ing. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRIGUEZ PhD

luis.hernandezr@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2019

DECLARACIÓN

Nosotras, Karina Lizbeth Aguirre Manosalvas, Nidia Marcela Poma Patiño, declaramos 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.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normatividad institucional vigente.

Aguirre Manosalvas Karina
Lizbeth

Poma Patiño Nidia
Marcela

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Karina Lizbeth Aguirre Manosalvas y Nidia Marcela Poma Patiño, bajo nuestra supervisión.

**Ing. CORREA VALLEJO MARÍA
BELÉN MSc.**

DIRECTOR DE PROYECTO

**Ing. HERNÁNDEZ RODRIGUEZ
LUIS TINERFE PhD.**

CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Inés Manosalvas, por ser mi guía, por su paciencia, por cuidarme, es simplemente la mejor mamá que la vida me pudo dar. A mi padre Jorge Aguirre, por su ejemplo de constancia, Jamás tendré como agradecer todo el sacrificio que ustedes hacen. Este logro es más suyo que mío.

A Darío, David y Sofía, mis hermanos, mis compañeros de vida, espero vivir junto a ustedes muchos años más y seguir compartiendo todas las tristezas y alegrías que aún nos faltan. Porque pese a todo somos un gran equipo.

A mis abuelitos: Lola, Gonzalo, Martina y Manuel, por inculcarnos que no hay nada más importante que la familia. A mis tíos y tías, por sus palabras de aliento y sus buenos deseos. A mis primos y primas por todas las vivencias.

A mi prima Majo, por convertirte en mi confidente, mi consejera, mi mejor amiga, porque sé que siempre puedo contar contigo. A mis primas: Anita, Joss y Dayana gracias por las conversaciones, los momentos compartidos, simplemente son las mejores. A mis enanos Mateo y Martin, por ser parte de mi vida.

A la Escuela Politécnica Nacional y a mi querida Facultad de Ingeniería Civil, por todas las anécdotas y buenos momentos que llevare en mi mente. Agradecerle a la Ing. María Belén Correa por su valioso aporte a este trabajo de titulación. Al personal técnico del Centro de Investigación de la Vivienda, por su disposición y ayuda durante el desarrollo de este proyecto, de una manera especial agradecerle al Ing. Edwin Guaminga, por siempre atender a nuestras inquietudes y brindarnos su amistad. Al Ing. Carlos Ayala por ayudarnos y despejar nuestras dudas. A Liz Rivas por compartir sus conocimientos con nosotras.

A mi mejor amigo John Jairo, por todo el apoyo que me has brindado en todos estos años, por cuidarme, por el cariño, confianza y respeto que hay en esta amistad, te quiero ñaño.

A mis grandes amigos: David Sánchez, Maritza, Chelo, Majito E., Sergio, Angy, Lis, Eliana, Michael y Cesar por los momentos compartidos y por su hermosa amistad.

A mis amigos, Los Pelotas, Panchus y Kater, la vida universitaria no hubiera sido la misma sin ustedes, gracias por todas las locuras y las risas que compartimos.

A Marcela, por todas las ganas y entrega en cada momento del desarrollo de este proyecto. A mis amigos y compañeros: Juan Pi, Darío, Henry, Andrés, Jason, Jonathan, Edi, Tortuguita y Humberto, por ayudarnos y colaborar en este proyecto, muchas gracias chicos.

Al deporte que amo, el fútbol, porque me ha dado grandes alegrías y tristezas, gracias a este deporte he conocido a personas maravillosas que siempre considerare mi segunda familia. Gracias Selección de Civil, Vente pal Chow, D-505 y Doblemente Armadas.

Gracias a todas las personas que han sido y seguirán siendo parte de mi vida.

Kary

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme salud y la fortaleza para conseguir esta tan anhelada meta.

A mis padres Narciza y Marcelo por su amor incondicional, creer en mí y brindarme todo el apoyo necesario para poder ser una profesional, siempre les estaré agradecida, gracias padre por el arduo trabajo que realizas por tu familia y a ti madre por ser el apoyo de mi vida, mi amiga, mi todo, la persona que jamás dejo de creer en mí, y gracias a tu ejemplo de perseverancia y lucha es que he podido levantarme ante las adversidades que se me han presentado.

A mis queridos hermanos y mejores amigos Hernán, Richard y Joel por estar en todo momento conmigo y compartir sus locuras. A mi tía Nancy por todo su apoyo brindado durante toda mi vida estudiantil más que mi tía has sido como esa hermana que no tuve, A Juana y Julia por todo el cariño y apoyo que he recibido, gracias infinitas por cuidarme en mi niñez.

A Jonathan por haber sido parte de mi vida, muchas gracias por todo el apoyo que me brindaste durante toda mi carrera, a mis queridos compañeros y amigos de la Universidad Mary, Wendy, Sandra, Gabi, Maritza, Alexa, Eri, Juan Pi, Henry, Andrés, Oscar, Sánchez Miranda, Angelito, Jorge, Junior, Carlos, Édison, Jona, Rober, Jasón y Pedrito más que mis amigos han sido mi familia con cada uno de ustedes hemos compartidos momentos especiales y graciosos, que se quedarán por siempre conmigo.

A mi compañera de tesis Karina, gracias por aventurarse conmigo en este proyecto y aunque hubo ocasiones en las que parecía que todo estaba perdido, las solucionamos y por fin logramos alcanzar el objetivo propuesto, de igual manera a Chelo, Humberto y Darío gracias por su colaboración sin ustedes este trabajo no se habría alcanzado.

A mi alma mater Escuela Politécnica Nacional y apreciada facultad de Ingeniería Civil por los conocimientos adquiridos, anécdotas y por darme la oportunidad de conocer grandiosas personas, así como brindarme experiencias que solo la vida universitaria puede ofrecer, de igual manera quiero extender mis

agradecimientos al personal técnico del CIV-EPN por la colaboración recibida durante el desarrollo de este proyecto, y de manera especial al Ing. Edwin por compartir sus conocimientos, estar siempre pendiente de nosotras, y tener esa predisposición de ayudarnos en todo momento, sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible, por lo que estoy infinitamente agradecida, además de que ha sido muy grato conocer a un gran ser humano como usted, al Ing. Roberto e Ing. Raúl gracias por su amistad.

De igual manera, a mi tutora la Ingeniera María Belén por el aporte brindado a este trabajo, a mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias, al Ing. Carlos Ayala y Liz Rivas por tener la disposición de ayudarnos y despejar dudas en lo que respecta a los temas que contiene esta tesis.

Finalmente, gracias a todas las personas que estuvieron en mi vida, y a las que aún están en ella no tengo palabras para expresar la felicidad que siento al escribir estos párrafos.

Marcela

DEDICATORIA

A mi madre Inés Manosalvas, mi señora bonita, por siempre creer en mí, jamás tendré las palabras suficientes para expresar todo lo que siento por usted, solo me queda decirle que le amo con todo mi corazón.

A mi padre Jorge Aguirre, mi ejemplo de lucha, de trabajo y amor a esta profesión, me faltara vida para devolverle todo lo que usted ha hecho por mí. Mis triunfos son sus triunfos.

A mi mamita Lola, una de mis mayores inspiraciones, por ser tan cariñosa y linda, por todo el amor y la paz que me transmite, usted siempre será el gran amor de mi vida.

A mi Martin, por llenar mi vida de la manera que lo haces, por tus ocurrencias y por ese cariño que me das. Te amo mi pequeñito.

A la memoria de mi mamita Martina, por su legado de constancia y trabajo. Siempre estará en mi corazón.

Kary

DEDICATORIA

A mi mejor amiga en el mundo, mi madre jamás terminaré de agradecer a Dios por brindarme la mejor mamá que puede existir, estoy tan orgullosa de ti que jamás podré pagarte todo lo que haces por mi te quiero tanto.

A mi padre gracias por estar siempre con nosotros, por esa confianza que depositó en mí y por ser su niña consentida, aunque le cueste aceptarlo ante los demás, por ese carácter que muy gentilmente me lo ha heredado y no todos agradecen, para usted este logro.

A mis tres hermanos, por ser esas personas que jamás me van a dejar estar triste un solo momento, haciéndome bullying a cada instante y con sus ocurrencias me hacen tan feliz, los quiero demasiado trío de feos.

A mi tía Nancy por ese ejemplo de lucha y constancia, además de la confianza depositada en mí.

A Dios por darme la vida y haberme dado una grandiosa familia, amores y amigos.

Marcela

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
DEDICATORIA.....	VIII
DEDICATORIA.....	IX
CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XXVI
RESUMEN	XXVIII
ABSTRACT	XXIX
PRESENTACIÓN.....	XXX
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 HIPÓTESIS.....	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO 2	5

MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 MATERIALES	5
2.1.1 BLOQUE INOVA TK.....	5
2.1.2 HORMIGÓN.....	6
2.1.3 MORTERO DE PEGA	8
2.1.4 ACERO DE REFUERZO	9
2.1.5 ESCALERILLA.....	11
2.1.6 HORMIGÓN LÍQUIDO O GROUT	12
2.2 MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	13
2.2.1 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL.....	14
2.2.2 DISPOSICIÓN DE MUROS PORTANTES	16
2.2.3 CIMENTACIÓN.....	17
2.3 MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	17
2.3.1 CUANTIAS DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL Y REFUERZO VERTICAL.....	19
2.3.2 RIOSTRA HORIZONTAL (VIGA DE CONFINAMIENTO).....	20
2.4 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTRUCTURA CON MAMPOSTERÍA	21
2.4.1 CARGAS	22
2.4.2 RESISTENCIA ANTE CARGA LATERAL.....	22
2.4.3 CARGAS LATERALES.....	22
2.4.4 PROPIEDADES DE MATERIALES	23
2.4.5 ESFUERZO A COMPRESIÓN	26
2.4.6 ESFUERZO A TRACCIÓN	27
2.4.7 TENSIÓN DIAGONAL	28
2.4.8 MODOS DE FALLA EN MUROS ESTRUCTURALES.....	29
2.5 COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS LATERALES	31

2.6	DISEÑO POR CAPACIDAD	33
2.7	CURVA DE CAPACIDAD	33
2.7.1	CURVA ENVOLVENTE	34
2.7.2	CURVA ENVOLVENTE IDEALIZADA	35
2.8	CURVA DE HISTÉRESIS	36
2.8.1	ENERGÍA DISIPADA.....	37
2.8.2	RIGIDEZ SECANTE	37
2.8.3	DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ	38
2.8.4	AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE.....	38
2.8.5	DEGRADACIÓN DE LA RESITENCIA	39
2.9	DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO	40
2.9.1	FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO (R)	40
2.10	DERIVAS	41
2.11	OPENSEES	42
2.11.1	MÉTODO ANALÍTICO DESARROLLADO EN LENGUAJE TCL	43
CAPÍTULO 3		44
METODOLOGÍA.....		44
3.1	DESCRIPCIÓN DE MATERIALES EMPLEADOS Y LAS DIMENSIONES DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES	44
3.1.1	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	44
3.1.2	DESCRIPCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL PARA LA MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	49
3.1.3	PREDICCIÓN DE CARGA	55
3.1.4	CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES	61
3.1.5	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PARA CADA MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA A TRAVÉS DEL ENSAYO A CARGA LATERAL	68

3.2	MODELACIÓN EN LA PLATAFORMA OPENSEES UTILIZANDO LENGUAJE TCL	100
3.2.1	DISCRETIZACIÓN DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	101
3.2.2	ASIGNACIÓN DE LOS MATERIALES A LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CELOSÍA	103
3.2.3	CURVA DE CAPACIDAD DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA (MODELO ANALÍTICO)	105
	CAPÍTULO 4	114
	PROCESAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	114
4.1	PRESENTACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	114
4.1.1	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	114
4.1.2	COMPARACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	136
4.1.3	COMPARACIÓN ENTRE LAS CURVAS DE CAPACIDAD EXPERIMENTALES Y LA CURVA DE CAPACIDAD ANALÍTICA DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	143
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA EL MODELO EXPERIMENTAL Y MODELO ANALÍTICO	145
4.2.1	MODELO EXPERIMENTAL	145
4.2.2	MODELO ANALÍTICO	147
4.2.3	MODELO EXPERIMENTAL- MODELO ANALÍTICO	148
	CAPÍTULO 5	149
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
5.1	CONCLUSIONES.....	149
5.2	RECOMENDACIONES	151
	REFERENCIAS.....	153

ANEXOS	157
ANEXO No. 1	158
INFORMES DE ENSAYOS DE MATERIALES.....	158
ANEXO No. 2	165
TABLAS DE CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	165
ANEXO No. 3	167
CÁLCULO DEL PESO PROPIO DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	167
ANEXO No. 4	169
BUCLES DE HISTÉRESIS DE CADA MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	169
ANEXO No. 5	178
EQUIPOS EMPLEADOS PARA EL ENSAYO DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	178
ANEXO No. 6	181
FOTOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	181
ANEXO No. 7	186
FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	186
ANEXO No. 8	189
FOTOGRAFÍAS DE LA PREPARACIÓN Y ENSAYO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN, GROUT Y MORTERO.....	189
ANEXO No. 9	192
PROGRAMACIÓN Y RUTINAS PARA EL MODELO ANALÍTICO DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	192
ANEXO No. 10	206

PLANOS Y PLANILLAS DEL ACERO DE DEL MURO DE MAMPOSTERÍA
REFORZADA 206

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO SEGÚN: SU RESISTENCIA MÍNIMA Y SU COMPOSICIÓN	9
TABLA 2.2 GROUT: RELACIONES USUALES POR VOLUMEN	13
TABLA 2.3 MÁXIMOS VALORES DE DERIVA, EXPUESTOS COMO FRACCIÓN DE LA ALTURA DE PISO DE UNA ESTRUCTURA.....	41
TABLA 3.1 BLOQUE INOVA TK: PROPIEDADES MECÁNICAS	45
TABLA 3.2 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CIMENTACIÓN Y VIGA DE CONFINAMIENTO.....	46
TABLA 3.3 HORMIGÓN: PROPIEDADES MÉCICAS	46
TABLA 3.4 DOSIFICACIÓN PARA MORTERO DE PEGA	47
TABLA 3.5 MORTERO DE PEGA: PROPIEDADES MECÁNICAS	47
TABLA 3.6 DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN LÍQUIDO O GROUT	48
TABLA 3.7 GROUT U HORMIGÓN LIQUIDO: PROPIEDADES MECÁNICAS	49
TABLA 3.8 RESULTADOS OBTENIDOS PARA OBTENER EL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	57
TABLA 3.9 CÁLCULO AUXILIAR PARA EL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN	58
TABLA 3.10 VALORES DE LA RESISTENCIA NOMINAL PARA FUERZA CORTANTE CONTRIBUIDO POR LA MAMPOSTERÍA, V_m	60
TABLA 3.11 MÉTODO C: AMPLITUD DE CICLOS PRIMARIOS	71
TABLA 3.12 PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA CADA CICLO	74
TABLA 3.13 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA CADA CICLO	82
TABLA 3.14 TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA CADA CICLO	91
TABLA 3.15 PROPIEDADES DE MATERIALES PARA EL MODELO ANALÍTICO	110
TABLA 3.16 CONTINUACIÓN	110
TABLA 3.17 CONTINUACIÓN	111

TABLA 4.1 ENERGÍA DISIPADA POR EL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	116
TABLA 4.2 ENERGIA DISIPADA POR EL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA.....	118
TABLA 4.3 ENERGÍA DISIPADA POR EL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	120
TABLA 4.4 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE POR CICLO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	124
TABLA 4.5 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE POR CICLO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	125
TABLA 4.6 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE POR CICLO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	126
TABLA 4.7 PUNTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA ENVOLVENTE PARA EL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	128
TABLA 4.8 PUNTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA ENVOLVENTE PARA EL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	129
TABLA 4.9 PUNTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA ENVOLVENTE PARA EL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	130
TABLA 4.10 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	132
TABLA 4.11 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	133
TABLA 4.12 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	134
TABLA 4.13 DERIVA DE CADA MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	134
TABLA 4.14 CARGA Y DEFORMACIÓN UNITARIA DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	135
TABLA 4.15 CARGA Y DEFORMACIÓN UNITARIA DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	135
TABLA 4.16 CARGA Y DEFORMACIÓN UNITARIA DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	136

TABLA 4.17 ENERGÍA DISIPADA DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	137
TABLA 4.18 DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ PARA LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	139
TABLA 4.19 COMPARACIÓN DE DUCTILIDAD PARA LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	143
TABLA 4.20 COMPARACIÓN DE DERIVAS ENTRE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	143

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 GEOMETRÍA Y DIMENSIONES DEL BLOQUE INOVA TK	5
FIGURA 2.2 CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO	10
FIGURA 2.3 ESCALERILLA PARA REFUERZO TRANSVERSAL	12
FIGURA 2.4 TIPOS DE MAMPOSTERÍA.....	14
FIGURA 2.5 CONTINUIDAD EN ELEVACIÓN EN UNA EDIFICACIÓN	15
FIGURA 2.6 REGULARIDAD EN PLANTA	15
FIGURA 2.7 COLOCACIÓN DE ABERTURAS	16
FIGURA 2.8 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUROS PORTANTES	17
FIGURA 2.9 DISPOSICIONES PARA REFORZAR UNA MAMPOSTERÍA	18
FIGURA 2.10 COLOCACIÓN DEL REFUERZO HORIZONTAL Y VERTICAL EN UNA MAMPOSTERÍA.....	20
FIGURA 2.11 MUROS CORTANTES ACOPLADOS Y NO ACOPLADOS	23
FIGURA 2.12 TIPOS DE PRISMAS	25
FIGURA 2.13 RELACIÓN ESFUERZO DEFORMACIÓN PARA MORTERO Y UNIDADES DE MAMPOSTERÍA.....	26
FIGURA 2.14 ESQUEMA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA Y FALLA DEL MAMPUESTO	27
FIGURA 2.15 MODOS DE FALLA A TENSIÓN DIAGONAL.....	29
FIGURA 2.16 MODOS DE FALLA EN MUROS ESTRUCTURALES	30
FIGURA 2.17 RESPUESTA HISTERÉTICA DE UN MURO ESTRUCTURAL CONTROLADO POR EL CORTE	30
FIGURA 2.18 RESPUESTA HISTÉRICA ESTABLE DE UNA ESTRUCTURA DE PARED DÚCTIL	31
FIGURA 2.19 CONFIGURACIÓN DE PRUEBA PARA UN MURO DE MAMPOSTERÍA.....	32
FIGURA 2.20 CURVA ENVOLVENTE DE ENTREPISO.....	34
FIGURA 2.21 CURVA DE HISTÉRESIS TÍPICA DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA ANTE CARGAS LATERALES CÍCLICAS	35
FIGURA 2.22 CURVA DE HISTÉRESIS DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	36

FIGURA. 2.23 DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA UN CICLO PROVENIENTE DE UN ENSAYO HISTÉRICO	37
FIGURA 2.24 DEFINICIÓN DE RIGIDEZ SECANTE	38
FIGURA 2.25 DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ Y RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE CARGAS CÍCLICAS	39
FIGURA 2.26 COEFICIENTE R PARA SISTEMAS DE DUCTILIDAD LIMITADA.....	40
FIGURA 2.27 REPRESENTACIÓN DE LAS DERIVAS DE PISO.....	41
FIGURA 2.28 PANTALLA DE REGISTRO PARA ACCEDER A LA DESCARGA DEL SOFTWARE	42
FIGURA 3.1 BLOQUE INOVA TK: DIMENSIONES	44
FIGURA 3.2 DIMENSIONES DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	49
FIGURA 3.3 DIMENSIONES Y ARMADO DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN PARA EL MODELO EXPERIMENTAL	50
FIGURA 3.4 ARMADO DE ACERO TRANSVERSAL DE REFUERZO DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN	50
FIGURA 3.5 DIMENSIONES Y DISTRIBUCIÓN DEL ARMADO PARA LA RIOSTRA HORIZONTAL DEL MODELO EXPERIMENTAL	51
FIGURA 3.6 ARMADO DEL ACERO TRANSVERSAL DE REFUERZO PARA LA VIGA DE CIMENTACIÓN.....	51
FIGURA 3.7 DETALLE DEL PANEL DE MAMPOSTERÍA CON CAMA DE MORTERO	52
FIGURA 3.8 DETALLE DEL PANEL DE MAMPOSTERÍA CON LOS REFUERZOS VERTICALES.....	53
FIGURA 3.9 ESQUEMA DE DISEÑO DEL MURO DE MAMPOSTERÍA PARA FLEXO-COMPRESIÓN	56
FIGURA 3.10 DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	58
FIGURA 3.11 COLOCACIÓN DE LOS SENSORES EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	65

FIGURA 3.12 ESQUEMA DE FUERZAS QUE INTERVIENEN PARA EL PRETENSADO DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	69
FIGURA 3.13 DISPOSICIÓN DE LVDT EN EL MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA	70
FIGURA 3.14 PATRÓN DE DESPLAZAMIENTO CÍCLICO	72
FIGURA 3.15 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 1.86 T	74
FIGURA 3.16 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 2.14 T	75
FIGURA 3.17 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 2.32 T	75
FIGURA 3.18 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 2.72 T	76
FIGURA 3.19 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 3.22 T	76
FIGURA 3.20 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 3.00 T	77
FIGURA 3.21 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 3.60 T	77
FIGURA 3.22 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 3.34 T	78
FIGURA 3.23 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 3.87 T	78
FIGURA 3.24 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 3.23 T.....	79
FIGURA 3.25 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 3.93 T.....	80
FIGURA 3.26 PROTOCOLO DE CARGA PARA EL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	81
FIGURA 3.27 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 4 A 2.31 T	82

FIGURA 3.28 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 4 A 2.34 T	83
FIGURA 3.29 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 2.93 T	83
FIGURA 3.30 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 3.02 T	84
FIGURA 3.31 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 3.33T	84
FIGURA 3.32 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 3.59T	85
FIGURA 3.33 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 4.55T	85
FIGURA 3.34 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 5.42T	86
FIGURA 3.35 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 5.49T	86
FIGURA 3.36 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 6.56T	87
FIGURA 3.37 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 6.27T	87
FIGURA 3.38 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 7.60T	88
FIGURA 3.39 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 6.03T	88
FIGURA 3.40 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 5.30T	89
FIGURA 3.41 PROTOCOLO DE CARGA PARA EL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	90
FIGURA 3.42 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 4 A 1.92 T	92
FIGURA 3.43 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 4 A 1.75 T	92

FIGURA 3.44 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 2.63 T	93
FIGURA 3.45 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 2.27 T	93
FIGURA 3.46 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 2.98 T	94
FIGURA 3.47 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 2.85 T	94
FIGURA 3.48 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 2.80 T	95
FIGURA 3.49 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 4.31 T	95
FIGURA 3.50 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 3.97 T	96
FIGURA 3.51 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 5.15 T	96
FIGURA 3.52 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 5.12 T	97
FIGURA 3.53 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 5.78 T	98
FIGURA 3.54 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 5.96 T.....	98
FIGURA 3.55 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 5.50 T.....	99
FIGURA 3.56 PROTOCOLO DE CARGA PARA EL TERCER MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA.....	100
FIGURA 3.57 IDEALIZACIÓN COMO CELDA DE CELOSÍA DE UNA PIEZA DE MAMPOSTERÍA.....	100
FIGURA 3.58 DISCRETIZACIÓN PARA LA SECCIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	101
FIGURA 3.59 ANCHO EFECTIVO DE UN ELEMENTO DIAGONAL.....	102

FIGURA 3.60 NUMERACIÓN DE NODOS Y ELEMENTOS CELOSÍA EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	103
FIGURA 3.61 MATERIAL CONCRETEWBETA DE OPENSEES PARA IDEALIZAR EL HORMIGÓN	104
FIGURA 3.62 MATERIAL STEEL02 DE OPENSEES PARA IDEALIZAR EL ACERO	105
FIGURA 3.63 PROCESO DE ASIGNACIÓN DE ÁREAS EN OPENSEES	106
FIGURA 3.64 DEFINICIÓN DE NODOS UTILIZANDO OPENSEES	106
FIGURA 3.65 RESTRICCIONES DE BORDE HECHAS A LA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA	107
FIGURA 3.66 DEFINICIÓN DE MATERIALES EN EL PROGRAMA	108
FIGURA 3.67 DEFINICIÓN DE CARGA VERTICAL	108
FIGURA 3.68 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA OPENSEES.....	109
FIGURA 3.69 CURVA DE CAPACIDAD- MODELO ANALÍTICO.....	113
FIGURA 4.1 PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: ENERGÍA DISIPADA EN EL PRIMER CICLO DE CARGA.....	114
FIGURA 4.2 CURVA DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	115
FIGURA 4.3 ENERGÍA DISIPADA POR CICLO PARA EL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	116
FIGURA 4.4 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: ENERGÍA DISIPADA EN EL PRIMER CICLO DE CARGA.....	117
FIGURA 4.5 CURVA DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	117
FIGURA 4.6 ENERGÍA DISIPADA POR CICLO PARA EL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	118
FIGURA 4.7 TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ENERGÍA DISIPADA EN EL PRIMER CICLO DE CARGA.....	119
FIGURA 4.8 CURVA DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	119
FIGURA 4.9 ENERGÍA DISIPADA POR CICLO PARA EL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	120

FIGURA 4.10 PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: RIGIDEZ SECANTE DEL PRIMER CICLO DE CARGA	121
FIGURA 4.11 RIGIDEZ SECANTE POR CICLO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	122
FIGURA 4.12 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: RIGIDEZ SECANTE DEL PRIMER CICLO DE CARGA	122
FIGURA 4.13 RIGIDEZ SECANTE POR CICLO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	123
FIGURA 4.14 TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: RIGIDEZ SECANTE DEL PRIMER CICLO DE CARGA	123
FIGURA 4.15 RIGIDEZ SECANTE POR CICLO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	124
FIGURA 4.16 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO VISCOSO POR CICLO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	125
FIGURA 4.17 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO VISCOSO POR CICLO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	126
FIGURA 4.18 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO VISCOSO POR CICLO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	127
FIGURA 4.19 CURVA DE CAPACIDAD (ENVOLVENTE) DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	128
FIGURA 4.20 CURVA DE CAPACIDAD (ENVOLVENTE) DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	129
FIGURA 4.21 CURVA DE CAPACIDAD (ENVOLVENTE) DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	130
FIGURA 4.22 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	131
FIGURA 4.23 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	132
FIGURA 4.24 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	133
FIGURA 4.25 ENERGÍA ACUMULADA DISIPADA VS DESPLAZAMIENTO (EMPUJE) DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	138

FIGURA 4.26 ENERGÍA ACUMULADA DISIPADA VS DESPLAZAMIENTO (HALADO) DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	138
FIGURA 4.27 DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ VS DESPLAZAMIENTO (EMPUJE) DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	140
FIGURA 4.28 DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ VS DESPLAZAMIENTO (HALADO) DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	140
FIGURA 4.29 CURVA DE CAPACIDAD EXPERIMENTAL DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	141
FIGURA 4.30 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	142
FIGURA 4.31 CURVAS DE CAPACIDAD EXPERIMENTALES Y CURVA DE CAPACIDAD ANALÍTICA DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	144

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 3.1 COLOCACIÓN DE LA ESCALERILLA EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	54
FOTOGRAFÍA 3.2 COLOCACIÓN DEL ENCOFRADO PARA LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN	62
FOTOGRAFÍA 3.3 COLOCACIÓN DE LOS TUBOS DE PVC 3”	62
FOTOGRAFÍA 3.4 FIJACIÓN DEL REFUERZO VERTICAL EN LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN	63
FOTOGRAFÍA 3.5 FUNDICIÓN Y VIBRADO DEL HORMIGÓN.....	64
FOTOGRAFÍA 3.6 PROCESO DE CURADO DE LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN	64
FOTOGRAFÍA 3.7 PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS STRAIN GAUGES.....	66
FOTOGRAFÍA 3.8 LEVANTAMIENTO DEL PANEL DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	66
FOTOGRAFÍA 3.9 COLOCACIÓN DE ESCALERILLA EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	67
FOTOGRAFÍA 3.10 VERTIDO DEL GROUT EN LAS CAVIDADES DONDE SE ENCUENTRA EL ACERO DE REFUERZO VERTICAL	67
FOTOGRAFÍA 3.11 COLOCACIÓN DEL ARMADO Y VARILLAS TENSORES PARA LA RIOSTRA HORIZONTAL.....	68
FOTOGRAFÍA 3.12 COLOCACIÓN DE LVDT EN CADA MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA.....	70
FOTOGRAFÍA 3.13 EQUIPO DE APLICACIÓN DE CARGA A CADA MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA.....	72
FOTOGRAFÍA 3.14 PRIMER MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA ANTES DEL ENSAYO	73
FOTOGRAFÍA 3.15 FISURAS EN LOS BLOQUES DE LA SEGUNDA, TERCERA Y QUINTA FILA.....	79
FOTOGRAFÍA 3.16 PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA AGOTADO TOTALMENTE	80

FOTOGRAFÍA 3.17 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ANTES DEL ENSAYO	81
FOTOGRAFÍA 3.18 FISURAS EN LA PARTE SUPERIOR CENTRAL DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	89
FOTOGRAFÍA 3.19 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA AGOTADO TOTALMENTE	90
FOTOGRAFÍA 3.20 TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ANTES DEL ENSAYO	91
FOTOGRAFÍA 3.21 AUMENTO DE TAMAÑO DE FISURAS EN LA PARTE CENTRAL SUPERIOR DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	97
FOTOGRAFÍA 3.22 MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA AGOTADO TOTALMENTE	99

RESUMEN

El presente proyecto de titulación se orienta al análisis de las propiedades estructurales de un tipo de mampostería reforzada sometida a carga lateral utilizando el bloque de hormigón propuesto por la empresa INOVA TK. Con este propósito, se construyó tres muros de mampostería reforzada con relación largo-ancho de 1:1, el dimensionamiento y requisitos mínimos de este tipo de mampostería está basado en la norma NEC SE MP y ACI 530-11, se ensayaron tres muros de mampostería reforzada a través de ensayos cíclicos a carga lateral en base a la norma ASTM 2126-11, a través de estos ensayos se obtuvieron parámetros como: disipación de energía, capacidad máxima, amortiguamiento viscoso equivalente, rigidez secante, ductilidad de desplazamiento y derivas para los tres muros de mampostería reforzada, propiedades importantes para determinar el comportamiento estructural de este tipo de muros ante eventos sísmicos.

Una vez obtenidas las propiedades a través de las curvas de histéresis, se describió el comportamiento de los tres muros de mampostería reforzada, se realizó un análisis comparativo de sus propiedades mecánicas y estructurales ante cargas laterales.

Además, se desarrolló un programa analítico que permite obtener la curva de capacidad de la mampostería usando condiciones ideales, la misma fue comparada con la curva obtenida en el modelo experimental, luego se procedió analizar el comportamiento estructural que se presenta en las tres muestras ensayadas, y mediante esto se obtuvo un porcentaje de error entre ambas fases de estudio.

Adicionalmente, se compararon los resultados experimentales de los tres muros de mampostería reforzada contruidos con el bloque propuesto por la empresa INOVA TK y el resultado del modelo analítico, donde se obtuvo que los valores de capacidad de carga analítica son menores a la capacidad de carga obtenida experimentalmente.

Palabras Clave: Mampostería Reforzada, carga lateral, curva de capacidad, disipación de energía.

ABSTRACT

This degree project is oriented to analyze the reinforced masonry structural properties subjected to lateral load using a concrete brick proposed by the INOVA TK Company. In order to this, three structural masonry walls with a relation length-width were built, the sizing and minimum requirements of this kind of masonry are based on the NEC SE MP and ACI 530-11 codes, three reinforced masonry walls were tested under lateral cyclic load tests based on the ASTM 2126-11 code, through this tests parameters such as: energy dissipation, maximum load, equivalent viscous damping, secant stiffness, ductile displacement and drifts were found for the three structural masonry walls, this properties are important in order to determine the structural behavior of this kind of walls under seismic events.

Once obtained the properties through hysteretic curves, the masonry structural walls behavior was described, a comparative mechanical and structural properties analysis under lateral loads were made.

Besides, an analytic code was developed. This code output gives the capacity curve using ideal conditions, this curve was compared with the experimental curve, with these curves the three masonry walls structural behavior was analyzed and an error percentage was found and analyzed.

Furthermore, the three INOVA TK company samples experimental and analytical results were compared and the obtained result was that the obtained experimental capacity load is higher than the analytical capacity.

Keywords: Reinforced masonry, lateral load, capacity curve, energy dissipation.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo se compone de 5 capítulos plenamente identificados como se indica:

Capítulo 1: Comprende, la introducción, antecedentes, objetivo general, objetivos específicos, el alcance y las justificaciones para realizar este proyecto.

Capítulo 2: Consta del marco teórico, donde se explican las definiciones de los materiales, parámetros de la mampostería estructural y el sistema constructivo que van a ser analizados con el ensayo experimental, además se encuentran requerimientos mínimos a cumplirse tanto en el diseño como en el proceso constructivo.

Capítulo 3: En este capítulo, se encuentran los materiales y sus respectivas propiedades que fueron empleados para construir los tres muros de mampostería reforzada, el diseño y dimensionamiento de elementos estructurales y la predicción de carga. Posteriormente se describe el proceso constructivo, metodología de ensayo y la implementación de un modelo analítico que permita calcular la curva de capacidad para su posterior comparación.

Capítulo 4: En este capítulo se describen las propiedades obtenidas de los resultados de los ensayos experimentales de cada uno de los muros de mampostería reforzada y se realiza la comparación de las propiedades mecánicas y de las curvas de capacidad obtenidas en las fases de estudio experimental y analítico.

Capítulo 5: De igual manera en este capítulo se hallan conclusiones y recomendaciones obtenidas al finalizar este trabajo técnico- experimental. Además de los capítulos antes mencionados, se encuentra la bibliografía empleada y anexos correspondientes a ensayos, tablas de Excel, lenguaje de programación y anexos fotográficos.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En Ecuador gran parte de las construcciones son informales, según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional cerca del 70% de las construcciones son informales (Instituto Geofísico, 2011) y esto quedó al descubierto ante el evento sísmico del 16 de abril de 2016 en donde, tan solo en Pedernales, el 70% de la infraestructura presentó daños graves en las fachadas, divisiones internas y estabilidad física (Telégrafo, 2016). Por lo tanto, es necesario plantear alternativas que satisfagan las necesidades de una vivienda económica y sobre todo segura.

La demanda de viviendas en países subdesarrollados ha hecho que un gran porcentaje de viviendas se construyan de una manera informal sin ningún tipo de supervisión técnica (sistema de auto construcción) y por ende es imprescindible desarrollar métodos de diseño que incorporen características propias de los materiales empleados en sitio, de tal manera que su comportamiento frente a las cargas de servicio sea el adecuado.

La Mampostería es uno de los materiales con mayor variedad que existe en la construcción de obras civiles. La Mampostería compuesta con hormigón y acero de refuerzo en su interior ha sido centro de estudios experimentales y analíticos que han dado como resultado la elaboración de Normas que controlan su calidad y determinan procesos de diseño de construcción (ARIAS & MEJÍA, 2012).

Existe gran variedad de materiales utilizados como componentes de los elementos constructivos de mampostería, teniendo en cuenta que los procesos de fabricación son diferentes dependiendo del lugar donde se elabore, dichos procesos de fabricación han ido progresando y con ello la búsqueda de mejoras en calidad y rendimiento; sin embargo, la manera de colocación de este elemento sigue siendo de una manera manual, convirtiéndose esta en una de las variables más importante en el comportamiento final de la mampostería como unidad, variable complicada de

controlar en el momento de la construcción y por ello se convierte en una limitante dentro de la calidad en la obra.

Los muros de mampostería tienen diferentes fines, tanto estructurales como arquitectónicos, donde se puede recalcar: la protección contra el fuego, aislamiento acústico y térmico, elementos divisorios de espacios, etc.

Con el uso de las mamposterías reforzadas que es el tema principal de este trabajo, se busca encontrar ventajas técnicas, económicas, constructivas y de óptima resistencia a la aplicación de cargas laterales, partiendo de que Ecuador se encuentra ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, por ello se caracteriza como un País con alto peligro sísmico; los sismos que han tenido lugar hasta la fecha han evidenciado que en la gran mayoría de casos las estructuras con mamposterías no reforzadas han sido las más afectadas, produciendo pérdidas materiales al igual que vidas humanas.

1.1.1 HIPÓTESIS

La mampostería constituida por el bloque de hormigón propuesto por la empresa INOVA TK y sus constituyentes, presenta un comportamiento aceptable bajo los parámetros establecidos en el Código de Diseño para Mampostería Estructural y ACI 530-11.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento estructural de una mampostería reforzada elaborada con el bloque propuesto por la empresa INOVA TK mediante un modelo experimental y un modelo analítico, análisis importante y necesario para el desarrollo del proyecto VIVIENDA INOVA TK.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información elemental acerca de mampostería estructural para obtener un mejor entendimiento del tema y obtener mejores resultados en el proceso de realización del Proyecto de Investigación.

- Diseñar y construir las probetas de mampostería reforzada bajo los códigos de diseño de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-SE-MP, 2015) y (ACI530, 2011) respectivamente, para ensayarlas ante carga lateral cíclica.
- Determinar la curva de capacidad experimental de las probetas de mampostería reforzada.
- Analizar los resultados encontrados como: Energía Disipada, Rigidez Secante, Degradación de la Rigidez, Degradación de la Resistencia.
- Desarrollar una programación para encontrar la curva de capacidad de una mampostería reforzada sometida a carga lateral cíclica.
- Comparar los resultados obtenidos experimentalmente con los analíticos.

1.3 ALCANCE

El presente trabajo aportará con una documentación técnica necesaria y fundamental para el desarrollo del proyecto “VIVIENDA INOVA TK”. En el cual se pretende analizar el comportamiento de la mampostería estructural, para ello se ha establecido realizar una parte experimental y otra analítica de manera que se pueda comparar ambos resultados.

Para la parte experimental se construyó tres probetas de mampostería reforzada con una relación de 1:1, cuyas dimensiones y detalles mínimos requeridos están basados en la norma NEC SE MP. Este estudio permitió obtener una Curva de Capacidad Simplificada Bilineal, variable importante para conocer el comportamiento de la mampostería reforzada constituida por el bloque propuesto por la empresa INOVA TK y así dar continuidad al proyecto VIVIENDA INOVA TK. La segunda parte consta de un análisis analítico en el cual se desarrolló una programación para obtener la gráfica momento-curvatura de la mampostería reforzada, para luego desarrollar analíticamente la curva de capacidad de la mampostería, la cual deberá coincidir con la curva obtenida experimentalmente. Esto nos permitió conocer cómo se va a comportar la mampostería reforzada y el porcentaje de error que se obtiene en ambas gráficas.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El estudio tanto experimental como analítico del comportamiento de la mampostería estructural, constituida de bloques de hormigón propuestos por la empresa INOVA TK, son básicos y necesarios para el avance del proyecto “VIVIENDA INOVA TK” como segunda fase. En base a la confiabilidad de los resultados presentados se podrá realizar una propuesta de vivienda, la misma que tendrá que ser validada en el marco del proyecto. Centrándose siempre en la serviciabilidad, economía y seguridad estructural de las viviendas.

Las probetas de mampostería reforzada son ensayaron ante carga lateral cíclica. Para determinar y controlar el desplazamiento del muro de mampostería reforzada se colocarán 3 LVDT, el primero en el centro de la viga, el segundo en el centro del muro de la mampostería y el tercero en la cimentación; se colocaron strain gauge para obtener la deformación del acero en la mampostería reforzada, su ubicación se la realizó de una manera en la que se pueda obtener una información muy completa. Se sometió a ciclos de carga lateral, ensayo que se realizó en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV), se obtuvo las cargas, desplazamientos máximos que soportó la probeta de mampostería reforzada y la curva de capacidad de la mampostería reforzada, además, se consideró la variación de los siguientes parámetros: energía disipada, rigidez secante, degradación de la rigidez, degradación de la resistencia.

Una vez obtenida la Curva de Capacidad de la mampostería reforzada de forma analítica y experimental se logró brindar un panorama del comportamiento que ofrece el sistema constructivo propuesto por la empresa INOVA TK.

CAPÍTULO 2

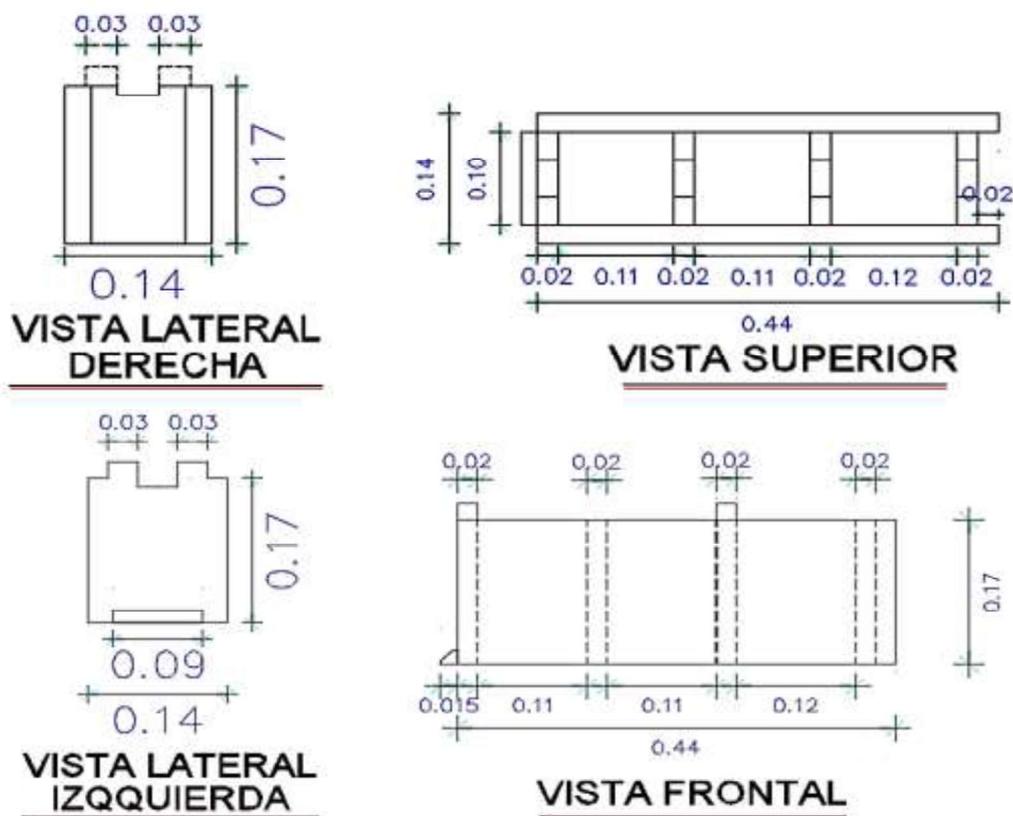
MARCO TEÓRICO

2.1 MATERIALES

2.1.1 BLOQUE INOVA TK

La unidad de mampuesto que propone la empresa INOVA TK está compuesto de hormigón, y cuenta con una resistencia a la rotura por compresión promedio de 4 MPa, el peso promedio del bloque es 9,29 Kg, este bloque tiene forma de un prisma recto y hueco, lo que permite que la construcción de la mampostería sea en forma de lego, este bloque cuenta con muescas en la parte superior, mismas que ayudan a la trabazón de los bloques.

FIGURA 2.1 GEOMETRÍA Y DIMENSIONES DEL BLOQUE INOVA TK



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

2.1.2 HORMIGÓN

Es un material compuesto por agregados gruesos y finos, cemento hidráulico y agua, su principal característica es su gran resistencia ante los esfuerzos de compresión, pero su comportamiento no es suficiente frente a esfuerzos como: flexión, tracción, etc. es por esta razón que para mejorar su desempeño se asocia con acero tomando el nombre de hormigón armado.

2.1.2.1 Componentes del Hormigón

2.1.2.1.1 Cemento

Material triturado formado en su mayor parte de óxido de calcio, y de fracciones pequeñas de otros elementos como: sílice, óxido de hierro y alúmina, que agregada la cantidad de agua correcta forma una pasta conglomerante que se endurece tanto en aire como en agua (Rivera,200)

Para este trabajo el cemento que se eligió es de la marca Holcim tipo GU utilizado para la construcción en general, además cuenta con las principales características como son: resistencia, durabilidad y desempeño.

2.1.2.1.2 Agregados

En el hormigón tres de sus cuatro partes están compuestas de agregados, también conocidos como áridos, es importante cuidar la granulometría de los agregados ya que de esto dependerá la resistencia y la compactación del hormigón. Estos se dividen en agregados gruesos (ripió) y agregados finos (arena) y la correcta elección de estos mejorarán las propiedades y rendimiento del hormigón.

Los agregados que se utilizan para la dosificación del hormigón deben cumplir con la norma ecuatoriana NTE INEN 872.

2.1.2.1.3 Agua

Al juntarse el cemento hidráulico con el agua forman un enlace químico que otorga una propiedad importante al hormigón, como es la resistencia, al mismo tiempo ayuda a la fácil manejabilidad del hormigón. La norma (INEN 1108, 2011) dispone el empleo de agua potable (LIMA & PAREDES, 2017).

2.1.2.2 Propiedades del Hormigón

2.1.2.2.1 Trabajabilidad

Facilidad con la que se puede mezclar, transportar y compactar el hormigón en su estado fresco. La trabajabilidad va a depender de las proporciones y de las características de los materiales usados para su elaboración.

La ASTM C 125-09a la define como “la pérdida mínima de homogeneidad a través del esfuerzo empleado para manipular cierta cantidad de hormigón”.

La trabajabilidad de una cantidad de hormigón se establece verificando su asentamiento con la ayuda del ensayo del cono de Abrams, el cual mide la consistencia o fluidez del mismo.

2.1.2.2.2 Resistencia a la Compresión a los 28 días

Es la propiedad más importante del hormigón, también conocida como el $f'c$ del hormigón, esta propiedad está estrechamente ligada con la relación agua/cemento, además las condiciones del ambiente y la temperatura durante el fraguado del hormigón influirán en la resistencia final que se consiga.

Para los hormigones habituales se establece que su resistencia de diseño se debe alcanzar a los 28 días de edad. A partir de la resistencia a compresión, el hormigón puede clasificarse en cuatro grupos (Luna, 2014):

- Hormigones de baja resistencia: $f'c < 180\text{kg/cm}^2$
- Hormigones de resistencia normal: $180 < f'c < 400\text{kg/cm}^2$
- Hormigones de alta resistencia: $400 < f'c < 1000\text{kg/cm}^2$
- Hormigones de ultra resistencia $f'c > 1000\text{kg/cm}^2$

Una de las probetas más utilizadas para determinar la resistencia a compresión simple es la cilíndrica y cuyas dimensiones son: diámetro: 15 cm y altura: 30 cm.

2.1.2.2.3 Durabilidad

Es una propiedad fundamental y más si el hormigón va a estar sometido a condiciones externas específicas que pueden disminuir considerablemente su resistencia como: congelamiento y deshielo, calentamiento y enfriamiento, humedad y secado, ataques de sustancias químicas, etc.

Para alcanzar una adecuada durabilidad del hormigón, además de realizar un buen diseño de mezcla y trabajar con materiales adecuados, es imprescindible contar con un buen control de calidad y unas buenas prácticas constructivas.

2.1.2.2.4 Peso Unitario

Es esencial para ciertas aplicaciones del hormigón, donde el control de su peso por unidad de volumen debe ser estricto. Según el peso unitario se puede clasificar al hormigón en: liviano, normal y pesado.

Hormigón Liviano: Su fabricación está compuesta principalmente de agregados con un bajo peso específico (arcilla expansiva, perlita, puzolanas, escorias expansivas, etc.), este tipo de hormigón se puede utilizar en prefabricados, cubiertas para aislamiento térmico y en estructuras en general donde se justifique la disminución de la carga permanente.

Hormigón Normal: Fabricado con agregados de origen natural (rocas desintegradas aluvialmente, o trituradas mecánicamente), es utilizado en cualquier tipo de construcción.

Es importante el control del peso unitario del hormigón normal en su estado fresco para el diseño de mezclas, porque nos permite estimar los datos necesarios para las correcciones en el laboratorio de las mezclas de prueba de hormigón.

Hormigón Pesado: En su fabricación sobresalen los agregados de alto peso específico (magnetita, barita, ilmenita, chatarra), su utilización está dirigida al campo biológico contra las radiaciones atómicas, en especial a los rayos Gamma.

2.1.3 MORTERO DE PEGA

La función del mortero es ocupar las irregularidades que inevitablemente se presentan en las unidades de mampuesto, pero más que nada unir las con una estabilidad relativa en el transcurso del levantamiento de la mampostería, proporcionando rigidez a la fila de bloques y así pueda soportar el asentamiento de la siguiente fila, para conformar un sistema duradero, impermeable y con una buena resistencia a la tracción. (Gallegos & Casabonne , 2005).

Ya que el mortero está compuesto por agregado fino y cemento, exceptuando el agregado grueso al igual que el hormigón, se tiende a confundir su tecnología con la de dicho material. Sin embargo, el objetivo del hormigón es ser un material estructural, por lo que su prioridad es buscar una magnitud determinada de resistencia.

En pocas palabras, el mortero y el hormigón son dos materiales con objetivos diferentes, por lo que tienen tecnologías propias.

Tal como se muestra en la TABLA 2.1, la clasificación del mortero de pega puede ser, según su dosificación y resistencia mínima.

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO SEGÚN: SU RESISTENCIA MÍNIMA Y SU COMPOSICIÓN

Tipo de mortero	Resistencia mínima a compresión a 28 días (MPa)	Composición en partes por Volumen		
		Cemento	Cal	Arena
M20	20	1	-	2.5
M15	15	1	-	3
		1	0.5	4
M10	10	1	-	4
		1	0.5	5
M5	5	1	-	6
		1	1	7
M2.5	2.5	1	-	7
		1	2	9

FUENTE: (NEC-SE-MP,2015)

2.1.4 ACERO DE REFUERZO

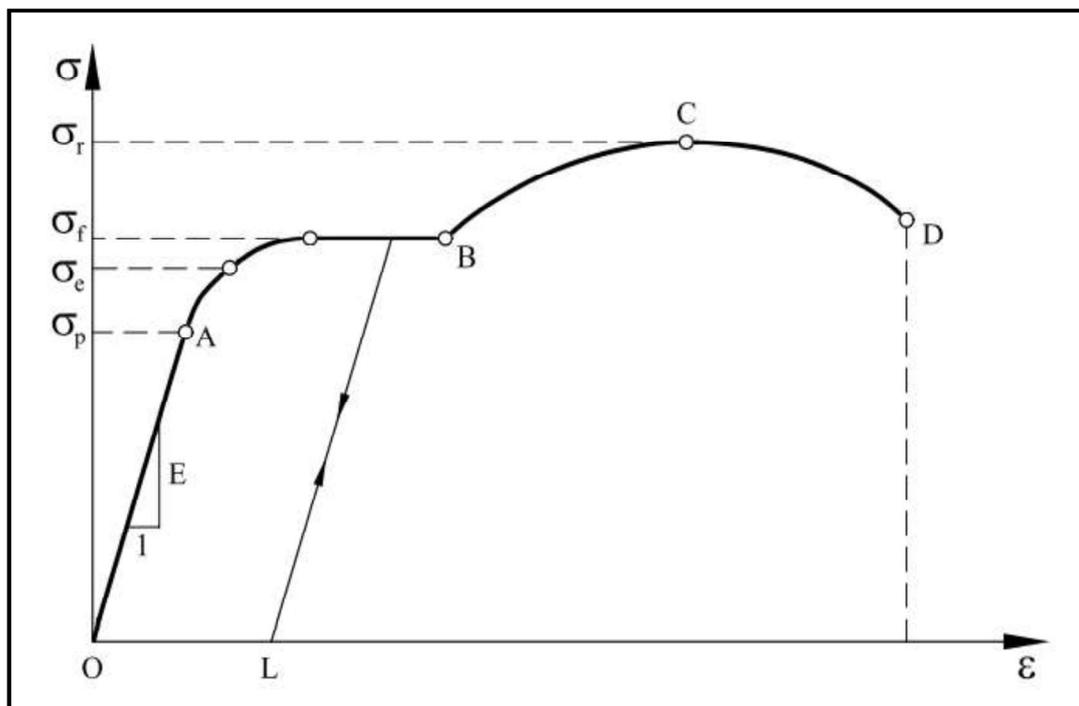
Las barras de acero corrugado en una estructura de hormigón armado tienen la función de absorber las fuerzas de tensión que el hormigón no está en capacidad de soportar, ya que es considerado un material frágil, además mejora su capacidad de deformación y limita la aparición de grietas en el hormigón.

Forma una armadura que es embebida en el hormigón para absorber y soportar los esfuerzos que son provocados por las cargas y los cambios en la estructura debido a la temperatura.

2.1.4.1 Curva esfuerzo-Deformación del acero

Esta curva es obtenida a través de pruebas de tensión realizadas a probetas, las pruebas consisten en evaluar una probeta sometida a una carga lateral, donde se registra al mismo tiempo la fuerza aplicada y el desplazamiento producido como lo indica la norma NTE INEN 0109, como se muestra en la FIGURA 2.2, los valores obtenidos permiten determinar el esfuerzo y la deformación y así encontrar la curva esfuerzo-deformación, donde se distinguen claramente cuatro regiones, OA: Rango elástico, AB: Flujo Plástico, BC: Endurecimiento por deformación y CD: Estrangulamiento y fractura, en las cuales el material se comporta de manera diferente para cada región.

FIGURA 2.2 CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO



FUENTE: (Cervera, Blanco, 2002)

Dónde:

σ_p : Límite de proporcionalidad

σ_e : Límite de fluencia inferior

σ_f : Límite de fluencia superior

σ_r : Esfuerzo máximo

2.1.4.2 Propiedades Mecánicas

MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_a):

También conocido con el nombre de módulo de Young, su valor se puede determinar de la pendiente (rango elástico) de la curva esfuerzo-deformación. Este valor varia un poco dependiendo del tipo de acero, para el acero de este trabajo, puede tomarse igual a 2.0×10^5 MPa como se indica en la (NEC-SE-HM, 2015).

LÍMITES DE PROPORCIONALIDAD Y ELÁSTICO:

Estos límites difieren poco entre sí, por lo que para fines prácticos se puede considerar que son iguales.

LÍMITE DE FLUENCIA:

Es el punto a partir del cual el material se deforma plásticamente. En ciertos casos se puede distinguir un límite de fluencia “superior” e “inferior” al mismo tiempo, cuando esto sucede se considera únicamente el límite de fluencia inferior.

2.1.4.3 Coeficiente de Poisson

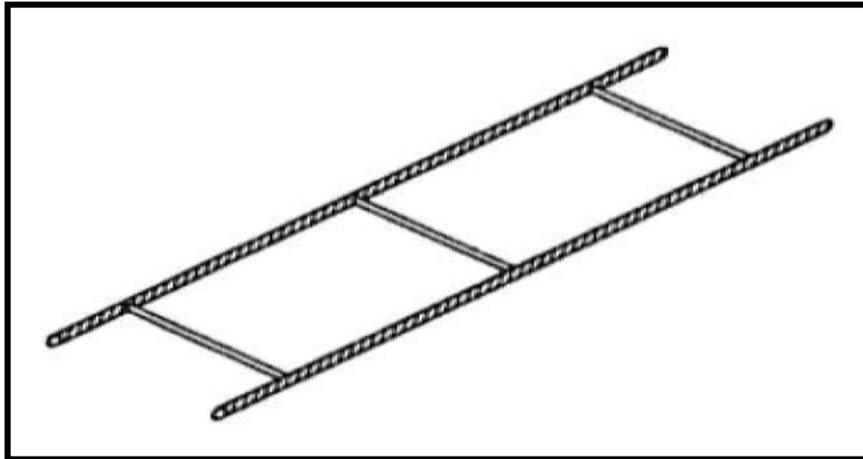
Parámetro característico de cada material, indica la relación entre la deformación transversal y la deformación longitudinal. Este módulo puede variar entre 0.25 y 0.33.

2.1.5 ESCALERILLA

Es una armadura electrosoldada constituida por dos varillas longitudinales y varillas transversales que deben ser ubicadas en el mismo plano, esta escalerilla será utilizada para el reforzamiento horizontal de las paredes de mampostería. El

diámetro del acero de la escalerilla puede ser mínimo 4 mm y no debe exceder la mitad del espesor del mortero de pega (NEC,15).

FIGURA 2.3 ESCALERILLA PARA REFUERZO TRANSVERSAL



FUENTE: (Gallegos & Casabonne, 2005)

2.1.6 HORMIGÓN LÍQUIDO O GROUT

Al tener el mismo objetivo que el hormigón convencional en cuanto a resistencia, el grout es elaborado con materiales similares; sin embargo, lo que también se busca es una alta trabajabilidad, la que se demuestra a través de la prueba de consistencia con el cono de Abrahms.

Hormigones con asentamientos menores a 15mm puede que no sean suficientemente plásticos y si presentan asentamientos mayores a 230mm pueden no ser lo suficientemente cohesivos. (INEN NTE 578).

Ensayos que se han realizado en testigos obtenidos mediante perforación diamantina en paredes ya construidas en obra, han demostrado que la resistencia característica a la compresión del grout terminado en la pared adquiere valores mayores a 14 MPa, valor mínimo exigido para que este material cumpla efectivamente su función (Gallegos & Casabonne , 2005). “Con esta resistencia mínima, es evidente que el grout es adecuado para darle consistencia estructural a la albañilería armada obtenida en el proceso, para asegurar la adherencia con el refuerzo vertical y horizontal y, finalmente para protegerla” (pág. 169).

La dosificación se la debe realizar con la norma ASTM C476-10, como se muestra en la TABLA 2.2, además estos agregados tienen que acatar lo establecido en la norma ASTM C404-11, mientras que la norma ASTM C942-10 indica los parámetros que deben cumplir los ensayos a compresión.

TABLA 2.2 GROUT: RELACIONES USUALES POR VOLUMEN

Tipo	Partes por Volumen de Cemento Portland o Cemento Mezclado	Partes por Volumen de Cal Hidratada o Masilla de Cal	Agregados, Medido en húmedo, Estado suelto	
			Fina	Grueso
Grout Fino	1	0-1/10	2 ^{1/4} -3 veces la suma del volumen de los materiales cementantes	.....
Grout Grueso	1	0-1/10	2 ^{1/4} -3 veces la suma del volumen de los materiales cementantes	1-2 veces la suma del volumen de los materiales cementantes

FUENTE: (NEC-SE-MP,2015)

2.2 MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

Es un sistema monolítico conformado por la unión de unidades de mampuesto con mortero, este debe proporcionar estabilidad y resistir los efectos ocasionados por fuerzas gravitacionales, sísmicas, viento y lluvia si es el caso.

La mampostería estructural se puede clasificar en tres tipos, como se muestra a continuación:

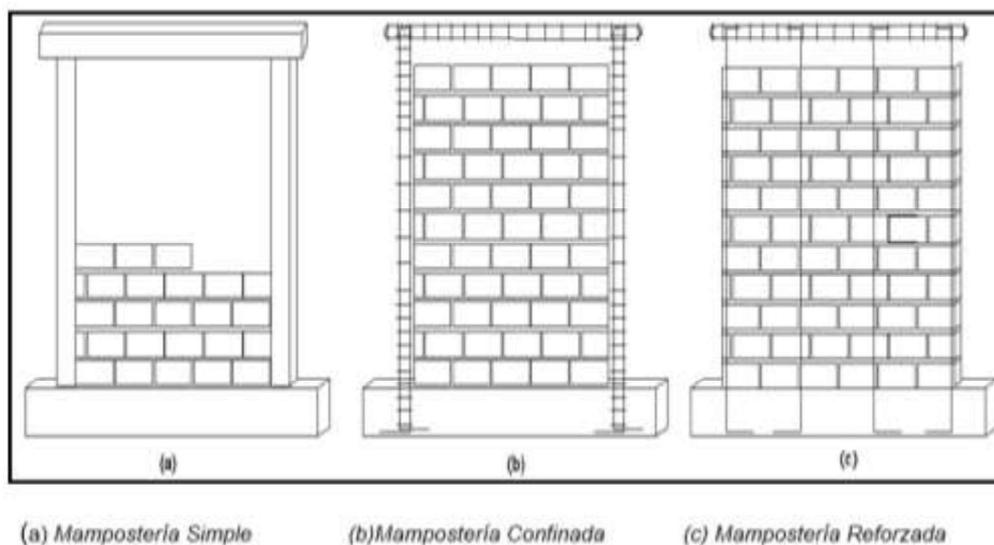
Mampostería Confinada: Quiere decir que, esta clase de mampostería cuenta con elementos confinantes conocidos como: vigas y columnas, elementos estructurales que son construidos después de levantar el muro de mampostería simple.

Mampostería Simple: Esta mampostería no cuenta con ninguna clase de refuerzo interno y a diferencia de la mampostería confinada, su construcción empieza con los elementos confinantes (vigas y columnas) y posteriormente se rellena con las

unidades de mampuesto. Este tipo de sistema es también conocido como panel relleno.

Mampostería Reforzada: Esta mampostería no cuenta con elementos confinantes, en este sistema el refuerzo vertical es colocado en los huecos de los muros y el refuerzo horizontal se coloca cada cierta distancia, de esta manera se elimina la necesidad de usar encofrado típico de la mampostería confinada, ya que el bloque, además de colaborar con la resistencia de la mampostería, cumple con la función de encofrado perdido.

FIGURA 2.4 TIPOS DE MAMPOSTERÍA



FUENTE: (Rivas, 2017)

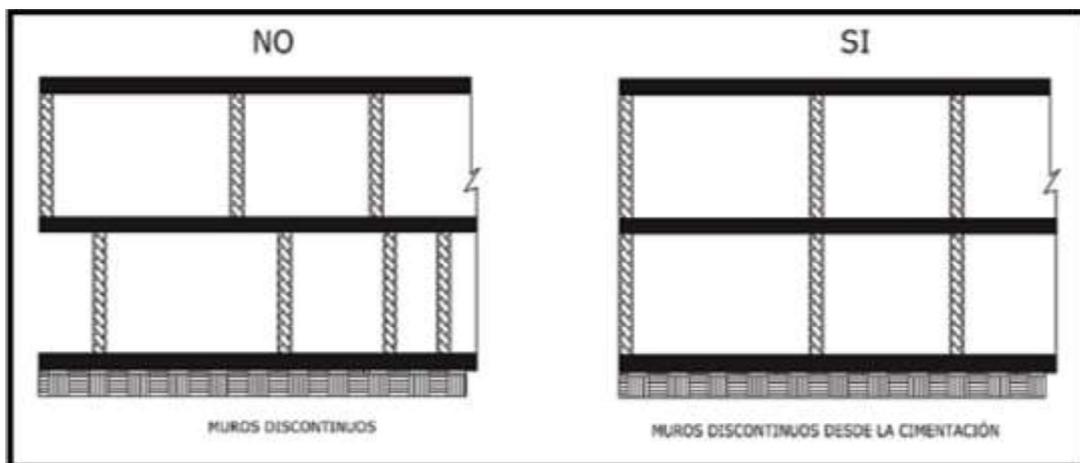
2.2.1 CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

La mampostería como sistema estructural debe garantizar un buen funcionamiento, por lo que se debe tomar en cuenta lo siguiente:

2.2.1.1 Continuidad Vertical

Como se muestra en la Figura 2.5, para que la mampostería y los pórticos sean capaces de resistir todas las fuerzas internas esperadas (tracción, compresión, flexión, torsión, etc.) se debe considerar que tanto la mampostería como los pórticos tiene que estar unidos a la cimentación y que tienen que permanecer continuos hasta la cubierta para ser considerados elementos estructurales.

FIGURA 2.5 CONTINUIDAD EN ELEVACIÓN EN UNA EDIFICACIÓN

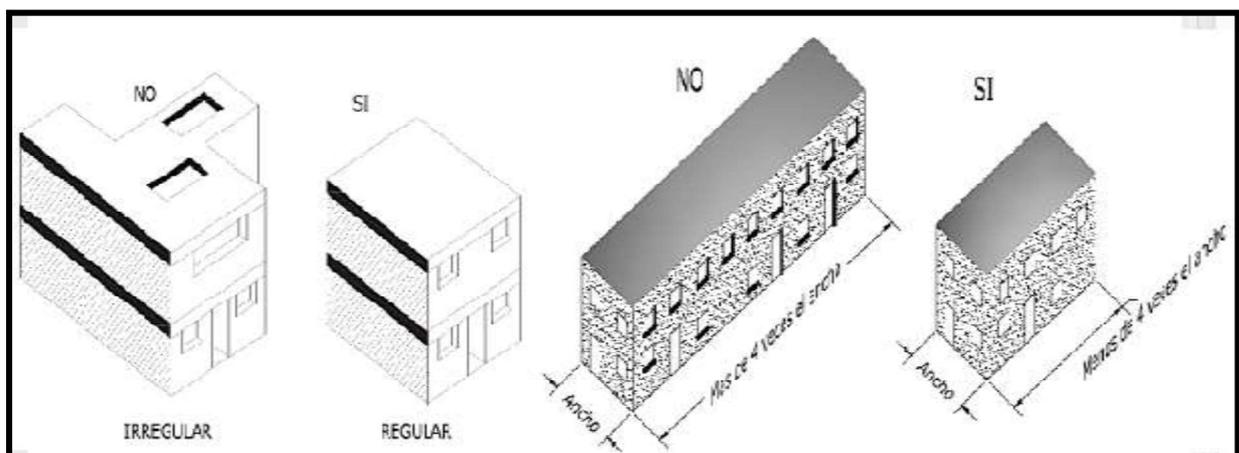


FUENTE: (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

2.2.1.2 Regularidad en Planta

El sistema de piso que se presenta en planta tiene que ser lo más regular y simétrico posible, tratando siempre de que sean formas cuadrangulares y rectangulares, la relación largo/ancho no debe ser mayor de 4, como se muestra en la FIGURA 2.6 y ninguna dimensión debe sobrepasar los 30 m, si esto ocurre se debe hacer uso de juntas constructivas, además la colocación de los muros estructurales resistentes a cargas sísmicas tienen que estar distribuidos de una manera correcta en las dos direcciones y espaciados en paralelo.

FIGURA 2.6 REGULARIDAD EN PLANTA

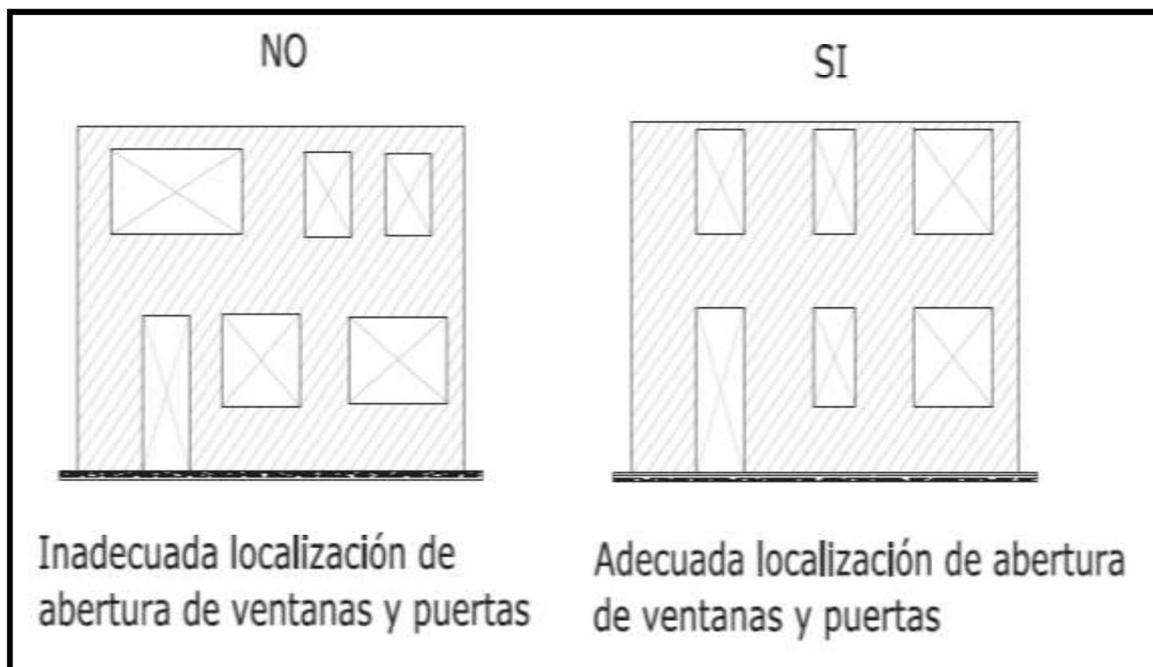


FUENTE: (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

2.2.1.3 Regularidad en Elevación

Como se muestra en la FIGURA 2.7, la regularidad en elevación de una edificación resulta de suma importancia en el comportamiento sísmico, hay que evitar una mala distribución de aberturas de puertas y ventanas, en el caso que una edificación tenga irregularidades en elevación, se puede descomponer en formas regulares aisladas construyendo juntas.

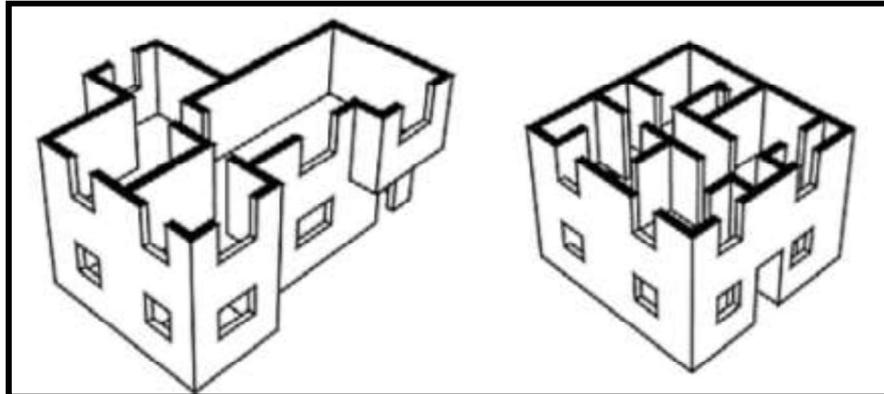
FIGURA 2.7 COLOCACIÓN DE ABERTURAS



FUENTE: (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

2.2.2 DISPOSICIÓN DE MUROS PORTANTES

La ubicación de los muros debe ser tal que se garantizará un buen desempeño del sistema estructural, si la disposición de estos se hace en una sola dirección o de una forma asimétrica se generan comportamientos inadecuados que pueden llevar al colapso de la estructura.

FIGURA 2.8 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUROS PORTANTES

FUENTE: (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

2.2.3 CIMENTACIÓN

2.2.3.1 *Función*

La cimentación se encarga de transferir las cargas hacia el suelo. Ya que el suelo podría tener una menor rigidez y resistencia menor a las de la estructura, el área en planta de la cimentación es mucho mayor a la suma de las áreas de toda la estructura vertical.

La construcción de las cimentaciones es en hormigón armado y por lo general se emplea hormigón de resistencia normal, ya que no resulta económicamente factible el uso de hormigones de alta resistencia (Ame11).

Algo muy importante para elaborar una buena cimentación es tener previamente un buen conocimiento del suelo en el que se va a construir la estructura.

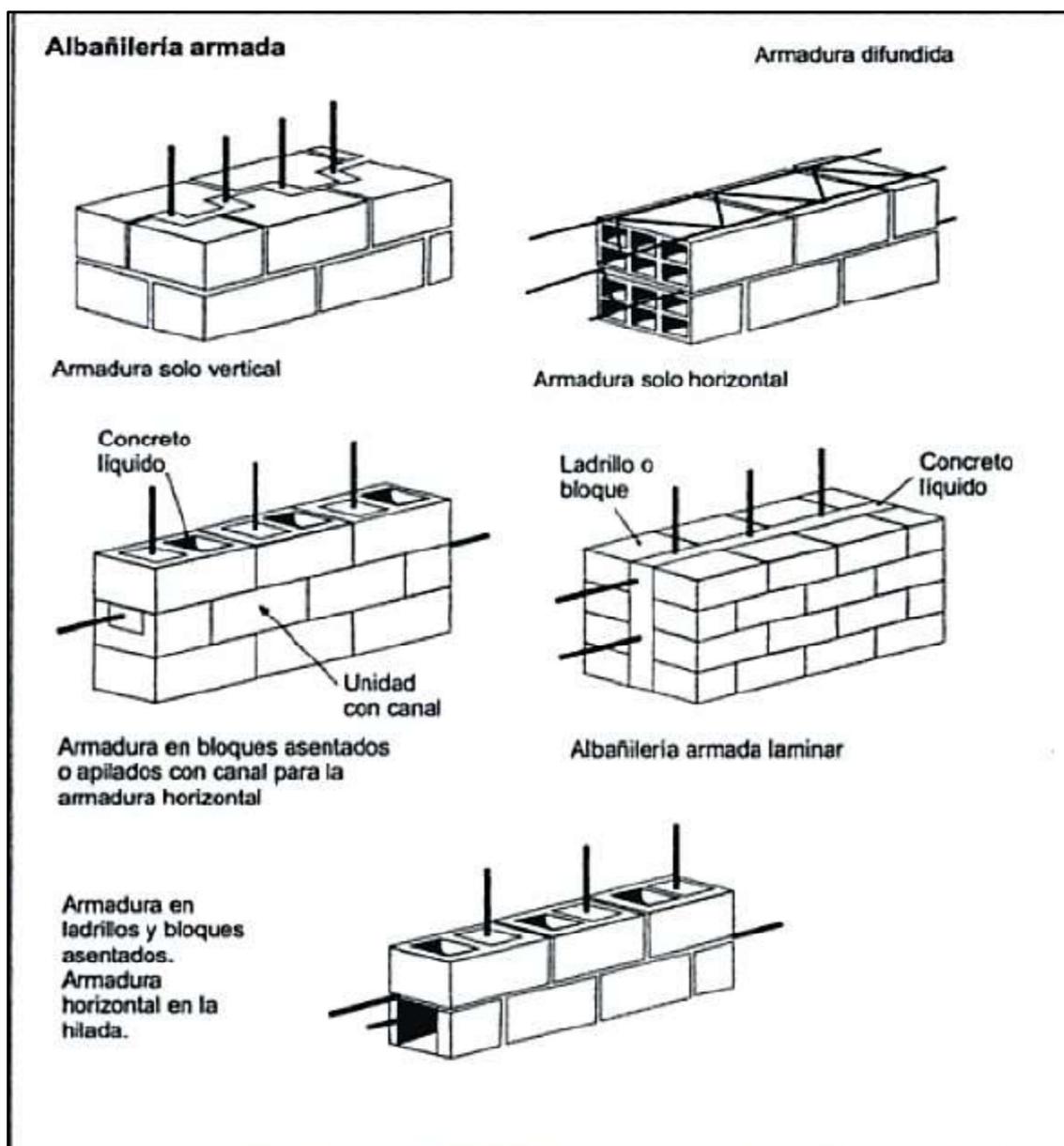
2.3 MAMPOSTERÍA REFORZADA

La mampostería estructural está constituida por bloques de perforación vertical que están unidos con mortero de pega y a su vez cuentan con un refuerzo interno de barras y/o escalerillas de acero verticales y horizontales, repartidas a lo alto y largo de la pared de mampostería. El grout puede ser colocado en todas las cavidades verticales o simplemente en aquellas donde está dispuesto el refuerzo vertical (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

Para que en la mampostería reforzada se integre el comportamiento de la pared de mampostería con el refuerzo de acero, tal que trabajen como uno solo, es primordial la adherencia del refuerzo, empalmes y anclajes de manera que den la posibilidad del total desarrollo de la resistencia de la mampostería a tracción.

A continuación, se tienen diferentes disposiciones para embeber en la mampostería el acero el refuerzo.

FIGURA 2.9 DISPOSICIONES PARA REFORZAR UNA MAMPOSTERÍA



FUENTE: (Gallegos & Casabonne , 2005)

2.3.1 CUANTIAS DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL Y REFUERZO VERTICAL

La cuantía del acero de refuerzo vertical (ρ_v) y horizontal (ρ_h) no deberá sumar menos que 0.002 (NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

$$\rho_v + \rho_h \geq 0.002 \quad (2.1)$$

Tanto la cuantía vertical como la cuantía horizontal no deben ser menor a 0.0007 (NEC-SE-VIVIENDA, 2015), tal que:

$$\rho_v \geq 0.0007 \quad (2.2)$$

$$\rho_h \geq 0.0007 \quad (2.3)$$

2.3.1.1 Refuerzo Vertical

En el interior de la pared de mampostería, la separación del refuerzo vertical no deberá ser mayor a 6 veces el espesor del muro ni mayor a 800 mm (NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

La cuantía vertical se calcula con la fórmula 2.4:

$$\rho_v = \frac{A_{sv}}{s_v * t} \quad (2.4)$$

Dónde:

A_{sv} : Área del acero de refuerzo vertical

s_v : Separación vertical

t : Espesor del muro

2.3.1.2 Refuerzo Horizontal

En el interior de la mampostería, la separación del refuerzo horizontal deberá ser igual o menor a 600 mm o 6 hiladas (NEC-SE-VIVIENDA, 2015).

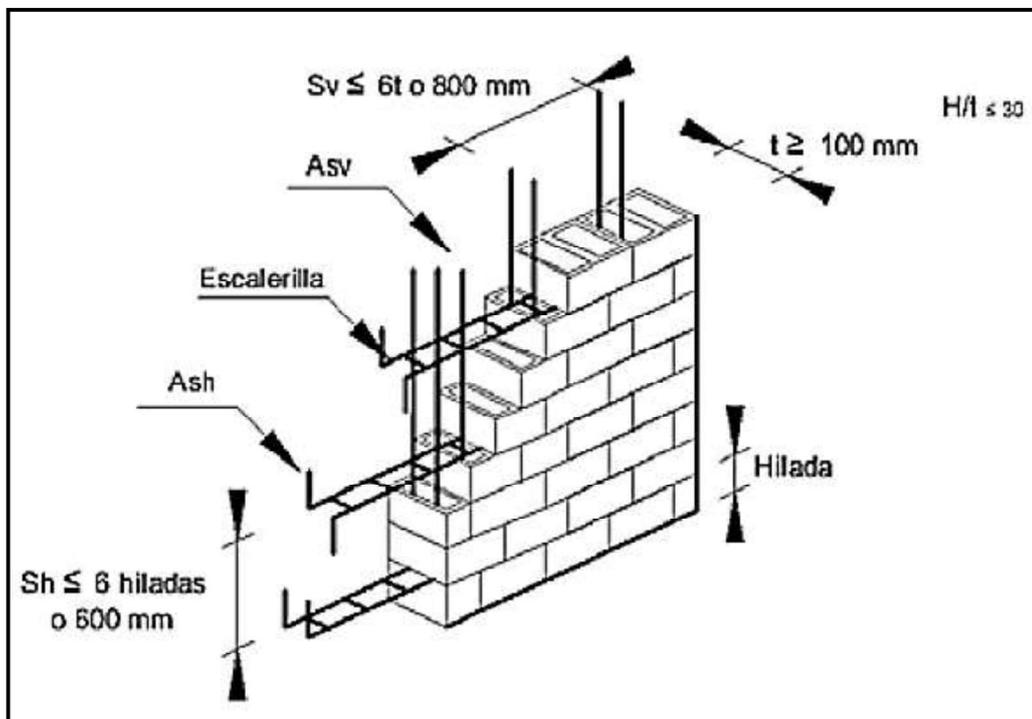
La cuantía horizontal se calcula con la fórmula 2.5:

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{s_h * t} \quad (2.5)$$

Dónde:

Ash: Área del acero de refuerzo horizontal, s_h es la separación horizontal y t es el espesor del muro.

FIGURA 2.10 COLOCACIÓN DEL REFUERZO HORIZONTAL Y VERTICAL EN UNA MAMPOSTERÍA



FUENTE: (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

2.3.2 RIOSTRA HORIZONTAL (VIGA DE CONFINAMIENTO)

En el extremo del muro de mampostería debe existir una viga, donde el refuerzo debe asegurar la resistencia a cargas laterales provocadas por la fuerza horizontal del puntal de compresión.

El acero de refuerzo que se debe colocar en la viga debe ser por lo menos, el determinado con las siguientes ecuaciones, obtenidas de la (NEC-SE-VIVIENDA-Parte 2,2015).

Acero longitudinal:

$$A_s = 0.2 * \frac{f_c}{f_y} * t^2 \quad (2.6)$$

Dónde:

As: Área de refuerzo longitudinal

fc: Resistencia a compresión del hormigón

fy: Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo

t: Espesor del muro

Acero transversal:

$$A_{sc} = \frac{1000 * s}{f_y * hc} \quad (2.7)$$

Dónde:

Asc: Área de refuerzo transversal

hc: Dimensión de la altura de la viga en el plano del muro

fy: Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo

s: Separación de los estribos, $s \leq 1.5t$ o 20cm

2.4 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTRUCTURA CON MAMPOSTERÍA

La mampostería es un sistema estructural, que consiste en piezas de mampostería con diferentes tipos y formas, hechas de diferentes materiales y unidas de varias maneras con varios tipos de mortero o pegamento. Para mejorar las propiedades de carga de la mampostería, a veces se agregan otros materiales, como acero y refuerzo de polímero y lechada. Por lo tanto, la mampostería es un representante típico de material no homogéneo y anisotrópico, con características elásticas limitadas (Modena, 2016).

Existen diversos códigos de construcción que cubren el diseño y construcción de estructuras de Mampostería tales como: NEC-SE-MP y ACI530-11 etc., los mismos han sido tomados como guía para este trabajo de Titulación con los siguientes temas: materiales, colocación de artículos embebidos, análisis y diseño, cargas, detalles y desarrollo de reforzamiento, diseño sísmico etc.

2.4.1 CARGAS

La mampostería deberá estar diseñada para resistir las cargas aplicables. Los edificios deberán contar con un sistema estructural diseñado para resistir cargas de viento, gravedad y sismo (ACI530, 2011).

2.4.2 RESISTENCIA ANTE CARGA LATERAL

La resistencia ante carga lateral debe ser proporcionada por un sistema estructural reforzado. Las particiones, los paneles de relleno y elementos similares pueden no formar parte del sistema de resistencia de fuerza lateral si están aislados. Sin embargo, cuando resisten las fuerzas laterales debido a su rigidez, deben considerarse en el análisis.

2.4.3 CARGAS LATERALES

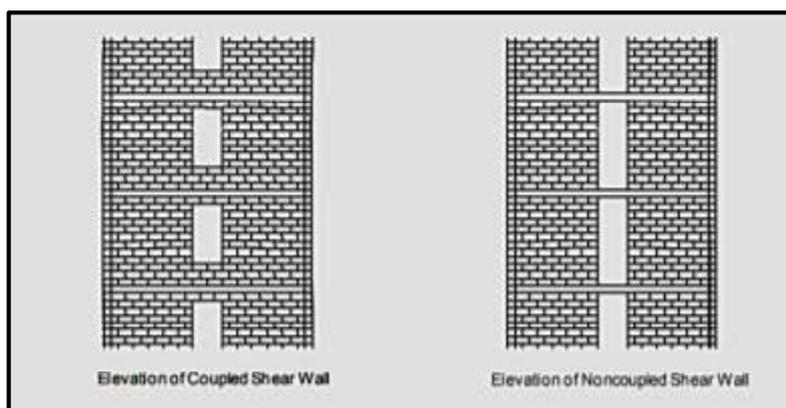
Las cargas laterales se distribuirán al sistema estructural de acuerdo con las rigideces de los miembros (ACI530, 2011). Los supuestos de diseño en edificios de mampostería incorporan la utilización de un sistema de resistencia de fuerza lateral. La repartición de las cargas laterales en cada miembro del sistema de resistencia a la fuerza lateral forma parte de la rigidez del sistema estructural y de los diafragmas horizontales.

La conexión en las paredes que se intersecan y entre las paredes y los diafragmas del piso y del techo determina si la pared participa en el sistema de resistencia lateral.

Normalmente se considera que las fuerzas están actuando en dirección a los ejes esenciales de la estructura. Una consecuencia de cargas laterales son fuerzas en paredes, las mismas puede ser perpendiculares y paralelas a la dirección de la carga. La torsión horizontal puede desarrollarse como un efecto de excentricidad cuando se aplica la carga con respecto al centro de rigidez.

Analizando la distribución de la carga lateral, es importante realizarlo cumpliendo con los procedimientos de ingeniería aprobados, los mismos deben contemplar los efectos de aberturas en paredes por fallas a corte, y si la mampostería con aberturas permite actuar como paredes de corte acopladas, tal y como se observa en la FIGURA. 2.11.

FIGURA 2.11 MUROS CORTANTES ACOPLADOS Y NO ACOPLADOS



FUENTE: (ACI530, 2011)

2.4.4 PROPIEDADES DE MATERIALES

La evaluación adecuada del lugar de procedencia del material de construcción es un elemento importante del diseño de mampostería ya que cada material consta de diferentes características. La mampostería de arcilla y la mampostería de concreto pueden comportarse de manera muy diferente en condiciones normales de carga y clima (ACI530, 2011). El código de Construcción Para Estructuras de Mampostería ACI530-11 recomienda al diseñador obtener más información sobre el diseño y propiedades de materiales. Mediante ensayos de laboratorio se pueden obtener propiedades mecánicas de los materiales.

2.4.4.1 Módulo de Elasticidad

Módulo de Elasticidad del acero: Acero de refuerzo: Para el módulo de elasticidad del acero de refuerzo se tomará como:

$$E_s = 200,000 \text{ MPa} \quad (2.8)$$

Dónde:

E_s = módulo de elasticidad del acero, (MPa) (ACI530, 2011)

Módulo de Elasticidad de la Mampostería (E_m)

Es importante mencionar que no se ha estandarizado un método para su obtención, Pachano (2017, p.33) menciona que no existe una metodología definida para su evaluación, muchos autores utilizan los mismos criterios que se toma para el hormigón simple.

Existen diversas expresiones matemáticas para predecir sus valores, las cuales se encuentran a partir de la resistencia a compresión de la Mampostería (f'_m), unas de las más utilizadas según la bibliografía revisada son:

Las expresiones 2.9 y 2.10 fueron tomadas de Paulay y Priestley (1992, p.113)

$$E_m = 1000 f'_m \text{ para mampostería de bloque de hormigón} \quad (2.9)$$

$$E_m = 750 f'_m \text{ para mampostería de ladrillo de arcilla} \quad (2.10)$$

Mientras que las expresiones 2.11 y 2.12 se toman del ACI530-11

$$E_m = 700 f'_m \text{ para mampostería de arcilla} \quad (2.11)$$

$$E_m = 900 f'_m \text{ para mampostería de hormigón.} \quad (2.12)$$

Dónde:

E_m = módulo de elasticidad de mampostería en compresión, psi (MPa)

f'_m = resistencia a la compresión especificada de la mampostería, psi (MPa)

Es importante mencionar que estos valores no siempre son aplicables para cualquier tipo de mampostería, en mampuestos artesanales no se alcanza estos valores, eso se debe a que el Código se basa en el hecho de que la resistencia a la compresión real excede significativamente a la resistencia a la compresión f'_m especificada en los códigos, o por el contrario se puede tomar el módulo de elasticidad entre 0.05 y 0.33 de la resistencia máxima a la compresión de cada prisma* (ACI530, 2011).

2.4.4.1.1 Ensayo de Prismas

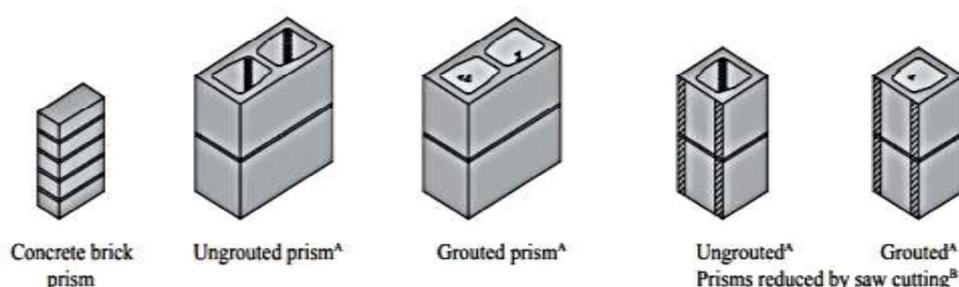
El ensayo de prisma proporciona medios que ayudan a comprobar que la mampostería utilizada en la construcción cumpla con la resistencia a la compresión especificada, este lo podemos encontrar en la ASTM C1314. Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms.

El procedimiento a realizarse es el siguiente:

- Construir el prisma con los mismos materiales y proporciones utilizadas en la obra.
- Transporte al sitio donde se van a curar y ensayar, esto si se lo ha construido en un lugar fuera de laboratorio.
- Curado del prisma, para ello se debe mantenerlo en bolsas plásticas para evitar pérdida de humedad.
- Realizar los respectivos ensayos para obtener las fallas que se presenten en el prisma utilizando una máquina de compresión o también conocida como universal, los datos que se obtendrán serán la carga máxima soportada y el tipo de falla, para determinar la máxima resistencia se debe dividir la carga máxima soportada para el área neta*. Para tener resultados más verídicos se debe corregir mediante un factor geométrico que depende de la relación longitud altura.

Área neta*: Es el área reducida y corregida debido al daño provocado por la fabricación del agujero y a la presencia y alternancia de elementos como agujeros o soldadura en miembros estructurales que resisten la tensión axial.

FIGURA 2.12 TIPOS DE PRISMAS



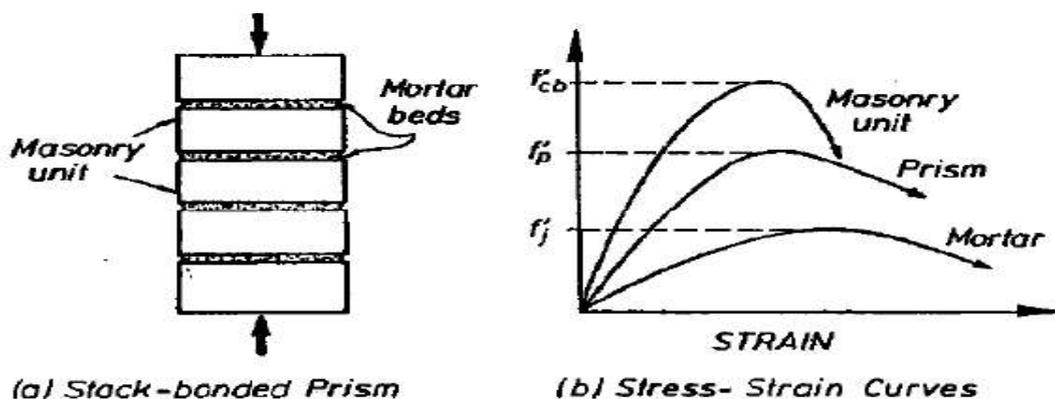
FUENTE: (NCMA-2014)

2.4.5 ESFUERZO A COMPRESIÓN

Para la obtención de este parámetro existen muchas expresiones empíricas propuestas por diversos autores, en base a resultados experimentales que han obtenido, pero su validación está limitada únicamente para las condiciones y materiales en las que fueron obtenidas (Crisafulli, 1997).

Para obtener valores experimentales de resistencia a compresión de la mampostería (f'_m), es importante realizar ensayos de compresión directa en prismas de mampostería según la norma ASTM C1314-16 (Pachano. 2017). Los valores obtenidos dependerán del tipo de mampuesto como unidad, así como del material que se encuentra elaborado, otro factor a tener en cuenta es la interacción que existe entre el mampuesto y el mortero de pega, ya que si ambos están sometidos en conjunto a un mismo esfuerzo, la respuesta que se da entre ambos radica en que el mampuesto restringe deformaciones en el mortero, introduciendo en él, esfuerzos de compresión en dirección transversal, al ser el mortero el material más deformable en comparación del mampuesto (Chamorro, Salas, 2019). Pachano (2017, p.30) menciona que, comparando resistencias a compresión, la de un muro de mampostería siempre será menor a resistencia de las piezas de mampuesto.

FIGURA 2.13 RELACIÓN ESFUERZO DEFORMACIÓN PARA MORTERO Y UNIDADES DE MAMPOSTERÍA



FUENTE: (Paulay & Priestley, 1992)

Para este trabajo de titulación no se cuenta con datos experimentales de resistencia a compresión de mampostería, por lo que se seguirán las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MP), punto 6 sección 6.1 (Definición y requisitos) que indica:

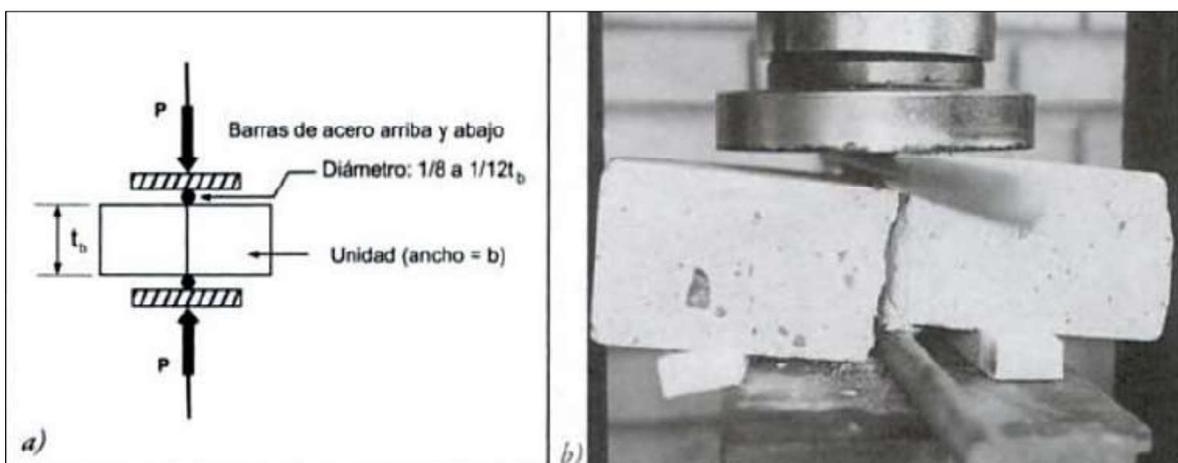
- Los muros de Mampostería reforzada deben tener un espesor mínimo nominal de 12 cm.
- Solo se admite el aparejo trabado y no se Admiten morteros M2.5 y M5.
- La resistencia a compresión de la mampostería (f'_m) no debe ser menor a 10 MPa, ni mayor a 28 MPa.

2.4.6 ESFUERZO A TRACCIÓN

Según Gallegos & Casabonne (2005, p.114), cuando un muro es sometido a compresión la falla ocurre por tracción transversal del mampuesto como unidad, mientras la misma se encuentre sometida a un estado de cargas triaxiales.

El autor también menciona que los ensayos más usuales son: ensayo de tracción indirecta como se muestra en la FIGURA 2.14 y el ensayo de tracción por flexión (módulo de rotura).

FIGURA 2.14 ESQUEMA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA Y FALLA DEL MAMPUESTO



FUENTE: (Gallegos & Casabonne, 2005)

2.4.7 TENSION DIAGONAL

Según Tena & Miranda (2002, p.113) existen diversas situaciones en las que un muro de mampostería puede estar sometido a tensión diagonal. Un caso importante es cuando una edificación de mampostería se somete a un evento sísmico, al igual que este; existen otros casos, por ejemplo, hundimientos diferenciales, cuando se encuentra bajo la acción de cargas gravitacionales o cuando existe una distribución poco uniforme de cargas verticales en el muro.

Esta metodología ha sido desarrollada para valorar la resistencia a corte de la mampostería debido a que existe una combinación de esfuerzos de compresión y cortante (Pachano, 2017). Los esfuerzos de Tracción Diagonal son el resultado de los efectos que se producen por cargas laterales, las mismas que pueden ser ocasionadas por viento, gravitacionales excéntricas, sismos, y movimientos térmicos o de humedad.

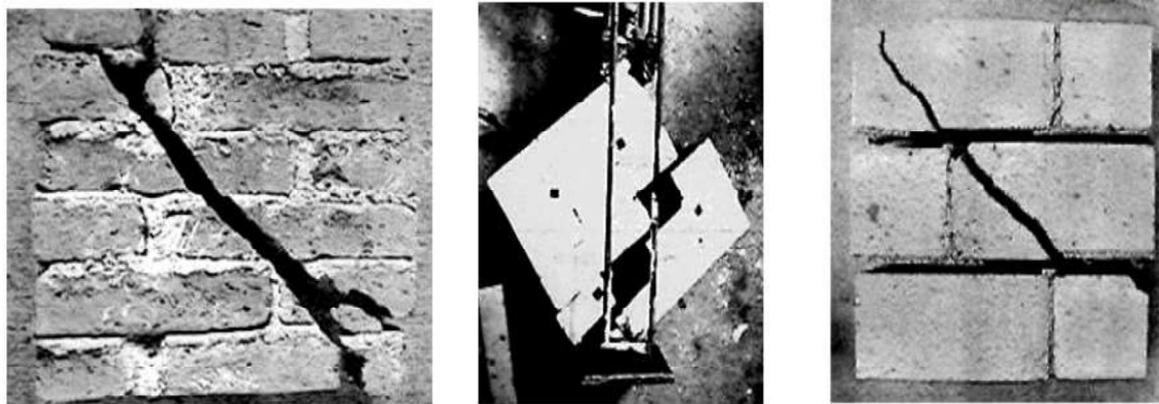
La resistencia a la Tensión depende enteramente de la adhesión que se da entre el mampuesto y mortero, es por ello que resulta complejo evaluar de forma experimental, debido a la falta de homogeneidad entre los materiales, que es el principal inconveniente en ensayos de tensión por hendimiento (Pachano, 2017) ya que de esto depende la resistencia a tracción de todo el panel (Chamorro, Salas, 2019).

Las fallas que se originan se dan por medio de grietas inclinadas, como consecuencia de tensiones diagonales, por lo general se pueden visualizar en juntas de mortero ya que como se ha mencionado anteriormente existe una baja adherencia entre mampuesto y mortero, sin embargo, si la adherencia entre ambos elementos es buena las grietas no siguen un patrón y atraviesan aleatoriamente las juntas y las piezas de mortero.

Como se puede observar en la figura 2.15 (a) la primera falla es consecuencia de que la resistencia de la unidad de mampuesto es menor a la de adherencia del mortero con la pieza, la segunda (b) se produce cuando la resistencia del mampuesto es mayor a la de adherencia del mortero en donde el agrietamiento se produce en las juntas, ya que resulta ser el elemento más débil, finalmente la falla

tipo (c) se ocasiona cuando los esfuerzos son semejantes entre el mampuesto y la adherencia de mortero, ante esto presenta una falla mixta en donde el agrietamiento se da tanto en piezas de mampuesto como en juntas de mortero.

FIGURA 2.15 MODOS DE FALLA A TENSIÓN DIAGONAL



a) Falla por las piezas b) Falla por las juntas c) Falla mixta

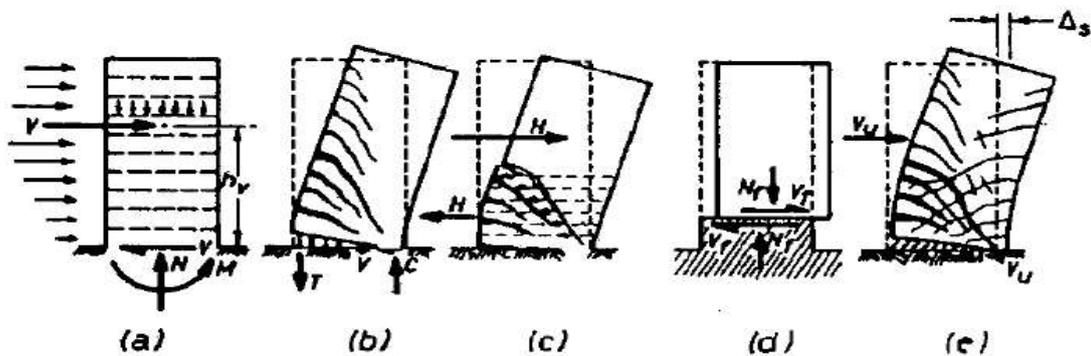
FUENTE: (Tena & Miranda, 2002)

2.4.8 MODOS DE FALLA EN MUROS ESTRUCTURALES

Un requisito previo para un buen comportamiento estructural es que no debe permitirse que ocurran mecanismos de falla frágil o incluso aquellos con ductilidad limitada, para ello se requiere el uso de procedimientos de diseño de capacidad y mediante el detalle apropiado de las regiones plásticas potenciales.

La fuente principal de disipación de energía en un muro de mampostería cargada lateralmente, ver FIGURA (2.16) debe ser el refuerzo de flexión en las regiones plásticas, normalmente en la base de la pared, tal y como se indica en la Fig. 2.16 (b) y (e). Los modos de falla que se deben evitar son aquellos producidos por la tensión diagonal Fig. 2.16 (c) o por la compresión diagonal a causa del corte, al igual que la inestabilidad de las secciones de paredes delgadas o inestabilidad del refuerzo de compresión principal, de igual manera se debe evitar el corte deslizante a lo largo de las juntas de construcción, que se muestra en la Figura 2.16 (d), y falla de corte o unión a lo largo de empalmes o anclajes (Paulay & Priestley, 1992).

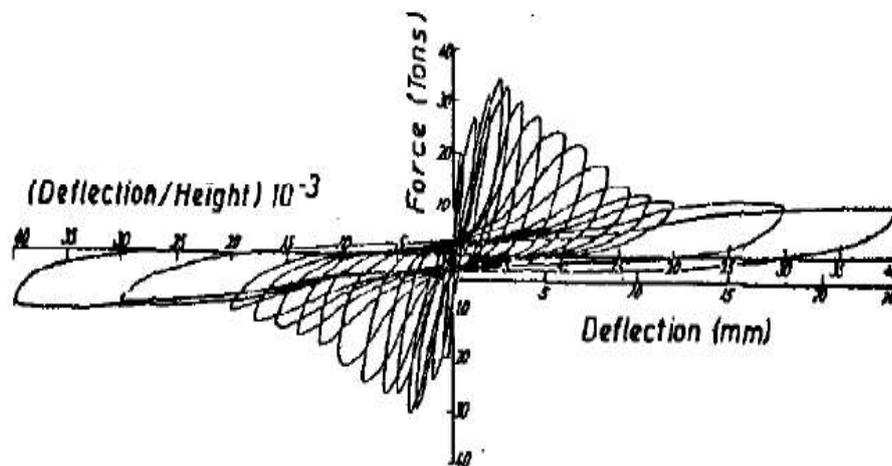
FIGURA 2.16 MODOS DE FALLA EN MUROS ESTRUCTURALES



FUENTE: (Paulay & Priestley, 1992)

En la FIGURA 2.17 se evidencia un ejemplo de la respuesta dominada por el corte de una pared estructural a carga cíclica invertida, una particularidad grave que presenta es la reducción constante de la fuerza y la capacidad de disipar energía.

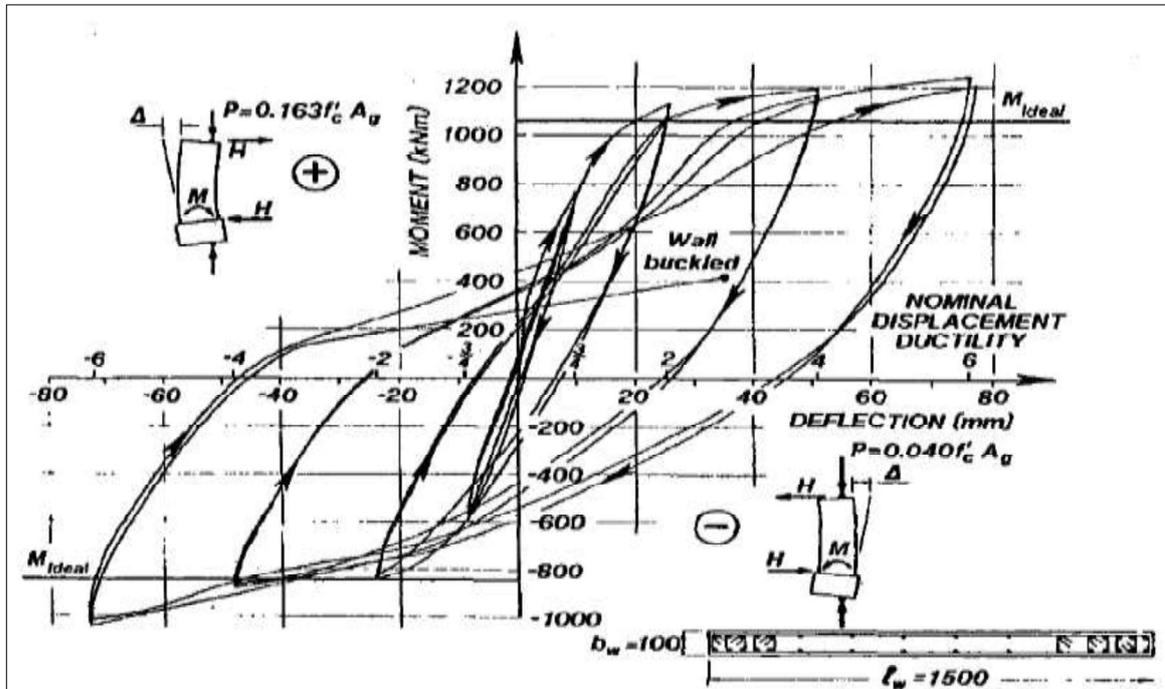
FIGURA 2.17 RESPUESTA HISTERÉTICA DE UN MURO ESTRUCTURAL CONTROLADO POR EL CORTE



FUENTE: (Paulay & Priestley, 1992)

Paulay y Priestley (1992, p.390) mencionan que, los muros diseñados para la ductilidad a la flexión y protegidos contra una falla de corte por los principios de diseño de capacidad exhiben una respuesta muy mejorada, ver Figura 2.18.

FIGURA 2.18 RESPUESTA HISTÉRICA ESTABLE DE UNA ESTRUCTURA DE PARED DÚCTIL



FUENTE: (Paulay & Priestley, 1992)

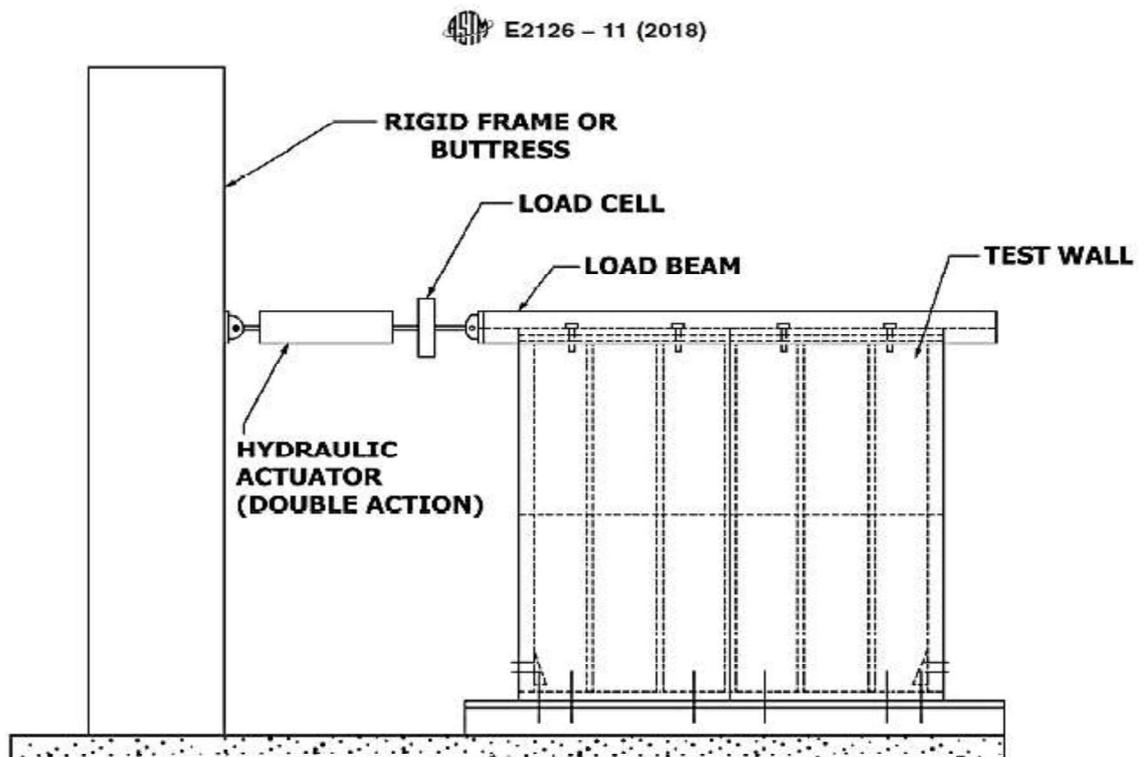
2.5 COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS LATERALES

Autores como Tena y Miranda (2002, p.119) señalan que realizando ensayos a compresión diagonal se pueden obtener valores representativos de esfuerzos cortantes resistentes y módulo de rigidez a cortante, pero los mismos no brindan un panorama completo del comportamiento de la mampostería, ya que en ellos no existe deformaciones ni esfuerzos por flexión, lo que si ocurre en los muros que son sometidos a ensayos a cargas laterales, los mismos simulan el comportamiento de edificaciones de mampostería que se encuentran sometidos a solicitaciones sísmicas.

Estos métodos de prueba cubren la evaluación de la rigidez al corte, resistencia al corte y ductilidad de los elementos verticales de los sistemas resistentes a la fuerza lateral, incluidas las conexiones de corte aplicables y las conexiones de sujeción, en condiciones de carga cíclica (reversible) (ASTM E2126, 11).

El procedimiento para realizar el ensayo ante cargas laterales se realizó en base a la Norma ASTM 2126-11 método (c), el cual radica en probar especímenes como si estuvieran en voladizo, introduciendo esfuerzos cortantes simultáneamente con esfuerzos de flexión. El espécimen debe tener una relación de altura y longitud o aspecto (altura / longitud) que sea consistente con los requisitos de uso previstos en la construcción real de un edificio. En la figura 2.19 se puede observar un ejemplo de la configuración de prueba para realizar un ensayo ante carga lateral.

FIGURA 2.19 CONFIGURACIÓN DE PRUEBA PARA UN MURO DE MAMPOSTERÍA



FUENTE: (ASTM E2126, 11)

De acuerdo con múltiples ensayos que se han realizado a través de los años, se ha podido observar que se generan grietas diagonales formándose inicialmente por el centro del muro, para luego prolongarse hacia los extremos, la forma típica a tomar usualmente es la de una diagonal, en cuanto a los tipos de falla, como ya se ha mencionado antes, depende de la debilidad en las piezas y de la resistencia de adherencia que exista entre el mampuesto y mortero.

2.6 DISEÑO POR CAPACIDAD

El concepto surgió en Nueva Zelanda, como una propuesta por Hollings, 1969, para lograr una respuesta dúctil de las estructuras de hormigón armado. A partir de esta idea, Robert Park y Thomas Paulay, y posteriormente Nigel Priestley (Paulay and Priestley, 1992) y muchos otros investigadores, desarrollaron un método de diseño que en la actualidad se aplica a distintos tipos de estructuras (Crisafulli F.J., 1997).

Un diseño por capacidad está basado en el planteamiento de la resistencia de los componentes dividido en jerarquías, los mismos constituyen un sistema estructural, que permita la formación de un mecanismo de deformación plástica (o mecanismo de colapso); de esta manera se evita así la ocurrencia de fallas frágiles (Crisafulli F.J., 1997). Para ello, se seleccionan ciertos componentes del diseño por capacidad, el cual se basa en tres aspectos básicos y fundamentales:

- Selección de un mecanismo de deformación plástica para todo el sistema estructural, identificando los miembros o componentes en los que pueden desarrollarse deformaciones inelásticas. Este mecanismo no debe conducir a una demanda concentrada de deformaciones plásticas.
- Detallado adecuado de los miembros o componentes inelásticos para asegurar un comportamiento dúctil de la estructura.
- Diseño de los restantes miembros o componentes estructurales para resistir la acción sísmica en rango elástico, considerando la probable sobre resistencia de los mecanismos dúctiles.

2.7 CURVA DE CAPACIDAD

Es la relación que existe entre la resistencia a la carga lateral de una estructura y su desplazamiento lateral característico (Priestley & Kowalsky, 2007) monótonamente crecientes. Para la ejecución de este análisis se va a aplicar una distribución de cargas laterales las cuales van manteniendo un valor relativo o proporcional a la altura de la estructura, las mismas van a ir variando en magnitud, la cual se va incrementando hasta alcanzar el desplazamiento lateral coligado a un estado máximo de utilidad de la estructura en general, puede presentarse la falla o colapso de la misma.

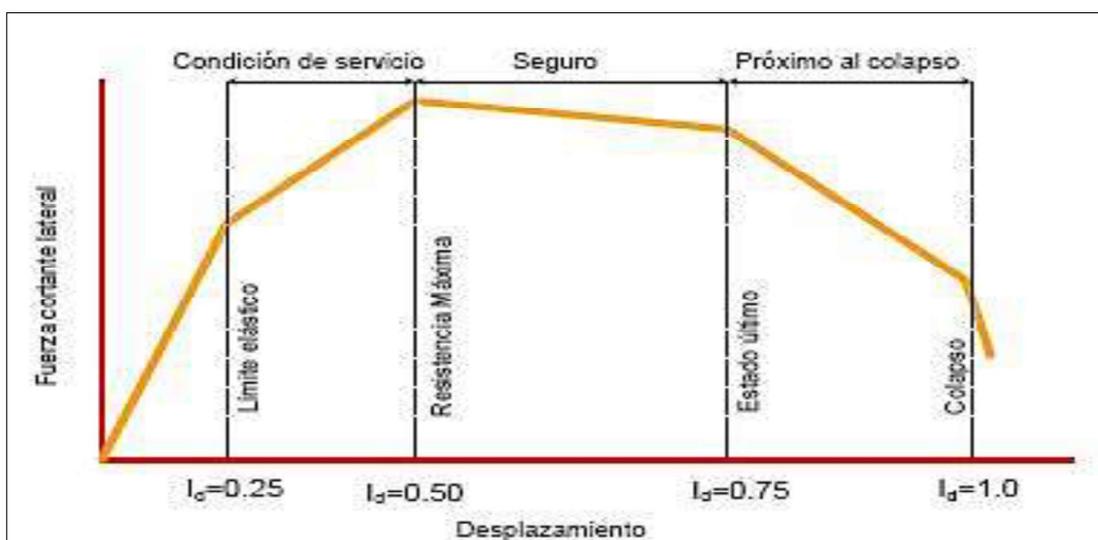
La curva de capacidad es el resultado de poseer fuerzas de cortante basal que se producen por cada incremento de desplazamiento lateral de una estructura y al ser graficada versus desplazamientos se tiene como resultado esta curva (Alcocer, Hernández & Sandoval, 2013).

2.7.1 CURVA ENVOLVENTE

Al considerar ciertas condiciones de restricción de apoyo de muros, es factible calcular la resistencia a flexión, cortante y la rigidez inicial. Al utilizar una curva idealizada de envolvente del comportamiento histerético es posible analizar la resistencia de entrepiso para calcular la envolvente total (Alcocer, Hernández & Sandoval, 2013).

La curva envolvente provee información del comportamiento y nivel de daño estructural, resistencia máxima y colapso de la estructura, esta define 3 estados límites, el primero corresponde al límite elástico que se da cuando el muro alcanza este término y se agrieta, el segundo corresponde al estado límite de resistencia máxima y el tercero concierne al estado de resistencia última en donde se deteriora sobrepasando los límites máximos y ocurre el colapso de la estructura, según una publicación de la UNAM (2013, p.3) una degradación mayor al 70% de la resistencia máxima establece una condición de colapso en una estructura.

FIGURA 2.20 CURVA ENVOLVENTE DE ENTREPISO

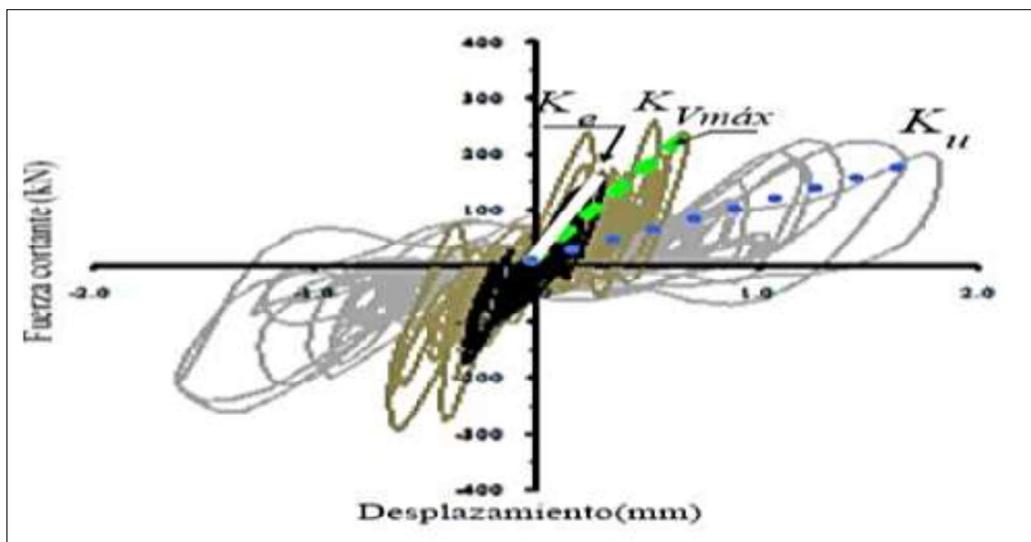


FUENTE: Modificado de (Alcocer, Hernández & Sandoval, 2013)

2.7.2 CURVA ENVOLVENTE IDEALIZADA

Múltiples ensayos experimentales en muros de mampostería sujetos ante cargas laterales cíclicas muestran una curva típica del comportamiento histerético como se puede observar en la figura 2.21, los cuales varían según el tipo de mampostería, el comportamiento de la curva está caracterizado por las deformaciones a corte que son las que dominan.

FIGURA 2.21 CURVA DE HISTÉRESIS TÍPICA DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA ANTE CARGAS LATERALES CÍCLICAS



FUENTE: Modificado de (Alcocer, Hernández & Sandoval, 2013)

Las variables que se pueden observar en la figura 2.21 representan:

- K_e que pertenece a la zona de comportamiento elástico asociado con una rigidez lateral efectiva, en el cual se produce el agrietamiento en los elementos de mampostería.
- $K_{V_{m\acute{a}x}}$ pertenece a la zona de máxima resistencia del muro, asociada a una carga lateral máxima y su respectivo desplazamiento.
- K_u corresponde a la zona en donde ocurre una degradación de rigidez y resistencia ante un desplazamiento último o lo que se conoce como zona de colapso.

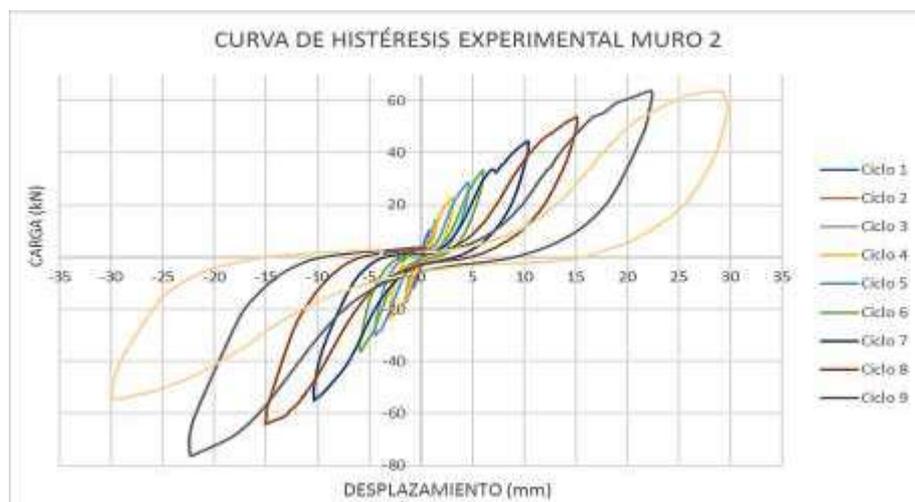
La unión de los puntos máximos y mínimos de cada ciclo de carga da como resultado la envolvente de la curva de histéresis. El desplazamiento de los modelos en la dirección positiva produce una curva envolvente positiva y viceversa, la dirección positiva se basa en el movimiento hacia afuera del gato hidráulico.

2.8 CURVA DE HISTÉRESIS

Ya se ha mencionado anteriormente que el comportamiento de un muro de mampostería es elástico antes del primer agrietamiento, en dónde se origina una notable degradación de rigidez y resistencia (Tena & Miranda, 2002). Ante ensayos cíclicos reversibles, a medida que va aumentando cada ciclo, el agrietamiento producido causa que los ciclos histeréticos se estrechen de manera significativa y tiendan a ser horizontales. Ver figura 2.21.

Ante esto, la curva de histéresis se obtiene de los ensayos cíclicos de carga y descarga, y evidencia punto a punto la aplicación de la carga y el desplazamiento respectivo a ese estado (Rivas, 2017), del estudio de esta gráfica se puede obtener parámetros importantes para idealizar el comportamiento de la mampostería, tales como: degradación de la rigidez y resistencia, rigidez secante, energía disipada, amortiguamiento viscoso.

FIGURA 2.22 CURVA DE HISTÉRESIS DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



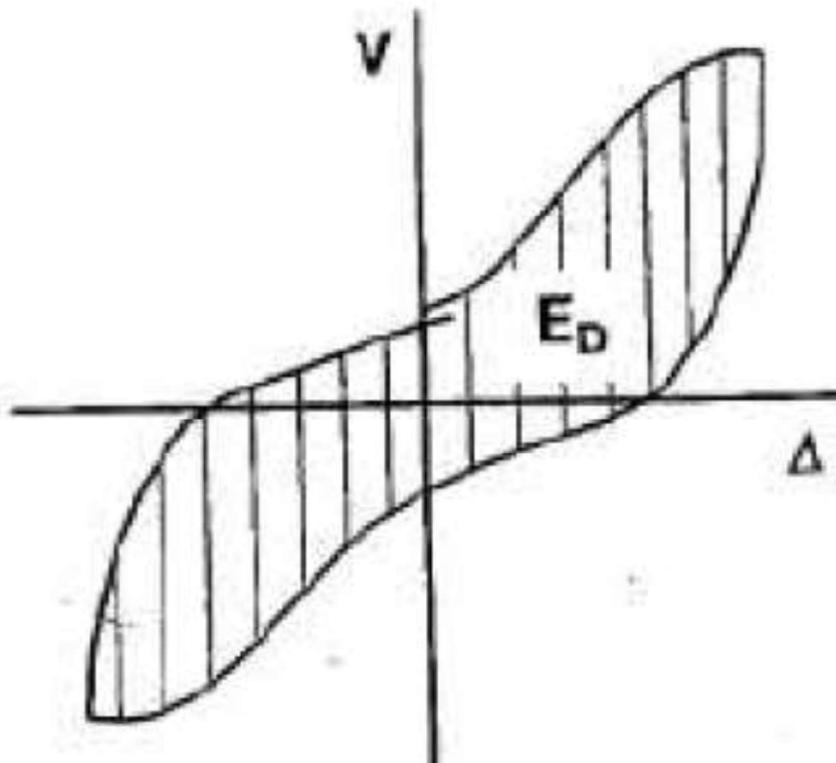
FUENTE: Aguirre-Poma

2.8.1 ENERGÍA DISIPADA

Es conocido que en el momento en que ocurre un sismo se libera gran cantidad de energía, Tena y Colunga (2002, p.124) menciona que las estructuras deben estar en la capacidad de absorber y disipar energía recuperable a través de energía de deformación elástica y no recuperable como lo es la energía inelástica, la misma que está ligada al daño de la estructura.

La disipación de energía por ciclo corresponde a el área contenida en cada ciclo de la curva de histéresis (fuerza – desplazamiento).

FIGURA. 2.23 DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA UN CICLO PROVENIENTE DE UN ENSAYO HISTÉRICO

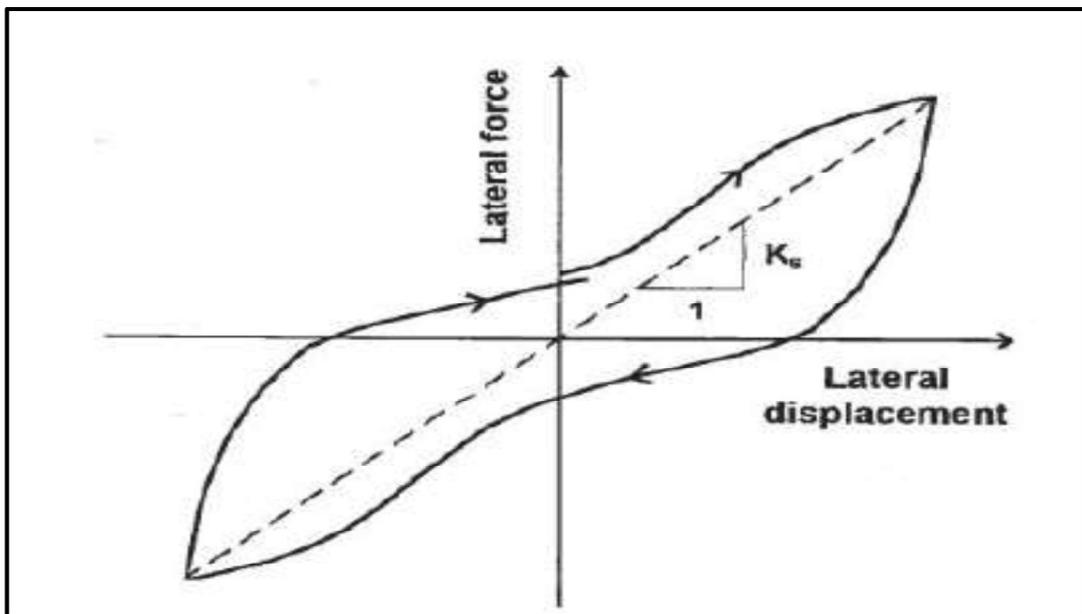


FUENTE: (Gallegos & Casabonne, 2005)

2.8.2 RIGIDEZ SECANTE

La rigidez secante “conciérne a la pendiente de la línea recta que enlaza los puntos máximos de carga o desplazamiento en sentido positivo y negativo para un mismo ciclo de la curva de histéresis” (Rivas, 2017), según se observa en la Figura 2.24.

FIGURA 2.24 DEFINICIÓN DE RIGIDEZ SECANTE



FUENTE: (Rivas, 2017)

2.8.3 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ

Cuando se produce el desgaste o daño de la estructura, existe una reducción gradual de la rigidez sin recuperar nunca su magnitud original, a medida que esto sucede va aumentando el desplazamiento. Típicamente se observa en las estructuras que sufren la acción de un sismo intenso.

En muchos casos, la falla es progresiva y predecible. Una teoría basada sobre la degradación residual de la rigidez asume que el daño está acumulado en el compuesto y el material falla cuando esta rigidez disminuye hasta el máximo nivel de sollicitación cíclica. Aunque haya una pérdida relevante de la rigidez, la resistencia sigue siendo alta.

2.8.4 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE

El amortiguamiento viscoso se define como la energía que se produce por el roce entre las superficies de los elementos que constituyen una estructura, esto sucede a velocidades pequeñas y moderadas, en las cuales la fuerza de fricción es directamente proporcional y opuesta a la velocidad del sistema en movimiento (LIMA & PAREDES, 2017).

Gallegos y Casabonne (2005, p.233) propone una ecuación para obtener este parámetro:

$$\xi_{EQ} = \frac{\text{Energía disipada/ciclo}}{2 * \pi * K_{sec} * \delta_{máx}^2} \quad (2.13)$$

Dónde:

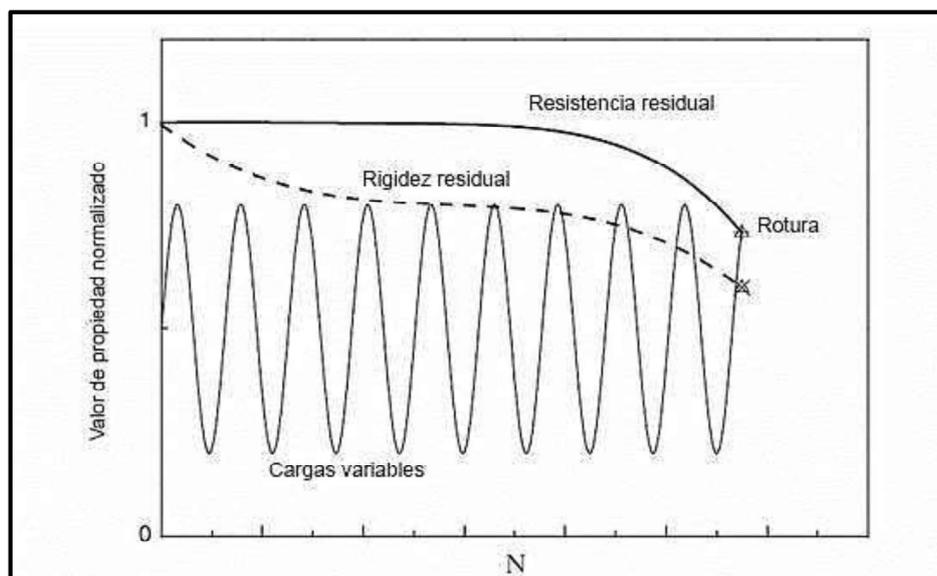
K_{sec} Rigidez secante por ciclo

$\delta_{máx}$ Desplazamiento máximo en cada ciclo

2.8.5 DEGRADACIÓN DE LA RESITENCIA

Al momento de aplicar fuerzas por cada ciclo de carga en la estructura, estas ocasionan una reducción de la resistencia al incrementar las deformaciones (Rivas, 2017), como se muestra en la Figura 2.25. Esto es muy notorio para el caso de muros de Mamposterías no Reforzadas, es necesario mencionar que el desprendimiento y aplastamiento de los mampuestos perjudican a la resistencia lateral.

FIGURA 2.25 DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ Y RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE CARGAS CÍCLICAS



FUENTE: (Chiacchiarelli, 2017)

2.9 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO

La Ductilidad es la capacidad que tiene una estructura de deformarse plásticamente en su totalidad, es por ello que el modo más efectivo para evaluar la capacidad que posee una estructura con la finalidad de desplegar ductilidad es a través del desplazamiento (Rivas, 2017).

Para encontrar estos valores es indispensable calcular el desplazamiento de fluencia (Δy) y el último desplazamiento (Δu).

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (2.14)$$

2.9.1 FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO (R)

La NEC-SE-DS PARTE 2 (2015, p. 63) señala que el Factor R, permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, donde el daño se concentre en secciones especialmente detalladas para funcionar como rótulas plásticas. Este factor está dado de acuerdo a sistemas estructurales dúctiles y de ductilidad limitada como se muestra en la FIGURA 2.26.

FIGURA 2.26 COEFICIENTE R PARA SISTEMAS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

FUENTE: (NEC-SE-DS PARTE 2, 2015)

Para el caso de Mampostería Reforzada se asigna un valor de $R=3$, limitada a dos pisos.

2.10 DERIVAS

La Norma Ecuatoriana de la Construcción correspondiente a diseño sísmico (NEC-SD-DS parte 1, 2015), establece que la deriva máxima no debe exceder el 1%, obtenida como un porcentaje de la altura total del muro, tal y como se indica en la tabla 2.3.

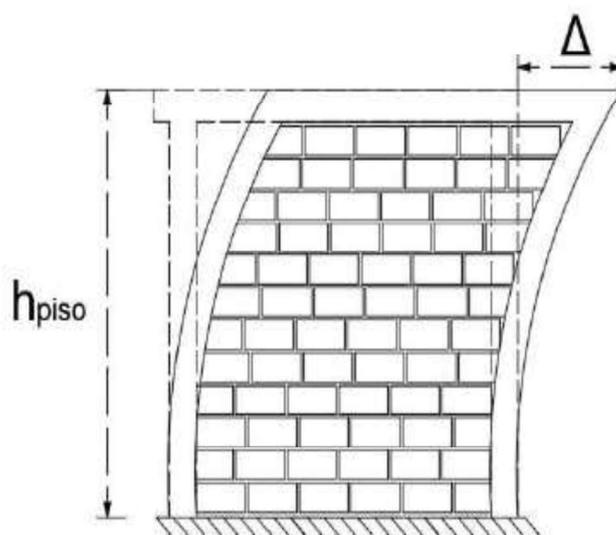
TABLA 2.3 MÁXIMOS VALORES DE DERIVA, EXPUESTOS COMO FRACCIÓN DE LA ALTURA DE PISO DE UNA ESTRUCTURA

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

FUENTE: (NEC-SD-DS parte 1, 2015)

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{\Delta}{h_{piso}} \leq 0.01 \quad (2.15)$$

FIGURA 2.27 REPRESENTACIÓN DE LAS DERIVAS DE PISO



FUENTE: (Rivas, 2017)

2.11 OPENSEES

OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation) se define como un software para desarrollar aplicaciones y realizar la simulación y comportamiento de diversos sistemas estructurales y geotécnicos, que están sujetos a sucesos sísmicos (Nazar, 2016), dispone habilidades mejoradas en modelación y análisis de la respuesta no lineal de sistemas estructurales.

El objetivo del desarrollo de OpenSees es mejorar el modelado y la simulación computacional en la ingeniería sísmica a través del desarrollo de código abierto, el mismo se encuentra en continuo desarrollo por lo que las actualizaciones se dan de forma regular.

En este sentido, todos los usuarios son desarrolladores, por lo que es importante registrarse. El desarrollo de OpenSees está patrocinado por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (OPENSEES, 2006).

FIGURA 2.28 PANTALLA DE REGISTRO PARA ACCEDER A LA DESCARGA DEL SOFTWARE

The screenshot shows the OpenSees website's registration page. At the top, there is a navigation bar with links: HOME, USER, DEVELOPER, SUPPORT, PARALLEL, Copyright, and SITE MAP. The main content area is titled "OpenSees Download" and states "Current version is: 3.0.3". Below this, a message explains that users must be registered and provide their email to download the code. A registration form is provided with an "E-Mail:" label, a text input field, and "Submit" and "Reset" buttons. A note indicates that new users should go to the message board registration page. On the left side, there is a sidebar menu with links: HOME, OPENSEESWIKI, MESSAGE BOARD, USER.DOC, DOWNLOAD, SOURCE CODE, and BUG REPORT. At the bottom of the sidebar, there is a search box and a link to the Site Map.

FUENTE: (OPENSEES, 2006)

OpenSees provee métodos estáticos y dinámicos no lineales, solucionadores de ecuaciones y metodologías basadas en elementos finitos, por lo que el paso fundamental en una modelación es subdividir a la estructura en elementos y nudos, para luego especificar cargas a las que está expuesto y restricciones nodales que el diseñador crea convenientemente (Nazar, 2016).

La plataforma contiene un extenso rango, con más de 70 elementos, entre 60 Modelos de materiales uniaxiales y 25 n-dimensionales que sirven para modelar el comportamiento preciso de hormigón, acero, suelo etc.

Esta plataforma trabaja como una fuente abierta al momento de realizar la modelación y simulación, cabe recalcar que no contiene interfaz gráfica, por lo que se apega más a programar en editores de texto como lo es el lenguaje TCL.

Una de las desventajas que se podría encontrar es que OpenSees no utiliza un soporte técnico (Nazar, 2016), lo que hace que encontrar errores sea algo tedioso para el diseñador.

En general los pasos a seguir para resolver un problema son:

- Definición de: nodos, elementos, materiales, condiciones de borde, restricciones y cargas si se encuentran bajo la acción de las mismas.
- Ejecución o análisis, el mismo que debe contener los métodos de solución, test de convergencia, integrador.

2.11.1 MÉTODO ANALÍTICO DESARROLLADO EN LENGUAJE TCL

TCL (Tool Comanda Language), también llamado lenguaje de herramientas de comando, que es usado para dar apoyo de los comandos de OpenSees (ESPE, 2005), se utiliza para definir geometrías, estados de carga, formulación y solución de la estructura en análisis, su código puede ser elaborado y modificado. Este lenguaje va a ser utilizado para obtener analíticamente la curva de capacidad para ello se hará uso de los manuales que se encuentran en la página oficial de OpenSees y están abiertos para todos los usuarios, con estas bases elaborar un código de programación, al ser un tema muy extenso y tedioso en el capítulo 3 se indicará las bases y procedimientos principales para su elaboración.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES EMPLEADOS Y LAS DIMENSIONES DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES

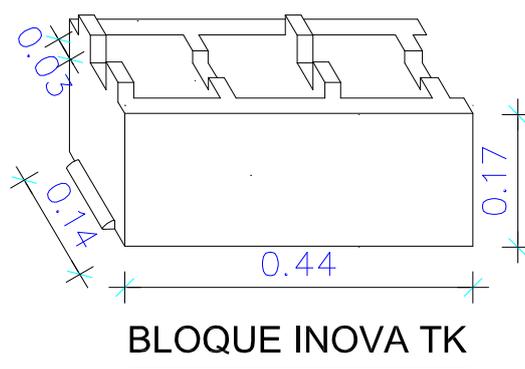
3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Los materiales que se utilizaron para los tres modelos experimentales poseían las mismas propiedades, a continuación, se describe los procedimientos que se realizaron para obtener estos valores. El ANEXO 1 muestra datos de todos los ensayos que se realizaron tanto a agregados como materiales que se utilizaron en la dosificación tanto del hormigón, como del hormigón líquido o grout y mortero de pega, ensayos que se efectuaron en el LEMSUR-EPN (Laboratorio de Ensayos de Materiales, Suelos y Rocas de la Escuela Politécnica Nacional).

3.1.1.1 *Bloque*

Tal como se muestra en la FIGURA 3.1, cada unidad de bloque dispone de las siguientes dimensiones: 440X170X140 mm.

FIGURA 3.1 BLOQUE INOVA TK: DIMENSIONES



ELABORADO POR: Aguirre-Poma

Los resultados que se muestran en la TABLA 3.1, fueron obtenidos de los ensayos que se realizaron en el LEMSUR, mismos que sirvieron para determinar la resistencia a compresión del bloque.

TABLA 3.1 BLOQUE INOVA TK: PROPIEDADES MECÁNICAS

Denominación , Unidades	Descripción	Valor
f_p' , MPa	Resistencia de diseño a la compresión del bloque	3.07
E_p , MPa	Módulo de elasticidad del bloque	2326.9611
m , kg	Masa promedio	9.29
V_n , cm ³	Volumen Neto Promedio, cm ³	10695.248
γ_p , N/m ³	Peso específico promedio	8512.378582

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A través de la ecuación 2.1 tomada de la (NTCM, 2004), se determinó la resistencia de diseño a la compresión del bloque:

$$f_p' = \frac{f_p}{1 + 2.5c_p} \quad (3.1)$$

Dónde:

f_p' : Resistencia de diseño a compresión de la unidad de mampostería

f_p : Resistencia a la compresión de las unidades de mampostería referida al área bruta.

C_p : Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las unidades de mampostería.

$C_p=0.20$ para piezas procedentes de plantas mecanizadas que prueben un sistema de control de calidad.

$C_p=0.30$ para piezas de fabricación mecanizada, pero que no cuentan con un sistema de control de calidad.

$C_p=0.35$ para piezas de elaboración artesanal.

Además, la unidad mampostería tiene un módulo de elasticidad que se obtuvo a través de la ecuación 2.7 tomada de (Crisafulli, 1997):

$$E_p = 980 * f_p'^{0.77} \quad (3.2)$$

Dónde:

E_p : módulo de elasticidad del bloque, (MPa).

3.1.1.2 Hormigón

Tanto en la cimentación como en la riostra horizontal (viga de confinamiento) el hormigón empleado tiene una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² a los 28 días, la cual fue obtenida mediante una dosificación preestablecida por el ACI-318 la cual sigue relaciones básicas entre los componentes. (Luna, 2014)

Los agregados y el cemento cuentan con propiedades que marcan un efecto considerable tanto en la resistencia como en la durabilidad del hormigón, además la cantidad necesaria de agua para su adecuada manipulación y aplicación en obra también juega un papel importante.

Como se muestra en la TABLA 3.2, con los resultados obtenidos y guiándose en los pasos sugeridos, se obtuvo la dosificación en peso.

TABLA 3.2 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA CIMENTACIÓN Y VIGA DE CONFINAMIENTO

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN $f'c=21$ Mpa			
AGUA	CEMENTO	ARENA	RIPIO
0.63	1.00	2.30	2.53

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

Los resultados de ensayos tanto para dosificación, resistencia a compresión de hormigón, grout y mortero se encuentran en el ANEXO 1.

Como se muestran en la TABLA 3.3, se tienen las características del hormigón.

TABLA 3.3 HORMIGÓN: PROPIEDADES MÉCANICAS

Denominación , Unidades	Descripción	Valor
f_c , MPa	Resistencia a la compresión del hormigón	23.28
E_c , MPa	Módulo de elasticidad del hormigón	2.27E+04
γ_p , N/m ³	Peso específico promedio	22442.00

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

A través de la ecuación 19.2.2.1.b tomada del ACI 318S-14 se determinó el módulo de elasticidad del hormigón:

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (3.3)$$

Dónde:

f'_c : Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

3.1.1.3 Mortero de Pega

La dosificación en volumen que se muestra en la TABLA 3.4 fue la que se utilizó para la elaboración del mortero, se tomó tres cubos de muestra por cada mezcla que se realizó, cada cubo mide 50X50X50mm, dando un total de 9 muestras de cubos, los cuales fueron ensayados a los 28 días de cumplir con su fraguado ver ANEXO 1. Como se muestra en la TABLA 3.5, se tiene las propiedades del mortero.

TABLA 3.4 DOSIFICACIÓN PARA MORTERO DE PEGA

DOSIFICACIÓN MORTERO DE PEGA			
AGUA	CEMENTO	ARENA	RIPIO
1.10	1.00	3.50	-

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

TABLA 3.5 MORTERO DE PEGA: PROPIEDADES MECÁNICAS

Denominación, Unidades	Descripción	Valor
f_j , MPa	Resistencia a la compresión del mortero de pega	11.10
E_j , MPa	Módulo de elasticidad del mortero de pega	1.11E+04
γ_p , N/m ³	Peso específico promedio	21309.56

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Con la siguiente expresión se puede obtener el mortero de pega en función a la resistencia de compresión (Crisafulli, 1997).

$$E_j = 1000 \cdot f_j \quad (3.4)$$

Dónde:

f_j : Resistencia a compresión del mortero de pega (kPa)

En este caso el mortero se clasifica como un M15 según la NEC-SE-MP,2015.

3.1.1.4 *Acero de Refuerzo*

De acuerdo a las normas NTE IEN 1511, ASTM A-82, ASTM A-496, el acero de refuerzo utilizado en los modelos experimentales fueron varillas corrugadas de 18 mm, estos aceros de refuerzo se utilizaron tanto para la viga cimentación como en la riostra horizontal (viga de confinamiento) de los modelos experimentales.

El esfuerzo de fluencia de las varillas corrugadas es $f_y = 420$ MPa, valor especificado por el fabricante.

3.1.1.5 *Escalerilla*

Para el modelo experimental se empleó una escalerilla conformada por varillas trelladas corrugadas, electrosoldadas perpendicularmente entre sí, con un diámetro de 6mm y un espaciado de 100mm.

El valor especificado por el fabricante del esfuerzo de fluencia de la escalerilla es $f_y = 500$ MPa.

3.1.1.6 *Hormigón Líquido o Grout*

En la parte 2.1.6 se indica que, el grout u hormigón líquido, va a depender del tamaño de la cavidad del bloque que constituye el muro de mampostería. Sabiendo que, si la dimensión menor de la cavidad es menor a 6mm se usará el grout fino y si la menor dimensión de la cavidad es mayor o igual a 6mm corresponde al uso del grout grueso.

Para el grout u hormigón líquido de este proyecto se utiliza la dosificación en peso que se muestra en la TABLA 3.6 sin cal, En el ANEXO 1, se indican los resultados obtenidos de los ensayos tanto de agregados como de los ensayos que se realizaron a compresión de los cilindros del hormigón líquido. Se muestran en la TABLA 3.7 las propiedades del grout u hormigón líquido.

TABLA 3.6 DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN LÍQUIDO O GROUT

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN LÍQUIDO O GROUT			
AGUA	CEMENTO	ARENA	RIPIO
0.83	1.00	2.25	1.00

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

TABLA 3.7 GROUT U HORMIGÓN LIQUIDO: PROPIEDADES MECÁNICAS

Denominación , Unidades	Descripción	Valor
f _{cr} , MPa	Resistencia a la compresión del grout	12.77
E _r , MPa	Módulo de elasticidad del grout	8.93E+03
γ _p , N/m ³	Peso específico promedio	21560

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A través de la ecuación encontrada en la sección 5.3.1 de la NEC-SE-MP, se determinó el módulo de elasticidad para el grout u hormigón de relleno:

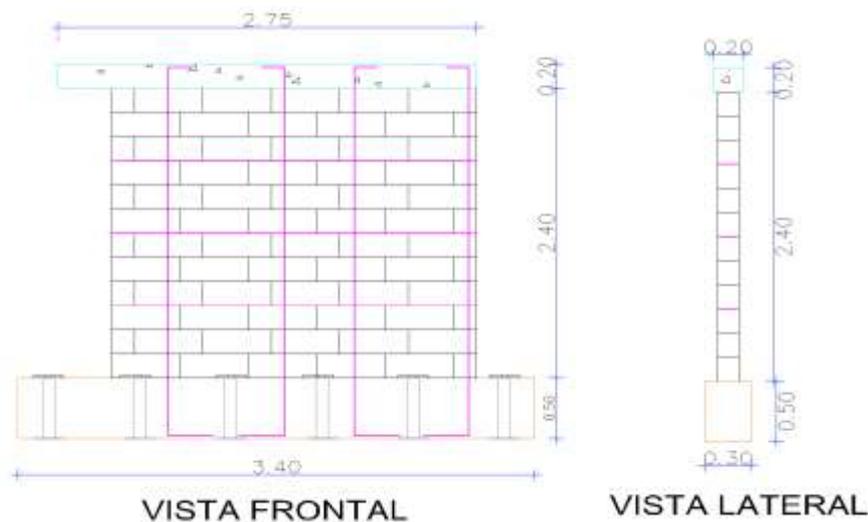
$$E_r = 2500 \cdot (f_{cr})^{1/2} \leq 20000 \text{ (MPa)} \quad (3.5)$$

Dónde:

f_{cr}: Resistencia a la compresión del grout u hormigón liquido (MPa).

3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL PARA LA MAMPOSTERÍA REFORZADA

Tomando en cuenta los requisitos mencionados en la sección 2.3, a continuación, para el Muro de Mampostería Reforzada se detalla el modelo experimental planteado.

FIGURA 3.2 DIMENSIONES DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

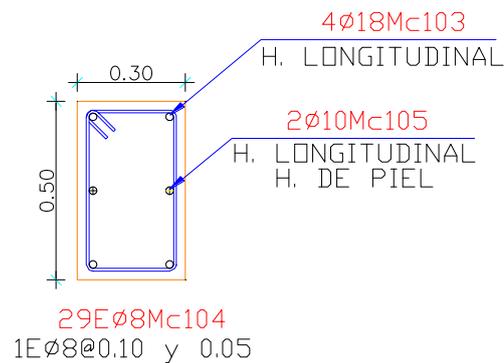
ELABORADO POR: Aguirre-Poma

Al final se obtuvieron las siguientes dimensiones: 2.40m de ancho, 3.10m de alto y un dado de 0.35m donde se coloca la placa que transmite la carga cíclica lateral desde la celda de carga hacia el muro de mampostería. Las dimensiones de los muros de mampostería reforzada se muestran en la FIGURA 3.2.

3.1.2.1 Cimentación

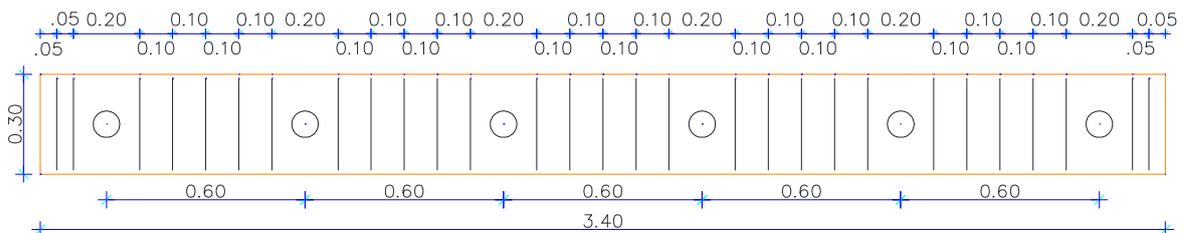
Tomando en cuenta las consideraciones de la sección 2.2.3 y conociendo las dimensiones con las que cuenta el muro de reacción del CIV (Centro de Investigación de la Vivienda-EPN) donde se ajustará el muro de mampostería reforzada, la sección de la viga de está descrita como se muestra en la FIGURA 3.3 y los estribos y su colocación se muestra en la FIGURA 3.4, con esto garantizamos el anclaje al muro de reacción.

FIGURA 3.3 DIMENSIONES Y ARMADO DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN PARA EL MODELO EXPERIMENTAL



Elaborado por: Aguirre- Poma

FIGURA 3.4 ARMADO DE ACERO TRANSVERSAL DE REFUERZO DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN



Elaborado por: Aguirre-Poma

3.1.2.2 Riostra Horizontal

Teniendo la ecuación 2.6 como base, el acero mínimo para el refuerzo longitudinal de la riostra horizontal es:

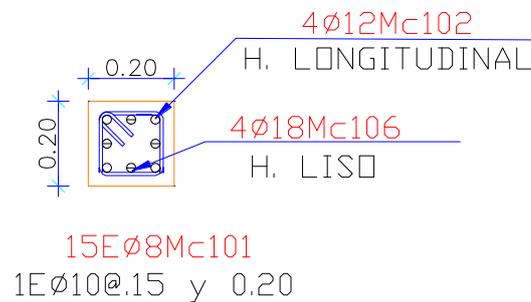
$$A_s = 0.2 * \frac{210(\text{kg/cm}^2)}{4200(\text{kg/cm}^2)} * (15\text{cm})^2 \Rightarrow A_s = 2.25\text{cm}^2 \therefore \text{se asume } 4\phi 12\text{mm}$$

Mientras el acero de refuerzo transversal es:

$$A_{sc} = \frac{1000 * 20\text{cm}}{4200(\text{kg/cm}^2) * 20\text{cm}} \Rightarrow A_s = 0.24\text{cm}^2 \therefore \text{se asume } 1\phi 8\text{mm}$$

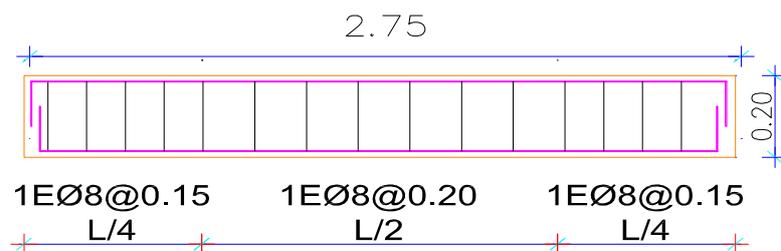
El armado de la riostra horizontal incluye los tensores, que servirán para la transferencia de carga del gato hidráulico al muro de mampostería, tal como se muestra en la FIGURA 3.5.

FIGURA 3.5 DIMENSIONES Y DISTRIBUCIÓN DEL ARMADO PARA LA RIOSTRA HORIZONTAL DEL MODELO EXPERIMENTAL



Elaborado por: Aguirre- Poma

FIGURA 3.6 ARMADO DEL ACERO TRANSVERSAL DE REFUERZO PARA LA VIGA DE CIMENTACIÓN



ELABORADO POR: Aguirre-Poma

3.1.2.3 Panel de Mampostería

El muro de mampostería consta de las siguientes dimensiones: 2.40 m de ancho por 2.40 m de alto; manteniendo la relación de 1:1 entre el ancho y alto del mismo, como se puede observar en la FIGURA 3.2.

3.1.2.3.1 Número de Bloques

Con respecto al muro de Mampostería, tomamos un espesor de cama de mortero de 2.0 cm en sentido vertical y horizontal, como se indica en la FIGURA 3.7, considerando las dimensiones del bloque 14X44,5X19,5 cm descritas en la sección 3.1.1.1; el número de bloques se determina de la siguiente forma:

En sentido vertical:

$$\text{Altura}_{\text{mampostería}} = \text{n}^{\circ}\text{filas bloques} * \text{Altura}_{\text{bloque}} + (\text{n}^{\circ}\text{filas bloque} + 2) * \text{Altura}_{\text{mortero}}$$

$$240 \text{ cm} = \text{n}^{\circ}\text{filas bloques} * 17 \text{ cm} + (\text{n}^{\circ}\text{filas bloque} + 2) * 2$$

$$\text{n}^{\circ}\text{filas bloques} = 12.42$$

En sentido horizontal:

$$\text{Ancho}_{\text{mampostería}} = \text{n}^{\circ}\text{bloques} * \text{Ancho}_{\text{bloque}} + (\text{n} * \text{bloques} - 1) * \text{Ancho}_{\text{mortero}}$$

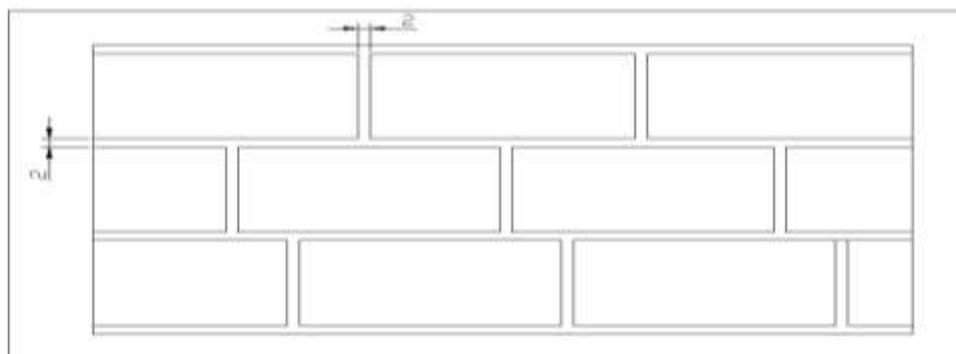
$$240 \text{ cm} = \text{n}^{\circ}\text{bloques} * 44.5 \text{ cm} + (\text{n}^{\circ}\text{filas bloques} - 1) * 2$$

$$\text{n}^{\circ}\text{bloques} = 5.20 \text{ bloques por fila}$$

$$\text{Número total de bloques requeridos} = 12.42 * 5.20 + 5\%_{\text{desperdicio}}$$

Número total de bloques requeridos = ~ 68 bloques

FIGURA 3.7 DETALLE DEL PANEL DE MAMPOSTERÍA CON CAMA DE MORTERO



ELABORADO POR: Aguirre-Poma

3.1.2.3.2 Refuerzo Vertical

Para el muro de mampostería en el modelo experimental se colocaron 4 varillas de diámetro 12 mm, con un gancho a 90° de 30 cm adherido a la base de la cimentación para que sea más fácil ponerlo en pie y con otro gancho a 90° de 15 cm al terminar en la riostra horizontal, como se puede ver en la FIGURA 3.5.

La separación del refuerzo vertical en el interior del muro no debe ser mayor a seis veces el espesor de este, ni tampoco debe ser mayor a 80 cm (NEC-SE-VIVIENDA-parte 2, 2015), sección 6.3.2.

$$S_v \leq 6t \text{ ó } 80 \text{ cm} \quad (3.6)$$

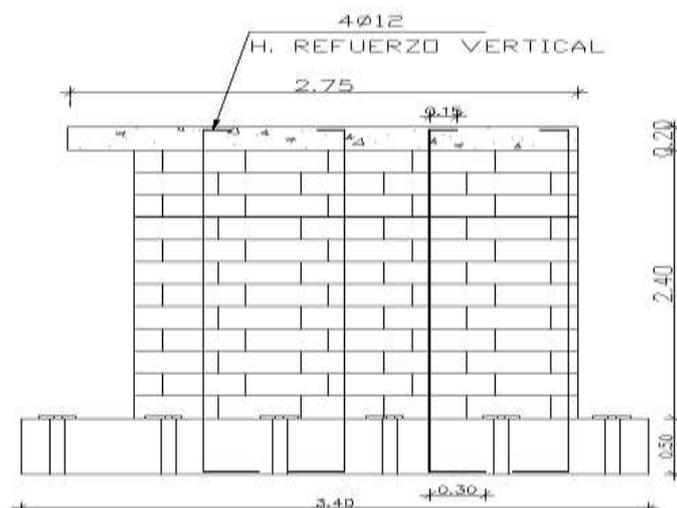
Dónde:

Sv: Refuerzo Vertical y t: Espesor del muro

$$S_v = 6(15) = 90 \text{ cm ó } 80 \text{ cm}$$

De acuerdo con la geometría del espacio donde se va a construir el modelo experimental; la colocación del refuerzo vertical en el muro se hace de tal manera que se ajuste a las cavidades donde se va anclar a la viga de cimentación, siempre y cuando cumpla con el espaciamiento ya mencionado en la ecuación 3.6.

FIGURA 3.8 DETALLE DEL PANEL DE MAMPOSTERÍA CON LOS REFUERZOS VERTICALES



ELABORADO POR: Aguirre-Poma

3.1.2.3.3 Refuerzo Horizontal

En el Muro de Mampostería Reforzada, se colocaron escalerillas a una distancia de 3 hiladas de bloques, quedando embebidas dentro del muro de mampostería reforzada ver FOTOGRAFÍA 3.1.

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-2015) indica que, el refuerzo longitudinal debe ser igual o menor a 600 mm o 6 hiladas de bloque como se observa en la figura 2.10.

FOTOGRAFÍA 3.1 COLOCACIÓN DE LA ESCALERILLA EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



FUENTE: Aguirre – Poma

3.1.2.3.4 Comprobación de Cuantía de Acero

Correspondiente a la sección 2.3.1.1 Refuerzo Vertical ecuación 2.4 y la sección 2.3.1.2 Refuerzo horizontal ecuación 2.5 se tiene lo siguiente:

$$rv = \frac{4 * \frac{1.2^2 * \pi}{4}}{76 * 14} = 0.0043 > 0.0007 \quad \text{OK}$$

$$rh = \frac{2.26 \text{ cm}^2 *}{60 * 14} = 0.00269 > 0.0007 \quad \text{OK}$$

$$rv + rh = 0.0043 + 0.00269 = 0.0070 > 0.002$$

* área obtenida de catálogo

3.1.3 PREDICCIÓN DE CARGA

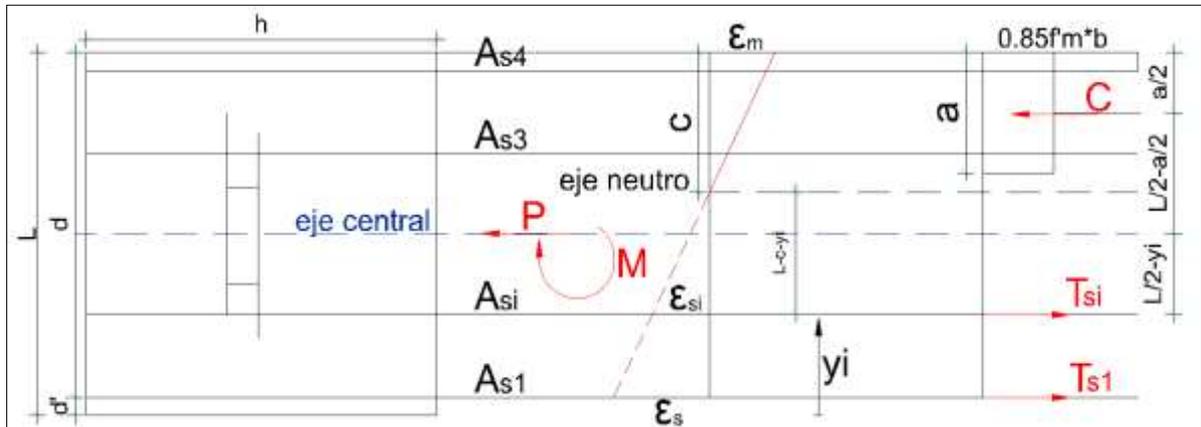
Para calcular la carga máxima que soportará el muro de mampostería reforzada se debe tomar en cuenta que la carga máxima del gato hidráulico del CIV es de 100 toneladas y la capacidad máxima de la celda es de 20 toneladas, con estos datos se puede realizar la predicción de carga y se podrá establecer la celda de carga a utilizarse en este ensayo.

Para el análisis se toma en cuenta las hipótesis de diseño por el método del estado límite de última resistencia para cargas horizontales paralelas al plano, donde solo se toma en cuenta el peso propio del muro como fuerza vertical actuante (NEC-SE-MP, 2015), a continuación, se detallan parámetros a tomar en cuenta para el diseño:

- La sección se mantiene plana.
- La resistencia a tracción de la mampostería es nula.
- La máxima deformación a compresión y tracción de la armadura depende de la fluencia que presente el material.
- El diagrama de esfuerzo-deformación de la mampostería será rectangular.
- El diagrama de esfuerzo-deformación de la armadura es el adaptado para un acero de $f_y=420\text{MPa}$.
- La deformación unitaria de la armadura varía de la misma forma que la de la mampostería. Para secciones con solo esfuerzo normal a compresión se limita a 0.002 y en secciones no totalmente comprimidas a 0.0035, en situaciones intermedias se asume que la deformación unitaria es 0.002 a $3/7$ de la altura de la sección medida desde la cara más comprimida.
- Cuando una zona comprimida incluya parte de la mampostería y parte de hormigón, se tomará la resistencia a compresión del material menos resistente para el cálculo.

A continuación, se indica el proceso y las ecuaciones empleadas para elaborar el diagrama de interacción del muro de mampostería reforzada, como se muestra en la FIGURA 3.9, se asume: $f'_m=28\text{ kg/cm}^2$, $f_y=4200\text{ kg/cm}^2$ y $E_s=2.1\text{E}+06\text{ Kg/cm}^2$.

FIGURA 3.9 ESQUEMA DE DISEÑO DEL MURO DE MAMPOSTERÍA PARA FLEJO-COMPRESIÓN



Elaborado por: Aguirre-Poma

$$A_{mw} = b * l; B = \text{espesor del muro} \quad (3.7)$$

$$P_n = [0.8 * 0.85 * f'_m (A_e - A_{st}) + A_{st} * f_y] * R_e \quad (3.8)$$

$$R_e = 1 - \left(\frac{h'}{40 * b} \right)^3 \quad (3.9)$$

$$\epsilon_{si} = \frac{L - c - yi}{c} * \epsilon_m \quad (3.10)$$

$$T_{si} = A_{si} * f_{si} \quad (3.11)$$

$$C = 0.85 * f'_m * b * a \quad (3.12)$$

$$P_n = C - \sum T_{si} \quad (3.13)$$

$$M_n = C * \left(\frac{L}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum T_{si} * \left(\frac{L}{2} - yi \right) \quad (3.14)$$

$$P_u = \phi P_n \quad (3.15)$$

$$M_u = \phi M_n \quad (3.16)$$

$$\phi = 0.6 + 0.25 \left(\frac{0.1 P_{n_{max}} - P_n}{0.1 P_{n_{max}}} \right); \text{ si } 0 \leq P_n \leq 0.1 P_{n_{max}} \quad (3.17)$$

$$\phi = 0.85; \text{ si } P_n < 0$$

$$\phi = 0.6; \text{ si } P_n > P_{n_{max}} \quad (3.18)$$

Dónde:

Re: Coeficiente que toma en cuenta los efectos de esbeltez en elementos a compresión.

h': Altura efectiva del elemento para evaluar efectos de pandeo.

Ae: Área efectiva de la sección de la mampostería.

Ast: Área total del acero de refuerzo longitudinal del elemento de confinamiento

Pn y Mn: Capacidad y momento nominales de la mampostería.

Pu y Mu: Capacidad y momento último de la mampostería.

Para la elaboración de la curva de Interacción Pn-Mn y Pu-Mu se hace uso de una hoja de cálculo Excel, en la cual se considera una relación c/d entre 0 y 1.5, haciendo uso de las ecuaciones mencionadas anteriormente ver TABLA 3.8, con la que se obtiene el Diagrama de mostrado en la FIGURA 3.10. De igual manera en la TABLA 3.9 se indica un ejemplo de cálculo para la primera relación de c/d = 0.05; para las siguientes relaciones ir al apartado ANEXO 2.

TABLA 3.8 RESULTADOS OBTENIDOS PARA OBTENER EL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

c/d	c [cm]	a [cm]	Pn [kg]	Mn [kg cm]	Pn [Ton]	Mn [Ton-m]	ϕ_{corr}	Pu [Ton]	Mu [Ton-m]
0,05	11,7	9,95	-15687	2547203,81	-15,69	25,47	0,85	-13,33	21,65
0,10	23,4	19,89	-12373	2895412,95	-12,37	28,95	0,85	-10,52	24,61
0,15	35,1	29,84	-9059	3210667,61	-9,06	32,11	0,85	-7,70	27,29
0,20	46,8	39,78	-5746	3492967,79	-5,75	34,93	0,85	-4,88	29,69
0,25	58,5	49,73	-2432	3742313,47	-2,43	37,42	0,85	-2,07	31,81
0,30	70,2	59,67	882	3958704,67	0,88	39,59	0,82	0,72	32,46
0,32	75,8	64,44	2472	4050867,01	2,47	40,51	0,77	1,89	31,03
0,35	80,7	68,62	3864	4125280,66	3,86	41,25	0,72	2,78	29,66
0,45	105,3	89,51	10823	4410151,33	10,82	44,10	0,60	6,49	26,46
0,50	117,0	99,45	14136	4494724,57	14,14	44,95	0,60	8,48	26,97
0,55	128,7	109,40	17450	4546343,33	17,45	45,46	0,60	10,47	27,28
0,60	140,4	119,34	20764	4565007,60	20,76	45,65	0,60	12,46	27,39
0,65	152,1	129,29	24077	4550717,38	24,08	45,51	0,60	14,45	27,30
0,70	163,8	139,23	27391	4503472,67	27,39	45,03	0,60	16,43	27,02
0,75	175,5	149,18	30705	4423273,48	30,70	44,23	0,60	18,42	26,54
0,80	187,2	159,12	34018	4310119,80	34,02	43,10	0,60	20,41	25,86
0,85	198,9	169,07	37332	4164011,62	37,33	41,64	0,60	22,40	24,98
0,90	210,6	179,01	40646	3984948,97	40,65	39,85	0,60	24,39	23,91
0,95	222,3	188,96	43959	3772931,82	43,96	37,73	0,60	26,38	22,64
1,00	234,0	198,90	47273	3527960,18	47,27	35,28	0,60	28,36	21,17
1,05	245,7	208,85	50587	3250034,06	50,59	32,50	0,60	30,35	19,50
1,10	257,4	218,79	53900	2939153,45	53,90	29,39	0,60	32,34	17,63
1,15	269,1	228,74	57214	2595318,35	57,21	25,95	0,60	34,33	15,57
1,20	280,8	238,68	60528	2218528,77	60,53	22,19	0,60	36,32	13,31
1,25	292,5	248,63	63841	1808784,69	63,84	18,09	0,60	38,30	10,85
1,30	304,2	258,57	67155	1366086,13	67,16	13,66	0,60	40,29	8,20
1,35	315,9	268,52	70469	890433,08	70,47	8,90	0,60	42,28	5,34
1,40	327,6	278,46	73783	381825,54	73,78	3,82	0,60	44,27	2,29
1,45	339,3	288,41	77096	-159736,48	77,10	-1,60	0,60	46,26	-0,96
1,50	351,0	298,35	80410	-734253,00	80,41	-7,34	0,60	48,25	-4,41

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

TABLA 3.9 CÁLCULO AUXILIAR PARA EL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN

pto de varilla	y	As	ϵ_{si}	fs fi	fs fi	Ts	Ts(L/2-yi)
3	234	1.130973	-0.00146154	-3069.2	0	0	0
1	158	1.130973	0.018025641	37853.8	4200	4750.09	-180503
2	82	1.130973	0.037512821	78776.9	4200	4750.09	180503
1	6	1.130973	0.057	119700	4200	4750.09	541510
Total		4.523893				14250.3	541510
ρ		0.001381					

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

Dónde fsi están en Kg/cm²; Tsi está en Kgf y Tsi*(L/2-yi) está en Kgf-cm.

FIGURA 3.10 DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre-Poma

Como se observa en la figura 3.10, en esta se encuentra incluida la fuerza vertical (peso propio del muro) igual a 2.47 T; al mismo le compete un momento flector de 40.51 T-m, al dividirlo para la altura del muro igual a 2.40 m se tiene un valor de cortante igual a 16.88 T.

Al analizar el muro de mampostería reforzada en dirección paralela a su plano, se puede determinar también la resistencia mínima a flexión a través de la ecuación 3.19:

$$M_{cr} = \frac{bl^2}{6} * f_r \quad (3.19)$$

Dónde:

M_{cr} : momento de agrietamiento

b : espesor del muro

l : longitud del muro

f_r : módulo de rotura de la mampostería

La mampostería con todas sus celdas inyectadas:

$$f_r = 0.33\sqrt{f_m} \leq 1.6 \text{ MPa} \quad (3.20)$$

La mampostería con solo las celdas con el refuerzo inyectadas:

$$f_r = 0.21\sqrt{f_m} \leq 0.8 \text{ MPa} \quad (3.21)$$

Debe cumplirse:

$$M_u \geq \alpha * M_{cr} \quad (3.22)$$

Dónde:

$\alpha=1.8$ para mampostería con todas sus celdas inyectadas.

$\alpha=3.0$ para mampostería con solo celdas con refuerzo inyectadas.

Entonces se tiene:

$$f_r = 0.21\sqrt{2.8} = 0.35 \leq 0.8 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

$$M_{cr} = \frac{14 * 240^2}{6} * 0.35 = 4.72 \text{ T.m}$$

De acuerdo con la ecuación 3.22 se tiene:

$$40.51 \geq 3.0 * 4.72$$

$$40.51 \text{ T} - \text{m} \geq 14.16 \text{ T} - \text{m} \quad \text{OK}$$

La resistencia a cortante del muro de mampostería reforzada se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$V_n = V_m + V_s \quad (3.23)$$

Dónde:

V_n : fuerza cortante resistente nominal del muro (N)

V_m : resistencia nominal para fuerza cortante contribuida por la mampostería (N)

V_s : resistencia nominal para la fuerza cortante contribuida por el refuerzo cortante (N)

TABLA 3.10 VALORES DE LA RESISTENCIA NOMINAL PARA FUERZA CORTANTE CONTRIBUIDO POR LA MAMPOSTERÍA, V_m

$\frac{M}{V_d}$	V_m
$0.25 \geq \frac{M}{V_d}$	$V_m = 0.20 A_{mv} \sqrt{f'_m}$
$0.25 < \frac{M}{V_d} < 1.00$	$V_m = [0.23 - 0.14(\frac{M}{V_d})] A_{mv} \sqrt{f'_m}$
$\frac{M}{V_d} \geq 1.00$	$V_m = 0.10 A_{mv} \sqrt{f'_m}$

FUENTE: (NEC-SE-MP, 2015)

Utilizando la TABLA 3.10 se tiene que la relación $\frac{M}{V_d} = 17.14$, por ende $V_m = 5.62 T$, las consideraciones para el cálculo de estos valores se puede encontrar en el apartado 5.8 Diseño de Muros en la dirección paralela a plano y sección 5.8.3 (b) Resistencia a Cortante en la dirección paralela al plano del muro, que se encuentra en la Norma Ecuatoriana de la construcción correspondiente a Mampostería Estructural (NEC-SE-MP, 2015).

Para calcular la resistencia Nominal para la fuerza cortante contribuida por el refuerzo horizontal de cortante V_s se hace uso de la ecuación 3.22 tomado de la NEC-SE-MP, 2015 sección 5.8.3 (c).

$$V_s = \rho_n f_y A_{mw} \quad (3.24)$$

Dónde:

f_y : resistencia a la fluencia del refuerzo cortante.

ρ_n : cuantía del refuerzo que contribuye a resistir la fuerza cortante.

A_{mw} : área efectiva para determinar esfuerzo cortante.

En la sección 3.1.1.3 literal d, se realiza el cálculo de la cuantía del refuerzo horizontal, mientras que la resistencia a la fluencia del acero se toma de catálogos correspondientes a los principales distribuidores del país.

$$V_s = 0.00269 * 5 * 140 * 2400 = 0.45 T$$

Entonces:

$$V_n = 5.62 T + 0.45 T = 6.07 T$$

$$V_n < V_{flexo-compresión}$$

$$6.07 T < 16.88 T < 20 T$$

Como se puede observar, la resistencia nominal es menor a la resistencia obtenida por flexo compresión, y las dos son menores a las 20 T que es el valor máximo para resistir al cortante; por lo tanto, se concluye que el ensayo puede ser cíclico.

3.1.4 CONTRUCCIÓN DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES

La construcción y ensayo de los muros que se detalla a continuación se realizó en el interior de las Instalaciones del Centro de Investigación de la Vivienda (CIV), de la Escuela Politécnica Nacional.

3.1.4.1 Cimentación

En la sección 3.1.2.1 se detalla el armado de la viga de cimentación; configurada la armadura se procede a colocarla en el sitio asignado para la construcción, posteriormente se coloca el encofrado verificando que las distancias de recubrimiento entre la armadura y el encofrado se encuentren en 2.5cm mismo que fue diseñada la viga. Como se muestra en la FOTOGRAFÍA 3.2.

FOTOGRAFÍA 3.2 COLOCACIÓN DEL ENCOFRADO PARA LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN



FUENTE: Aguirre – Poma

Armado ya el encofrado, se situaron 6 tubos de PVC de 3” pulgadas de diámetro, a cada 60 cm como se muestra en la FOTOGRAFÍA 3.2, esto se hizo en cada una de las vigas. Por medio de los tubos de PVC pasan los ejes de anclaje de la cimentación a la losa de reacción que existe en las instalaciones del CIV-EPN; donde se encuentran construidas las vigas de cimentación, es importante tapar la abertura de los tubos al momento del vaciado del hormigón para que no se taponen y mantener el aplome de los tubos, para posteriormente colocar los pernos de anclaje.

FOTOGRAFÍA 3.3 COLOCACIÓN DE LOS TUBOS DE PVC 3”



FUENTE: Aguirre – Poma.

Posteriormente se ubicaron las varillas $\phi 12$ del refuerzo vertical aplomadas y cumpliendo las distancias indicadas en la sección 3.1.2.3 (refuerzo vertical) tal y como se evidencia en la FOTOGRAFÍA 3.4, antes del proceso de fundición.

En la FOTOGRAFÍA 3.5 se puede observar el proceso de fundición y vibrado de hormigón, el mismo se realizó utilizando una varilla corrugada.

Al momento de la fundición es necesario tomar muestras de cilindros y hacer ensayos de resistencia a la compresión, para este caso se ensayaron cilindros a los 7, 14, y 28 días los resultados de los mismos se encuentran en el apartado ANEXOS 1. Al siguiente día de la fundición se realiza el proceso de desencofrado y curado de las vigas de cimentación, como se puede observar en la FOTOGRAFÍA 3.6.

FOTOGRAFÍA 3.4 FIJACIÓN DEL REFUERZO VERTICAL EN LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN



FUENTE: Aguirre – Poma

FOTOGRAFÍA 3.5 FUNDICIÓN Y VIBRADO DEL HORMIGÓN



FUENTE: Aguirre – Poma

FOTOGRAFÍA 3.6 PROCESO DE CURADO DE LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN



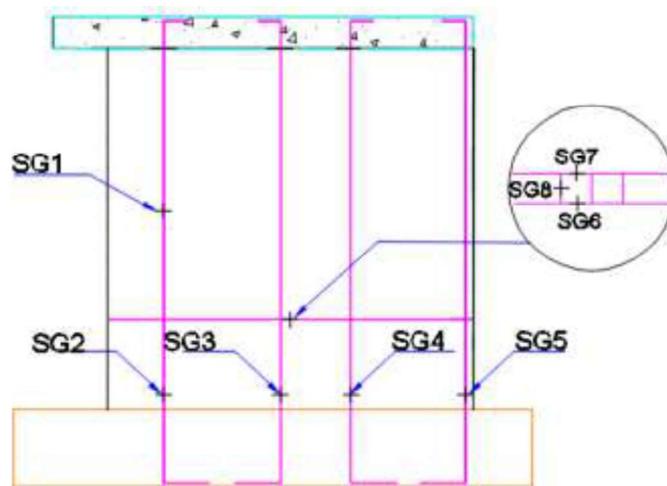
FUENTE: Aguirre – Poma

3.1.4.2 Strain Gauges

Para cada muro de mampostería reforzada se utilizó 8 Strain Gauges, con el objetivo de medir la deformación unitaria del acero, la distribución y notación de cada sensor está dada como se muestra en la FIGURA 3.11.

La notación sirve para identificar a cada sensor y saber cómo están trabajando cada uno individualmente.

FIGURA 3.11 COLOCACIÓN DE LOS SENSORES EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

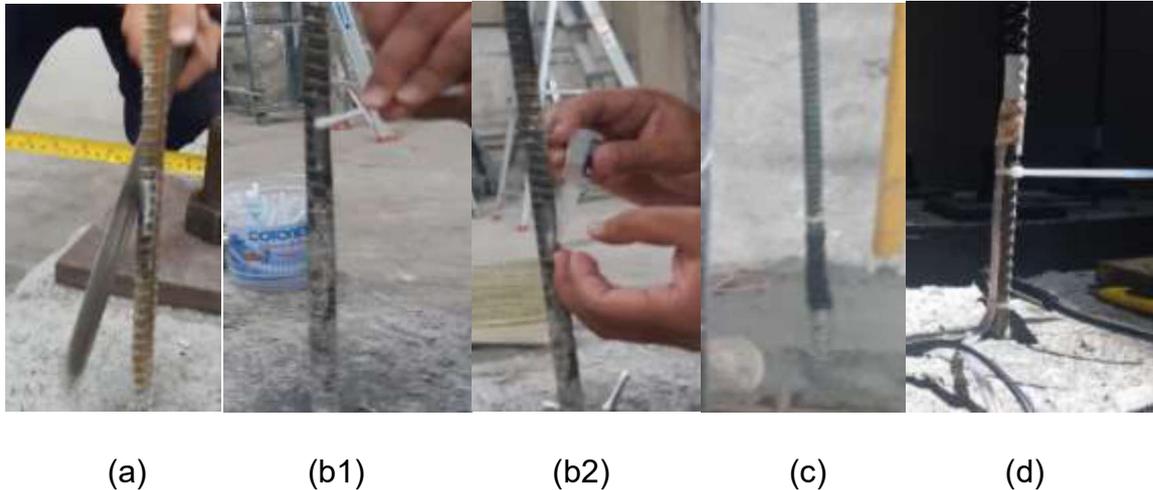
El procedimiento para la instalación de estos dispositivos es el siguiente:

- Retirar el corrugado de las varillas de una pequeña sección en donde se pueda pegar el dispositivo, y lijarlas hasta que quede totalmente lisa.
- Como siguiente paso se limpia la sección con un cotonete empapado de Cetona y luego se procede al pegado de los Strain Gauges.
- Posteriormente se los cubre con cinta auto fundente, esto para evitar que se produzcan daños al iniciar el proceso de levantamiento de la pared y vertido de hormigón en las cavidades del refuerzo vertical.

Como último paso, se procede a soldar los cables gemelos a cada Strain Gauge; esto con el fin de obtener mediciones al momento de efectuar el ensayo. En la

FOTOGRAFÍA 3.7 se puede observar el procedimiento para la instalación de estos dispositivos.

FOTOGRAFÍA 3.7 PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS STRAIN GAUGES



FUENTE: Aguirre – Poma

3.1.4.3 *Panel de Mampostería*

Las dimensiones establecidas para la construcción del panel de Mampostería son de 2.40 m x 2.40 m, dimensiones ya establecidas en la sección 3.1.2.3, de acuerdo con el número de bloques calculados en la misma sección literal (a), se empezó el levantamiento de la primera fila, verificando que cada bloque se encuentre alineado y aplomado correctamente, como se muestra en la FOTOGRAFÍA 3.8.

FOTOGRAFÍA 3.8 LEVANTAMIENTO DEL PANEL DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



FUENTE: Aguirre – Poma

El refuerzo longitudinal (escalerillas ϕ 4mm) fue colocando cada 3 hileras de bloque, quedando embebidas dentro del muro y el mortero de pega, tal ver FOTOGRAFÍA 3.9.

FOTOGRAFÍA 3.9 COLOCACIÓN DE ESCALERILLA EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



FUENTE: Aguirre – Poma

Luego de terminar con el levantamiento del panel de mampostería, lo siguiente es rellenar las cavidades donde se encuentra el acero de refuerzo vertical; para ello se fue vertiendo el grout y haciendo el vibrado del mismo, hasta rellenar por completo las zonas donde se encontraba el acero tal como se observa en la FOTOGRAFÍA 3.10.

FOTOGRAFÍA 3.10 VERTIDO DEL GROUT EN LAS CAVIDADES DONDE SE ENCUENTRA EL ACERO DE REFUERZO VERTICAL



FUENTE: Aguirre – Poma

3.1.4.4 Riostra Horizontal

El procedimiento para el armado y encofrado de la riostra horizontal es el mismo que para la viga de cimentación, con una variante, esta debe estar apoyada, alineada y centrada en el muro de mampostería reforzada ver FOTOGRAFÍA 3.11 comprobando también que las varillas colocadas como tensores definidas en la sección 3.1.2.2, se encuentren adecuadamente ubicadas, y encajen con la placa de carga, para no tener inconvenientes al momento de realizar el ensayo.

FOTOGRAFÍA 3.11 COLOCACIÓN DEL ARMADO Y VARILLAS TENSORES PARA LA RIOSTRA HORIZONTAL



FUENTE: Aguirre – Poma

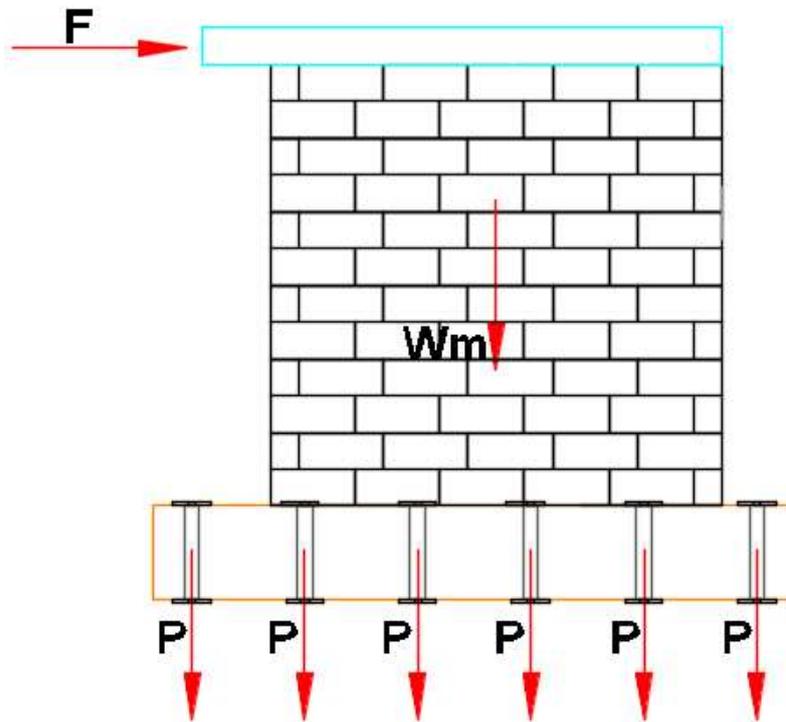
3.1.5 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PARA CADA MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA A TRAVÉS DEL ENSAYO A CARGA LATERAL

3.1.5.1 Pretensado

Los ejes ejercen una fuerza de anclaje para los muros de mampostería reforzada, la cual se obtuvo de la ecuación 3.4, fuerza que permite proteger del volcamiento al muro de mampostería reforzada.

Para evitar el desplazamiento de la base del muro de mampostería reforzada se dispuso de 6 pernos para anclar el muro a la losa de anclaje, tal y como se evidencia en la FIGURA 3.12. Todos los pernos de anclaje fueron pretensados de acuerdo con la fuerza calculada a través de la ecuación 3.25.

FIGURA 3.12 ESQUEMA DE FUERZAS QUE INTERVIENEN PARA EL PRETENSADO DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

$$P = \frac{\frac{F}{\mu} - W_m}{6} \quad (3.25)$$

$$P = \frac{\frac{16.88}{0.30} - 2.47}{6}$$

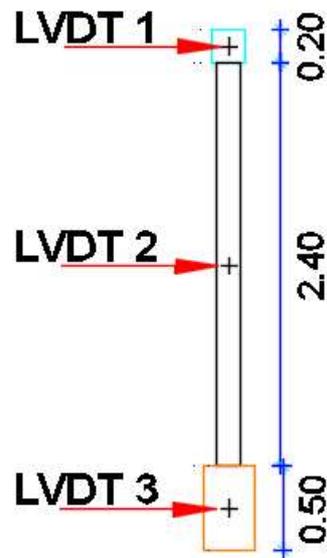
$$P = 8.97 T$$

3.1.5.2 Preparación del Ensayo

Para el ensayo se colocaron 3 LVDT (Linear Variable Differential Transformer) en el muro de mampostería reforzada, esto sirvió para controlar y determinar el desplazamiento, los cuales fueron colocados, uno en la cimentación, otro en el centro del muro de mampostería y un tercero en la riostra (viga de confinamiento) tal como se indica en la FIGURA 3.13.

Siendo el más importante el que fue colocado en el centro de la de la riostra.

FIGURA 3.13 DISPOSICIÓN DE LVDT EN EL MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

En la FOTOGRAFÍA 3.12 se muestra la colocación de LVDT en el muro de mampostería.

FOTOGRAFÍA 3.12 COLOCACIÓN DE LVDT EN CADA MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA



FUENTE: Aguirre – Poma

3.1.5.3 Definición del Protocolo de Carga

Para la definición del protocolo de carga a utilizar en este ensayo se utilizó el Método C (CUREE Basic Loading Protocol) de la norma ASTM E2126-11, este método implica ciclos de desplazamiento, estos están agrupados en fases de desplazamiento creciente. El protocolo de carga empieza con una serie de (seis) ciclos con amplitudes pequeñas (de igual magnitud). Además, cada fase del protocolo de carga consiste en un ciclo primario con la amplitud expresada como una fracción (%) de la deformación de referencia (Δ) y los ciclos posteriores con una amplitud del 75% del primero.

La deformación de referencia (Δ) será una estimación del desplazamiento máximo, valor que no debe exceder al 0.025 veces de la altura de la pared, en este ensayo no debe ser mayor a 60mm.

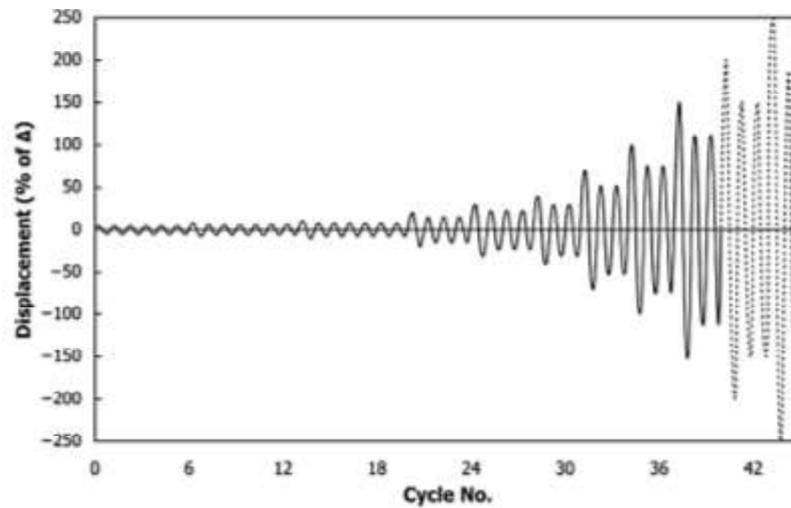
Cada fase posterior debe consistir en un ciclo primario con un aumento en la amplitud de α ($\alpha \leq 0.5$) sobre el ciclo primario anterior, seguido de dos ciclos finales con una amplitud del 75% del ciclo primario.

Como se muestra en la TABLA 3.11, si el muro de mampostería reforzada no ha fallado al finalizar la fase 8, se agregarán fases adicionales.

TABLA 3.11 MÉTODO C: AMPLITUD DE CICLOS PRIMARIOS

Patrón	Pasos	Número Mínimo de Ciclos	Amplitud del Ciclo Primario, % Δ
1	1	6	5.00
2	2	7	7.50
	3	7	10.00
3	4	4	20.00
	5	4	30.00
4	6	3	40.00
	7	3	70.00
	8	3	100.00
	9	3	100+100 α
	10	3	incremento adicional de 100 α (hasta la falla del espécimen)

ELABORADO POR: Aguirre- Poma

FIGURA 3.14 PATRÓN DE DESPLAZAMIENTO CÍCLICO

FUENTE: (ASTM, 2011)

Para aplicar la carga cíclica lateral se empleó un sistema conformado por: un gato hidráulico de doble acción y una celda de carga, acoplados al muro de mampostería a través de una placa de carga; adicionalmente se utilizó una guía metálica esto para impedir que el muro de mampostería se desvié fuera de su plano.

FOTOGRAFÍA 3.13 EQUIPO DE APLICACIÓN DE CARGA A CADA MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

FUENTE: Aguirre - Poma

3.1.5.4 Descripción del Ensayo

Tomando en cuenta que al aplicar una carga vertical se proporcionaría una mayor estabilidad al muro de mampostería reforzada y lo que se busca con este estudio es analizar su comportamiento ante carga lateral, no se aplicará ninguna carga vertical sobre el mismo para poder tener la condición más desfavorable para el muro de mampostería.

La descripción del ensayo se detalla a continuación para cada muro de mampostería reforzada.

Los tres muros de mampostería reforzada fueron sometidos a 10 ciclos de carga, tomando en cuenta que se consideró sentido positivo cuando el muro era empujado (hacia la izquierda) y sentido negativo cuando el muro era halado (hacia la derecha). Como se muestra en la FOTOGRAFÍA 3.14.

FOTOGRAFÍA 3.14 PRIMER MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA ANTES DEL ENSAYO



FUENTE: Aguirre – Poma

Se muestra en la TABLA 3.12, el resumen de cargas y desplazamientos máximos que soportó el primer muro de mampostería reforzada para cada ciclo.

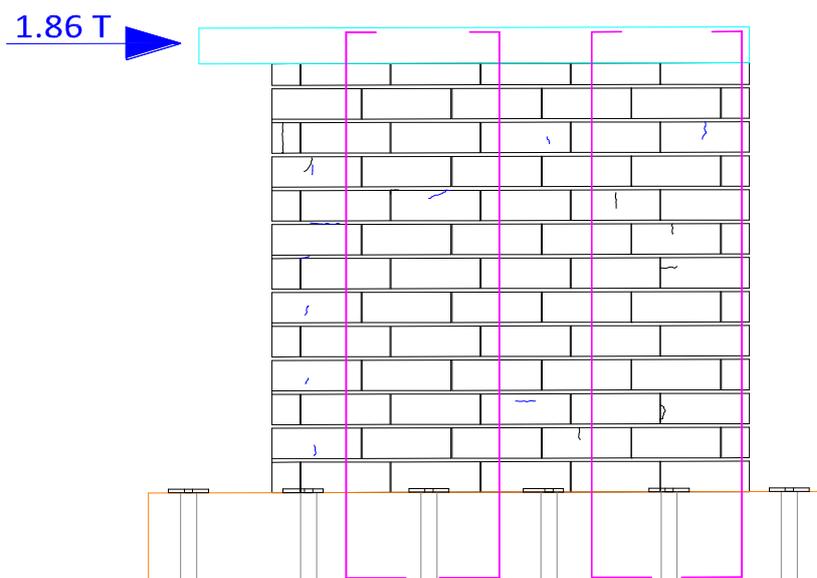
TABLA 3.12 PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA CADA CICLO

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)	Carga (kN)	NEGATIVO (HALADO)	Carga (kN)
	Desplazamiento (mm)		Desplazamiento (mm)	
CICLO 1	0.72	8.24	-0.73	-7.45
CICLO 2	1.15	10.40	-1.18	-9.12
CICLO 3	1.52	11.77	-1.47	-10.69
CICLO 4	3.12	16.48	-3.02	-16.57
CICLO 5	4.45	18.24	-4.50	-19.42
CICLO 6	6.02	20.99	-6.00	-22.75
CICLO 7	10.52	26.67	-10.57	-31.58
CICLO 8	15.06	29.42	-15.10	-35.30
CICLO 9	22.55	32.75	-22.66	-37.95
CICLO 10	34.12	31.68	-33.92	-38.54
CICLO 11	43.75	30.69		

ELABORADO POR: Aguirre- Poma

A continuación, se indican las fisuras que fueron apareciendo conforme se aumentaba la carga lateral para cada ciclo, donde las fisuras de color azul son originadas por la fuerza positiva (empuje) y las de color rojo son originadas por la fuerza negativa (halado):

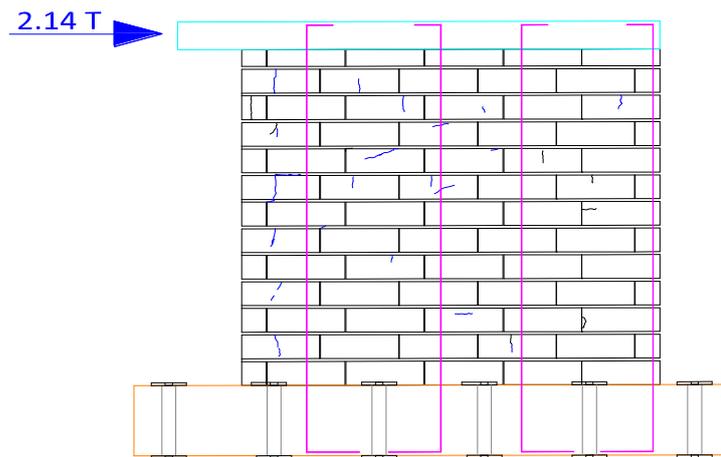
FIGURA 3.15 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 1.86 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.15, las primeras fisuras que aparecieron en el muro de mampostería reforzada fueron a una carga de 1.86T con un desplazamiento de 4.45mm en la parte superior del muro.

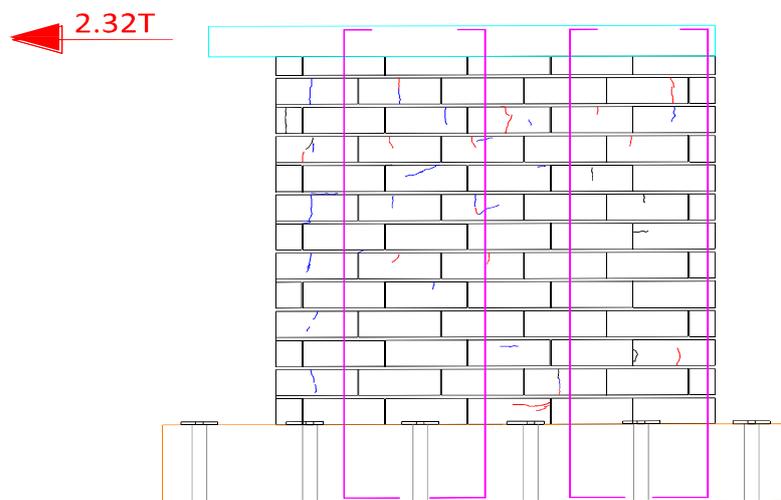
FIGURA 3.16 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 2.14 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.16, las fisuras para una carga de 2.14T con un desplazamiento de 6.02mm aparecen en la parte izquierda y superior del muro.

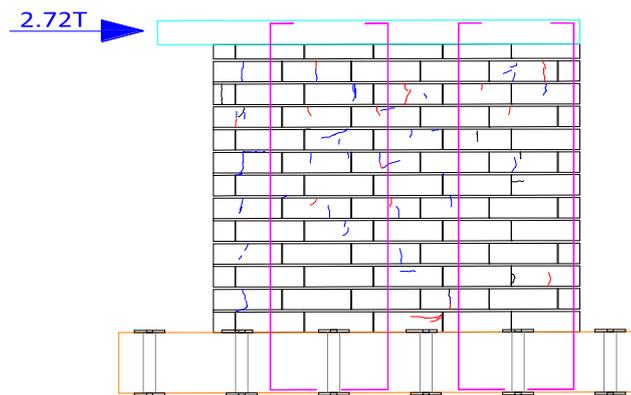
FIGURA 3.17 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 2.32 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.17, las fisuras a una carga de 2.32T con un desplazamiento de -6.00mm fueron apareciendo en la parte superior del muro y otras cuantas en la parte inferior derecha del muro.

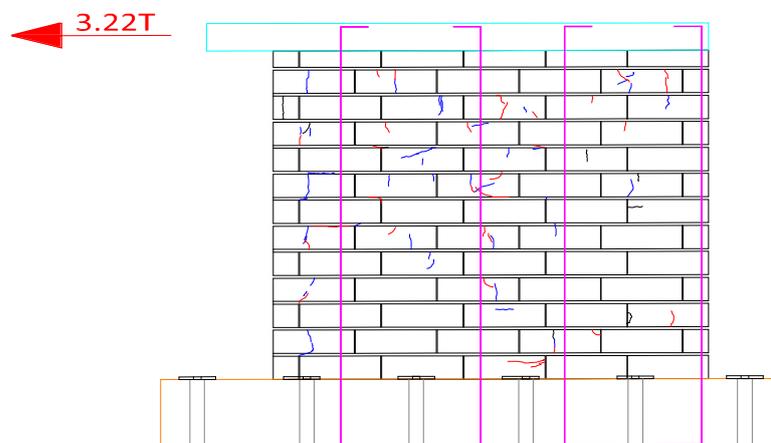
FIGURA 3.18 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 2.72 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.18, las fisuras a una carga de 2.72T con un desplazamiento de 10.52mm fueron apareciendo en la parte superior del muro, algunas de ellas fueron creciendo después de la aplicación de la carga del anterior ciclo.

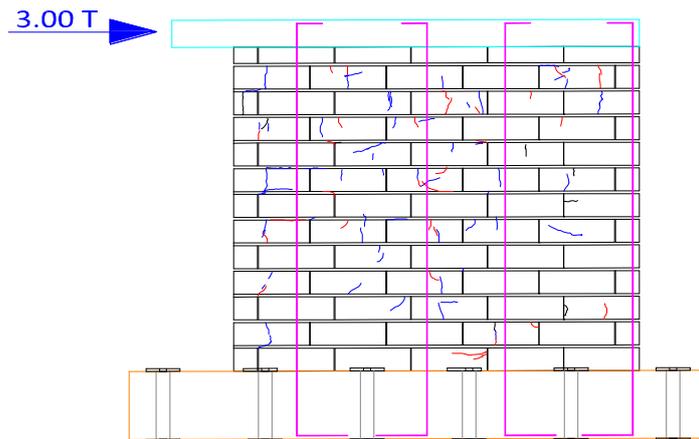
FIGURA 3.19 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 3.22 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.19, las fisuras a una carga de 3.22T con un desplazamiento de -10.57mm aparecieron en la parte superior del muro, mientras las fisuras del lado izquierdo fueron creciendo.

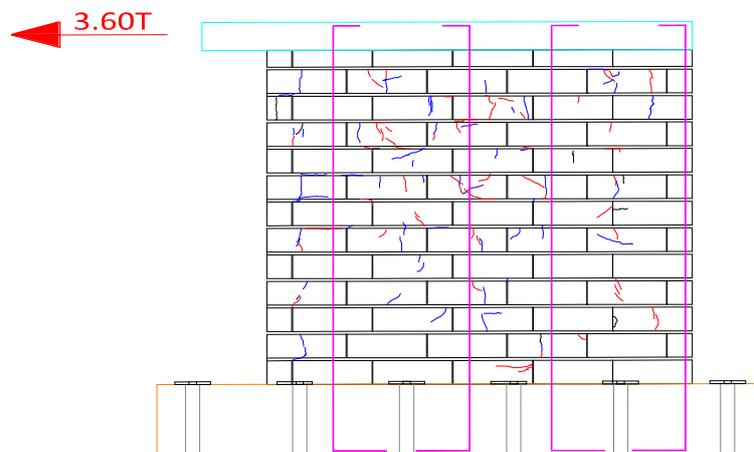
FIGURA 3.20 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 3.00 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.20, las fisuras a una carga de 3.00T con un desplazamiento de 15.06mm aparecieron en la parte superior del muro, mientras las fisuras del lado izquierdo fueron creciendo.

FIGURA 3.21 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 3.60 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.21, las fisuras a una carga de 3.60T con un desplazamiento de -15.10mm se fueron propagando en la parte superior central del muro de mampostería reforzada.

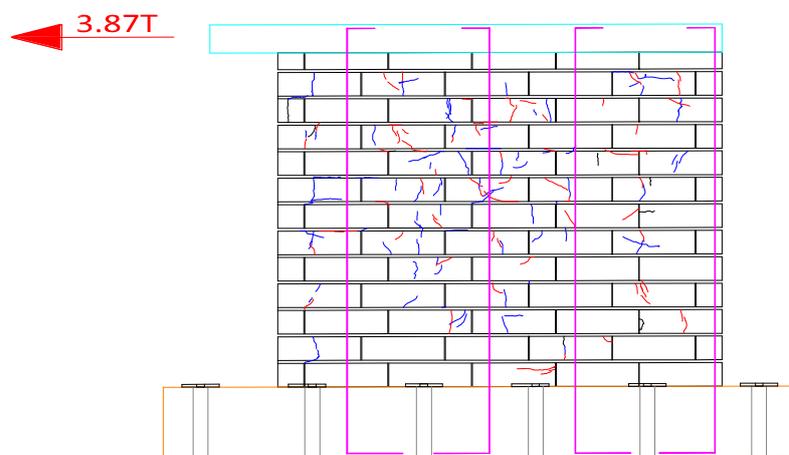
FIGURA 3.22 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 3.34 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Las fisuras a una carga de 3.34T con un desplazamiento de 22.55mm se fueron propagando, además fueron apareciendo nuevas fisuras, concentrándose en la parte central del muro de mampostería reforzada, ver FIGURA 3.22.

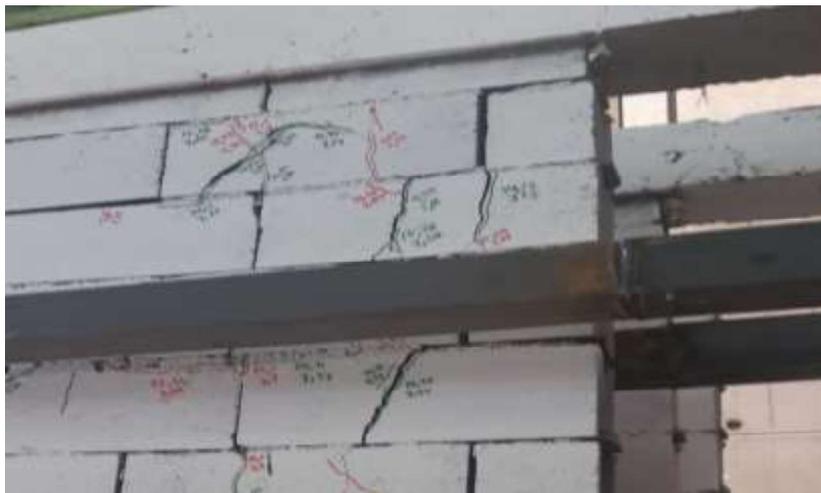
FIGURA 3.23 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 3.87 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

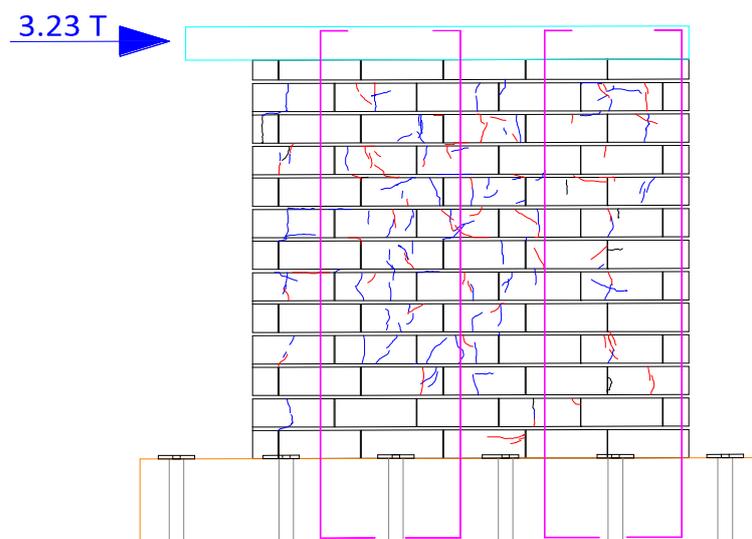
Como se muestra en la FIGURA 3.23, las fisuras a una carga de 3.87T con un desplazamiento de -22.66mm se fueron propagando, la fisura de los bloques de la parte superior derecha de la segunda, tercera y quinta fila aumentaron su tamaño casi a 4mm.

FOTOGRAFÍA 3.15 FISURAS EN LOS BLOQUES DE LA SEGUNDA, TERCERA Y QUINTA FILA



FUENTE: Aguirre – Poma

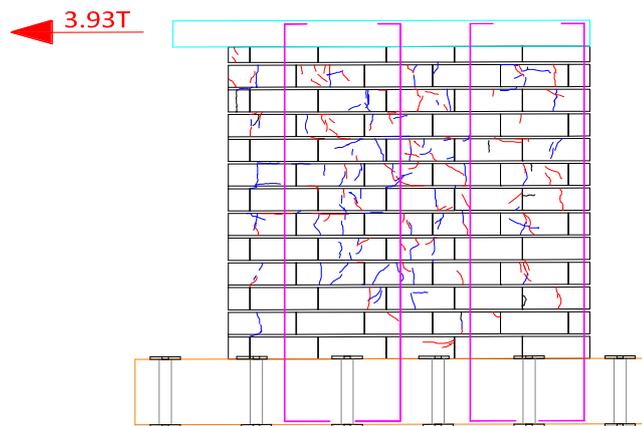
FIGURA 3.24 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 3.23 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.24, las fisuras a una carga de 3.23T con un desplazamiento de 34.12mm se fueron propagando, las fisuras se hicieron más evidentes en la parte superior central del muro de mampostería reforzada cerca del reforzamiento vertical central del muro.

FIGURA 3.25 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 3.93 T



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.25, las fisuras a una carga de 3.93T con un desplazamiento de -33.92mm se concentraron en la parte superior central del muro de mampostería, en este punto ya hubo desprendimientos pequeños de bloque.

FOTOGRAFÍA 3.16 PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA AGOTADO TOTALMENTE



FUENTE: Aguirre – Poma

Como se muestra en la FOTOGRAFÍA 3.16, el muro de mampostería reforzada fue llevado al agotamiento total, alcanzando un desplazamiento de 43.00mm a una carga de 3.2T.

FIGURA 3.26 PROTOCOLO DE CARGA PARA EL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FOTOGRAFÍA 3.17 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ANTES DEL ENSAYO



FUENTE: Aguirre - Poma

En la TABLA 3.13, se indica las cargas y desplazamientos máximos que soportó el segundo muro de mampostería reforzada para cada ciclo.

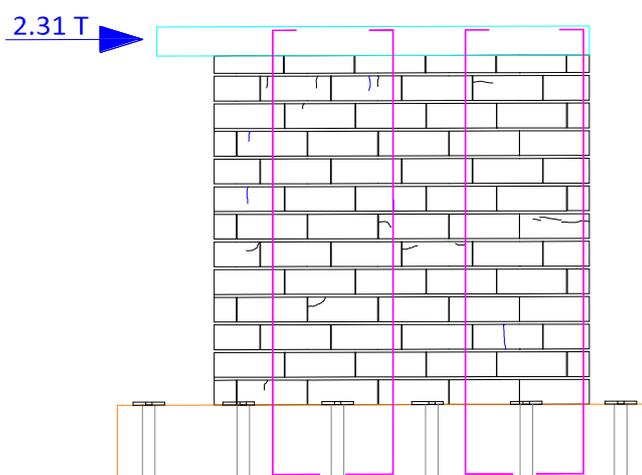
TABLA 3.13 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA CADA CICLO

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)	Carga (kN)	NEGATIVO (HALADO)	Carga (kN)
	Desplazamiento (mm)		Desplazamiento (mm)	
CICLO 1	0.79	9.81	-0.76	-11.18
CICLO 2	1.14	1.08	-1.13	-1.47
CICLO 3	1.51	14.32	-1.51	-17.55
CICLO 4	3.05	22.65	-3.03	-22.95
CICLO 5	4.53	28.73	-4.50	-29.62
CICLO 6	6.03	32.66	-6.00	-35.21
CICLO 7	10.29	44.62	-10.37	-53.15
CICLO 8	15.08	53.84	-15.08	-64.33
CICLO 9	22.37	61.49	-22.45	-74.53
CICLO 10	29.15	63.45	-29.57	-54.62

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A continuación, se indican las fisuras que fueron apareciendo conforme se aumentaba la carga lateral para cada ciclo, donde las fisuras de color azul son originadas por la fuerza positiva (empuje) y las de color rojo son originadas por la fuerza negativa (halado):

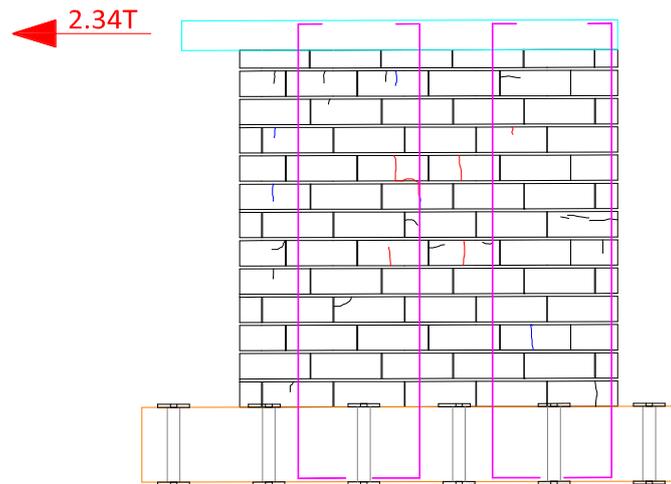
FIGURA 3.27 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 4 A 2.31 T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.27, las primeras fisuras que aparecieron en el muro de mampostería reforzada fueron a una carga de 2.31T con un desplazamiento de 3.05mm en diferentes partes del muro.

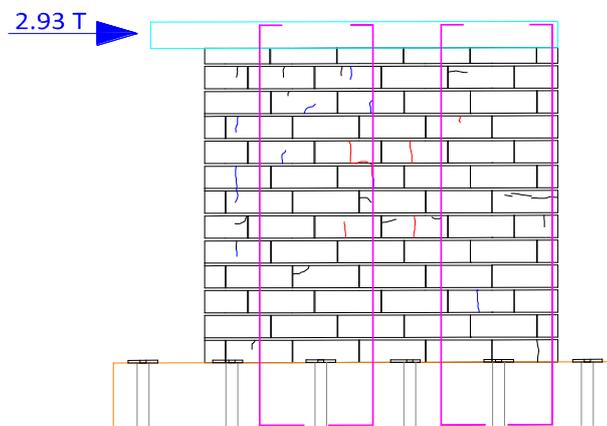
FIGURA 3.28 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 4 A 2.34 T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

En la FIGURA 3.28 observamos que, en la parte superior central del muro las fisuras que aparecieron fueron a una carga de 2.34T con un desplazamiento de - 3.03mm.

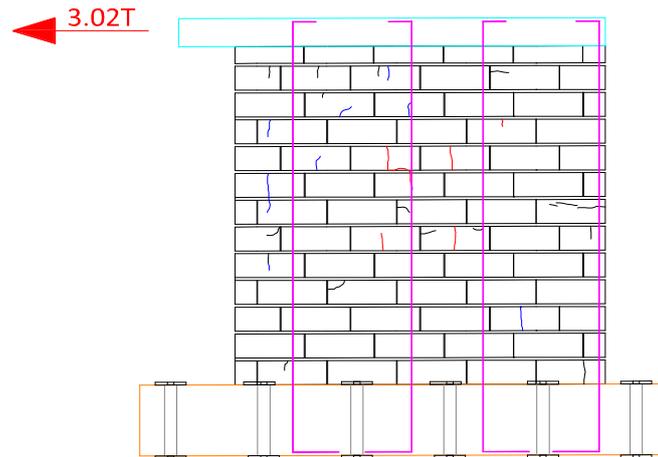
FIGURA 3.29 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 2.93 T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se muestra en la FIGURA 3.29, las fisuras en el muro de mampostería reforzada fueron a una carga de 2.93T con un desplazamiento de 4.53mm se prolongaron, además aparecieron nuevas pequeñas fisuras.

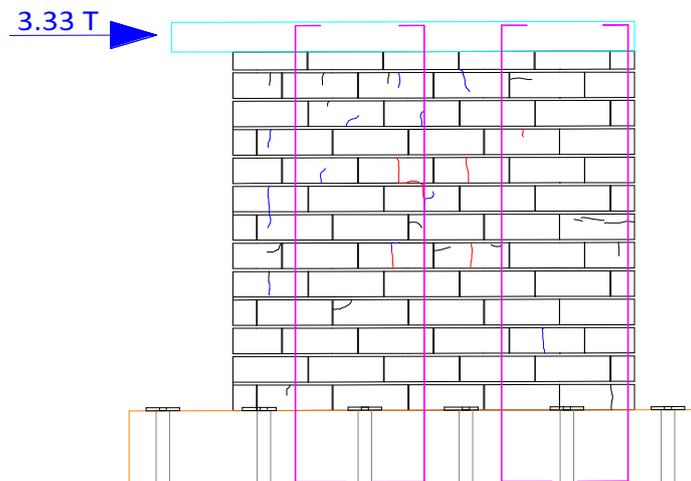
FIGURA 3.30 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 3.02 T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 3.02T con un desplazamiento de -4.50mm no se presentaron nuevas fisuras, ver FIGURA 3.30.

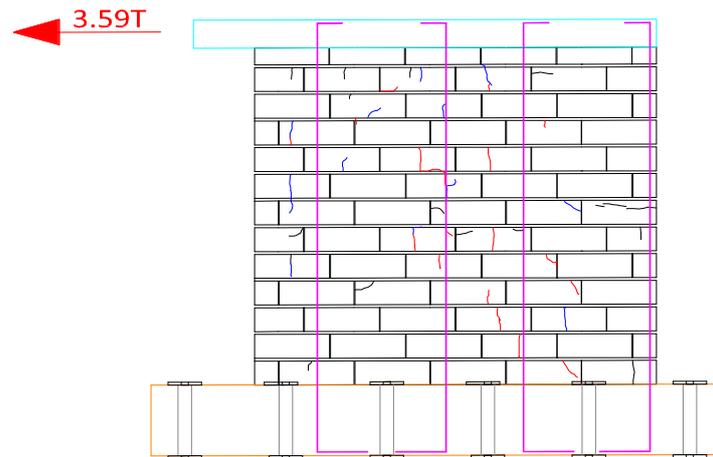
FIGURA 3.31 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 3.33T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 3.33T con un desplazamiento de 6.03mm las fisuras que se observaron en el anterior ciclo se propagaron, tal y como se evidencia en la FIGURA 3.31.

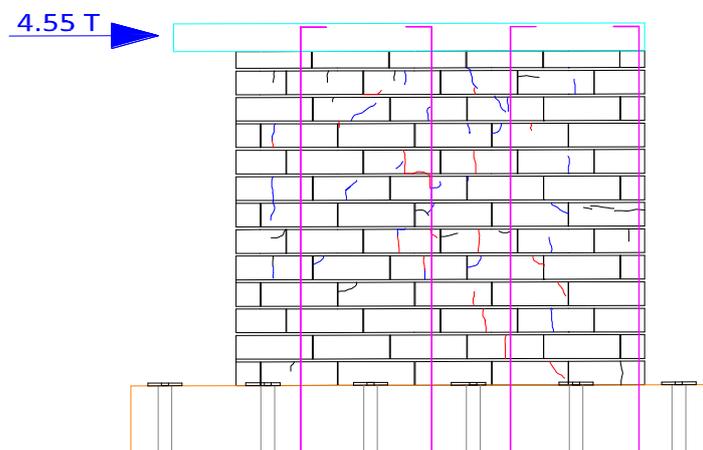
FIGURA 3.32 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 3.59T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 3.59T con un desplazamiento de -6.00mm se evidenciaron nuevas fisuras en la parte central inferior del muro de mampostería reforzada entre los dos refuerzos verticales, tal como se indica en la FIGURA 3.32.

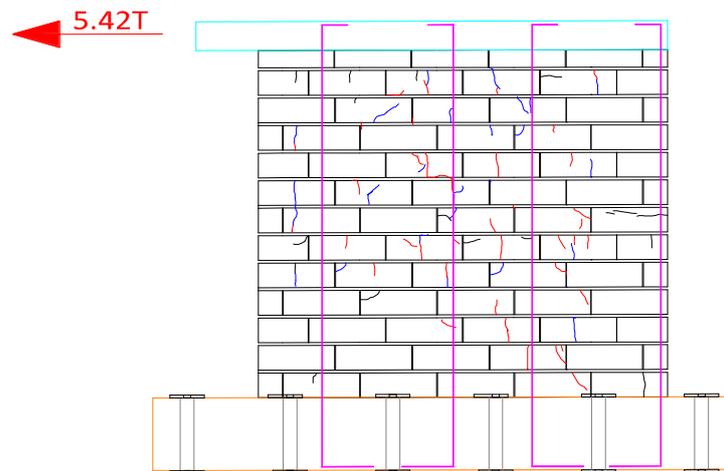
FIGURA 3.33 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 4.55T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 4.55T con un desplazamiento de 10.29mm las fisuras ya existentes se propagaron, ver FIGURA 3.33.

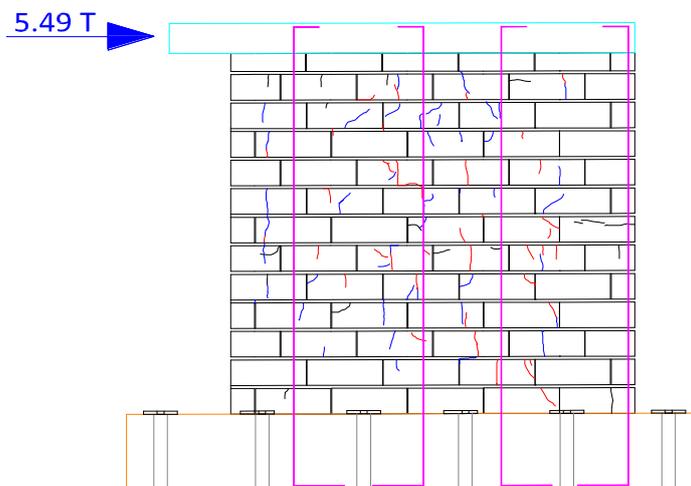
FIGURA 3.34 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 5.42T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 5.42T con un desplazamiento de -10.37mm las fisuras ya existentes se propagaron, además aparecieron nuevas fisuras en la parte central del muro de mampostería reforzada, ver FIGURA 3.34.

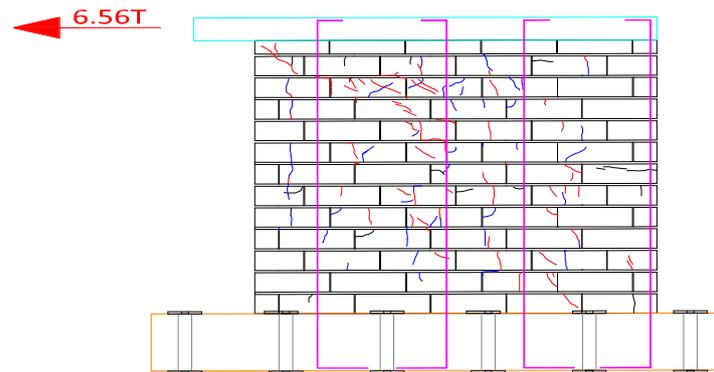
FIGURA 3.35 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 5.49T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 5.49T con un desplazamiento de 15.08mm las fisuras ya existentes se propagaron, además aparecieron nuevas fisuras en diferentes partes del muro de mampostería reforzada, ver FIGURA 3.35.

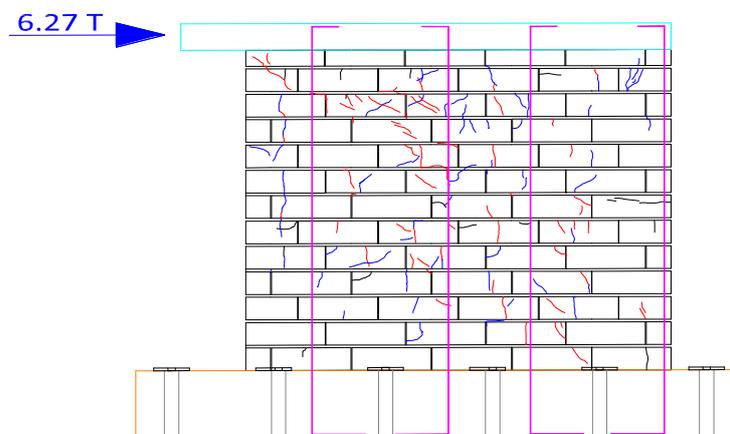
FIGURA 3.36 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 6.56T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 6.56Ton con un desplazamiento de -15.08mm las fisuras ya existentes se propagaron, además aparecieron nuevas fisuras en la parte superior central del muro de mampostería reforzada entre los refuerzos verticales, ver FIGURA 3.36.

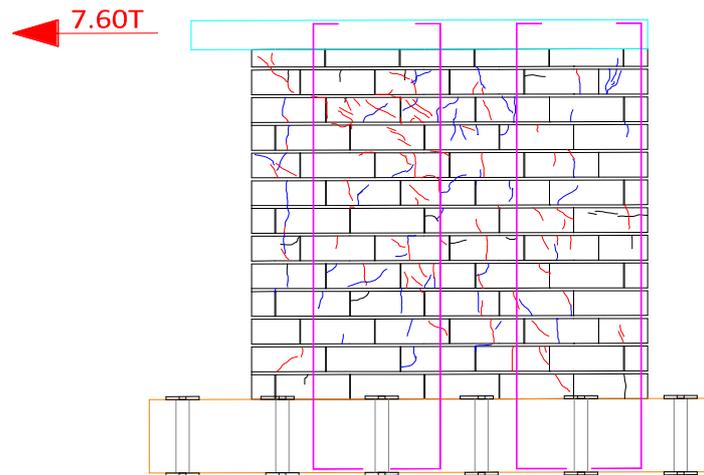
FIGURA 3.37 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 6.27T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

En la FIGURA 3.37, a una carga de 6.27T con un desplazamiento de 22.37mm las fisuras ya existentes se propagaron, además en este muro aparecieron fisuras en la parte superior izquierda, lo que no sucedió en el primer muro.

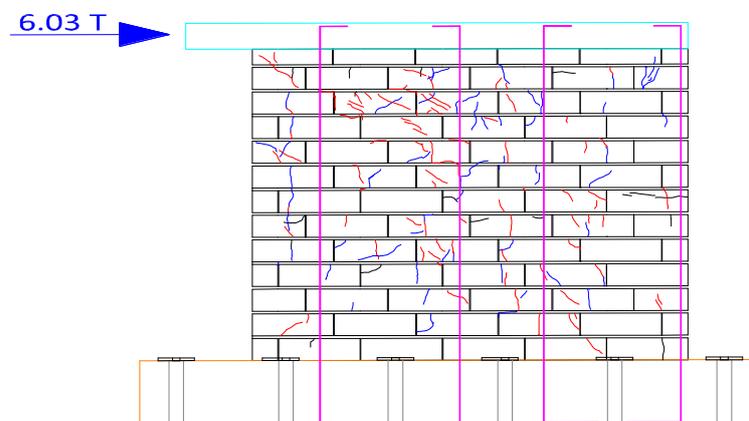
FIGURA 3.38 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 7.60T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 7.60 T con un desplazamiento de -22.45mm las fisuras ya existentes se propagaron, además en este muro aparecieron fisuras en la parte superior izquierda, ver FIGURA 3.38.

FIGURA 3.39 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 6.03T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

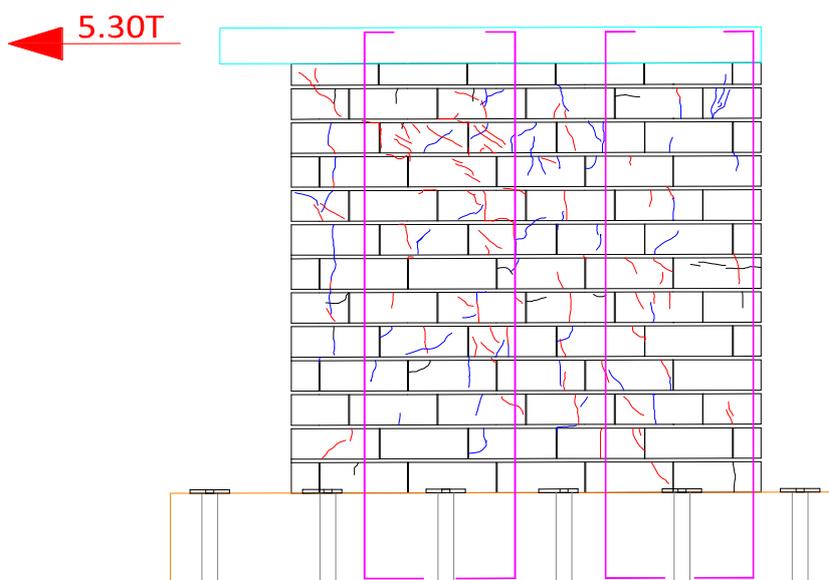
En la FIGURA 3.39, a una carga de 6.03T con un desplazamiento de 29.73mm las fisuras ya existentes se propagaron, además las fisuras en la parte superior central aumentaron y hubo desprendimiento de bloque.

FOTOGRAFÍA 3.18 FISURAS EN LA PARTE SUPERIOR CENTRAL DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 3.40 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 5.30T



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A una carga de 5.30T con un desplazamiento de -30.00 mm las fisuras ya existentes se propagaron, tal como se muestra en la FIGURA 3.40.

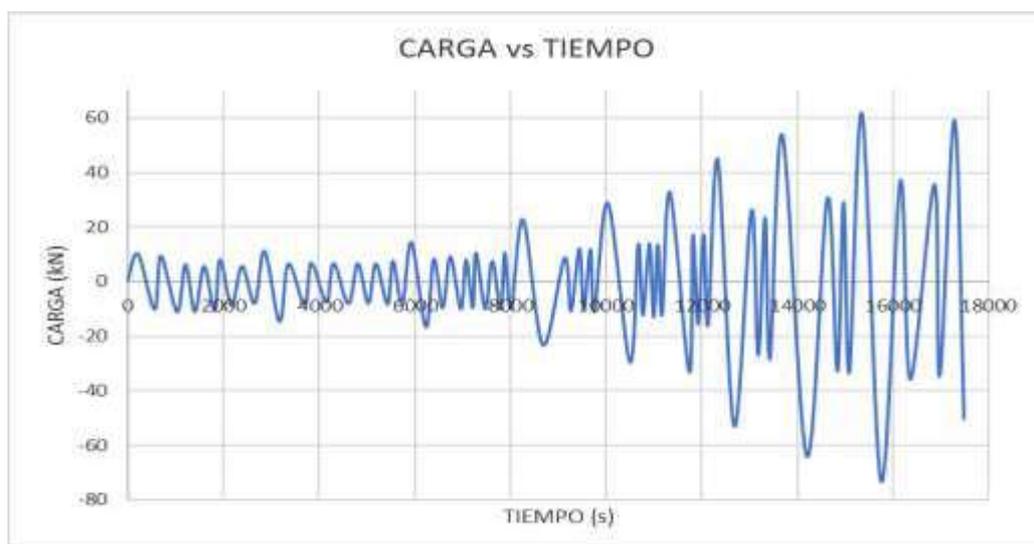
FOTOGRAFÍA 3.19 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA AGOTADO TOTALMENTE



FUENTE: Aguirre - Poma

Como se muestra en la FOTOGRAFÍA 3.19, el muro de mampostería reforzada fue llevado al agotamiento total, alcanzando un desplazamiento de -30.00mm a una carga de 5.30T.

FIGURA 3.41 PROTOCOLO DE CARGA PARA EL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

FOTOGRAFÍA 3.20 TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ANTES DEL ENSAYO



FUENTE: Aguirre – Poma

Como se muestra en la TABLA 3.14, se tiene el resumen de cargas y desplazamientos máximos que soportó el tercer muro de mampostería reforzada para cada ciclo.

TABLA 3.14 TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA CADA CICLO

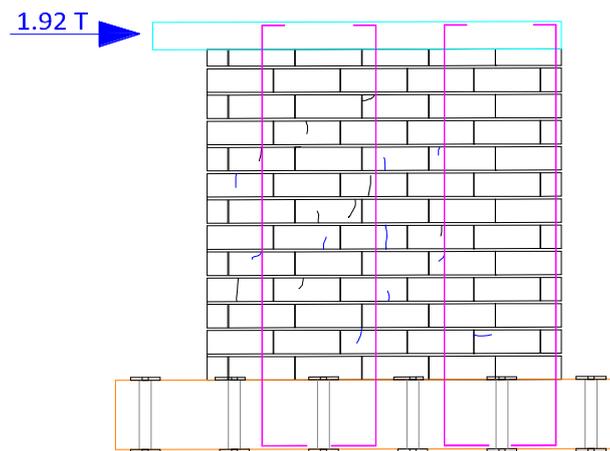
N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)	
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)
CICLO 1	0.80	3.92	-0.72	-7.26
CICLO 2	1.25	6.37	-1.14	-4.31
CICLO 3	1.51	7.55	-1.52	-10.98
CICLO 4	3.00	18.83	-3.11	-17.16
CICLO 5	4.52	25.79	-4.55	-22.26
CICLO 6	6.00	29.22	-6.07	-27.95
CICLO 7	10.14	27.46	-10.14	-42.27
CICLO 8	15.00	38.93	-15.16	-50.50
CICLO 9	22.53	50.21	-22.45	-56.68
CICLO 10	33.30	58.45	-33.52	-53.94
CICLO 11	38.70	41.19	-41.80	-36.28

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A continuación, se indican las fisuras que fueron apareciendo conforme se aumentaba la carga lateral para cada ciclo, donde las fisuras de color azul son

originadas por la fuerza positiva (empuje) y las de color rojo son originadas por la fuerza negativa (halado):

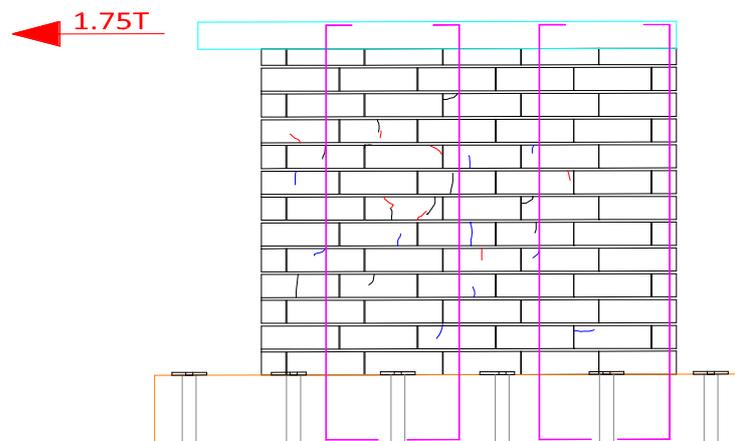
FIGURA 3.42 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 4 A 1.92 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 1.92T con un desplazamiento de 3.00mm las primeras fisuras aparecieron en la parte izquierda y central del muro de mampostería reforzada, ver FIGURA 3.42.

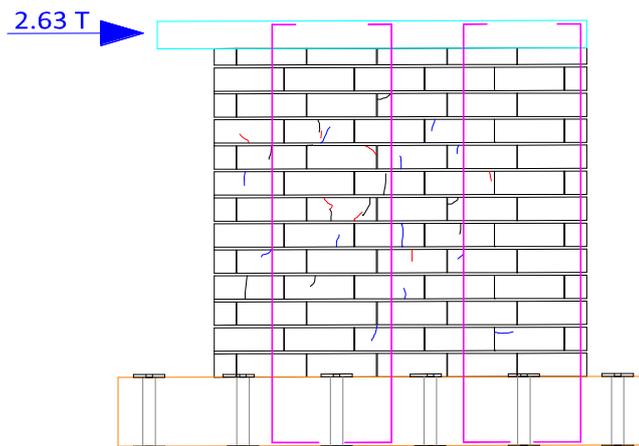
FIGURA 3.43 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 4 A 1.75 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 1.75T con un desplazamiento de -3.11mm las fisuras aparecieron en la parte central, entre los refuerzos verticales del muro de mampostería reforzada, ver FIGURA 3.43.

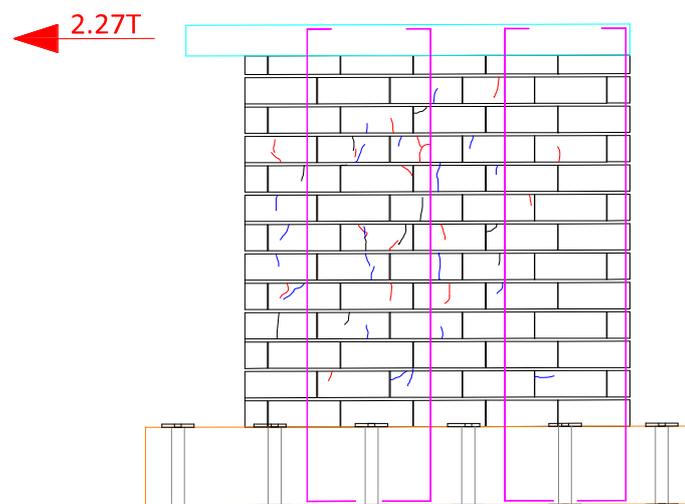
FIGURA 3.44 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 2.63 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 2.63T con un desplazamiento de 4.52mm las fisuras se propagaron en muro de mampostería reforzada, ver FIGURA 3.44.

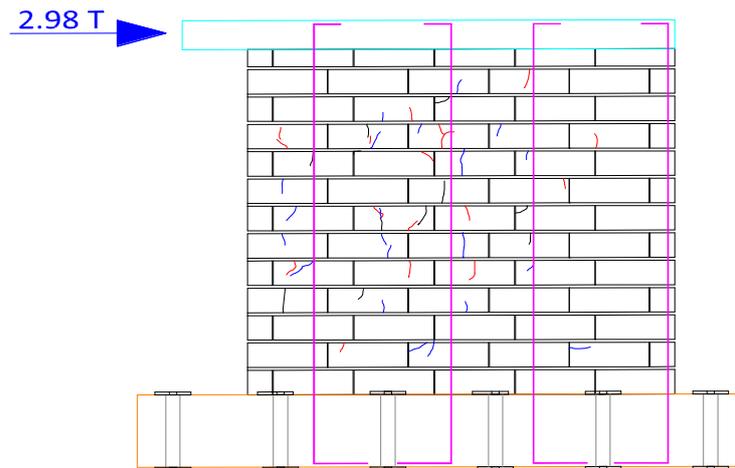
FIGURA 3.45 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 5 A 2.27 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 2.27T con un desplazamiento de -4.55mm las fisuras ya existentes se propagaron y aparecieron nuevas fisuras en la parte central e izquierda en muro de mampostería reforzada, observar FIGURA 3.45.

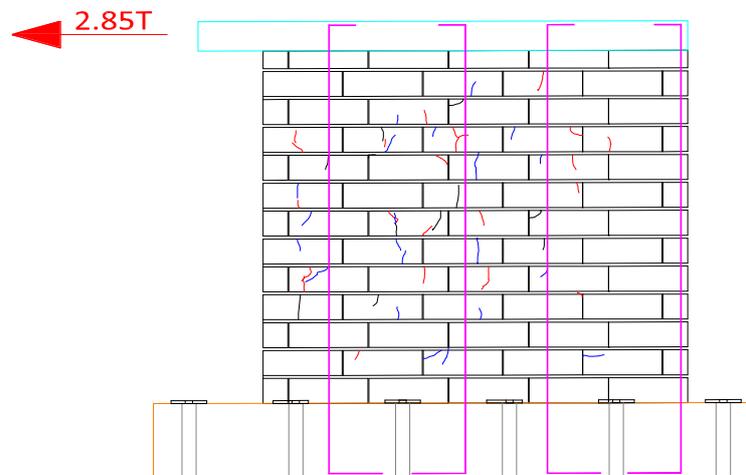
FIGURA 3.46 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 2.98 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 2.98T con un desplazamiento de 6.00mm no aparecieron nuevas fisuras, ni aumentaron de tamaño, tal como se muestra en la FIGURA 3.46.

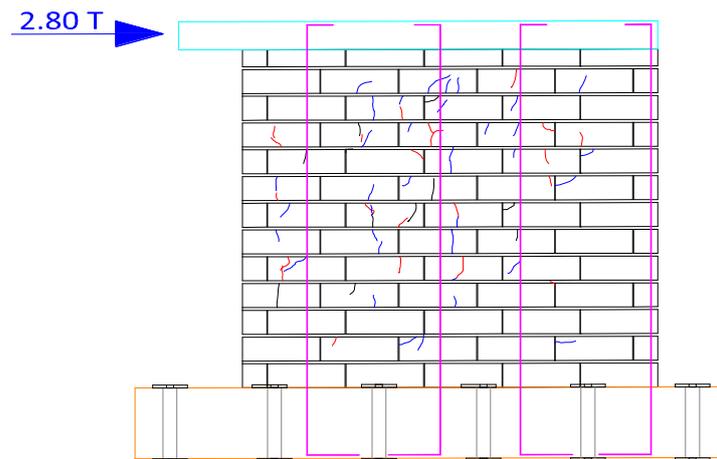
FIGURA 3.47 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 6 A 2.85 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 2.85T con un desplazamiento de -6.07mm aparecieron nuevas fisuras en diferentes partes del muro de mampostería reforzada, tal como se muestra en la FIGURA 3.47.

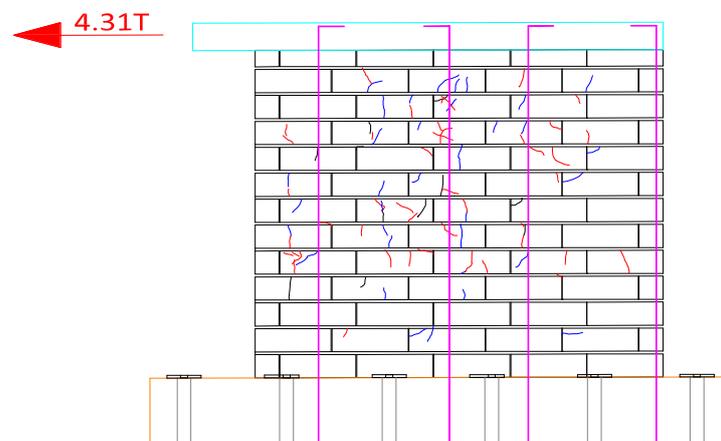
FIGURA 3.48 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 2.80 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 2.80T con un desplazamiento de 10.14mm aparecieron nuevas fisuras en la parte central superior, entre los refuerzos verticales del muro de mampostería reforzada, tal como se muestra en la FIGURA 3.48.

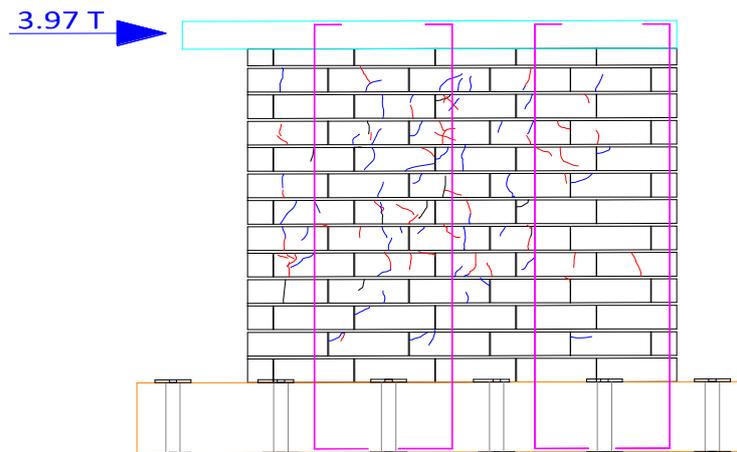
FIGURA 3.49 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 7 A 4.31 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 4.31T con un desplazamiento de -10.14mm aparecieron nuevas fisuras en la parte central entre los refuerzos verticales del muro de mampostería reforzada, tal como se muestra en la FIGURA 3.49.

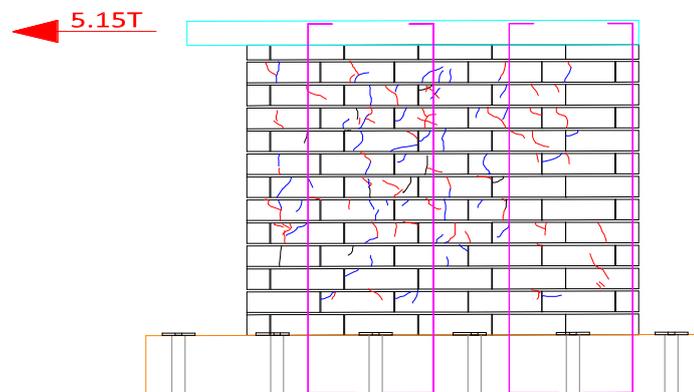
FIGURA 3.50 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 3.97 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 3.97T con un desplazamiento de 15.00mm, las fisuras existentes se propagaron y aparecieron nuevas fisuras en la parte central entre los refuerzos verticales del muro de mampostería reforzada, tal como se muestra en la FIGURA 3.50.

FIGURA 3.51 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 8 A 5.15 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 5.15T con un desplazamiento de -15.16mm, las fisuras existentes se propagaron en la parte central entre los refuerzos verticales del muro de mampostería reforzada, tal como se muestra en la FIGURA 3.51.

FIGURA 3.52 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 5.12 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

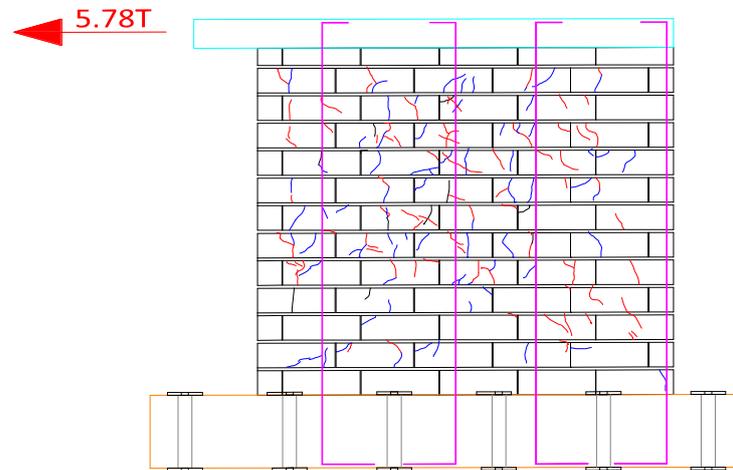
A una carga de 5.12T con un desplazamiento de 22.53mm, las fisuras existentes en la parte central superior aumentaron de tamaño casi 3mm, además ya hubo desprendimiento de bloque en muro de mampostería reforzada, tal como se muestra en la FIGURA 3.52.

FOTOGRAFÍA 3.21 AUMENTO DE TAMAÑO DE FISURAS EN LA PARTE CENTRAL SUPERIOR DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



FUENTE: Aguirre – Poma

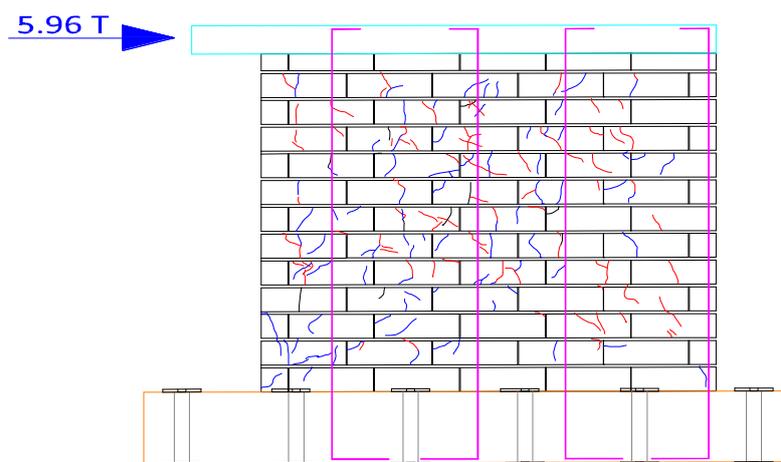
FIGURA 3.53 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 9 A 5.78 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 5.78T con un desplazamiento de -22.45mm, las fisuras existentes aumentaron de tamaño, además las fisuras están distribuidas en casi todo el muro de mampostería reforzada, lo que no se observó en los anteriores muros, observar FIGURA 3.53.

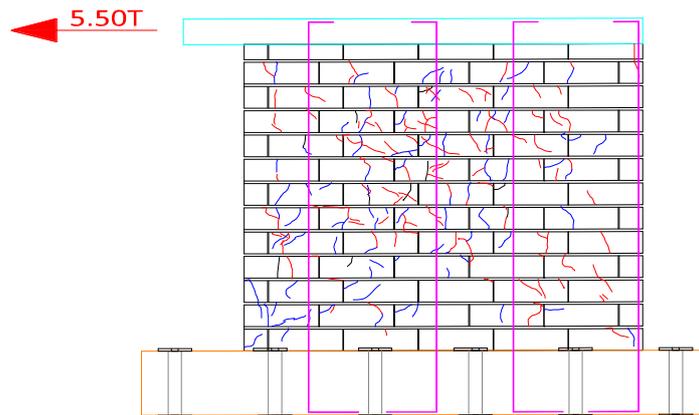
FIGURA 3.54 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 5.96 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 5.96T con un desplazamiento de 33.30mm, las fisuras existentes aumentaron de tamaño, la mayor parte de las fisuras se presentaron en la parte central en muro de mampostería reforzada, observar FIGURA 3.54.

FIGURA 3.55 FISURAS EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN EL CICLO 10 A 5.50 T



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

A una carga de 5.50T con un desplazamiento de -33.52mm, las fisuras existentes aumentaron de tamaño y hubo desprendimiento de pedazos pequeños de bloque del muro de mampostería reforzada, tal como se muestra en la FIGURA 3.55.

FOTOGRAFÍA 3.22 MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA AGOTADO TOTALMENTE



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Como se muestra en la FOTOGRAFÍA 3.22, el muro de mampostería reforzada fue llevado al agotamiento total, alcanzando un desplazamiento de -33.52mm a una carga de 5.50T.

FIGURA 3.56 PROTOCOLO DE CARGA PARA EL TERCER MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

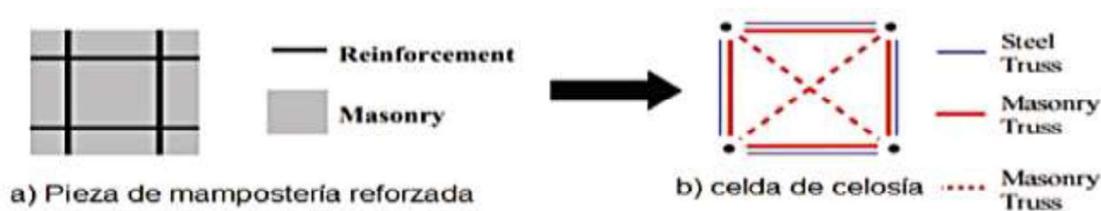


ELABORADO POR: Aguirre – Poma

3.2 MODELACIÓN EN LA PLATAFORMA OPENSEES UTILIZANDO LENGUAJE TCL

Para implementar la modelación en un sistema de Mampostería reforzada se parte de un modelo como celosía, atribuyendo a la mampostería como un ensamblaje de celdas de celosía conformada por dos elementos verticales, dos horizontales y dos diagonales (Rivas, 2017), como se indica en la FIGURA 3.57.

FIGURA 3.57 IDEALIZACIÓN COMO CELDA DE CELOSÍA DE UNA PIEZA DE MAMPOSTERÍA



FUENTE: (Rivas, 2017)

En la discretización de los muros de mampostería reforzada se parte desde los refuerzos verticales para conseguir los “Steel Truss”, los mismos que se definen

como un sistema triangulado de elementos estructurales interconectados rectos; a veces también se conoce como una viga “w” abierta. Los elementos individuales están conectados en los nodos; a menudo se supone que las conexiones están nominalmente ancladas. Las fuerzas externas aplicadas al sistema y las reacciones en los soportes generalmente se aplican en los nodos.

De acuerdo con la FIGURA 3.57 (b) se tiene elementos verticales y horizontales los cuales están formando el perímetro de la celda y esos representan a los refuerzos verticales y horizontales embebidos en el muro, a la vez consta con elementos en diagonal que figuran los Mansory Truss.

3.2.1 DISCRETIZACIÓN DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

Para la discretización del muro de mampostería reforzada se tomó en cuenta el número de refuerzos verticales y así tener los “Steel Truss” verticales, y a la mitad de los mismos para obtener elementos conformados solo por mampostería.

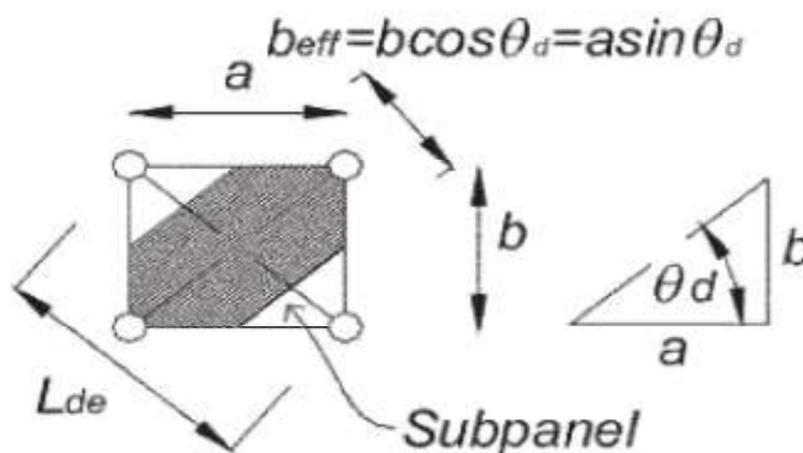
FIGURA 3.58 DISCRETIZACIÓN PARA LA SECCIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

Para idealizar el muro en elevación se ha dividido en partes iguales de 22.5 cm, con excepción del inicio y final del muro por la distribución de la viga de cimentación y riostra horizontal, a los mismos se le dio la misma área tomando en cuenta la excepción mencionada en este párrafo, mientras que a los elementos en diagonal se le asigna un área igual al espesor del muro multiplicada por un ancho efectivo (Ayala Moya, 2016), observar la FIGURA 3.59.

FIGURA 3.59 ANCHO EFECTIVO DE UN ELEMENTO DIAGONAL

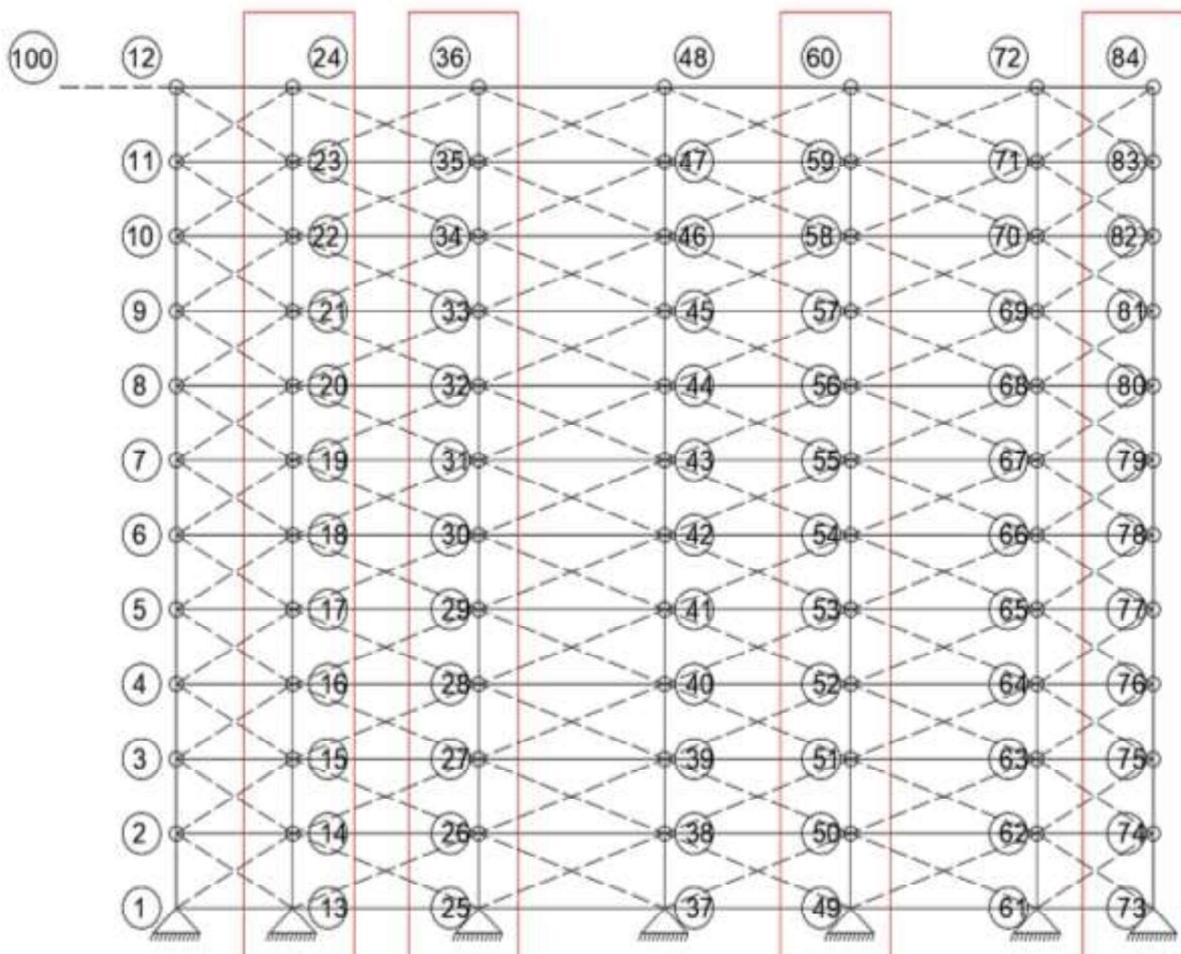


FUENTE: (Ayala Moya, 2016)

A cada uno de los elementos de la celosía se le asigna un material uniaxial, como por ejemplo Steel02 que considera endurecimiento por deformación isotrópica.

Cada nodo que se encuentra conectado a los elementos de la celosía posee dos grados de libertad, con desplazamientos verticales y horizontales, con excepción del nodo número 100 que únicamente presenta desplazamiento horizontal por ser el punto dónde se aplica la carga cíclica, y de los nodos que se encuentran en la base, los cuales se encuentran completamente restringidos por ser la base fija del muro, observar FIGURA 3.60. Los tramos de nodos que se encuentran encerrados por líneas rojas son la representación de los refuerzos verticales que se encuentran embebidos en el muro de mampostería reforzada.

FIGURA 3.60 NUMERACIÓN DE NODOS Y ELEMENTOS CELOSÍA EN EL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



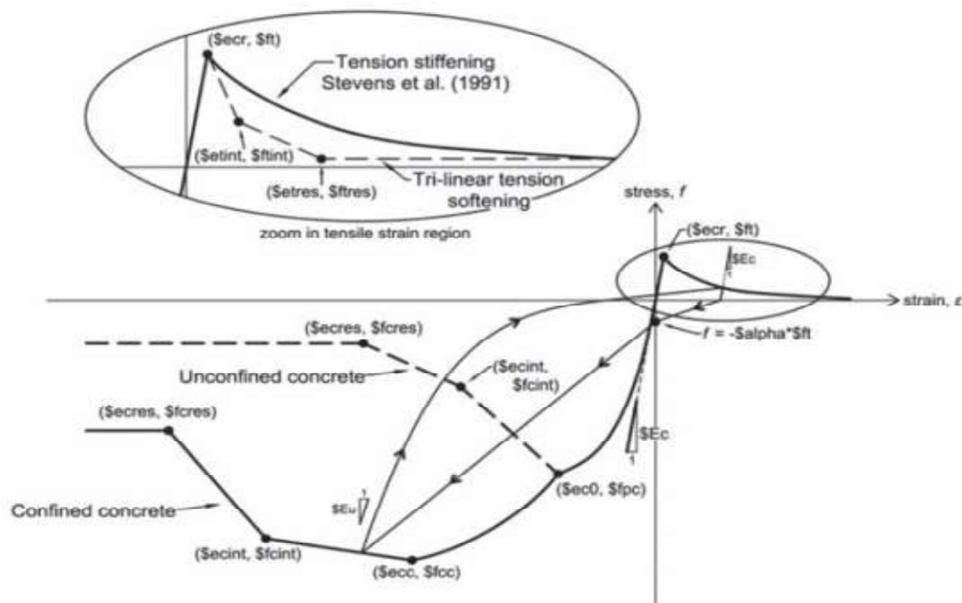
ELABORADO POR: Aguirre-Poma

3.2.2 ASIGNACIÓN DE LOS MATERIALES A LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CELOSÍA

La plataforma OpenSees incluye dentro de su programación distintos tipos de Materiales como lo es *ConcretewBeta*, comando utilizado para construir un objeto de material de concreto uniaxial (Truss) que considera explícitamente el efecto de la tensión normal (al eje donde se usa el objeto de material) al comportamiento del concreto en compresión (Opensees, 2006). La curva esfuerzo-deformación para llegar a la máxima resistencia a compresión ya sea para muros confinados o reforzados se basa en el modelo de hormigón Fujii (Hoshikuma et al. 1997).

Los materiales se van cargando linealmente, cuando se alcanzado el esfuerzo cero hasta llegar a un punto con mayor esfuerzo a tracción ocurrido anteriormente, en la FIGURA 3.61 se puede evidenciar como van distribuyendo los parámetros de entradas de datos.

FIGURA 3.61 MATERIAL CONCRETEWBETA DE OPENSEES PARA IDEALIZAR EL HORMIGÓN



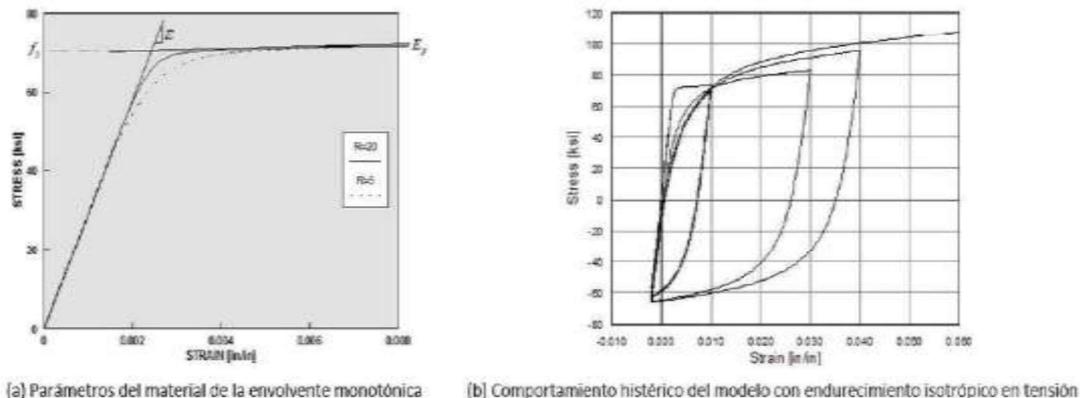
FUENTE: (OpenSees, 2006)

De igual manera se utiliza un material *ConcreteWBeta*, definiéndolo como un elemento Truss2 que corresponde a los elementos constituidos de Mampostería (diagonales) y que presentan un comportamiento biaxial, el mismo va calculando la deformación unitaria normal a la dirección del elemento (Ayala Moya, 2016).

3.2.2.1 Elementos compuestos con acero de refuerzo (vertical y horizontal)

Se asignó un Steel02, este comando se encuentra dentro de la plataforma de OpenSees, y está basado en el Modelo Giuffré-Menegotto-Pinto uniaxial con endurecimiento por deformación isotrópica, se utiliza para definir los refuerzos tanto en sentido horizontal como vertical (OpenSees, 2006). Para este modelo no representa la no-linealidad geométrica ni el pandeo del acero de refuerzo (Ayala Moya, 2016), en la FIGURA 3.62, se evidencia la curva esfuerzo-deformación del Modelo.

FIGURA 3.62 MATERIAL STEEL02 DE OPENSEES PARA IDEALIZAR EL ACERO



FUENTE: (Rivas, 2017)

3.2.3 CURVA DE CAPACIDAD DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA (MODELO ANALÍTICO)

Ya se ha mencionado los materiales y elementos asignados para obtener la curva de capacidad, de acuerdo con esto ha sido importante la calibración del modelo cumpliendo los rangos permitidos por el OpenSees, teniendo así un modelo analítico con valores iniciales y un modelo analítico con valores finales, ver TABLAS 3.15, 3.16 y 3.17

3.2.3.1 Calibración de los modelos

3.2.3.1.1 Paso 1: Definición de los elementos

En este apartado se introducen todos los valores de las áreas de los materiales que conforman la estructura, en este caso, concreto y acero de refuerzo, de igual manera se inserta el número de nodos contemplando las distancias en sentido x-y, de acuerdo con cómo se haya hecho el proceso de discretización de los elementos, el mismo se lo encuentra ya definido en la figura 3.58 y 3.60 respectivamente.

Una vez ya asignados los nodos se procede a colocar las restricciones correspondientes y atribuir que tipo de material que le corresponde, a continuación, se muestra capturas de pantalla que se han tomado de la programación en OPENSEES, si se desea ver todos los comandos completos ir al apartado de ANEXOS 9.

FIGURA 3.63 PROCESO DE ASIGNACIÓN DE ÁREAS EN OPENSEES

```

1 # DEFINICION DE ELEMENTOS
2
3 set AconcOuter [expr 18.324*14.97/pow(2.54,2)];
4 set AsteelOuter [expr 3.1416*pow(0.6,2)/pow(2.54,2)];
5 set AconcInner [expr 42.8*14.97/pow(2.54,2)];
6 set AsteelInner [expr 3.1416*pow(0.6,2)/pow(2.54,2)];
7
8 set AconcHoriz1 [expr 22.5*14.97/pow(2.54,2)];
9 set AconcHoriz2 [expr 12.00*14.97/pow(2.54,2)];
10
11 set AsteelHoriz1 [expr 3.1416*2.*pow(0.3,2)/pow(2.54,2)];
12 set AsteelHoriz2 [expr 3.1416*2.*pow(0.4,2)/pow(2.54,2)];
13
14 set beff1 [expr 16.64*1];# 16.64 Para Muros 0.97
15 set beff2 16.64;# 14.142 Para muros 1.95
16
17 set AconcDiag1 [expr $beff2*14.97/pow(2.54,2)];
18 set AconcDiag2 [expr $beff2*14.97/pow(2.54,2)];

```

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

FIGURA 3.64 DEFINICIÓN DE NODOS UTILIZANDO OPENSEES

```

20 # DEFINICION DE NODOS
21
22 node 1 0. 0.
23 node 2 0. 22.5
24 node 3 0. 45.
25 node 4 0. 67.5
26 node 5 0. 90.
27 node 6 0. 112.5
28 node 7 0. 135.
29 node 8 0. 157.5
30 node 9 0. 180.
31 node 10 0. 202.5
32 node 11 0. 225.
33 node 12 0. 235
34
35
36 node 13 37.2 0.
37 node 14 37.2 22.5
38 node 15 37.2 45.
39 node 16 37.2 67.5
40 node 17 37.2 90.
41 node 18 37.2 112.5
42 node 19 37.2 135.
43 node 20 37.2 157.5
44 node 21 37.2 180.
45 node 22 37.2 202.5
46 node 23 37.2 225.
47 node 24 37.2 235

```

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

FIGURA 3.65 RESTRICCIONES DE BORDE HECHAS A LA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA

	# RESTRICCIONES DE BORDE(set the boundary conditions)			
117				
118				
119	fix 1	1	1	1
120	fix 13	1	1	1
121	fix 25	1	1	1
122	fix 37	1	1	1
123	fix 49	1	1	1
124	fix 61	1	1	1
125	fix 73	1	1	1
126				
127	fix 2	0	0	1
128	fix 3	0	0	1
129	fix 4	0	0	1
130	fix 5	0	0	1
131	fix 6	0	0	1
132	fix 7	0	0	1
133	fix 8	0	0	1
134	fix 9	0	0	1
135	fix 10	0	0	1
136	fix 11	0	0	1
137	fix 12	0	0	1
138				
139	fix 14	0	0	1
140	fix 15	0	0	1
141	fix 16	0	0	1
142	fix 17	0	0	1
143	fix 18	0	0	1
144	fix 19	0	0	1
145	fix 20	0	0	1

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

3.2.3.1.2 PASO 2: Asignación de Materiales

Aquí se introduce todos los resultados que se obtuvieron mediante los ensayos de laboratorio de concreto como es el caso de resistencias y módulos de elasticidad de: concreto, mortero de pega y Grout, para el caso del acero de refuerzo se ha tomado los máximos valores permisibles encontrados en biografías y catálogos del medio. También se inserta todos los parámetros que necesita el programa para operar, los mismos se encuentran en rangos que el mismo OPENSEES asigna, como el caso de los parámetros de endurecimiento isotrópico, coeficientes de endurecimiento etc.

A continuación, en la figura 3.66 se puede observar una parte de la asignación de esos parámetros.

FIGURA 3.66 DEFINICIÓN DE MATERIALES EN EL PROGRAMA

```

26 # DEFINICION DE MATERIALES DEL MODELO
27 set SteelMatV 1;
28 set ConcVertMat 2;
29 set ConcHorizMat 3;
30 set MampMat 4;
31 set ElasticMat 5;
32 set SteelMatH 6;
33
34
35 # ACERO DE REFUERZO(VERTICAL)
36 set fy [expr 5000*14.2233333/1000];# ksi ]
37 set fu [expr 5791.98809*14.2233333/1000];# [ ksi ]
38 set esh 0.02;#0.01
39 set eult 0.1;
40
41 set Es [expr 210000.*14.223/1000];#29000.
42 set Esh 4000.;#4000.
43
44 set b [expr $fu/$Es]; # 0.003
45 set R0 20.;# recomendados entre 10 y 20
46 set cR1 0.98;#recomendado 0.925
47 set cR2 0.15;#recomendado 0.15
48
49 # Parametros de endurecimiento isotropico
50 set a1 [expr $fy/$Es]; # 0.05;
51 set a2 1.;
52 set a3 0.;# 0.0
53 set a4 1.;

```

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

3.2.3.1.3 PASO 3: Carga Vertical

Es importante mencionar que los modelos experimentales no se encuentran sometidos a cargas verticales, y uno de los objetivos planteados en este trabajo es obtener un modelo analítico que represente a un modelo experimental, por ello la única carga que se considera es el peso propio de la estructura, el cálculo para el mismo se lo puede encontrar en el apartado de ANEXOS 3

FIGURA 3.67 DEFINICIÓN DE CARGA VERTICAL

```

1 # DEFINICION DE CARGA VERTICAL
2
3 set controlNode 84;
4
5 pattern Plain 2 Linear -factor 1 {
6     load $controlNode 0.0 [expr -1.*2.47] 0.0;
7 }

```

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

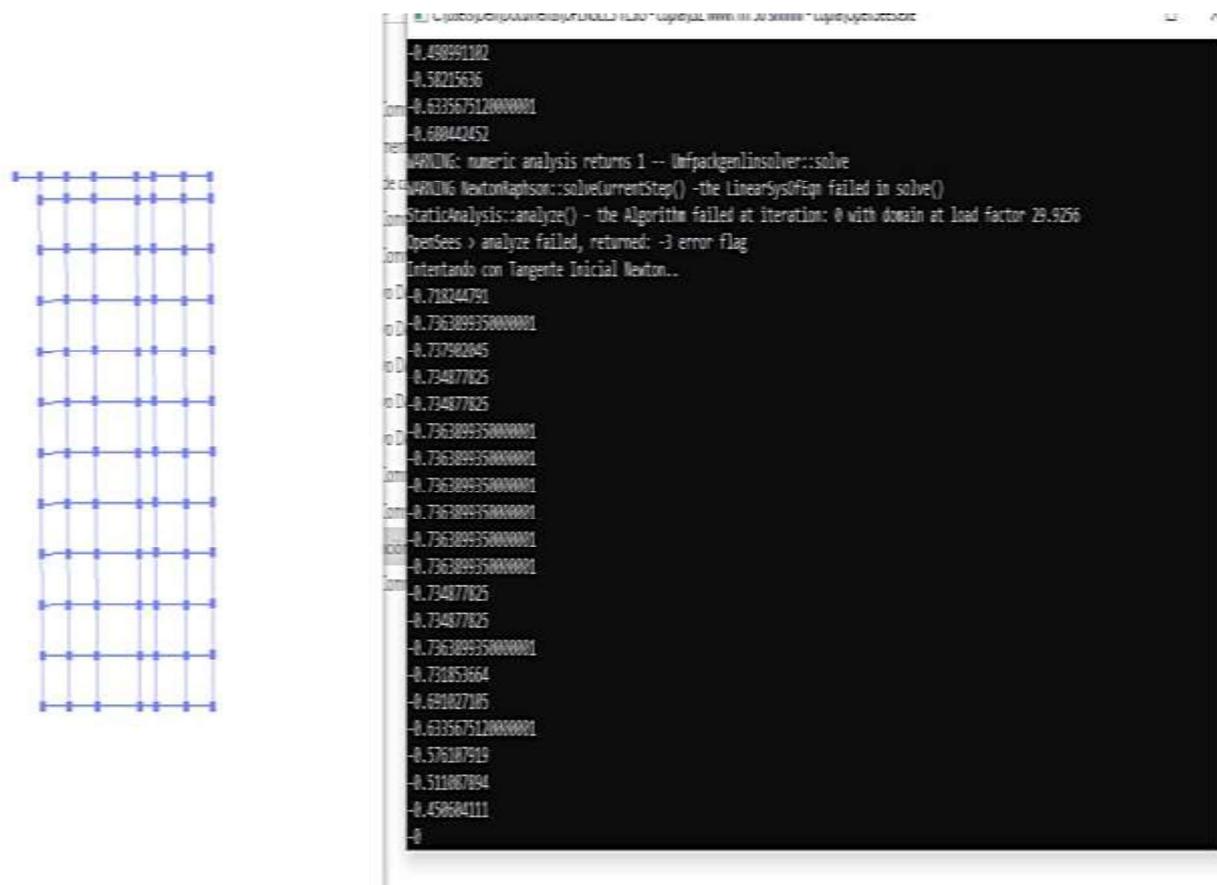
3.2.3.1.4 PASO 4: Carga Cíclica

En este paso, se inserta los resultados obtenidos de los ensayos a carga lateral cíclica realizados a los modelos experimentales, los mismos deben estar como archivos de tipo DATA, es importante que todos estos registros se encuentren guardados en una única carpeta para su correcta ejecución.

3.2.3.1.5 PASO 5: Ejecución del Programa

Por último, se ejecuta todos los parámetros introducidos en el OPENSEES y se obtiene un archivo de tipo txt, en donde se encuentra todos los resultados arrojados del análisis efectuado, con los mismos datos haciendo uso de Matlab se dibuja la curva de histéresis, para posteriormente obtener la curva de capacidad, tal y como se realizó en la parte experimental.

FIGURA 3.68 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA OPENSEES



ELABORADO POR: Aguirre-Poma

TABLA 3.15 PROPIEDADES DE MATERIALES PARA EL MODELO ANALÍTICO

VALORES DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES USADOS EN EL MODELO ANALÍTICO			
ACERO DE REFUERZO VERTICAL			
Abreviación, Unidades	Denominación	Valor Inicial	Valor Final
fy, kg/cm ²	Esfuerzo de fluencia	4296.40431	5000
fu, kg/cm ²	Esfuerzo de rotura	5791.98809	5791.98809
esh	Deformación de fluencia	0.02	0.02
eult	Deformación última	0.1	0.1
Es, kg/cm ²	Tangente inicial elástica	2100000	2100000
Esh, kg/cm ²	Tangente inelástica	281227.8319	4000
b	Coefficiente de endurecimiento por deformación	0.00275809	0.00275809
Ro	Parámetros que controlan la transición de la rama elástica a la plástica	10	20
cR1		0.98	0.98
cR2		0.15	0.15
a1	Parámetros de endurecimiento isotrópico	0.002045907	0.002045907
a2		1	1
a3		0	0
a4		1	1

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

TABLA 3.16 CONTINUACIÓN

ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL			
Abreviación, Unidades	Denominación	MODELO INICIAL	MODELO FINAL
		Valor	Valor
fy, kg/cm ²	Esfuerzo de fluencia	3059.158	5000
fu, kg/cm ²	Esfuerzo de rotura	5272.29686	5272.29686
esh	Deformación de fluencia	0.02	0.02
eult	Deformación última	0.1	0.1
Es, kg/cm ²	Tangente inicial elástica	2100000	2100000
Esh, kg/cm ²	Tangente inelástica	281227.8319	281227.8319
b	Coefficiente de endurecimiento por deformación	0.00275809	0.00275809
Ro	Parámetros que controlan la transición de la rama elástica a la plástica	10	10
cR1		0.98	0.98
cR2		0.15	0.15
a1	Parámetros de endurecimiento isotrópico	0.002380952	0.002380952
a2		1	1
a3		0	0
a4		1	1

ELABORADO POR: Aguirre-Poma

HORMIGÓN LÍQUIDO O GROUT			
		MODELO INICIAL	MODELO FINAL
Abreviación, Unidades	Denominación	Valor	Valor
α	Controla la trayectoria de la descarga de la compresión	0.1	0.1
λ	Controla la trayectoria de la descarga de la tensión	0.5	0.5
fpc, kg/cm ²	Esfuerzo máximo de compresión del hormigón no confinado	-130.1844	-130.1844
ec0	Deformación correspondiente a fpc	-0.003	-0.003
Ec, kg/cm ²	Rigidez inicial	-91087.69	-91087.69
Eu, kg/cm ²	Pendiente de la rama de descarga	-23846.445	-23846.445
fcint, kg/cm ²	Punto intermedio de la curva esfuerzo-deformación por compresión de la envolvente post-pico	-65.0922	-65.0922
ecint		-0.0045	-0.003
fcres, kg/cm ²	Punto residual de la curva esfuerzo-deformación por compresión de la envolvente post-pico	-37.19554286	-130.1844
ecres		-0.009	-0.003
ft, kg/cm ²	Resistencia a la tracción del hormigón	6.50922	6.50922
ecr	Deformación correspondiente a ft	0.0025	0.0025
ftint, kg/cm ²	Punto intermedio de la curva esfuerzo-deformación por tensión	3.25461	3.25461
etint		0.00375	0.0025
ftres, kg/cm ²	Punto residual de la curva esfuerzo-deformación por tensión	1.859777143	6.50922
etres		0.005	0.005

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

TABLA 3.17 CONTINUACIÓN

MORTERO DE PEGA			
		MODELO INICIAL	MODELO FINAL
Abreviación, Unidades	Denominación	Valor	Valor
fpc, kg/cm ²	Esfuerzo máximo de compresión del hormigón no confinado	-113.1549	-113.1549
ec0	Deformación correspondiente a fpc	-0.003	-0.003
Ec, kg/cm ²	Rigidez inicial	131259.684	-113154.9
Eu, kg/cm ²	Pendiente de la rama de descarga	84488.992	-37718.3
fcint, kg/cm ²	Punto intermedio de la curva esfuerzo-deformación por compresión de la envolvente post-pico	-56.57745	-56.57745
ecint		-0.0045	-0.003
fcres, kg/cm ²	Punto residual de la curva esfuerzo-deformación por compresión de la envolvente post-pico	-32.32997143	-113.1549
ecres		-0.006	-0.003
ft, kg/cm ²	Resistencia a la tracción del hormigón	5.657745	5.657745
ecr	Deformación correspondiente a ft	0.0025	0.0025
ftint, kg/cm ²	Punto intermedio de la curva esfuerzo-deformación por tensión	2.8288725	2.8288725
etint		0.00375	0.0025
ftres, kg/cm ²	Punto residual de la curva esfuerzo-deformación por tensión	1.616498571	5.657745
etres		0.005	0.005

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

MAMPOSTERÍA			
		MODELO INICIAL	MODELO FINAL
Abreviación, Unidades	Denominación	Valor	Valor
fm, kg/cm ²	Esfuerzo máximo de compresión de la mampostería	-20	-30
ec0	Deformación correspondiente a fpc	-0.003	-0.003
Ec, kg/cm ²	Rigidez inicial	33720	-1686
Eu, kg/cm ²	Pendiente de la rama de descarga	20193.33333	4157
fcint, kg/cm ²	Punto intermedio de la curva esfuerzo-deformación por compresión de la	-10	-15
ecint		-0.0045	-0.003
fcres, kg/cm ²	Punto residual de la curva esfuerzo-deformación por compresión de la	-5.714285714	-30
ecres		-0.006	-0.006
ft, kg/cm ²	Resistencia a la tracción del hormigón	1	1.5
ecr	Deformación correspondiente a ft	0.0025	0.0025
ftint, kg/cm ²	Punto intermedio de la curva esfuerzo-deformación por tensión	0.5	0.75
etint		0.00375	0.0025
ftres, kg/cm ²	Punto residual de la curva esfuerzo-deformación por tensión	0.285714286	1.5
etres		0.005	0.005
bint	Punto intermedio de la curva β -deformación para efecto biaxial	1	1
ebint		0.010321903	0.010321903
bres	Punto de deformación β residual para efecto biaxial	0.5	0.5
ebres		0.010321903	0.010321903
HORMIGÓN DE LA VIGA DE CONFINAMIENTO			
		MODELO INICIAL	MODELO FINAL
Abreviación, Unidades	Denominación	Valor	Valor
fc, kg/cm ²	Esfuerzo máximo de compresión del hormigón no confinado	237.3398	237.3398
Ec, kg/cm ²	Tangente elástica	216596.029	72407.43185

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

A continuación, se muestra la curva de capacidad obtenida a través de la calibración del modelo analítico anteriormente mencionado. Toda la programación utilizada se la puede observar en el ANEXO 9.

FIGURA 3.69 CURVA DE CAPACIDAD- MODELO ANALÍTICO

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

CAPÍTULO 4

PROCESAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Una vez realizado el ensayo cíclico a carga lateral sobre cada uno de los muros de mampostería reforzada, se procede a calcular sus propiedades.

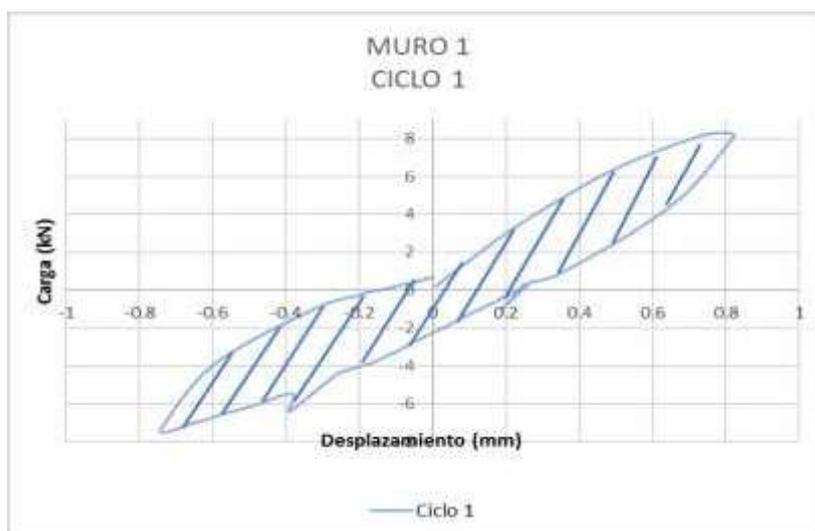
4.1.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1.1.1 *Energía Disipada*

En la curva de histéresis, para cada ciclo, hay un bucle, el cual encierra un área, por lo que la energía disipada se determina sumando todas las áreas encerradas en cada bucle.

Para obtener el área de los bucles que aparecen en cada ciclo se empleó el comando del programa MATLAB “polyarea (x,y)”.

FIGURA 4.1 PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: ENERGÍA DISIPADA EN EL PRIMER CICLO DE CARGA

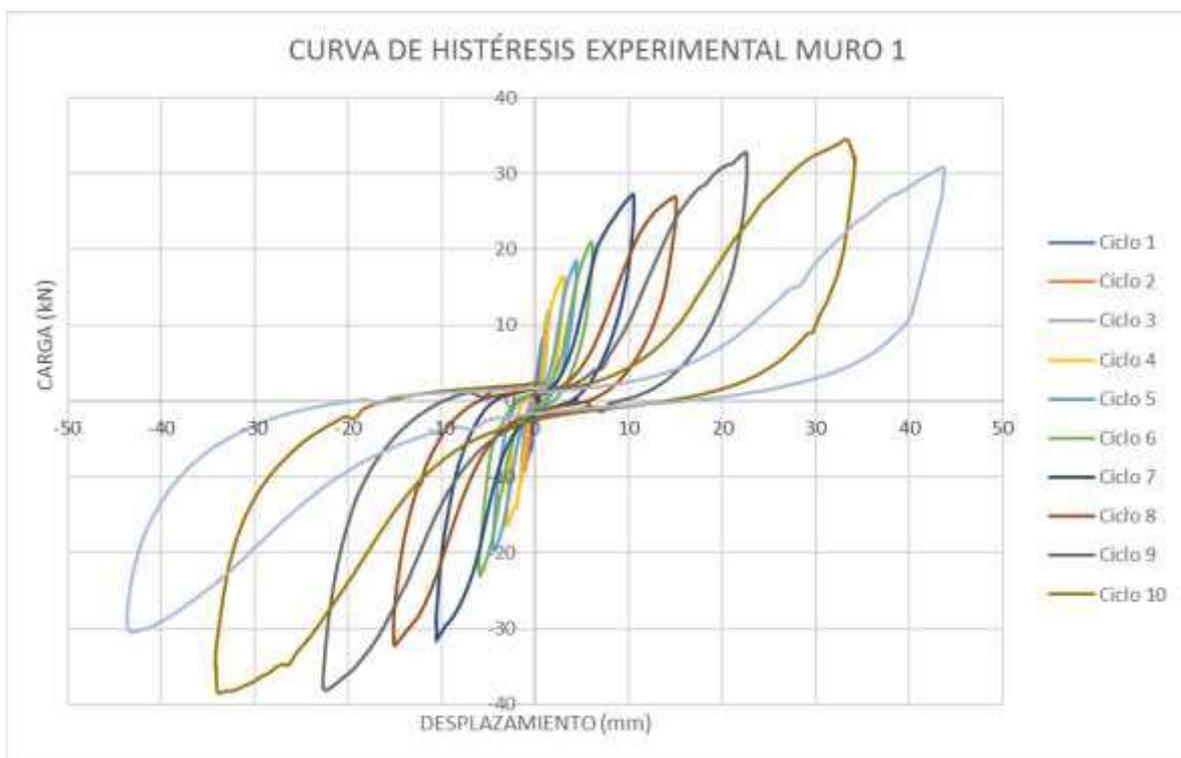


ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Observando la FIGURA 4.2 se evidencia que a medida que los ciclos de carga avanzan en el ensayo del primer muro de mampostería reforzada, se puede evidenciar que las cargas y los desplazamientos presentan un crecimiento ascendente.

Para distinguir de una mejor manera la pérdida de capacidad de carga se aumentó un ciclo de carga, este decaimiento se podrá observar de mejor manera en la curva de capacidad (envolvente) de cada muro de mampostería reforzada.

FIGURA 4.2 CURVA DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Para cada ciclo de carga la cantidad de energía se disipó tal como se muestra en la TABLA 4.1 dando una energía total disipada de **2.21 kJ** para el primer muro de mampostería reforzada.

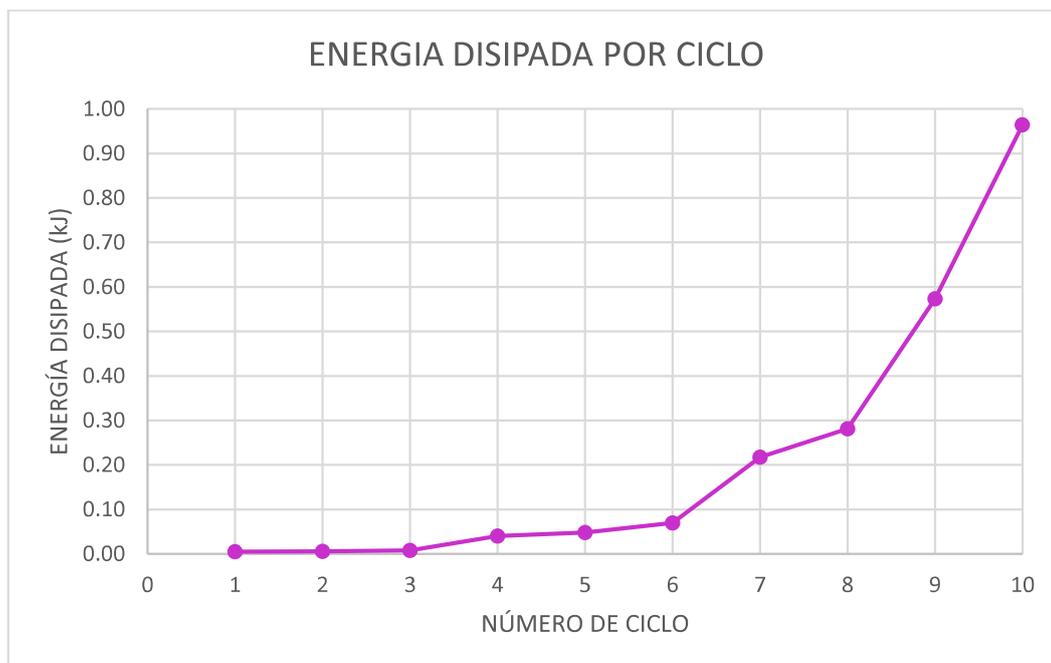
TABLA 4.1 ENERGÍA DISIPADA POR EL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGIA DISIPADA	ENERGIA DISIPADA ACUMULADA
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	(KJ)	(KJ)
CICLO 1	0.72	8.24	-0.73	-7.45	0.0049	0.0049
CICLO 2	1.15	10.40	-1.18	-9.12	0.0056	0.0105
CICLO 3	1.52	11.77	-1.47	-10.69	0.0075	0.0180
CICLO 4	3.12	16.48	-3.02	-16.57	0.0399	0.0579
CICLO 5	4.45	18.24	-4.50	-19.42	0.0479	0.1058
CICLO 6	6.02	20.99	-6.00	-22.75	0.0697	0.1755
CICLO 7	10.52	26.67	-10.57	-31.58	0.2175	0.3930
CICLO 8	15.06	29.42	-15.10	-35.30	0.2815	0.6745
CICLO 9	22.55	32.75	-22.66	-37.95	0.5732	1.2477
CICLO 10	34.12	31.68	-33.92	-38.54	0.9645	2.2122
CICLO 11	43.75	30.69				

ELABORADO POR: Aguirre- - Poma

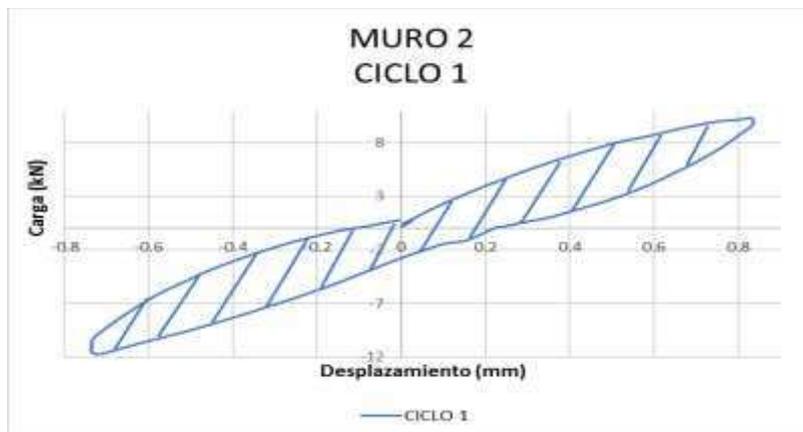
Tal como se muestra en la FIGURA 4.3, se comprueba que, a mayor carga y desplazamiento, la magnitud de la energía disipada también aumenta.

FIGURA 4.3 ENERGÍA DISIPADA POR CICLO PARA EL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

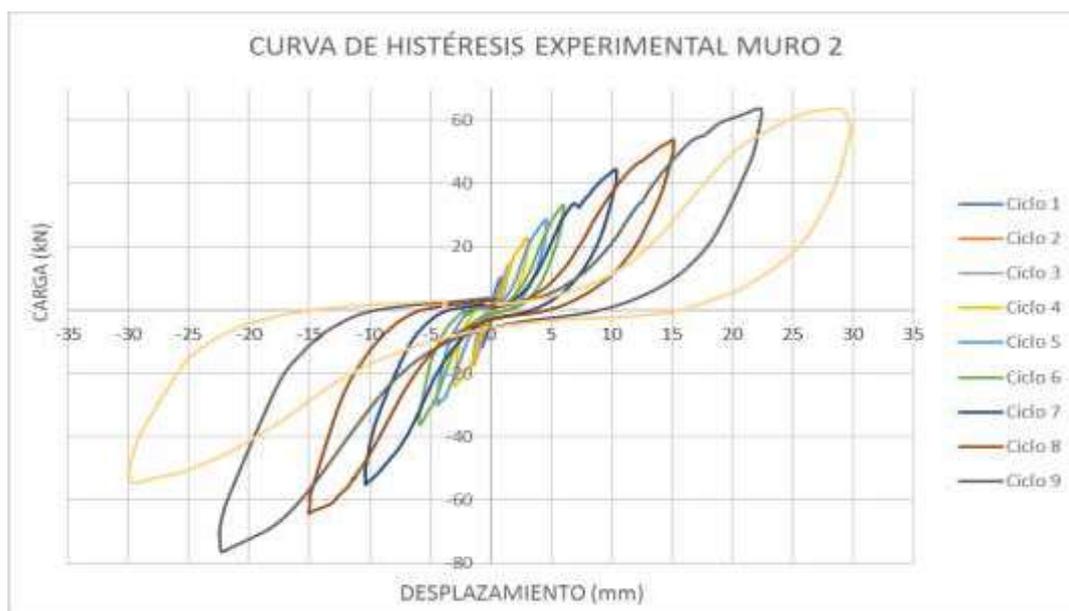
FIGURA 4.4 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: ENERGÍA DISIPADA EN EL PRIMER CICLO DE CARGA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se muestra en la FIGURA 4.5, al igual que en el primer muro, a medida que los ciclos de carga avanzan en el ensayo del segundo muro de mampostería reforzada, se puede evidenciar que las cargas y las deformaciones presentan un crecimiento ascendente.

FIGURA 4.5 CURVA DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Para cada ciclo de carga la cantidad de energía se disipó tal como se muestra en la TABLA 4.3 dando una energía total disipada de **2.13 kJ** para el segundo muro de mampostería reforzada.

TABLA 4.2 ENERGIA DISIPADA POR EL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

N° CICLO	PO SITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGIA DISIPADA	ENERGIA DISIPADA ACUMULADA
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	(KJ)	(KJ)
CICLO 1	0.79	9.81	-0.76	-11.18	0.0067	0.0067
CICLO 2	1.14	1.08	-1.13	-1.47	0.0049	0.0116
CICLO 3	1.51	14.32	-1.51	-17.55	0.0103	0.0219
CICLO 4	3.05	22.65	-3.03	-22.95	0.0549	0.0768
CICLO 5	4.53	28.73	-4.50	-29.62	0.0751	0.1519
CICLO 6	6.03	32.66	-6.00	-35.21	0.0908	0.2427
CICLO 7	10.29	44.62	-10.37	-53.15	0.3105	0.5532
CICLO 8	15.08	53.84	-15.08	-64.33	0.5070	1.0602
CICLO 9	22.37	61.49	-22.45	-74.53	1.0753	2.1355
CICLO 10	29.15	63.45	-29.57	-54.62		

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

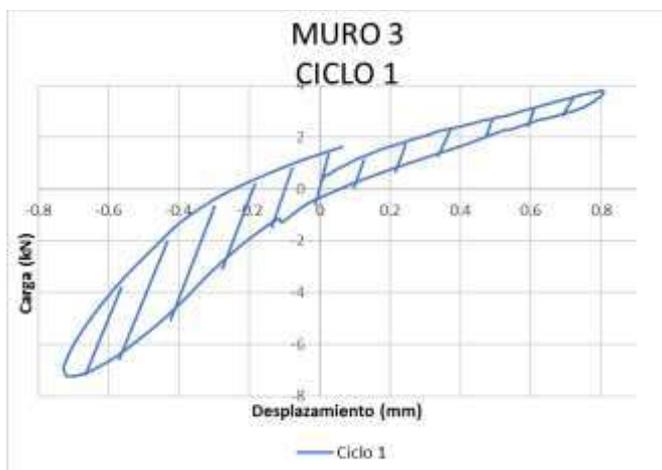
Como se muestra en la FIGURA 4.6, de igual manera se comprueba que, a mayor carga y desplazamiento, la magnitud de la energía disipada también se incrementa.

FIGURA 4.6 ENERGÍA DISIPADA POR CICLO PARA EL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

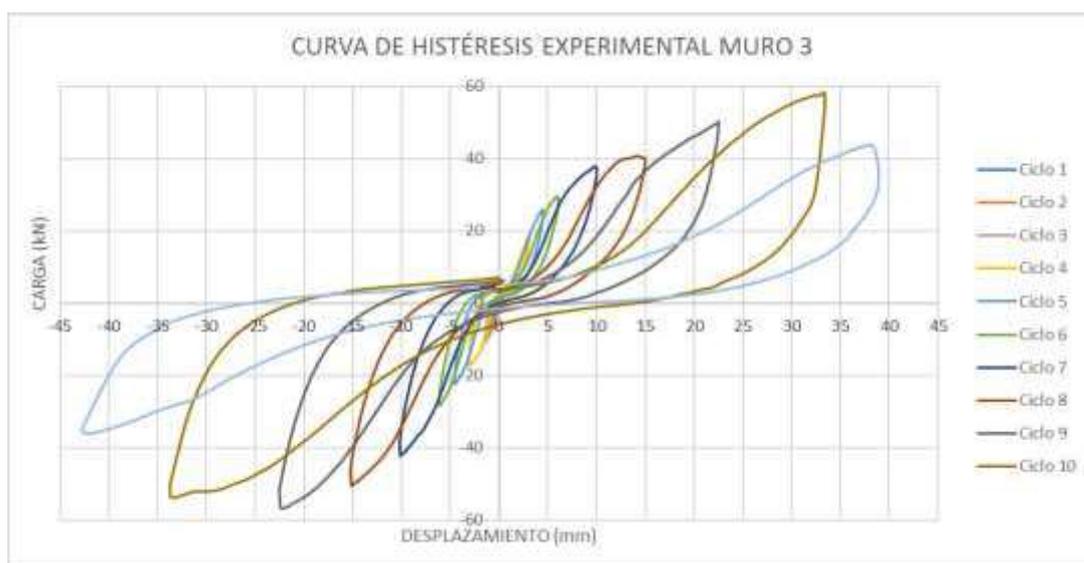
FIGURA 4.7 TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ENERGÍA DISIPADA EN EL PRIMER CICLO DE CARGA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se muestra en la FIGURA 4.8, al igual que en el primer y segundo muro, a medida que los ciclos de carga avanzan en el ensayo del tercer muro de mampostería reforzada, se puede evidenciar que las cargas y las deformaciones presentan un crecimiento ascendente.

FIGURA 4.8 CURVA DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Para cada ciclo de carga la cantidad de energía se disipó tal como se muestra en la TABLA 4.3 dando una energía total disipada de **3.49 kJ** para el tercer muro de mampostería reforzada.

TABLA 4.3 ENERGÍA DISIPADA POR EL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)	Carga (kN)	NEGATIVO (HALADO)	Carga (kN)	ENERGIA DISIPADA	ENERGIA DISIPADA ACUMULADA
	Desplazamiento (mm)		Desplazamiento (mm)		(KJ)	(KJ)
CICLO 1	0.80	3.92	-0.72	-7.26	0.0023	0.0023
CICLO 2	1.25	6.37	-1.14	-4.31	0.0043	0.0066
CICLO 3	1.51	7.55	-1.52	-10.98	0.0062	0.0128
CICLO 4	3.00	18.83	-3.11	-17.16	0.0354	0.0482
CICLO 5	4.52	25.79	-4.55	-22.26	0.0590	0.1072
CICLO 6	6.00	29.22	-6.07	-27.95	0.0837	0.1909
CICLO 7	10.14	27.46	-10.14	-42.27	0.2584	0.4493
CICLO 8	15.00	38.93	-15.16	-50.50	0.4617	0.9110
CICLO 9	22.53	50.21	-22.45	-56.68	0.8703	1.7813
CICLO 10	33.30	58.45	-33.52	-53.94	1.7110	3.4923
CICLO 11	38.70	41.19	-41.80	-36.28		

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se muestra en la FIGURA 4.9, al igual que en los dos muros anteriores se comprueba que, a mayor carga y desplazamiento, la magnitud de la energía disipada también aumenta.

FIGURA 4.9 ENERGÍA DISIPADA POR CICLO PARA EL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



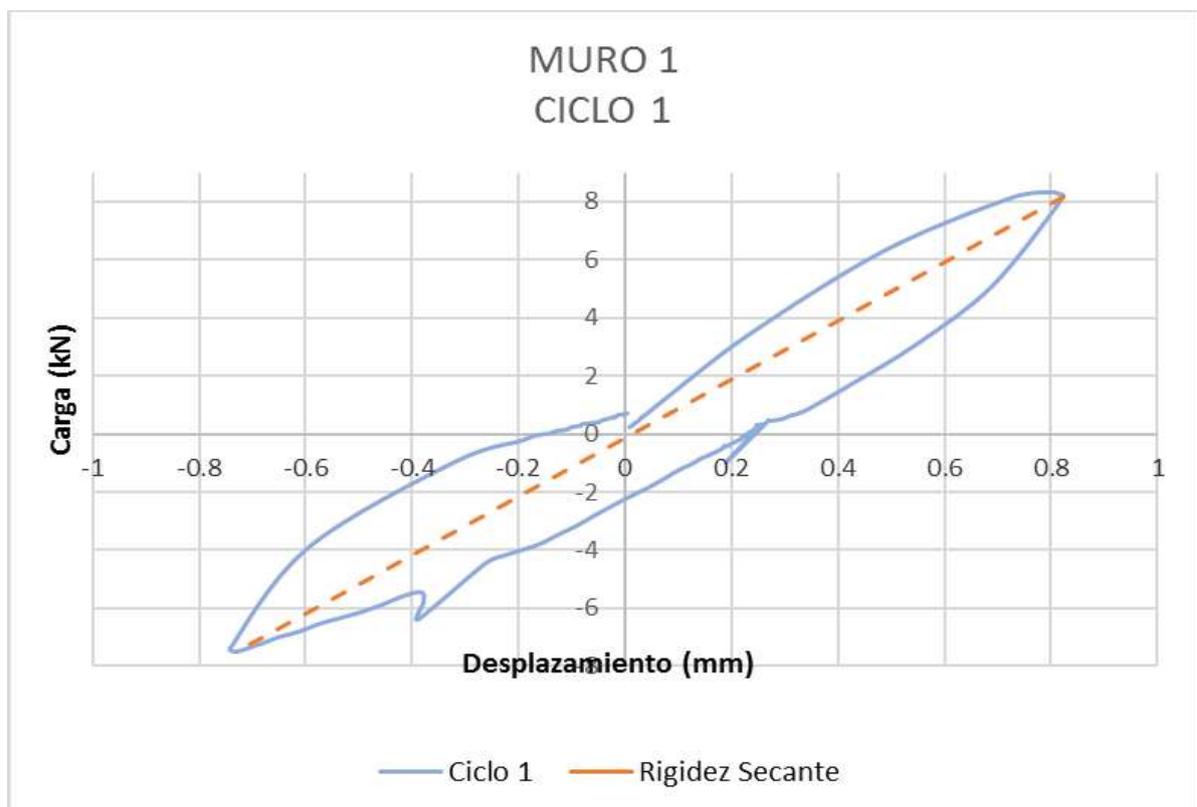
ELABORADO POR: Aguirre – Poma

4.1.1.2 Rigidez Secante

Mientras dura el proceso cíclico se distingue que la curva de capacidad en la rama de descarga se suaviza, reconociendo que la deformación es mayor que la reconocida en el proceso de carga cuando se aplicó la misma fuerza. Al crecimiento de la deformación y deterioro de la rigidez secante se la interpreta como la “degradación de la rigidez”. Además, se tiene una conducta parecida para los ciclos posteriores, tomando en cuenta que tiene un comportamiento más frágil”. (Gallegos & Casabonne , 2005).

Mediante la pendiente de la línea que se forma con los valores máximos y mínimos de la carga se determina la rigidez secante, este procedimiento se aplica para cada uno de los ciclos y poder observar la disminución de la rigidez secante.

FIGURA 4.10 PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: RIGIDEZ SECANTE DEL PRIMER CICLO DE CARGA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

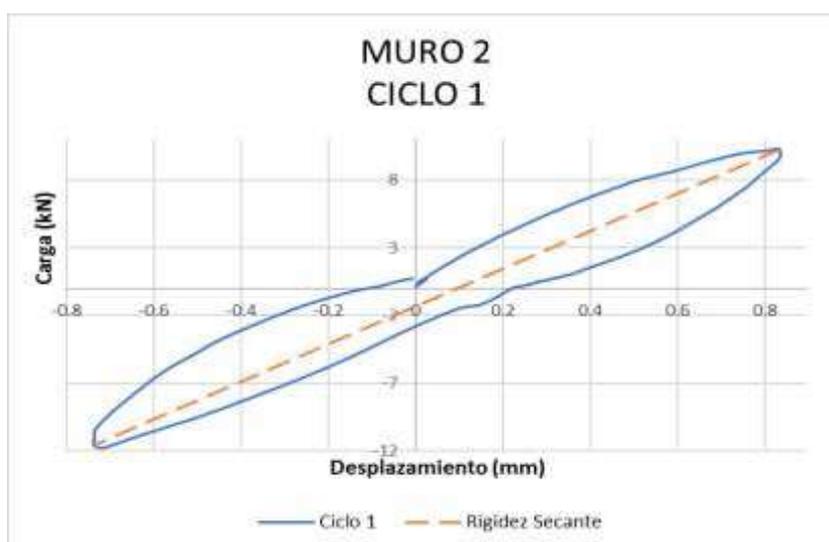
FIGURA 4.11 RIGIDEZ SECANTE POR CICLO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

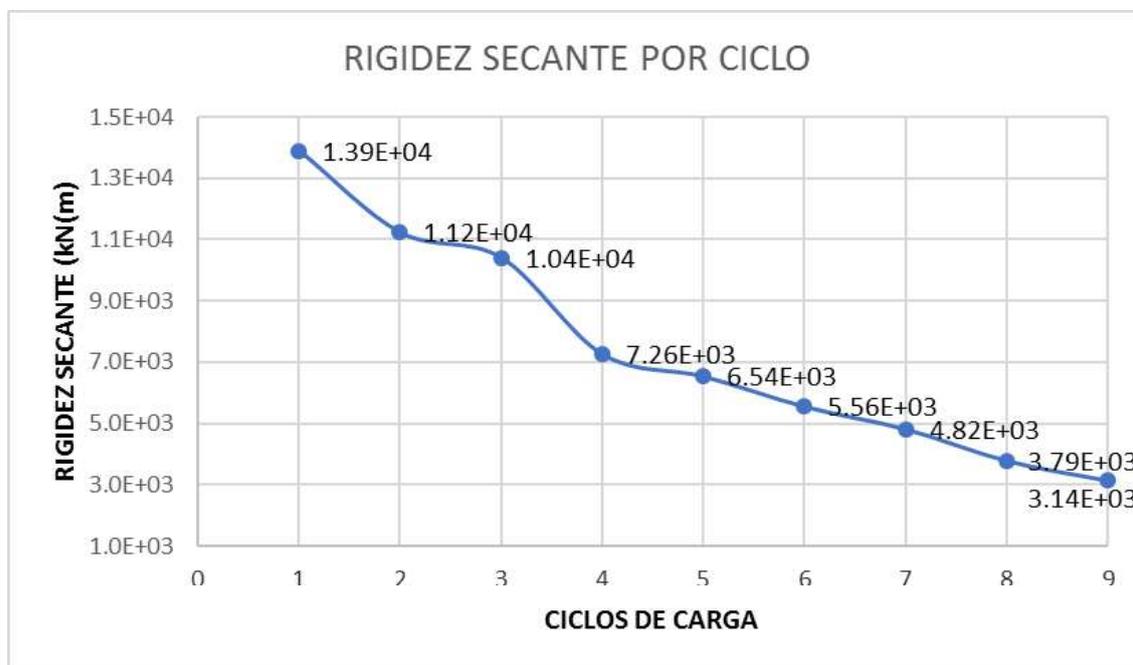
En la FIGURA 4.11, el primer muro de mampostería reforzada terminó el ciclo 10 tan solo con el 10% de su rigidez inicial.

FIGURA 4.12 SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: RIGIDEZ SECANTE DEL PRIMER CICLO DE CARGA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

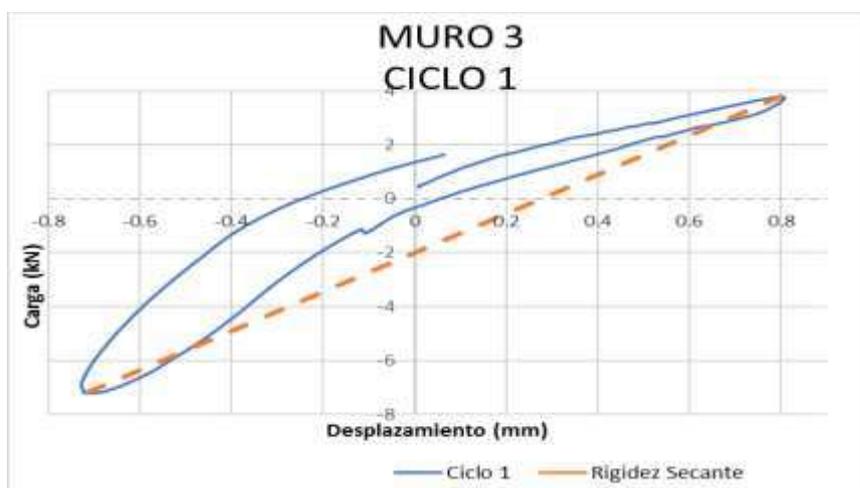
FIGURA 4.13 RIGIDEZ SECANTE POR CICLO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

En la FIGURA 4.13, se puede notar que el segundo muro de mampostería reforzada terminó el ciclo 10 solo con el 22% de su rigidez inicial.

FIGURA 4.14 TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA: RIGIDEZ SECANTE DEL PRIMER CICLO DE CARGA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 4.15 RIGIDEZ SECANTE POR CICLO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

Se puede observar que el tercer muro de mampostería reforzada terminó el ciclo 10 solo con el 23% de su rigidez inicial, como se muestra en la FIGURA 4.15.

4.1.1.3 Amortiguamiento Viscoso Equivalente

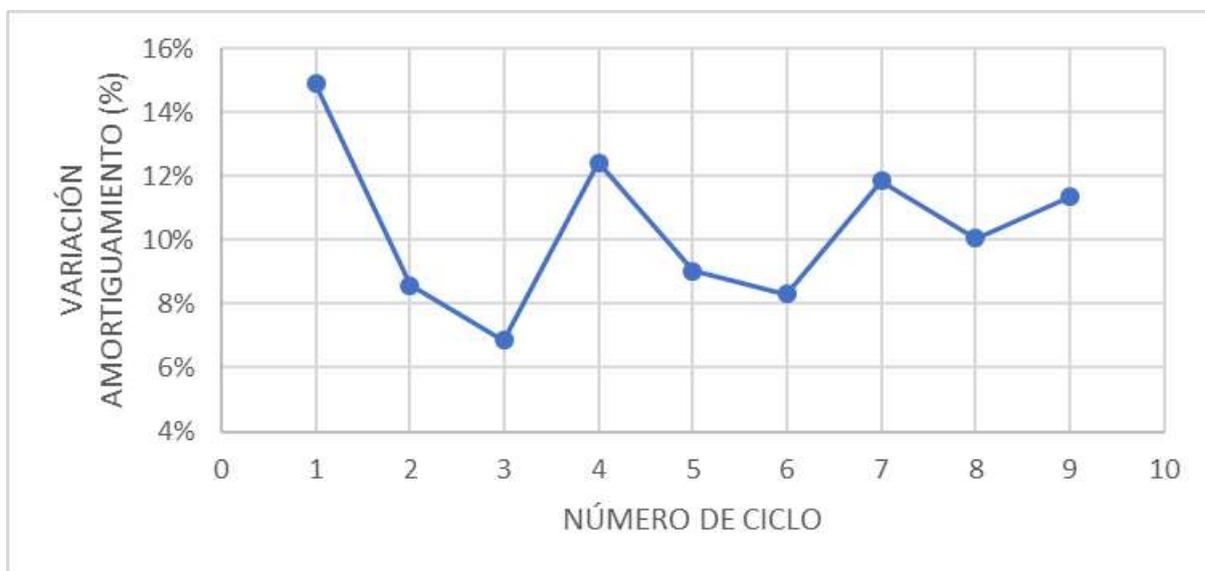
Como se muestra en la TABLA 4.5, de acuerdo con los datos que se obtuvieron en el laboratorio, se determina el amortiguamiento viscoso equivalente.

TABLA 4.4 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE POR CICLO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° Ciclo	Rigidez Secante (kN/m)	Desplazamiento (mm)	E _A , (kJ)	E _D , (kJ)	ξ
CICLO 1	1.01E+04	0.72	0.00261651	0.0049	14.90%
CICLO 2	7.85E+03	1.15	0.00519034	0.0056	8.59%
CICLO 3	7.52E+03	1.52	0.00869072	0.0075	6.87%
CICLO 4	5.25E+03	3.12	0.02555625	0.0399	12.42%
CICLO 5	4.27E+03	4.45	0.04224482	0.0479	9.02%
CICLO 6	3.69E+03	6.02	0.0667878	0.0697	8.30%
CICLO 7	2.64E+03	10.52	0.14611774	0.2175	11.85%
CICLO 8	1.96E+03	15.06	0.22266764	0.2815	10.06%

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 4.16 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO VISCOZO POR CICLO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se muestra en la TABLA 4.5, el mayor porcentaje de amortiguamiento equivalente corresponde al primer ciclo de carga, pero se descarta ya que el equipo de instrumentación no es sensible a desplazamientos pequeños e incurre en errores, por lo tanto, el valor que se toma es el siguiente más alto teniendo un 12.42% en el CICLO 4 donde empiezan a aparecer las fisuras en los bloques.

TABLA 4.5 AMORTIGUAMIENTO VISCOZO EQUIVALENTE POR CICLO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° Ciclo	Rigidez Secante (kN/m)	Desplazamiento (mm)	EA, (kJ)	ED, (kJ)	ξ
CICLO 1	1.39E+04	0.79	0.00433821	0.0067	12.29%
CICLO 2	1.12E+04	1.14	0.00730315	0.0049	5.34%
CICLO 3	1.04E+04	1.51	0.01186994	0.0103	6.91%
CICLO 4	7.26E+03	3.05	0.03378228	0.0549	12.93%
CICLO 5	6.54E+03	4.53	0.06710864	0.0751	8.91%
CICLO 6	5.56E+03	6.03	0.10102832	0.0908	7.15%
CICLO 7	4.82E+03	10.29	0.25515886	0.3105	9.68%
CICLO 8	3.79E+03	15.08	0.43085771	0.5070	9.36%

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 4.17 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO VISCOSO POR CICLO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

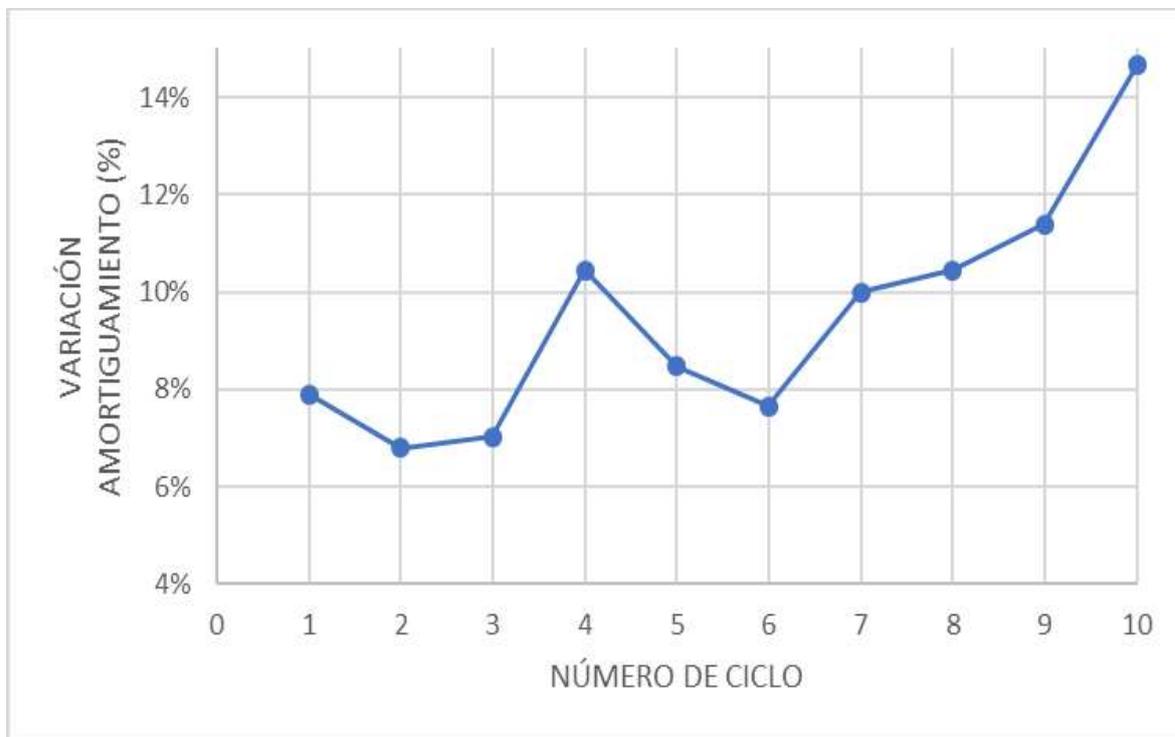
Como se muestra en la TABLA 4.6, en el caso del segundo muro se tiene que el amortiguamiento viscoso equivalente tiene un valor de 12.93% en el CICLO 4 donde ya aparecieron fisuras en el muro de mampostería reforzada.

TABLA 4.6 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE POR CICLO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° Ciclo	Rigidez Secante (kN/m)	Desplazamiento (mm)	EA, (kJ)	Ed, (kJ)	ξ
CICLO 1	7.24E+03	0.80	0.00231735	0.0023	7.90%
CICLO 2	6.45E+03	1.25	0.00504127	0.0043	6.79%
CICLO 3	6.17E+03	1.51	0.00703372	0.0062	7.01%
CICLO 4	5.99E+03	3.00	0.02697093	0.0354	10.44%
CICLO 5	5.43E+03	4.52	0.05545696	0.059	8.47%
CICLO 6	4.84E+03	6.00	0.08714021	0.0837	7.64%
CICLO 7	4.00E+03	10.14	0.20562497	0.2584	10.00%
CICLO 8	3.13E+03	15.00	0.35165233	0.4617	10.45%
CICLO 9	2.40E+03	22.53	0.60786296	0.8703	11.39%
CICLO 10	1.68E+03	33.30	0.92882703	1.711	14.66%

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 4.18 VARIACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO VISCOZO POR CICLO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



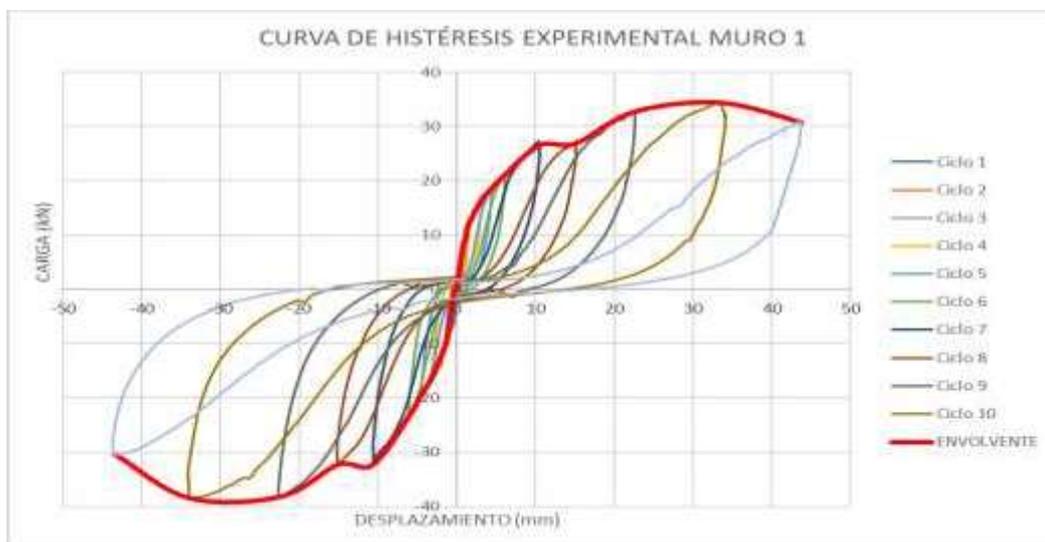
ELABORADO POR: Aguirre – Poma

En el tercer muro de mampostería reforzada el mayor valor de amortiguamiento viscoso equivalente es de 14.66% en el CICLO 10, donde la mayor parte del muro presenta fisuras, como se muestra en la TABLA 4.7.

4.1.1.4 Curva de Capacidad (Envolvente)

Esta curva está conformada por la unión de los puntos máximos y mínimos de cada ciclo representativo de carga, este procedimiento se lo realiza para apreciar de mejor manera los datos y los resultados obtenidos para cada muro de mampostería reforzada.

FIGURA 4.19 CURVA DE CAPACIDAD (ENVOLVENTE) DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre- Poma

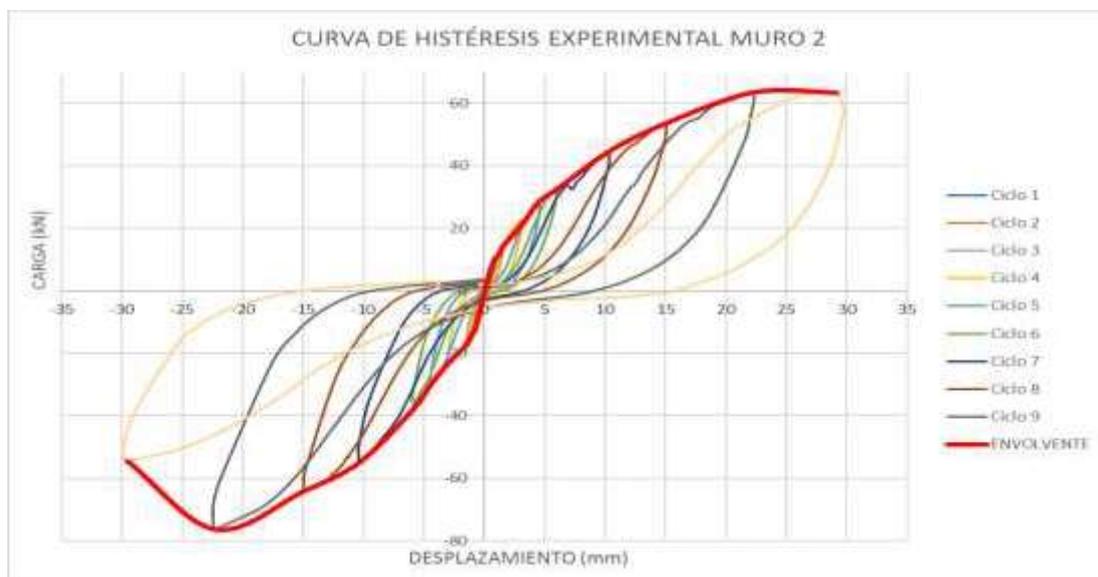
Como se muestra en la TABLA 4.7, el primer muro de mampostería reforzada tuvo una capacidad máxima de **31.68kN** y un desplazamiento de **34.12mm** en empuje, mientras que para halado tuvo una máxima capacidad de **-38.54kN** y un desplazamiento de **-33.92mm**.

TABLA 4.7 PUNTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA ENVOLVENTE PARA EL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)	
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)
CICLO 1	0.72	8.24	-0.73	-7.45
CICLO 2	1.15	10.40	-1.18	-9.12
CICLO 3	1.52	11.77	-1.47	-10.69
CICLO 4	3.12	16.48	-3.02	-16.57
CICLO 5	4.45	18.24	-4.50	-19.42
CICLO 6	6.02	20.99	-6.00	-22.75
CICLO 7	10.52	26.67	-10.57	-31.58
CICLO 8	15.06	29.42	-15.10	-35.30
CICLO 9	22.55	32.75	-22.66	-37.95
CICLO 10	34.12	31.68	-33.92	-38.54
CICLO 11	43.75	30.69		

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 4.20 CURVA DE CAPACIDAD (ENVOLVENTE) DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre - Poma

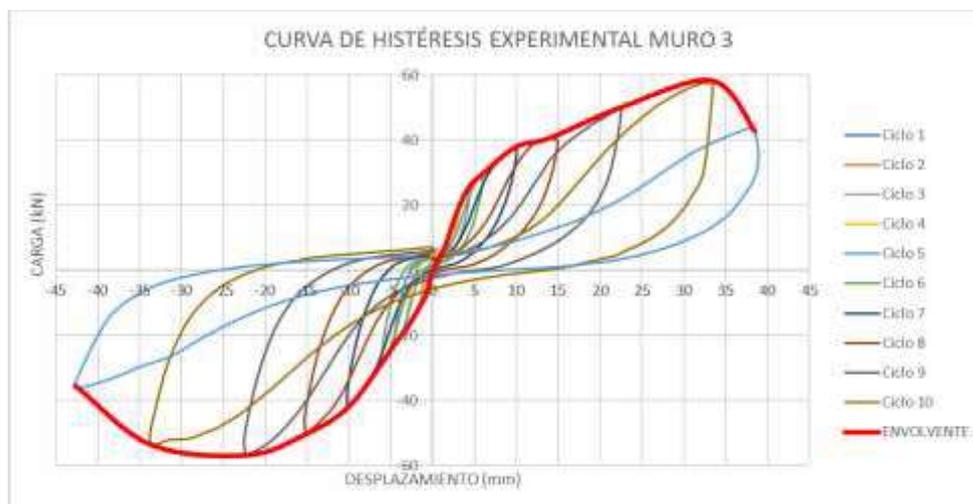
Como se muestra en la TABLA 4.8, el segundo muro de mampostería reforzada tuvo una capacidad máxima de **61.49kN** y un desplazamiento de **22.37mm** en empuje, mientras que para halado tuvo una máxima capacidad de **-74.53kN** y un desplazamiento de **-22.45mm**.

TABLA 4.8 PUNTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA ENVOLVENTE PARA EL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)	
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)
CICLO 1	0.79	9.81	-0.76	-11.18
CICLO 2	1.14	1.08	-1.13	-1.47
CICLO 3	1.51	14.32	-1.51	-17.55
CICLO 4	3.05	22.65	-3.03	-22.95
CICLO 5	4.53	28.73	-4.50	-29.62
CICLO 6	6.03	32.66	-6.00	-35.21
CICLO 7	10.29	44.62	-10.37	-53.15
CICLO 8	15.08	53.84	-15.08	-64.33
CICLO 9	22.37	61.49	-22.45	-74.53
CICLO 10	29.15	63.45	-29.57	-54.62

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 4.21 CURVA DE CAPACIDAD (ENVOLVENTE) DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre Poma

Como se muestra en la TABLA 4.9, el tercer muro de mampostería reforzada tuvo una capacidad máxima de **58.45kN** y un desplazamiento de **33.3mm** en empuje, mientras que para halado tuvo una máxima capacidad de **-53.94kN** y un desplazamiento de **-33.52mm**.

TABLA 4.9 PUNTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA ENVOLVENTE PARA EL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)	NEGATIVO (HALADO)		
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)
CICLO 1	0.80	3.92	-0.72	-7.26
CICLO 2	1.25	6.37	-1.14	-4.31
CICLO 3	1.51	7.55	-1.52	-10.98
CICLO 4	3.00	18.83	-3.11	-17.16
CICLO 5	4.52	25.79	-4.55	-22.26
CICLO 6	6.00	29.22	-6.07	-27.95
CICLO 7	10.14	27.46	-10.14	-42.27
CICLO 8	15.00	38.93	-15.16	-50.50
CICLO 9	22.53	50.21	-22.45	-56.68
CICLO 10	33.30	58.45	-33.52	-53.94
CICLO 11	38.70	41.19	-41.80	-36.28

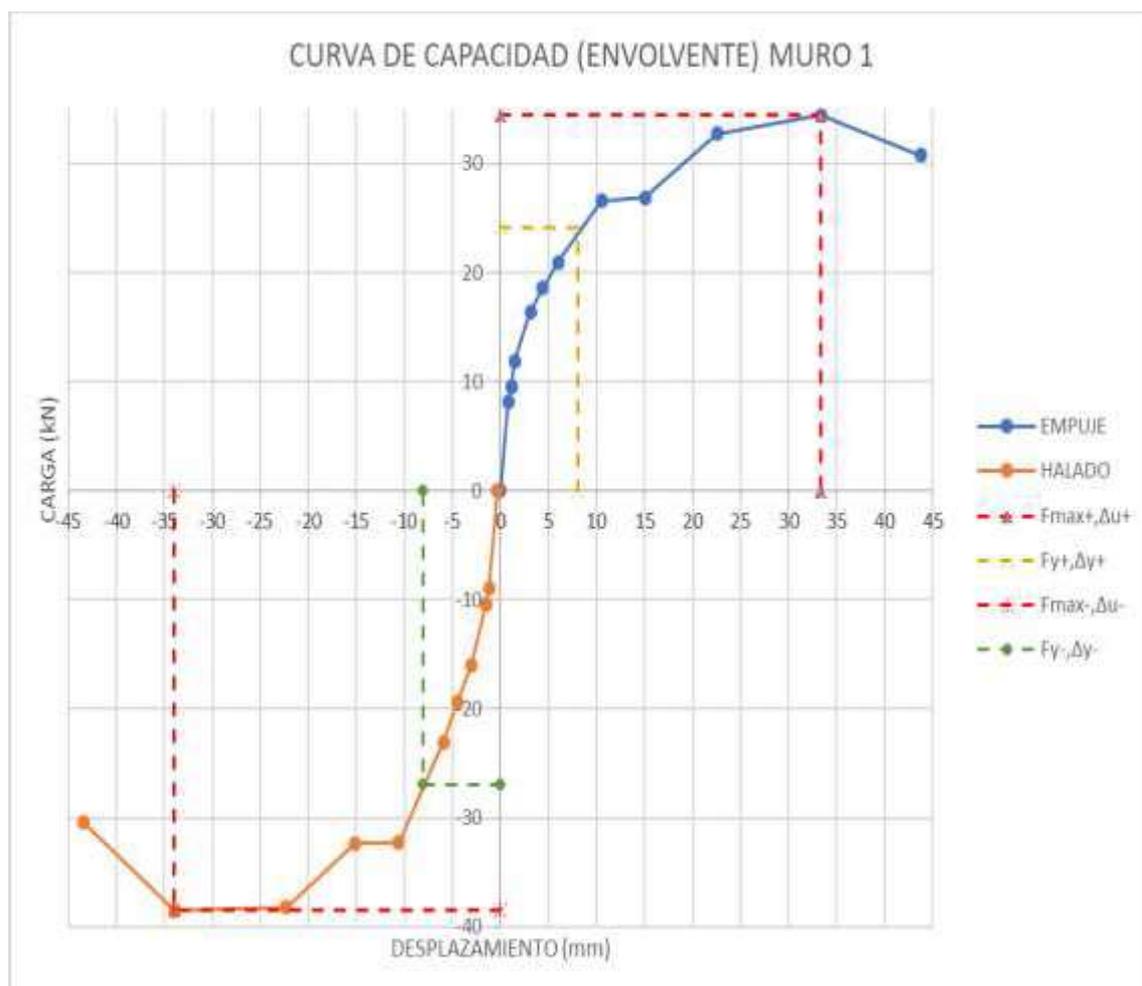
ELABORADO POR: Aguirre – Poma

4.1.1.5 Ductilidad de Desplazamiento

Una vez que se obtiene la curva de capacidad (envolvente) de cada muro de mampostería reforzada se realizó el análisis de la ductilidad de desplazamiento tanto para el empuje como para el halado, puesto que en cada caso la capacidad de soporte es diferente.

Una vez que se ha definido que la ductilidad de desplazamiento (μ) es la relación entre el desplazamiento último (Δu) y el desplazamiento de fluencia (Δy), además que el factor de reducción de resistencia sísmica (R) es la raíz cuadrada de $(2\mu-1)$, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

FIGURA 4.22 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

TABLA 4.10 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

MURO 1	EMPUJE (+)	HALADO (-)
Fmax (kN)	34.44	-38.48
Δu (mm)	33.37196	-33.92471
Fy=0.7Fmax (kN)	24.11	-26.94
Δy (mm)	8.03	-8.00
μ	4.16	4.24
$R=(2\mu-1)^{1/2}$	2.70	2.74

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Al observar los resultados obtenidos del factor de reducción de resistencia sísmica (R) del primer muro de mampostería reforzada, podemos decir que estos valores tanto en empuje como halado se aproximan al valor recomendado por la NEC-SE-VIVIENDA parte 1, que es $R=3$ para mampostería reforzada.

FIGURA 4.23 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

TABLA 4.11 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

MURO 2	EMPUJE (+)	HALADO (-)
Fmax (kN)	63.63	-76.43
Δu (mm)	22.30	-22.30
Fy=0.7Fmax (kN)	44.54	-53.50
Δy (mm)	10.30	-10.00
μ	2.17	2.23
$R=(2\mu-1)^{1/2}$	1.82	1.86

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

En este caso los resultados del factor de reducción de resistencia sísmica (R) del segundo muro de mampostería reforzada tanto en empuje como halado no se acercan al valor recomendado por la NEC-SE-VIVIENDA parte 1, que es $R=3$ para mampostería reforzada.

FIGURA 4.24 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

TABLA 4.12 DUCTILIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

MURO 3		
	EMPUJE (+)	HALADO (-)
Fmax (kN)	58.38	-53.75
Δu (mm)	33.32	-33.62
Fy=0.7Fmax (kN)	40.87	-37.63
Δy (mm)	14.00	-9.00
μ	2.38	3.74
$R=(2\mu-1)^{1/2}$	1.94	2.54

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Para el caso del tercer muro de mampostería reforzada los valores del factor de reducción resistencia sísmica (R) en empuje es 1.94, valor que no se acerca al valor recomendado por la NEC-SE-VIVIENDA parte 1 y en el halado es 2.54 este si se aproxima al valor recomendado por la norma.

4.1.1.6 Deriva

Para cada uno de los muros de mampostería reforzada el máximo desplazamiento se presenta en el último ciclo de carga, al dividir este desplazamiento para la altura de 2.40m se obtiene el valor de deriva de cada muro, la norma NEC-SE-DS,2015 permite un valor de deriva del 1%.

TABLA 4.13 DERIVA DE CADA MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° MURO	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm)	DERIVA (%)
MURO 1	34.12	1.42%
MURO 2	22.37	0.93%
MURO 3	33.30	1.39%

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Al observar la deriva del primer muro de mampostería reforzada, podemos decir que este valor es mayor al valor permitido por la NEC-SE-DS,2015, que es 1% para mampostería, además se puede observar que el valor de la deriva del segundo muro es menor al 1% que es lo que permite la norma por lo tanto el segundo muro de mampostería reforzada cumple con la deriva permitida, al igual que el primer

muro de mampostería reforzada el valor de la deriva del segundo muro de mampostería es mayor al 1% permitida por la norma.

4.1.1.7 Strain Gauges

Una vez terminados los ensayos se realizó el análisis de los sensores (strain gauges) para cada uno de los muros de mampostería reforzada.

En la FIGURA 3.14, la ubicación de los sensores es la misma para los tres muros de mampostería reforzada.

Los valores de carga a los que trabajaron los sensores se muestran a continuación:

TABLA 4.14 CARGA Y DEFORMACIÓN UNITARIA DEL PRIMER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N°	Deformación Unitaria (m/m)	Carga Ton	Tipo de Refuerzo
SG1	0.001	-2.26	LONGITUDINAL
SG2	0.002	-3.90	LONGITUDINAL
SG3	...	...	LONGITUDINAL
SG4	0.001	3.51	LONGITUDINAL
SG5	0.002	3.46	LONGITUDINAL
SG6	...	...	TRANSVERSAL
SG7	0.001	-3.91	TRANSVERSAL
SG8	0.0005	2.99	TRANSVERSAL

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Se puede observar que SG1, SG4, SG7 y SG8 trabajaron en el rango elástico. Además, que SG2 y SG5 llegaron a la zona de fluencia.

TABLA 4.15 CARGA Y DEFORMACIÓN UNITARIA DEL SEGUNDO MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N°	Deformación Unitaria (m/m)	Carga Ton	Tipo de Refuerzo
SG1	...	...	LONGITUDINAL
SG2	...	...	LONGITUDINAL
SG3	0.003	-7.80	LONGITUDINAL
SG4	0.002	6.41	LONGITUDINAL
SG5	...	...	LONGITUDINAL
SG6	0.002	6.41	TRANSVERSAL
SG7	...	...	TRANSVERSAL
SG8	...	...	TRANSVERSAL

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Se puede observar que SG3 llego a trabajar en la zona plástica. Además, que SG4 y SG6 llegaron a la zona de fluencia.

TABLA 4.16 CARGA Y DEFORMACIÓN UNITARIA DEL TERCER MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N°	Deformación Unitaria	Carga	Tipo de Refuerzo
	(m/m)	kg	
SG1	...	...	LONGITUDINAL
SG2	...	...	LONGITUDINAL
SG3	0.002	-5.48	LONGITUDINAL
SG4	0.002	5.96	LONGITUDINAL
SG5	0.003	5.96	LONGITUDINAL
SG6	...	...	TRANSVERSAL
SG7	...	...	TRANSVERSAL
SG8	...	...	TRANSVERSAL

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Se puede observar que SG3 y SG4 llegaron a trabajar en la zona de fluencia mientras que SG5 trabajó en la zona plástica.

En general se puedo obtener información de todos los sensores en los diferentes muros ya que tuvieron la misma distribución, una de las razones de no obtener información de todos los sensores en un mismo muro pudo ser el vertido del hormigón liquido (grout) ya que los mismos son muy sensibles y se pudieron producir daños en el transcurso de la construcción.

4.1.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

4.1.2.1 Energía Disipada

Como se muestran en la TABLA 4.17, para una mejor apreciación de los datos de cada muro de mampostería reforzada y realizar su comparación, se presenta las tablas con los resultados obtenidos de los experimentos realizados.

TABLA 4.17 ENERGÍA DISIPADA DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGIA DISIPADA	ENERGIA DISIPADA ACUMULADA
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	(KJ)	(KJ)
CICLO 1	0.72	8.24	-0.73	-7.45	0.0049	0.0049
CICLO 2	1.15	10.40	-1.18	-9.12	0.0056	0.0105
CICLO 3	1.52	11.77	-1.47	-10.69	0.0075	0.0180
CICLO 4	3.12	16.48	-3.02	-16.57	0.0399	0.0579
CICLO 5	4.45	18.24	-4.50	-19.42	0.0479	0.1058
CICLO 6	6.02	20.99	-6.00	-22.75	0.0697	0.1755
CICLO 7	10.52	26.67	-10.57	-31.58	0.2175	0.3930
CICLO 8	15.06	29.42	-15.10	-35.30	0.2815	0.6745
CICLO 9	22.55	32.75	-22.66	-37.95	0.5732	1.2477
CICLO 10	34.12	31.68	-33.92	-38.54	0.9645	2.2122
N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGIA DISIPADA	ENERGIA DISIPADA ACUMULADA
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	(KJ)	(KJ)
CICLO 1	0.79	9.81	-0.76	-11.18	0.0067	0.0067
CICLO 2	1.14	1.08	-1.13	-1.47	0.0049	0.0116
CICLO 3	1.51	14.32	-1.51	-17.55	0.0103	0.0219
CICLO 4	3.05	22.65	-3.03	-22.95	0.0549	0.0768
CICLO 5	4.53	28.73	-4.50	-29.62	0.0751	0.1519
CICLO 6	6.03	32.66	-6.00	-35.21	0.0908	0.2427
CICLO 7	10.29	44.62	-10.37	-53.15	0.3105	0.5532
CICLO 8	15.08	53.84	-15.08	-64.33	0.5070	1.0602
CICLO 9	22.37	61.49	-22.45	-74.53	1.0753	2.1355
N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGIA DISIPADA	ENERGIA DISIPADA ACUMULADA
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	(KJ)	(KJ)
CICLO 1	0.80	3.92	-0.72	-7.26	0.0023	0.0023
CICLO 2	1.25	6.37	-1.14	-4.31	0.0043	0.0066
CICLO 3	1.51	7.55	-1.52	-10.98	0.0062	0.0128
CICLO 4	3.00	18.83	-3.11	-17.16	0.0354	0.0482
CICLO 5	4.52	25.79	-4.55	-22.26	0.0590	0.1072
CICLO 6	6.00	29.22	-6.07	-27.95	0.0837	0.1909
CICLO 7	10.14	27.46	-10.14	-42.27	0.2584	0.4493
CICLO 8	15.00	38.93	-15.16	-50.50	0.4617	0.9110
CICLO 9	22.53	50.21	-22.45	-56.68	0.8703	1.7813
CICLO 10	33.30	58.45	-33.52	-53.94	1.7110	3.4923
CICLO 11	38.70	41.19	-41.80	-36.28		

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como lo muestran los resultados tanto en tablas como en gráficos se puede observar que mientras el desplazamiento y la carga van aumentando, el área de los bucles que representa la energía disipada también aumenta.

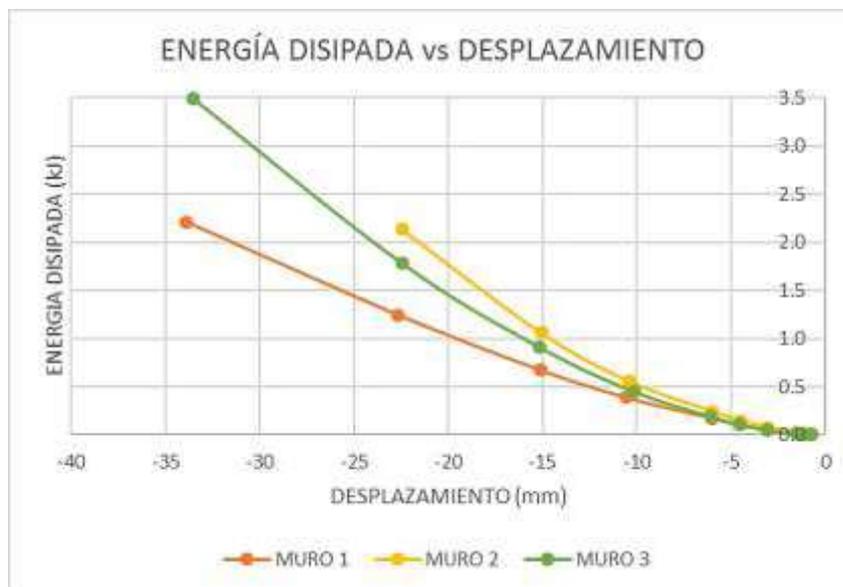
En promedio la energía disipada por los tres muros de mampostería reforzada fue de **2.61 (kJ)**.

FIGURA 4.25 ENERGÍA ACUMULADA DISIPADA VS DESPLAZAMIENTO (EMPUJE) DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 4.26 ENERGÍA ACUMULADA DISIPADA VS DESPLAZAMIENTO (HALADO) DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se muestra en las figuras 4.24 y 4.25, al incrementar el desplazamiento y la carga, la energía disipada por los muros también aumenta, además se observa que

el muro que mayor energía disipa es el tercer muro de mampostería reforzada en una razón promedio de 1.6 veces en comparación con los otros dos muros.

4.1.2.2 Degradación de la Rigidez

TABLA 4.18 DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ PARA LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE (Kn/m)	PORCENTAJE DE DEGRACIÓN (%)
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)		
CICLO 1	0.72	8.24	-0.73	-7.45	1.01E+04	
CICLO 2	1.15	10.40	-1.18	-9.12	7.85E+03	22.24
CICLO 3	1.52	11.77	-1.47	-10.69	7.52E+03	25.47
CICLO 4	3.12	16.48	-3.02	-16.57	5.25E+03	47.98
CICLO 5	4.45	18.24	-4.50	-19.42	4.27E+03	57.73
CICLO 6	6.02	20.99	-6.00	-22.75	3.69E+03	63.49
CICLO 7	10.52	26.67	-10.57	-31.58	2.64E+03	73.84
CICLO 8	15.06	29.42	-15.10	-35.30	1.96E+03	80.55
CICLO 9	22.55	32.75	-22.66	-37.95	1.58E+03	84.34
CICLO 10	34.12	31.68	-33.92	-38.54	1.08E+03	89.27

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE (Kn/m)	PORCENTAJE DE DEGRACIÓN (%)
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)		
CICLO 1	0.79	9.81	-0.76	-11.18	1.39E+04	
CICLO 2	1.14	1.08	-1.13	-1.47	1.12E+04	19.16
CICLO 3	1.51	14.32	-1.51	-17.55	1.04E+04	25.11
CICLO 4	3.05	22.65	-3.03	-22.95	7.26E+03	47.76
CICLO 5	4.53	28.73	-4.50	-29.62	6.54E+03	52.95
CICLO 6	6.03	32.66	-6.00	-35.21	5.56E+03	60.03
CICLO 7	10.29	44.62	-10.37	-53.15	4.82E+03	65.33
CICLO 8	15.08	53.84	-15.08	-64.33	3.79E+03	72.74
CICLO 9	22.37	61.49	-22.45	-74.53	3.14E+03	77.41

N° CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE (kN/m)	PORCENTAJE DE DEGRACIÓN (%)
	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)	Desplazamiento (mm)	Carga (kN)		
CICLO 1	0.80	3.92	-0.72	-7.26	7.24E+03	
CICLO 2	1.25	6.37	-1.14	-4.31	6.45E+03	10.89
CICLO 3	1.51	7.55	-1.52	-10.98	6.17E+03	14.80
CICLO 4	3.00	18.83	-3.11	-17.16	5.99E+03	17.24
CICLO 5	4.52	25.79	-4.55	-22.26	5.43E+03	25.03
CICLO 6	6.00	29.22	-6.07	-27.95	4.84E+03	33.15
CICLO 7	10.14	27.46	-10.14	-42.27	4.00E+03	44.77
CICLO 8	15.00	38.93	-15.16	-50.50	3.13E+03	56.84
CICLO 9	22.53	50.21	-22.45	-56.68	2.40E+03	66.93
CICLO 10	33.30	58.45	-33.52	-53.94	1.68E+03	76.87

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

La degradación de la rigidez en promedio del primer muro fue de 56.95%, del segundo muro 52.56% y del tercer muro fue del 38.50%, esto quiere decir que el porcentaje de degradación de la rigidez más alta se presentó en el primer muro.

FIGURA 4.27 DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ VS DESPLAZAMIENTO (EMPUJE) DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

FIGURA 4.28 DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ VS DESPLAZAMIENTO (HALADO) DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

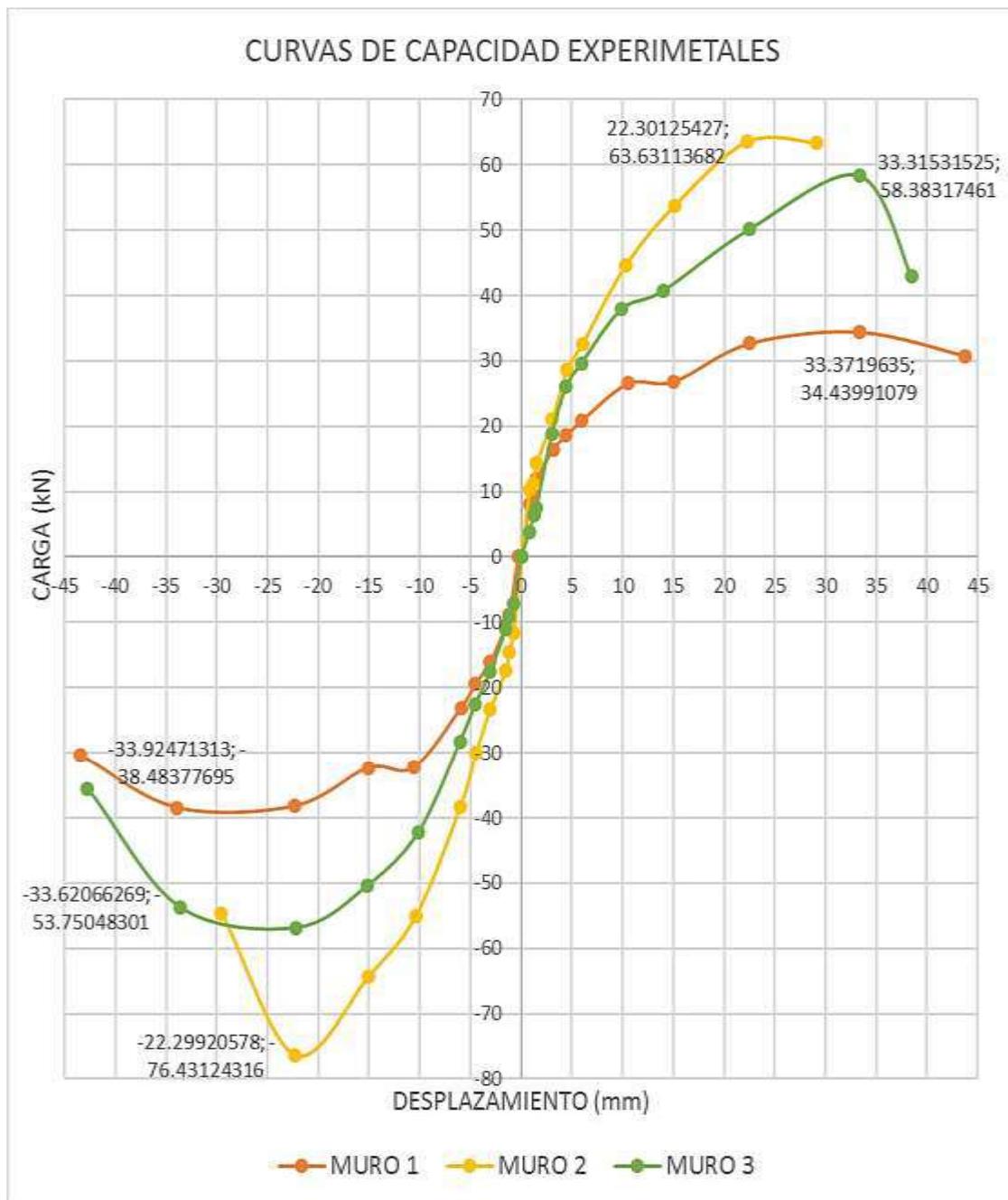


ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se puede observar la degradación de rigidez inicial del muro 2 es mayor que los otros dos muros y esto se mantiene mientras va aumentando el desplazamiento.

4.1.2.3 Capacidad Máxima y Degradación de la Resistencia

FIGURA 4.29 CURVA DE CAPACIDAD EXPERIMENTAL DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



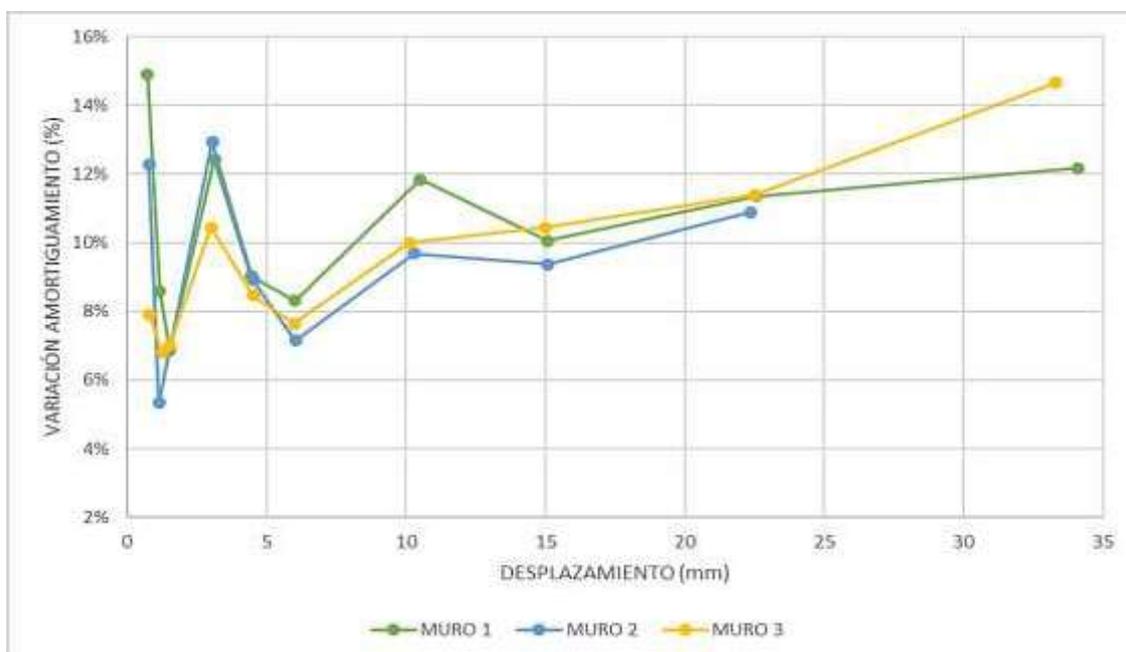
ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se puede observar la capacidad del muro 2 es mayor que la capacidad en una relación promedio de 1.5 veces que los otros dos muros, aunque su capacidad máxima la alcanza en menor desplazamiento que los otros dos muros.

4.1.2.4 *Amortiguamiento Viscoso Equivalente*

Como ya se ha mencionado esta propiedad está ligada a los desplazamientos máximos de cada ciclo de carga, como se muestra en las FIGURAS 4.30.

FIGURA 4.30 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO EQUIVALENTE DE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Lo que se puede observar es que en promedio el primer muro tiene un menor amortiguamiento equivalente a comparación de los otros dos muros, esto se corrobora también con la información de las TABLAS 4.4, 4.5, 4.6.

4.1.2.5 *Ductilidad*

Tal como se muestra en la TABLA 4.19, para realizar una comparación de la ductilidad para los tres muros de mampostería reforzada se realizó un promedio entre la ductilidad de empuje y halado, dando como resultado que el primer muro es más dúctil que los otros dos.

TABLA 4.19 COMPARACIÓN DE DUCTILIDAD PARA LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

	MURO 1		MURO 2		MURO 3	
	EMPUJE (+)	HALADO (-)	EMPUJE (+)	HALADO (-)	EMPUJE (+)	HALADO (-)
F_{max} (kN)	34.44	-38.48	63.63	-76.43	58.38	-53.75
Δu (mm)	33.37	-33.92	22.30	-22.30	33.32	-33.62
F_y=0.7F_{max} (kN)	24.11	-26.94	44.54	-53.50	40.87	-37.63
Δy (mm)	8.03	-8.00	10.30	-10.00	14.00	-9.00
μ	4.16	4.24	2.17	2.23	2.38	3.74
R=(2μ-1)^{1/2}	2.70	2.74	1.82	1.86	1.94	2.54
PROMEDIO	2.72		1.84		2.24	

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

4.1.2.6 Derivas

Como se muestra en la TABLA 4.20, el único muro que cumple con el valor de 1% de deriva que permite la NEC-SE-DS, 2015 es el muro 2.

TABLA 4.20 COMPARACIÓN DE DERIVAS ENTRE LOS TRES MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

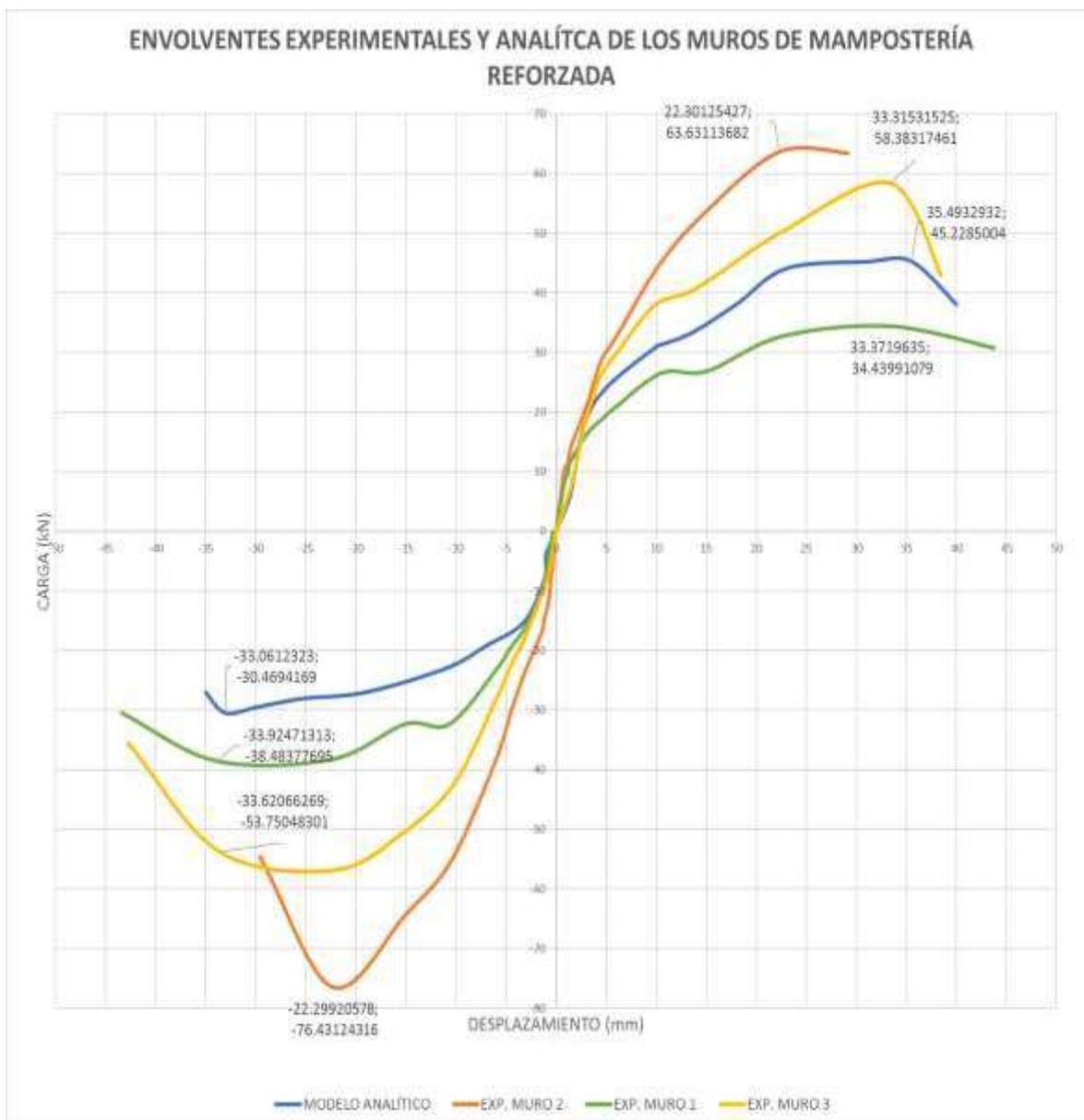
N° MURO	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm)	DERIVA (%)
MURO 1	34.12	1.42%
MURO 2	22.37	0.93%
MURO 3	33.30	1.39%

ELABORADO POR: Aguirre – Poma

4.1.3 COMPARACIÓN ENTRE LAS CURVAS DE CAPACIDAD EXPERIMENTALES Y LA CURVA DE CAPACIDAD ANALÍTICA DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

A continuación, se presenta las curvas de capacidad para los tres muros de mampostería reforzada obtenidas experimentalmente y la curva de capacidad obtenida analíticamente ver FIGURA 4.31.

FIGURA 4.31 CURVAS DE CAPACIDAD EXPERIMENTALES Y CURVA DE CAPACIDAD ANALÍTICA DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA



ELABORADO POR: Aguirre – Poma

Como se puede observar en la gráfica 4.29 en el sentido de empuje, la capacidad de carga que se obtuvo de manera analítica es menor a la capacidad de carga obtenida de manera experimental de los muros 2 y 3, por lo que la capacidad de carga experimental del muro 2 y la capacidad de carga analítica tiene una diferencia del 28.91%, entre la capacidad de carga del muro 3 y la capacidad de carga

analítica se tiene una diferencia del 22.52%, mientras que la capacidad de carga experimental del muro uno es menor a la capacidad de carga analítica, siendo diferente en un 23.85%.

En cuanto al sentido de halado se observa que la capacidad de carga experimental de los tres muros de mampostería es mayor que la capacidad de carga analítica, teniendo que la capacidad de carga experimental del primer muro y la capacidad de carga analítica tiene una diferencia del 20.81%, la capacidad de carga experimental del muro 2 y la capacidad de carga analítica difiere en un 60.13%, mientras que la capacidad de carga experimental del tercer muro y la capacidad analítica difieren en un 43.31%.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA EL MODELO EXPERIMENTAL Y MODELO ANALÍTICO

4.2.1 MODELO EXPERIMENTAL

Una vez obtenidas todas las propiedades mecánicas de los tres muros de Mampostería Reforzada contruidos experimentalmente, se puede hacer hincapié en lo siguiente:

En cuanto a la energía disipada, se evidencia que hay una mejor respuesta en el tercer muro en comparación a los otros dos muros como resultado de la recuperación de energía que se produjo, dado que las estructuras absorben y disipan energía, y esta puede ser recuperable a través de la energía de deformación elástica y no recuperable como energía inelástica, la recuperación o no de energía está ligada al daño de la estructura, esto se justifica al momento de llevar a cabo los ensayos, donde el tercer muro fue el que presentó la menor cantidad de fisuras con respecto a sus similares.

A medida que va aumentando la carga crece la deformación y se produce un deterioro de su rigidez dando como resultado una mayor degradación en el primer muro y una menor degradación en el tercero, esto se fundamenta con los valores de energía de disipación que fueron mayores en el mismo, de acuerdo a la literatura una publicación hecha por la UNAM menciona que si la degradación de rigidez excede al 70% de la resistencia se define un estado de colapso, si bien no se

alcanzó estos valores para un desplome total del muro se logró evidenciar que con un promedio de 56.95% de degradación de rigidez en el primer muro, se obtuvo el mayor número de fisuras, desgaste de materiales y mayor punto de colapsó, en comparación con sus semejantes que presentaron un mejor comportamiento estructural.

Se conoce que el amortiguamiento viscoso está dado por una relación entre la energía disipada y la rigidez secante con el desplazamiento máximo, entonces a media que esa energía es baja y la degradación mayor, los valores obtenidos serán cada vez más bajos, cumpliendo con esta teoría se obtuvo que el primer muro presentó un 12.42% de amortiguamiento, convirtiéndose este en el rango más bajo en comparación con sus similares, dichos valores están justificados ya que el mismo muro presenta el mayor porcentaje de degradación de rigidez.

En cuanto a la capacidad máxima se analizó los puntos máximos y mínimos de cada ciclo de carga obteniendo que el segundo muro presenta una mayor capacidad de carga con 63.63 kN, frente a un desplazamiento de 22.30 mm en comparación a los dos muros restantes, en el capítulo 2 se fundamenta que existe una teoría basada en la degradación residual que menciona que aunque acontezca una pérdida relevante de la rigidez, la resistencia puede seguir siendo alta, sustentado esto el muro dos presenta una mayor pérdida de rigidez con un 52.36% en comparación al tercero que fue del 38.50%, con la variante de que la resistencia del segundo es mayor al tercero, alegando otras razones se puede mencionar que la parte constructiva también jugó un papel importante para este resultado, ya que al momento de realizar el desalojo el segundo muro se encontraba relleno de grout en sus tres primeras hileras haciéndolo más rígido en comparación a los otros dos sobrantes.

Los resultados obtenidos en cuanto a ductilidad de desplazamiento evidenciaron que se presentan valores mayores en el primer muro, resultados que se esperaban debido a que para entregar una evaluación de la capacidad que ostenta una estructura a desplegar ductilidad es necesario analizar su desplazamiento, entonces con un valor de 34.12 mm, mismo que fue el mayor desplazamiento obtenido en los ensayos experimentales en los tres muros, con ello se obtiene un

factor de reducción de resistencia sísmica de 2.70 el más cercano a 3 que es el recomendado por la NEC-2015, para muros de mampostería reforzada, en lo que resta al segundo y tercer modelo no cumplen con este factor ya que los desplazamientos a los que se llegó son más pequeños debido a que degradan en menor cantidad y presentan una mayor capacidad.

Acerca de las derivas los resultados obtenidos fueron que únicamente el segundo muro cumple con los valores permisibles que dicta la Norma Ecuatoriana de la Construcción, siendo menor al 1%, estos resultados obtenidos se pueden sustentar debido a que para llegar a obtener estos rangos se considera el desplazamiento máximo obtenido en todos los ensayos cíclicos de carga a los que fue expuesto el muro y dividido para la altura del muro, ante esto ya se ha mencionado en esta misma sección que la capacidad máxima de carga del muro dos es la mayor entre sus dos similares y los desplazamientos alcanzados son menores a los otros, ante esto está justificado que sea el único que cumpla con el chequeo de derivas.

Es importante mencionar que se hizo una presentación de resultados en cuanto a los strain gauges sensores para medir la deformación unitaria del acero, pero, la información obtenida fue muy limitada debido al daño de los mismos, y como se encontraban embebidos dentro de la estructura no hubo forma de cambiarlos para tener lecturas completas al momento de ejecutar los ensayos, obteniendo resultados de que en promedio de 2 sensores llegaron a la zona de fluencia y uno trabajó en la zona plástica debido a que no hubo un colapso de los muros y estos no estuvieron sometidos a grandes esfuerzos.

4.2.2 MODELO ANALÍTICO

El resultado obtenido en cuanto al modelo analítico, en lo que respecta a capacidad de carga, fue de 45.23kN, para alcanzar este valor se hizo uso de un modelo idealizado de celosía al hacer esto permitió incorporar los refuerzos horizontales y verticales, al mismo tiempo se hace la calibración de los modelos haciendo uso de los datos obtenidos experimentalmente en lo que respecta a ensayo de materiales, áreas de los elementos y probando con rangos de resistencia de mampostería. En tanto se pudo superar la carga del primer muro ensayado experimentalmente, para los otros dos restantes quedó por debajo de esos valores de carga, si bien la

diferencia en rangos no difiere en gran magnitud por ello se acepta el modelo analítico como una representación de los modelos realizados experimentalmente.

4.2.3 MODELO EXPERIMENTAL- MODELO ANALÍTICO

Al hacer una comparación entre el modelo analítico y el experimental, los resultados obtenidos son los que se hubieran querido alcanzar, sin embargo es imprescindible dejar en claro que es muy difícil conseguir este objetivo ya que en un modelo analítico no se toma en cuenta la construcción en el laboratorio de ensayos, los procedimientos constructivos, mano de obra, calidad de materiales etc., son variables que no se puede controlar al 100%, y las mismas no pueden ser inducidas en un software y tener un análisis completo, es el caso de este proyecto de titulación, un acontecimiento que se pudo observar y de gran importancia es que la lechada de hormigón o grout únicamente debía estar en las celdas que contengan los refuerzos verticales, pero la geometría del mampuesto permitió que el grout se esparciera por la segunda y tercera hilera de bloques en los muros dos y tres respectivamente, por lo que se cree que esta es la principal causa de que la curva de capacidad de carga del modelo analítico difiera de la curva de capacidad de los modelos experimentales.

La capacidad de carga es el parámetro más importante que se puede comparar entre los modelos experimentales y el modelo analítico, teniendo que, en promedio la capacidad de carga de los muros experimentales es mayor que la capacidad de carga analítica, además se observa que los desplazamientos obtenidos analíticamente son muy parecidos a los experimentales, por lo que se corrobora que llega al agotamiento en menor tiempo que los muros experimentales.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Concluido la etapa de construcción, procesamiento de datos y calibración de modelos, se determinaron las propiedades mecánicas de un muro de mampostería reforzada construido experimentalmente y de igual manera hecha la comparación con el modelo analítico, ante todo lo realizado se pudieron obtener las siguientes conclusiones.

5.1 CONCLUSIONES

- Sobre las teorías de falla de una mampostería, se evidenció que mucho tiene que ver la correcta colocación del mortero y la unidad de mampostería, por lo que su correcto funcionamiento se ve limitado por la falta de control en la mano de obra y el proceso constructivo al que se encuentra sometido.
- Con respecto a la geometría y dimensiones de los muros construidos se cumplió con una relación 1:1 respecto a su ancho y largo, debido a esta característica el diseño que predominó es el diseño a corte.
- Al finalizar la calibración del modelo analítico, se puede decir que OpenSees utiliza métodos basados en elementos finitos, y el paso primordial para tener éxito en el programa es tener el mayor número de subdivisiones tanto de elementos como de nudos, además de especificar cargas a las que está expuesto y restricciones nodales que el diseñador crea conveniente.
- En cuanto a la predicción de carga realizada para los muros de mampostería reforzada, los resultados obtenidos en los ensayos estuvieron por debajo de 8.97 T. que fue lo estimado teóricamente con la ayuda del diagrama de interacción, teniendo un valor de 6.27 T. en el ensayo experimental, como consecuencia de haber utilizado un diseño a flexo-compresión.
- En el modelo analítico se evidenció que la programación es muy susceptible a cambios bruscos en cuanto a las propiedades de materiales se refiere, por lo que, en la calibración de los modelos, los valores que más se ajustaron

para llegar al resultado final fueron los valores de las áreas de hormigón y acero, además de sus geometrías.

- En los ensayos de los tres muros de mampostería reforzada las primeras fisuras aparecieron entre el cuarto y quinto ciclo de carga en el sentido de empuje a una carga promedio de 2 T, si bien esto no infiere de una manera significativa en la resistencia del sistema, a este punto se le puede tomar como un punto de control de desempeño al momento de diseñar este tipo de estructuras.
- Al término de los ensayos, las fallas se presentaron en el centro de los tres muros de mampostería siendo el mortero el primer elemento en fallar, observando que el desprendimiento del mortero se dio en la parte superior del bloque donde tiene una menor adhesión.
- Al comparar los resultados de los ensayos experimentales de los tres muros de mampostería reforzada se puede concluir que, en lo que a capacidad de carga respecta, el muro de mampostería que mayor carga soportó fue el muro número dos, teniendo un valor de 63.63 kN a un desplazamiento de 22.30 mm.
- Al finalizar los ensayos experimentales y procesar los datos obtenidos, se puede decir que, el muro que mayor energía disipó a lo largo de todo el ensayo es el muro de mampostería número tres, disipando un valor de 3.49kJ en el décimo ciclo.
- Al término de los ensayos experimentales y el análisis de los resultados obtenidos, se puede concluir que el muro de mampostería número uno, es el que mayor degradación de rigidez presenta, además de evidenciar un mayor deterioro y una gran cantidad de fisuras respecto a los otros dos muros de mampostería reforzada.
- Al comparar el ensayo experimental de nuestros muros de mampostería reforzada y ensayos experimentales anteriores realizados en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) con características similares, se concluyó que, los muros no presentan desprendimiento ni separación de la mampostería en la base de la cimentación gracias a que el grout se dispersó por las primeras filas de la mampostería.

- Ya que el amortiguamiento viscoso equivalente está ligado estrechamente al desplazamiento máximo, se puede concluir que el muro número uno es el que presenta el menor valor de amortiguamiento viscoso equivalente, teniendo un 12.42%.
- En cuanto a la ductilidad de desplazamiento se puede concluir que, de los tres muros de mampostería reforzada, el único muro que se aproximó al valor ($R=3$) que recomienda la NEC-15, es el muro número uno con un valor de 2.72.
- Al realizar los cálculos pertinentes a lo que derivas se refiere, se concluye que el muro de mampostería reforzada número uno es el único que cumple con el valor de derivas (1%) que permite la NEC-15, teniendo un valor de 0.93%.
- Teniendo en cuenta la ubicación de los strain gauges en los tres muros de mampostería reforzada, se puede concluir que los sensores van a trabajar en diferentes zonas y gracias a ellos se puede tener una idea de la deformación que sufre el acero de refuerzo.
- Al comparar las curvas de capacidad de los tres muros de mampostería reforzada obtenidos de manera experimental y la curva de capacidad analítica, se concluye que, la capacidad de carga de los muros dos y tres, es mayor a la capacidad de carga del modelo analítico, mientras que la capacidad de carga del muro uno es menor a la capacidad de carga del modelo analítico.

5.2 RECOMENDACIONES

- Respecto a la unidad de mampuesto se recomienda pedir una certificación donde conste la dosificación empleada para su fabricación y la resistencia que debe cumplir para ser un elemento estructural.
- Controlar de una manera más eficiente la construcción de los muros de mampostería, donde cumpla la correcta colocación de las unidades de mampuesto y que la cantidad de mortero empleada sea la que se propuso en el diseño.

- Se recomienda realizar ensayos con las mismas características, con la diferencia de que el grout sea vertido en todas las celdas del mampuesto y así corroborar que la resistencia del sistema será mayor que la obtenida en estos ensayos.
- Con respecto a la función que cumplen los strain gauges, para tener una mejor lectura de los datos proporcionados por estos sensores, se recomienda cuidar el vertido del grout para que este no dañe el buen funcionamiento y así tener información más completa sobre el comportamiento del acero.
- Para futuros ensayos se recomienda diseñar y construir muros esbeltos y así poder comparar la curva de capacidad que se obtenga con la curva de capacidad obtenida de los ensayos realizados en este proyecto.
- Para el caso de la modelación analítica, se recomienda que para futuros modelos se haga investigaciones con muros esbeltos, ya que según la bibliografía revisada en otras investigaciones evidencia que para muros esbeltos se presenta un mejor comportamiento a comparación de los cuadrados.
- Como una recomendación primordial para futuras investigaciones es que se realicen ensayos de muretes con las mismas características de dosificación tanto para agregados como para mampuestos, esto con el fin de llegar a valores reales que asemejen los resultados tanto experimentales como analíticos al momento de calibrarlos.
- Se recomienda utilizar mano de obra calificada en la construcción de los muros de Mampostería, ya que repercute de forma considerable en el comportamiento final de los mismos.

REFERENCIAS

- ACI530, D. b. (2011). Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures. City of Dallas: Copyright American Concrete Institute.*
- ALBUJA JARAMILLO, D. R., & PANTOJA TAEZ, J. J. (junio de 2017). ESTUDIO DEL REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE HORMIGÓN CON MALLA ELECTOSOLDADA MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS. Quito, Pichincha, Ecuador.*
- American Concrete Institute (318-14). (2014). Building Code Requierements for Structural Concrete. USA: farmington Hills: MI 48331.*
- ARIAS & MEJÍA, L. (2012). INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELÁSTICO DE MAMPOSTERÍASS CON RESISTENCIA ESTRUCTURAL PARA SER UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE UN PISO Y PROYECCIÓN DE DOS. TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.*
- ASTM. (2011). Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the LAteral Force Resisting Systems for Buildings.*
- ASTMC406-10. (2010). Standard Specification for Roofing Slate. United States.*
- ASTMC55-17. (2017). Standard Specification for Concrete Building Brick. Unites States.*
- BORDES MORALES, J. A. (2012). DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA DE MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO LA NORMA TMS 402-08/ACI 530-08/Y LA PROPUESTA DE NORMA DE DISEÑO DEL SUBCOMITÉ 5- MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL Y VIVIENDA 1 Y 2 PISOS DEL CEC-2010 . Guayaquil, Guayas, Ecuador.*
- CALO CATOTA, J. V., & SALCEDO PALADINES, F. S. (Octubre de 2008). ENSAYO A CARGA HORIZONTAL DE MAMPOSTERÍAS REFORZADAS*

CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO FC BLOCK FASE II. Quito, Pichincha, Ecuador.

Crisafulli, F. J. (1997). *Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills*. Christchurch, New Zeland.

ESPE. (25 de Mayo de 2005). Repositorio Espe.edu.ec. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2043/6/T-ESPE-020940-5.pdf>

Gallegos , H., & Casabonne , C. (2005). ALBAÑILERIA ESTRUCTURAL. FONDO EDITORIAL.

INEN. (s.f.). GPE INEN 21 Guía de Práctica de Mampostería Reforzada. Quito, Ecuador.

INEN 1108, N. (2011). AGUA POTABLE,REQUISITOS. Quito, Ecuador.

INEN NTE 578. (2010). HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO. Quito.

LIMA, K., & PAREDES, J. (JULIO de 2017). ESTUDIO ANALÍTICO EXPERIMENTAL DEL DESEMPEÑO DE UN PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO CON PANELES DE RELLENO DE BLOQUE DE BAJA RESISTENCIA, A TRAVÉS DE UN ENSAYO A CARGA LATERAL Y MODELO COMPUTACIONAL. QUITO, ECUADOR.

Luna, G. (2014). ESTUDIO DEL HORMIGÓN Guía Didáctica para el Diseño de Mezclas. Quito: Edicumbre.

Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., & Fenves, G. L. (19 de Julio de 2006). *OpenSees Command Language Manual*.

Modena, d. P. (2016). *Brick and Block Masonry – Trends, Innovations and Challenges*. London: Taylor & Francis Group.

MOSCOSO MOSQUERA, M. A., & PAZMIÑO ZAMORA, C. L. (Agosto de 2018). ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE PANELES

VERTICALES DE TUBOS DE ACERO ESTRUCTURAL Y MUROS ESTRUCTURALES MIXTOS ANTE CARGA LATERAL. Quito, Pichincha, Ecuador.

MOYA, C. A. (Abril de 2016). COMPORTAMIENTO CÍCLICO DE ALBAÑILERÍA ARMA DE BLOQUES DE HORMIGÓN PARCIALMENTE RELLENO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y NÚMÉRICO. Santiago de Chile, Chile.

Nazar, F. (21 de Abril de 2016). INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS NO LINEAL DE ESTRUCTURAS "AUXILIAR DE OPENSEES". Obtenido de OUTLINE: file:///C:/Users/Marcela%20Poma/Downloads/CI7211OpenSees.pdf

NEC-15. (2015). Peligro Sísmico-Diseño Sismoresistente. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

NEC-SE-CG. (2015). Norma Ecuatoriana de la construcción, Cargas no Sísmicas (CG). Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

NEC-SE-DS. (2015). Norma Ecuatoriana de la construcción, Peligro Sísmico (DS). Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

NEC-SE-HM. (2015). ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.

NEC-SE-MP. (2015). MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL. ECUADOR.

NEC-SE-VIVIENDA. (2015). VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS CON LUCES DE HASTA 5m. QUITO: MIDUVI.

NTCM. (6 de octubre de 2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y construcción de Estructuras de Mampostería. D.F. México, México.

OpenSees. (Octubre de 2006). OpenSees. Obtenido de OpenSees: <https://opensees.berkeley.edu/>

Panagiotou, M., Restrepo, J. I., Schoettler, M., & Kim, G. (2012). Nonlinear cyclic truss Model for reinforced Concrete Walls. ACI Structural Journal, 205-214.

Paulay, T., & Priestley, M. (1992). SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND MASONRY BUILDINGS. United States: John Wiley & Sons, Inc.

Rivas, L. (2017). ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA CONFINADA Y UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA . Quito.

Rivera. (2000). Tecnología Concreto y Mortero. En G. A. Rivera, Tecnología Concreto y Mortero (pág. 18). Valle del Cauca.

ANEXOS

ANEXO No. 1

INFORMES DE ENSAYOS DE MATERIALES



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

INF No 19-024-I

Quito, 28 de febrero de 2019

Hoja 01 de 04

SOLICITA: MARCELA POMA PATIÑO; KARINA AGUIRRE MANOSALVAS

Atención: Marcela Poma Patiño; Karina Aguirre Manosalvas

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

MINA: PIFO

CONDICIONES DE DOSIFICACION $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

- Condición de exposición normal
- Tamaño máximo del ripio 1"
- Sin inyección de aire ni aditivos
- Asentamiento 7,5 - 10 cm
- Se consideran los materiales en estado seco

RESUMEN DE RESULTADOS

CEMENTO (Sacos / m ³)	DOSIS PESO	DOSIS VOLUMEN	CEMENTO: 1 saco de 50.0 Kg	
			ARENA (cajonetas)	RIPIO (cajonetas)
7.28	0.63 : 1 : 2.30 : 2.53	0.65 : 1 : 1.59 : 2.02	3 de 30 x 30 x 28	4 de 30 x 30 x 27

OBSERVACIONES: Se requiere eliminar el material retenido en el tamiz No. 8 y el 80% del retenido en el tamiz No. 16 del agregado fino para que pueda ser utilizada en fabricación de hormigón.

Ing. Mercedes Villacis
JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300

Ext.: 1609

Dosif-19-002-I

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES

INF No 19-024-I
Hoja 02 de 04

Quito, 28 de febrero de 2019

SOLICITA: MARCELA POMA PATIÑO; KARINA AGUIRRE MANOSALVAS

Atención: Marcela Poma Patiño; Karina Aguirre Manosalvas

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES
PROYECTO: ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

a. ARENA.

MINA: PIFO

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:	1.505	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1.790	gr/cm ³

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	NORMA: ASTM C128, INEN 856	
PESO ESPECÍFICO:	2.516	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO SSS:	2.599	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA:	3.284	%

ENSAYO CONTENIDO ORGÁNICO	NORMA: ASTM C40	
ESCALA DE GARDNER	0	

MODULO DE FINURA	2.85
------------------	------

b. RIPIO

MINA: PIFO

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:	1.301	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1.460	gr/cm ³

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	NORMA: ASTM C128, INEN 856	
PESO ESPECÍFICO:	2.582	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO S.S.S.:	2.631	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA:	1.923	%

MODULO DE FINURA	7.23
------------------	------

c. CEMENTO: GU

DENSIDAD SUELTA	1.040	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA	1.270	gr/cm ³
DENSIDAD REAL	3.040	gr/cm ³

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Doc: 10.002-I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

INF No 19-024-I

Quito, 28 de febrero de 2019

Hoja 03 de 04

SOLICITA: MARCELA POMA PATIÑO; KARINA AGUIRRE MANOSALVAS

Atención: Marcela Poma Patiño; Karina Aguirre Manosalvas

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía-EPN

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK.

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

MINA: PIFO

NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
3/8	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0
4	4.75	1.1	1.1	1.1	98.9
8	2.38	0.0	0.0	1.1	98.9
16	1.19	34.3	33.2	34.3	65.7
30	0.59	27.1	26.2	60.5	39.5
50	0.30	28.7	27.8	88.3	11.7
100	0.15	11.8	11.4	99.7	0.3
BANDEJA		0.3	0.3	100.0	0.0
TOTAL		103.3	FINURA	2.85	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.
Se requiere eliminar el material retenido en el tamiz No. 8 y el 80% del retenido en el tamiz No. 16 para que pueda ser utilizada en fabricación de hormigón.



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Desif-19-002-I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

INF No 19-024-1

Hoja 04 de 04

Quito, 28 de febrero de 2019

SOLICITA: MARCELA POMA PATIÑO; KARINA AGUIRRE MANOSALVAS

Atención: Marcela Poma Patiño; Karina Aguirre Manosalvas

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROYECTO: ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

MINA: PIJO

NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1 *	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4 *	19.00	910.4	8.9	8.9	91.1
3/8 *	9.50	6157.5	60.5	69.5	30.5
4	4.75	2992.0	29.4	98.9	1.1
8	2.36	107.8	1.1	99.9	0.1
BANDEJA		8.3	0.1	100.0	0.0
TOTAL		10176.0	FINURA	7.23	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.



Ing. Mercedes Villacís
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofc. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 10 - 01024
Hoja 01 de 01

Guía, 25 de junio de 2019

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karina Aguirre, Marcela Poma
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)
Teléfono: 0669451161 / 0960580056

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA NOVIA TK
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: VIGA DE CIMENTACIÓN
NORMA: ASTM C39/C39M - 18

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm ²)		
1	Elemento 1	2019-05-27	2019-06-03	7	100.50	7923	2330	117.8	14.8	151	TIPO 1	A
2	Elemento 3	2019-05-27	2019-06-03	7	101.50	8001	2210	129.4	16.0	153	TIPO 1	A
3	Elemento 6	2019-05-27	2019-06-10	14	101.50	8001	2380	121.2	16.2	160	TIPO 1	A
4	Elemento 4	2019-05-27	2019-06-10	14	102.00	8171	2320	104.5	18.5	149	TIPO 2	A
5	Elemento 2	2019-05-27	2019-06-24	28	103.50	7933	2500	162.1	20.0	204	TIPO 3	A
6	Elemento 5	2019-05-27	2019-06-24	28	94.00	7900	2400	176.4	22.8	234	TIPO 3	A

TIPO DE FALLA



TIPO 1



TIPO 2



TIPO 3



TIPO 4



TIPO 5



TIPO 6

DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = INGLUFO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FISURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.
La información marcada con asterisco (*) corresponden a opiniones e interpretaciones realizadas por personal técnico adscrito por LEMSUR conforme a lo especificado en la norma ASTM C39.

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - 0194-I
Hoja 01 de 01

Quito, 22 de agosto de 2019

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karma Aguino Marosalvas, Marcela Poma Paño
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía - EPN
Teléfono: 095451161 / 092580056

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA
TK
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: INDICADOS
NORMA: ASTM C39/C39M - 18

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	RESISTENCIA		TIPO DE FALLA*	DEFECTOS*
									(MPa)	(kg/cm ²)		
1	Elemento 1	2019-07-05	2019-07-12	7	101,50	8091	2240	128,0	15,8	161	TIPO 2	A
2	Elemento 2	2019-07-05	2019-07-12	7	101,50	8012	2300	134,4	16,6	171	TIPO 1	A
3	Elemento 5	2019-07-05	2019-07-19	14	102,50	8252	2240	105,5	12,8	130	TIPO 1	A
4	Elemento 4	2019-07-05	2019-09-02	28	100,50	7953	2290	212,7	26,8	273	TIPO 4	A
5	Elemento 6	2019-07-05	2019-09-02	28	102,00	8171	2220	166,7	21,4	208	TIPO 4	A
6	Grout Elemento 1	2019-07-04	2019-09-02	29	101,50	8012	2220	103,9	13,0	132	TIPO 4	A
7	Grout Elemento 2	2019-07-04	2019-09-02	29	101,00	8012	2180	107,7	13,4	137	TIPO 4	A
8	Grout Elemento 3	2019-07-04	2019-09-02	29	101,50	8091	2200	95,9	11,9	121	TIPO 2	A



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FISURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.
La información marcada con asterisco (*) corresponden a opiniones e interpretaciones realizadas por personal técnico autorizado por LEMSUR conforme a lo especificado en la norma ASTM C39.

M. MERCEDES VILCASIS
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO No. 2

TABLAS DE CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

c=23.4	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00223077	-4684.61538	0	0	0
	0.00751282	15776.92308	4200	4750.088092	-180503.348
	0.01725641	36238.46154	4200	4750.088092	180503.3475
	0.027	56700	4200	4750.088092	541510.0425
			14250.26428	541510.0425	
c=35.1	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	0.01751282	36776.92308	4200	98580.12742	11829615.29
	0.01751282	36776.92308	4200	80184.7397	9622168.764
	0.01751282	36776.92308	4200	57200.64059	6864076.871
	0.01751282	36776.92308	4200	32470.7578	3896490.936
			268436.2655	32212351.86	
c=46.8	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00261538	-5492.30769	0	0	0
	0.00225641	4738.461538	4200	4750.088092	-180503.348
	0.00712821	14969.23077	4200	4750.088092	180503.3475
	0.012	25200	4200	4750.088092	541510.0425
			14250.26428	541510.0425	
c=93.6	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00280769	-5896.15385	0	0	0
	-0.00037179	-780.769231	0	0	0
	0.0020641	4334.615385	4200	4750.088092	180503.3475
	0.0045	9450	4200	4750.088092	541510.0425
			9500.176184	722013.39	
c=117	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00284615	-5976.92308	0	0	0
	-0.00089744	-1884.61538	0	0	0
	0.00105128	2207.692308	2207.692308	2496.841177	94879.96471
	0.003	6300	4200	4750.088092	541510.0425
			7246.929269	636390.0072	
c=140.4	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00287179	-6030.76923	0	0	0
	-0.00124786	-2620.51282	0	0	0
	0.00037607	789.7435897	789.7435897	893.1789575	33940.80039
	0.002	4200	4200	4750.088092	541510.0425
			5643.26705	575450.8429	
c=163.8	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00289011	-6069.23077	0	0	0
	-0.00149817	-3146.15385	0	0	0
	-0.00010623	-223.076923	0	0	0,00
	0.00	2700	2700	3053.628059	348113.5988
			3053.628059	348113.5988	
c=187.2	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00290385	-6098.07692	0	0	0
	-0.0016859	-3540.38462	0	0	0
	-0.00046795	-982.692308	0	0	0
	0.00075	1575	1575	1781.283035	203066.2659
			1781.283035	203066.2659	
c=210.6	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00291453	-6120.51282	0	0	0
	-0.00183191	-3847.00855	0	0	0
	-0.00074929	-1573.50427	0	0	0
	0.00033333	700	700	791.6813487	90251.67375
			791.6813487	90251.67375	
c=234	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00292308	-6138.46154	0	0	0
	-0.00194872	-4092.30769	0	0	0
	-0.00097436	-2046.15385	0	0	0
	0	0	0	0	0
			0	0	
c=257.4	€ si	fs fin	fs fin	Ts	Ts(L/2-yi)
	-0.00293007	-6153.14685	0	0	0
	-0.00204429	-4293.00699	0	0	0
	-0.00115851	-2432.86713	0	0	0
	-0.00027273	-572.727273	0	0	0
			0	0	

ANEXO No. 3

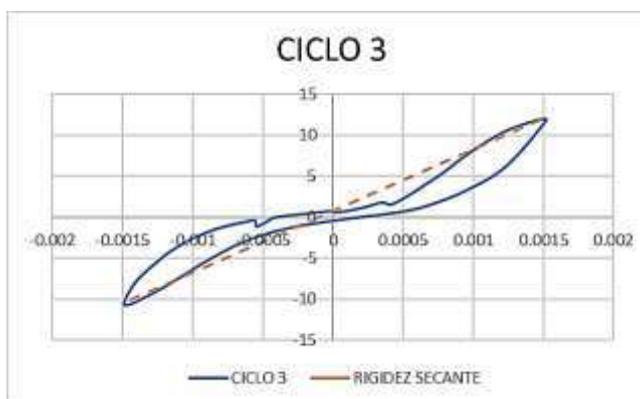
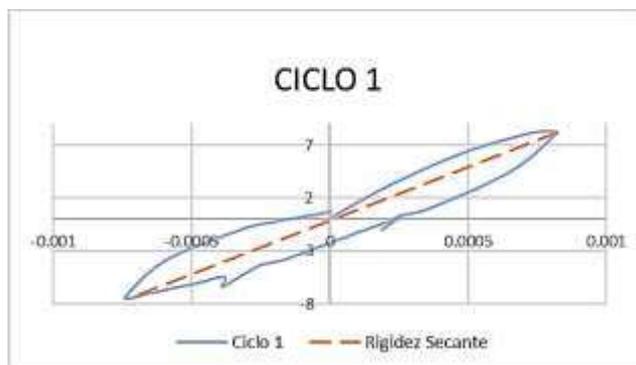
CÁLCULO DEL PESO PROPIO DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

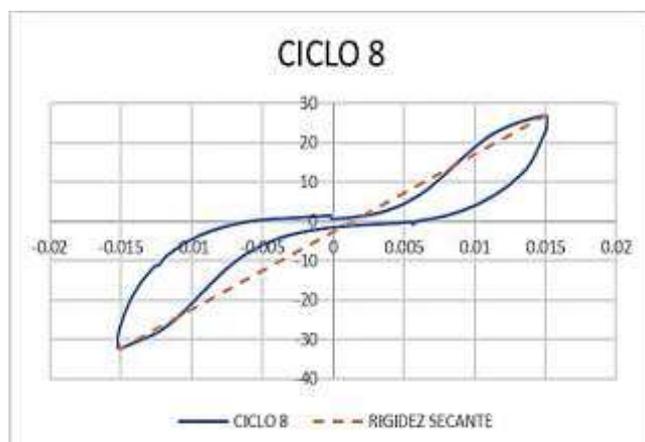
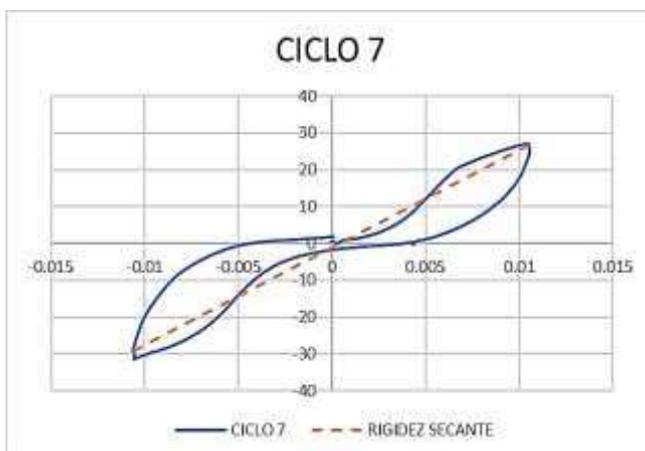
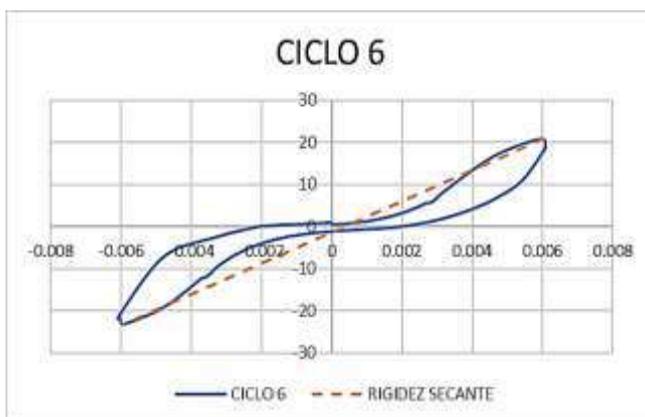
PESO DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA																	
BLOQUES			GROUT			MORTERO DE PEGA						VIGA DE CIMENTACIÓN			VIGA DE CONFINAMIENTO		
						VERTICAL			HORIZONTAL								
# BLOQUES	68	u	N°	4		N°	72		N°	12	m	N°	1		N°	1	
Peso Ploque	9.29	kg	b	0.101	m	b bloque	0.14	m	b bloque	0.14	m	b	0.3	m	b	0.2	m
			h	0.101	m	h bloque	0.2	m	L	0.45	m	h	0.5	m	h	0.2	m
			L	2.40	m	e mort	0.02	m	e mort	0.02	t/m3	L	3.4	m	L	2.75	m
			Y	2.18	t/m3	Y mort	2.18	t/m3	Y mort	2.18	t/m3	Y	2.4	t/m3	Y	2.4	t/m3
Pp bloque	0.63	t	Pp col	0.213	t/m3	ppmortV	0.088	t	ppmortV	0.033	t	pp viga	1.224	t	pp viga	0.264	t
REFUERZO VERTICAL			REFUERZO HORIZONTAL														
Lφ12	13.8	m	Lφ4	9.6													
peso φ12	0.888	kg/m	peso φ4	0.33													
peso RV	0.012	t	peso RH	0.0032													
PESO TOTAL			2,468t														

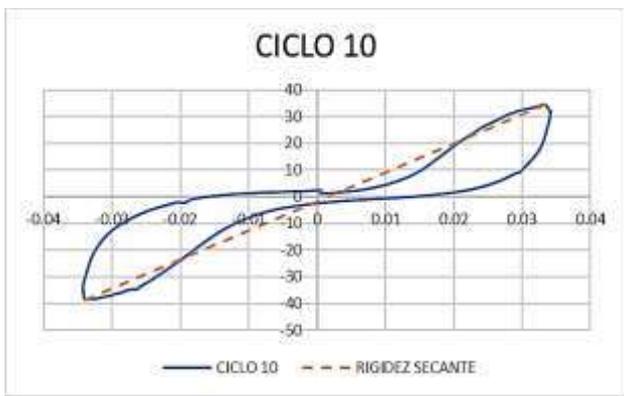
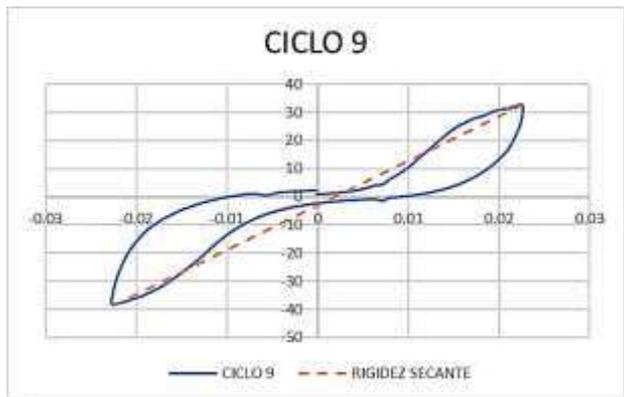
ANEXO No. 4

BUCLES DE HISTÉRESIS DE CADA MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

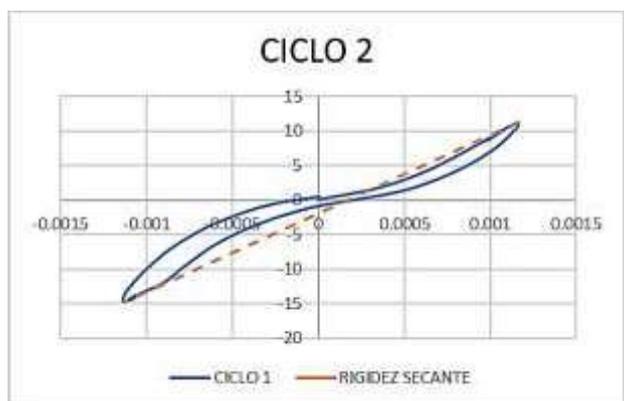
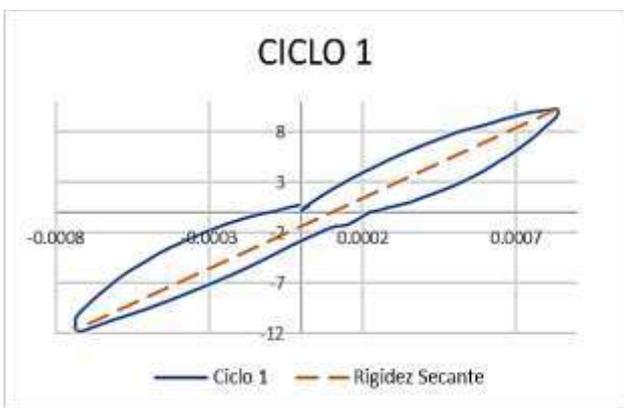
MURO 1

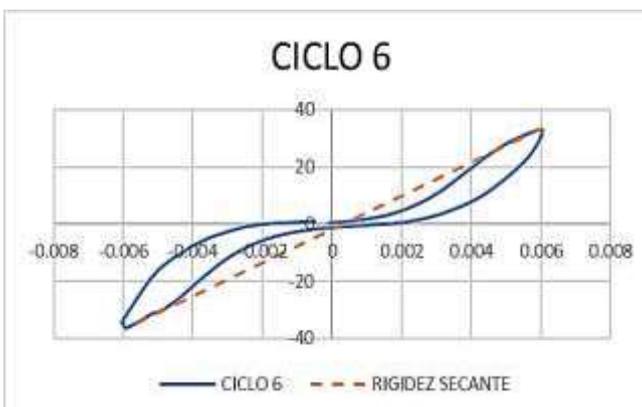
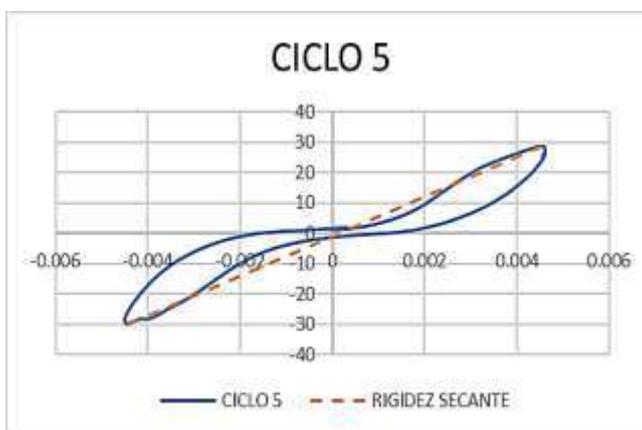
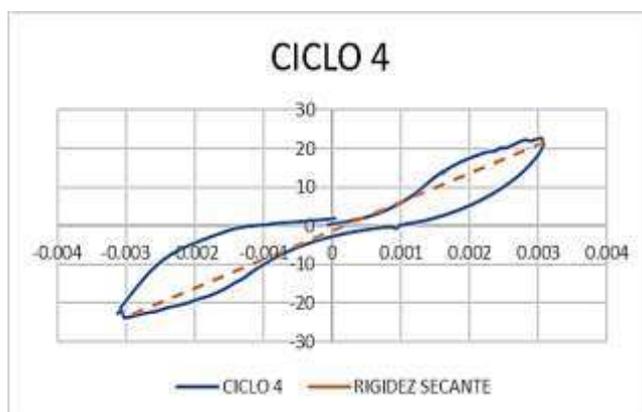
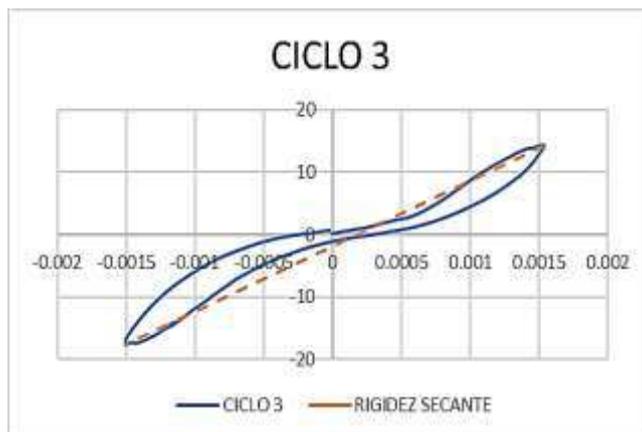


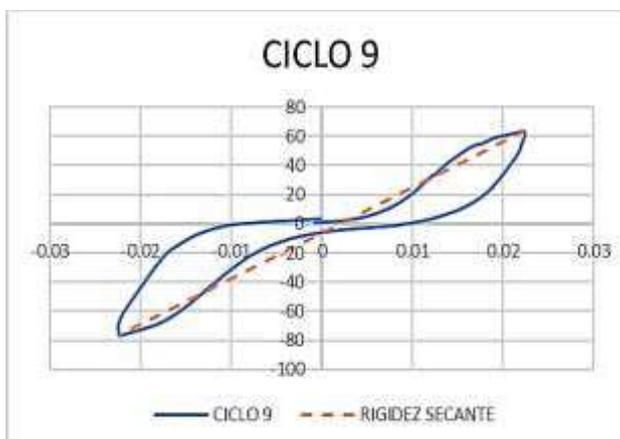
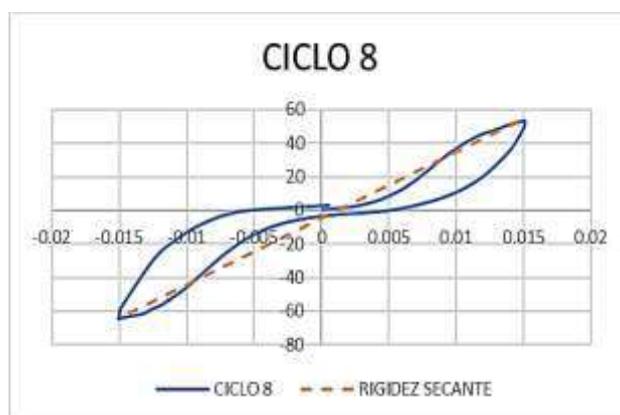
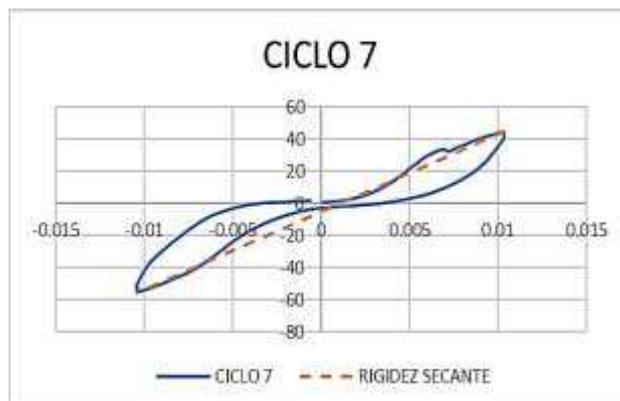




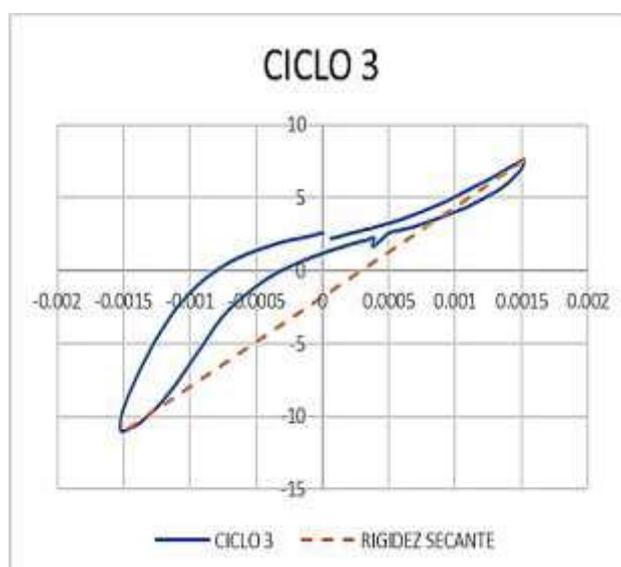
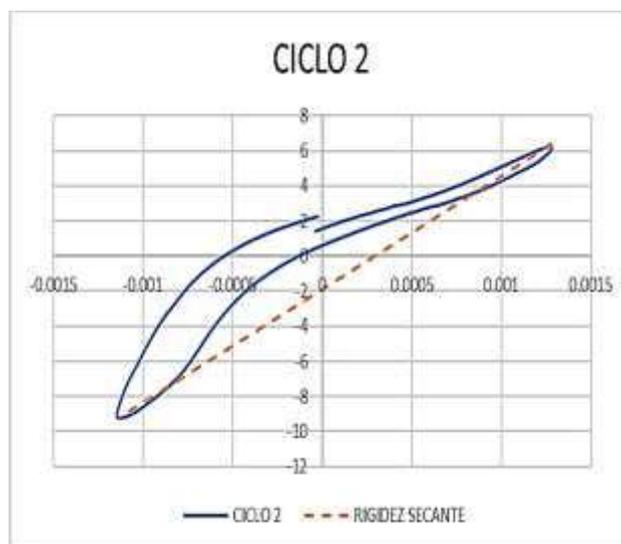
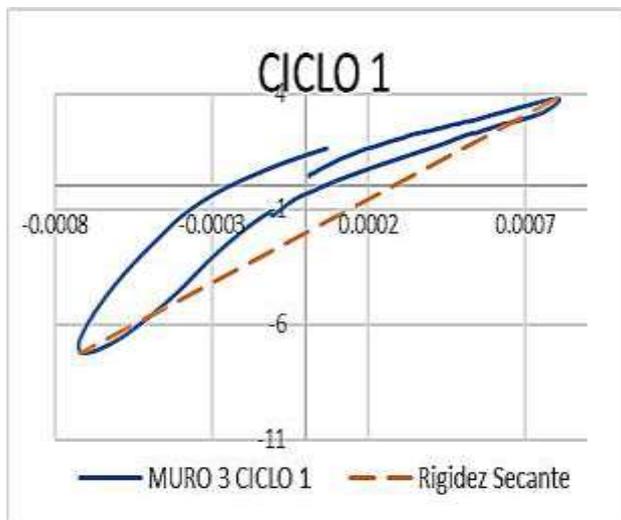
MURO 2

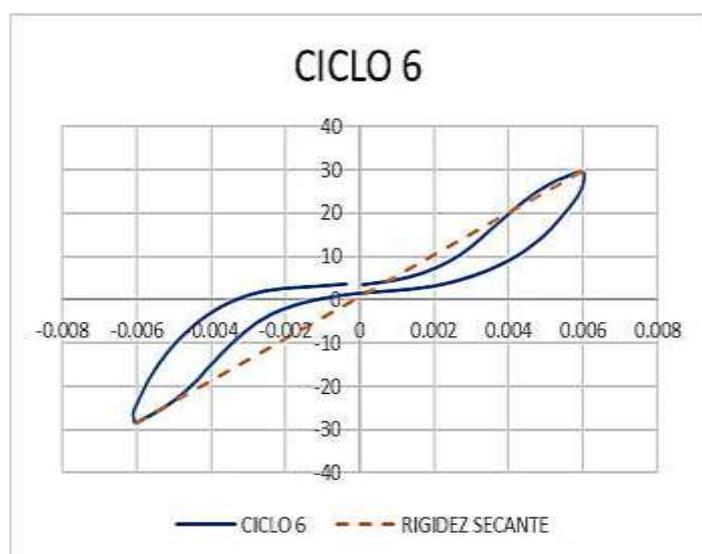
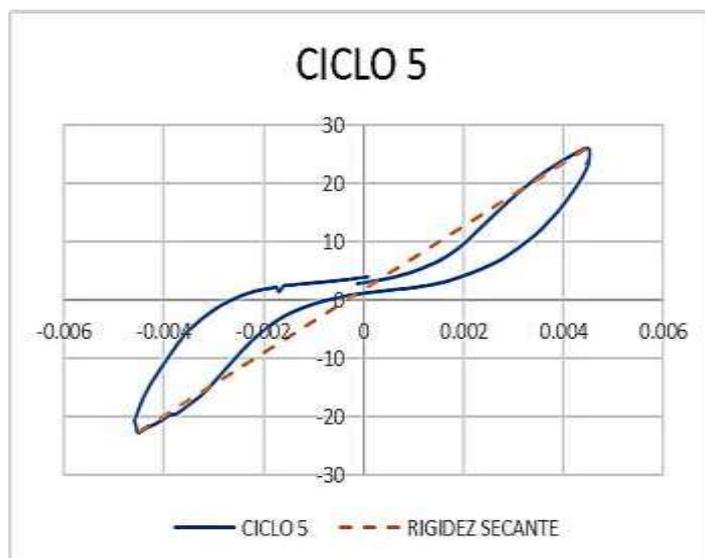
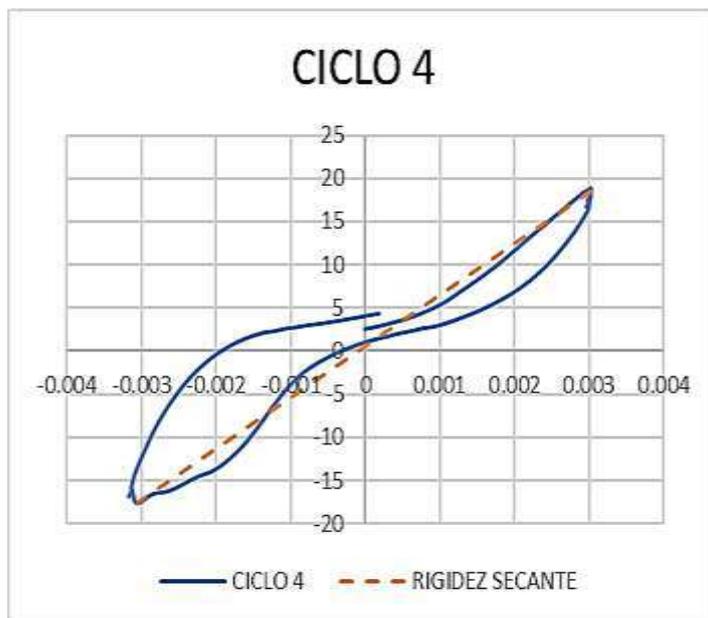


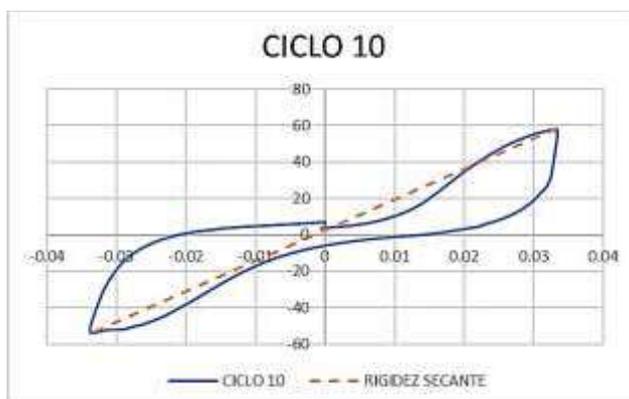
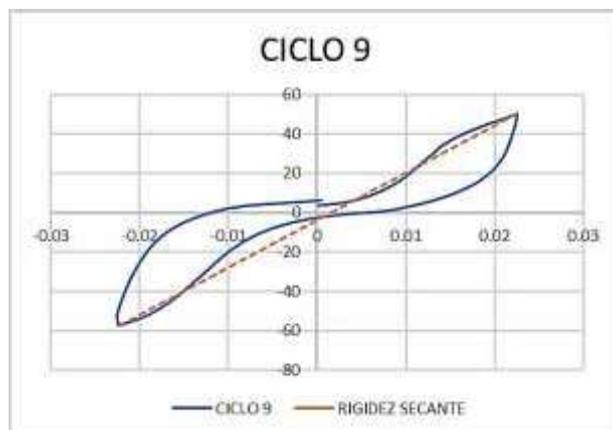
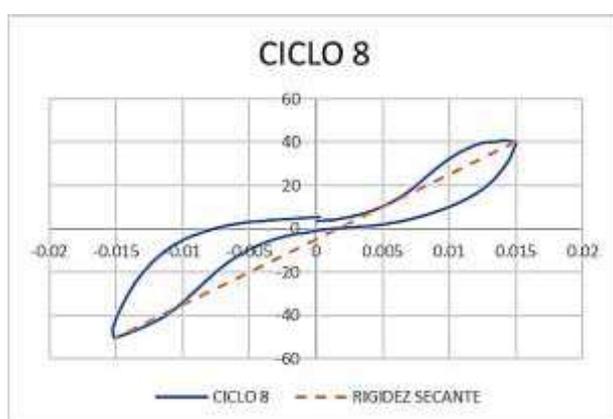
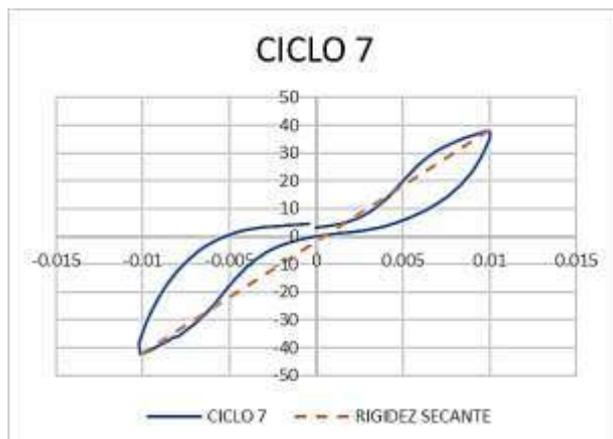




MURO 3







ANEXO No. 5

**EQUIPOS EMPLEADOS PARA EL ENSAYO DE LOS MUROS DE
MAMPOSTERÍA REFORZADA**



Foto 1: Gato hidráulico y guía para el muro de mampostería



Foto 2: Gato hidráulico para el pretensado de los muros de mampostería reforzada



Foto 3: Placa para la transmisión de carga al muro de mampostería



FOTO 4: Bomba eléctrica para transmitir carga (10Ton)

ANEXO No. 6

**FOTOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS MUROS DE
MAMPOSTERÍA REFORZADA**



Foto 5: Fundición de las vigas de cimentación



Foto 6: Curado de las vigas de cimentación



Foto 7: colocación de pernos de anclaje



Foto 8: Levantamiento de la mampostería



Foto 9: vertido de hormigón líquido



Foto 10: Colocación del armado de la riostra



Foto 11: Fundición de las riostras



Foto 12: Muros de mampostería terminados

ANEXO No. 7

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO DE LOS MUROS DE MAMPOSTERÍA
REFORZADA**



Foto 13: Primer muro, ensayo terminado



Foto 14: Segundo muro, ensayo terminado



Foto 15: Tercer muro, ensayo terminado

ANEXO No. 8

**FOTOGRAFÍAS DE LA PREPARACIÓN Y ENSAYO DE LAS PROBETAS DE
HORMIGÓN, GROUT Y MORTERO**



Foto 16: verificación del asentamiento del hormigón



Foto 17: Toma de cilindros para ensayo de resistencia



Foto 18: Ensayo de cilindros de hormigón y grout



Foto 19: toma de cubos de mortero

ANEXO No. 9

**PROGRAMACIÓN Y RUTINAS PARA EL MODELO ANALÍTICO DEL MURO DE
MAMPOSTERÍA REFORZADA**

MATERIALES

```
wipe;
model BasicBuilder -ndm 2 -ndf 3;
```

```
set tcl_precision 16;
```

```
# UNIDADES
```

```
set in 1.;
set kip 1.;
set sec 1.;
set kN [expr 0.2248089431*$kip];
set ksi [expr $kip/pow($in,2)];
set psi [expr $ksi/1000.];
set ft [expr 12.*$in];# [feet]
set lb [expr $kip/1000.];
set pcf [expr $lb/pow($ft,3)];
set cm [expr $in/2.54];
set mm [expr $in/25.4];
set meter [expr 100.*$cm];
set MPa [expr 145.*$psi];
set GPa [expr 1000.*$MPa];
set PI [expr 2.*asin(1.0)];
set g [expr 32.2*$ft/pow($sec,2)];
set U 1.e10;
set u [expr 1./$U];
```

```
# DEFINICION DE MATERIALES DEL
MODELO
```

```
set SteelMatV 1;
set ConcVertMat 2;
set ConcHorizMat 3;
set MampMat 4;
set ElasticMat 5;
set SteelMatH 6;
```

```
# ACERO DE REFUERZO(VERTICAL)
```

```
set fy [expr
5000*14.2233333/1000];# ksi ]
set fu [expr
5791.98809*14.2233333/1000];# [ ksi
]
set esh 0.02;#0.01
set eult 0.1;
```

```
set Es [expr
2100000.*14.223/1000];#29000.
set Esh 4000.;#4000.
```

```
set b [expr $fu/$Es]; # 0.003
set R0 20.;# recomendados entre 10 y
20
set cR1 0.98;#recomendado 0.925
set cR2 0.15;#recomendado 0.15
```

```
# Parametros de endurecimiento
isotropico
set a1 [expr $fy/$Es]; # 0.05;
set a2 1.;
set a3 0.;# 0.0
set a4 1.;
```

```
# uniaxialMaterial Steel02 $matTag
$Fy $E $b $R0 $cR1 $cR2 <$a1 $a2
$a3 $a4 $sigInit>
uniaxialMaterial Steel02
$SteelMatV $fy $Es $b $R0 $cR1 $cR2
$a1 $a2 $a3 $a4
```

```
# ESCALERILLAS (HORIZONTAL)
```

```
set fy [expr
5000*14.2233333/1000];# [ kg/cm2 ]
43.5114[ ksi ]
set fu [expr
5272.2968598*14.2233333/1000];# [
kg/cm2 ] 74.9896[ ksi ]
set esh 0.02;#0.01
set eult 0.1;
set Es [expr
2100000.*14.223/1000];#29000.;#
set Esh 4000.;#4000.;#
```

```
set R0 10.;#recomendados entre 10 y
20
set cR1 0.98;#recomendado 0.925
set cR2 0.15;#recomendado 0.15
```

```
# Parametros de endurecimiento
isotropico
set a1 [expr $fy/$Es]; # 0.05;
set a2 1.;
set a3 0.0;# 0.0
set a4 1.0;
```

```
uniaxialMaterial Steel02 $SteelMatH
$fy $Es $b $R0 $cR1 $cR2 $a1 $a2 $a3
$a4
```

```
# HORMIGON DE RELLENO (VERTICAL)
```

```
set alpha [expr 0.1];# 1.0;
set lambda [expr 0.5];# 0.5;
```

```
#Compresión
```

```
set fpc [expr -130.1843/70.31];#
[ kg/cm2 ] -2.473 [ksi]
set ec0 [expr -0.003];
```

```
set Ec [expr -91087.69];# [
kg/cm2 ] 2547.151[ksi]
```

```

set Eu      [expr
 $\lambda * (f_{pc}/e_{c0}) + (1 - \lambda) * E_c$ ];

set fcint   [expr  $f_{pc}/2.$ ];
set ecint   [expr  $e_{c0}$ ];#[expr (-
0.002 +  $f_{pc}/E_u$ )*(23.6/16.) + (-
0.002 -  $f_{pc}/E_u$ )];

set fcres   [expr  $f_{pc}$ ];
set ecres   [expr  $e_{c0}^3.$ ];#-1.;

# Tensionsource
set ft      [expr  $f_{pc}/-20.$ ];# [
kg/cm2 ] 0.12365[ ksi ]
set ecr     [expr 0.0025];

set ftint   [expr  $f_t/2.$ ];# [ kg/cm2
] 0.061825[ ksi ]
set etint   [expr  $e_{cr}$ ];#[expr
 $3 * (f_t/E_c) * (23.6/16.)$ ];

set ftres   [expr  $f_t$ ];# [ kg/cm2 ]
0.00711[ ksi ]
set etres   [expr  $e_{cr}^2.$ ];#1.0;

uniaxialMaterial ConcretewBeta
$ConcVertMat $fpc $ec0 $fcint $ecint
$frcres $ecres $ft $ftint $etint
$ftres $etres -lambda $lambda -alpha
$alpha -E $Ec

# MORTERO DE PEGA (HORIZONTAL)
#Compresión
set fpc     [expr -113.1549/70.31];#
[ kg/cm2 ] -1.45568[ ksi ]#[expr -
4.63];##[expr -4.63];#
set ec0     [expr -0.003];

set Ec      [expr -113154.9];#[expr
4000.];#
set Eu      [expr
 $\lambda * (f_{pc}/e_{c0}) + (1 - \lambda) * E_c$ ];

set fcint   [expr  $f_{pc}/2.$ ];#[expr -
0.1];
set ecint   [expr  $e_{c0}$ ];#[expr (-
0.002 +  $f_{pc}/E_u$ )*(23.6/16.33) + (-
0.002 -  $f_{pc}/E_u$ )];

set fcres   [expr  $f_{pc}$ ];
set ecres   [expr  $e_{c0}^2.$ ];#-1.;

# Tension
set ft      [expr  $f_{pc}/-20.$ ];# [
kg/cm2 ] 0.07278[ ksi ]

set ecr     [expr 0.0025];
set ftint   [expr  $f_t/2.$ ];# [ kg/cm2
] 0.03639[ ksi ]
set etint   [expr  $e_{cr}$ ];#[expr
 $3 * (f_t/E_c) * (23.6/16.33)$ ];
set ftres   [expr  $f_t$ ];# [ kg/cm2 ]
0.02426[ ksi ]
set etres   [expr  $e_{cr}^2.$ ];#1.0;
uniaxialMaterial ConcretewBeta
$ConcHorizMat $fpc $ec0 $fcint
$ecint $fcres $ecres $ft $ftint
$etint $ftres $etres -lambda $lambda
-alpha $alpha -E $Ec

# MAMPOSTERIA (DIAGONAL)
# Compresión
set fm      [expr -30./70.31];# [
kg/cm2 ]; -0.2845[ ksi ]#[expr -
4.63];#
set ec0     [expr -0.003];
set Ec      [expr  $f_m * -1686.$ ];#[expr
4000.];#479.667[ksi];
set Eu      [expr  $\lambda * (f_m/e_{c0})
+ (1 - \lambda) * E_c$ ];#287.25[ksi];#lambda=0
.5 por default;

set fcint   [expr  $f_m/2.$ ];#-
0.14225[ksi];
set ecint   [expr  $e_{c0}$ ];#[expr (-
0.002 +  $f_m/E_u$ )*(23.6/22.864) + (-
0.002 -  $f_m/E_u$ )];#-0.0041

set fcres   [expr  $f_m$ ];#-
0.0813[ksi];
set ecres   [expr  $e_{cint}^2.$ ];#-1.;#-
0.0082

# Tensión
set ft      [expr  $f_m/-20.$ ];# [
kg/cm2 ];#0.014225;
set ecr     [expr 0.0025];

set ftint   [expr  $f_t/2.$ ];#[expr
0.001];#0.00711;
set etint   [expr  $e_{cr}$ ];#[expr
1.0];#0.00375;

set ftres   [expr  $f_t$ ];#[expr
0.0];#0.001071;
set etres   [expr  $e_{cr}^2.$ ];#[expr
1.0];#0.005;

set bint    [expr 1.];#0.3.;
set ebint   [expr
0.01*(23.6/22.864)];

```

```

set bres      [expr 0.5];#0.1.;
set ebres     [expr
0.01*(23.6/22.864)];#[expr
0.025*(23.6/22.864)];

uniaxialMaterial ConcretewBeta
$MampMat $fm $ec0 $fcint $ecint
$fcres $ecres $ft $ftint $etint
$ftres $etres -E $Ec -alpha [expr
0.267/$ft*$alpha] -beta $bint $ebint
$bres $ebres

# HORMIGON DE VIGAS
set fc        [expr
237.3398/70.31];#2.92668
set Ec        [expr
pow($fc,0.5)*4700];#3080.7404[ksi]
con fc en kg/cm2;

uniaxialMaterial Elastic $ElasticMat
$Ec

GEOMETRÍA

# DEFINICION DE ELEMENTOS

set AconcOuter [expr
18.324*14.97/pow(2.54,2)];
set AsteelOuter [expr
3.1416*pow(0.6,2)/pow(2.54,2)];
set AconcInner [expr
42.8*14.97/pow(2.54,2)];
set AsteelInner [expr
3.1416*pow(0.6,2)/pow(2.54,2)];

set AconcHoriz1 [expr
22.5*14.97/pow(2.54,2)];
set AconcHoriz2 [expr
12.00*14.97/pow(2.54,2)];

set AsteelHoriz1 [expr
3.1416*2.*pow(0.3,2)/pow(2.54,2)];
set AsteelHoriz2 [expr
3.1416*2.*pow(0.4,2)/pow(2.54,2)];

set beff1 [expr 16.64*1];# 16.64
Para Muros 0.97
set beff2 16.64;
set AconcDiag1 [expr
$beff2*14.97/pow(2.54,2)];
set AconcDiag2 [expr
$beff2*14.97/pow(2.54,2)];

# DEFINICION DE NODOS

node 1 0. 0.

node 2 0. 22.5
node 3 0. 45.
node 4 0. 67.5
node 5 0. 90.
node 6 0. 112.5
node 7 0. 135.
node 8 0. 157.5
node 9 0. 180.
node 10 0. 202.5
node 11 0. 225.
node 12 0. 235

node 13 37.2 0.
node 14 37.2 22.5
node 15 37.2 45.
node 16 37.2 67.5
node 17 37.2 90.
node 18 37.2 112.5
node 19 37.2 135.
node 20 37.2 157.5
node 21 37.2 180.
node 22 37.2 202.5
node 23 37.2 225.
node 24 37.2 235

node 25 76.5 0.
node 26 76.5 22.5
node 27 76.5 45.
node 28 76.5 67.5
node 29 76.5 90.
node 30 76.5 112.5
node 31 76.5 135.
node 32 76.5 157.5
node 33 76.5 180.
node 34 76.5 202.5
node 35 76.5 225.
node 36 76.5 235

node 37 136.7 0.
node 38 136.7 22.5
node 39 136.7 45.
node 40 136.7 67.5
node 41 136.7 90.
node 42 136.7 112.5
node 43 136.7 135.
node 44 136.7 157.5
node 45 136.7 180.
node 46 136.7 202.5
node 47 136.7 225.
node 48 136.7 235

node 49 159.7 0.
node 50 159.7 22.5
node 51 159.7 45.
node 52 159.7 67.5
node 53 159.7 90.

```

node	54	159.7	112.5	fix 11	0	0	1
node	55	159.7	135.	fix 12	0	0	1
node	56	159.7	157.5				
node	57	159.7	180.	fix 14	0	0	1
node	58	159.7	202.5	fix 15	0	0	1
node	59	159.7	225.	fix 16	0	0	1
node	60	159.7	235	fix 17	0	0	1
				fix 18	0	0	1
node	61	202.5	0.	fix 19	0	0	1
node	62	202.5	22.5	fix 20	0	0	1
node	63	202.5	45.	fix 21	0	0	1
node	64	202.5	67.5	fix 22	0	0	1
node	65	202.5	90.	fix 23	0	0	1
node	66	202.5	112.5	fix 24	0	0	1
node	67	202.5	135.				
node	68	202.5	157.5	fix 26	0	0	1
node	69	202.5	180.	fix 27	0	0	1
node	70	202.5	202.5	fix 28	0	0	1
node	71	202.5	225.	fix 29	0	0	1
node	72	202.5	235	fix 30	0	0	1
				fix 31	0	0	1
node	73	240.	0.	fix 32	0	0	1
node	74	240.	22.5	fix 33	0	0	1
node	75	240.	45.	fix 34	0	0	1
node	76	240.	67.5	fix 35	0	0	1
node	77	240.	90.	fix 36	0	0	1
node	78	240.	112.5				
node	79	240.	135.	fix 38	0	0	1
node	80	240.	157.5	fix 39	0	0	1
node	81	240.	180.	fix 40	0	0	1
node	82	240.	202.5	fix 41	0	0	1
node	83	240.	225.	fix 42	0	0	1
node	84	240.	235	fix 43	0	0	1
				fix 44	0	0	1
node	100	-35.	235	fix 45	0	0	1
				fix 46	0	0	1
				fix 47	0	0	1
				fix 48	0	0	1
# RESTRICCIONES DE BORDE(set the boundary conditions)							
				fix 50	0	0	1
fix 1	1	1	1	fix 51	0	0	1
fix 13	1	1	1	fix 52	0	0	1
fix 25	1	1	1	fix 53	0	0	1
fix 37	1	1	1	fix 54	0	0	1
fix 49	1	1	1	fix 55	0	0	1
fix 61	1	1	1	fix 56	0	0	1
fix 73	1	1	1	fix 57	0	0	1
				fix 58	0	0	1
fix 2	0	0	1	fix 59	0	0	1
fix 3	0	0	1	fix 60	0	0	1
fix 4	0	0	1				
fix 5	0	0	1	fix 62	0	0	1
fix 6	0	0	1	fix 63	0	0	1
fix 7	0	0	1	fix 64	0	0	1
fix 8	0	0	1	fix 65	0	0	1
fix 9	0	0	1	fix 66	0	0	1
fix 10	0	0	1	fix 67	0	0	1

```

fix 68 0 0 1
fix 69 0 0 1
fix 70 0 0 1
fix 71 0 0 1
fix 72 0 0 1

```

```

fix 74 0 0 1
fix 75 0 0 1
fix 76 0 0 1
fix 77 0 0 1
fix 78 0 0 1
fix 79 0 0 1
fix 80 0 0 1
fix 81 0 0 1
fix 82 0 0 1
fix 83 0 0 1
fix 84 0 0 1

```

```

fix 100 0 0 1

```

HORMIGON VERTICAL

```

element truss 1 1 2
$AconcOuter $MampMat
element truss 2 2 3
$AconcOuter $MampMat
element truss 3 3 4
$AconcOuter $MampMat
element truss 4 4 5
$AconcOuter $MampMat
element truss 5 5 6
$AconcOuter $MampMat
element truss 6 6 7
$AconcOuter $MampMat
element truss 7 7 8
$AconcOuter $MampMat
element truss 8 8 9
$AconcOuter $MampMat
element truss 9 9 10
$AconcOuter $MampMat
element truss 10 10 11
$AconcOuter $MampMat
element truss 11 11 12
$AconcOuter $MampMat

element truss 21 13 14
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 22 14 15
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 23 15 16
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 24 16 17
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 25 17 18
$AconcInner $ConcVertMat

```

```

element truss 26 18 19
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 27 19 20
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 28 20 21
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 29 21 22
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 30 22 23
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 31 23 24
$AconcInner $ConcVertMat

```

```

element truss 41 25 26
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 42 26 27
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 43 27 28
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 44 28 29
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 45 29 30
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 46 30 31
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 47 31 32
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 48 32 33
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 49 33 34
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 50 34 35
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 51 35 36
$AconcInner $ConcVertMat

```

```

element truss 61 37 38
$AconcInner $MampMat
element truss 62 38 39
$AconcInner $MampMat
element truss 63 39 40
$AconcInner $MampMat
element truss 64 40 41
$AconcInner $MampMat
element truss 65 41 42
$AconcInner $MampMat
element truss 66 42 43
$AconcInner $MampMat
element truss 67 43 44
$AconcInner $MampMat
element truss 68 44 45
$AconcInner $MampMat
element truss 69 45 46
$AconcInner $MampMat
element truss 70 46 47
$AconcInner $MampMat

```

```

element truss 71 47 48
$AconcInner $MampMat
element truss 81 49 50
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 82 50 51
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 83 51 52
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 84 52 53
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 85 53 54
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 86 54 55
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 87 55 56
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 88 56 57
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 89 57 58
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 90 58 59
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 91 59 60
$AconcInner $ConcVertMat
element truss 101 61 62
$AconcInner $MampMat
element truss 102 62 63
$AconcInner $MampMat
element truss 103 63 64
$AconcInner $MampMat
element truss 104 64 65
$AconcInner $MampMat
element truss 105 65 66
$AconcInner $MampMat
element truss 106 66 67
$AconcInner $MampMat
element truss 107 67 68
$AconcInner $MampMat
element truss 108 68 69
$AconcInner $MampMat
element truss 109 69 70
$AconcInner $MampMat
element truss 110 70 71
$AconcInner $MampMat
element truss 111 71 72
$AconcInner $MampMat
element truss 121 73 74
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 122 74 75
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 123 75 76
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 124 76 77
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 125 77 78
$AconcOuter $ConcVertMat

```

```

element truss 126 78 79
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 127 79 80
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 128 80 81
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 129 81 82
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 130 82 83
$AconcOuter $ConcVertMat
element truss 131 83 84
$AconcOuter $ConcVertMat

```

ACERO VERTICAL

```

element truss 701 13 14
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 702 14 15
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 703 15 16
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 704 16 17
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 705 17 18
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 706 18 19
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 707 19 20
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 708 20 21
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 709 21 22
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 710 22 23
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 711 23 24
$AsteelOuter $SteelMatV
element truss 721 25 26
$AsteelInner $SteelMatV
element truss 722 26 27
$AsteelInner $SteelMatV
element truss 723 27 28
$AsteelInner $SteelMatV
element truss 724 28 29
$AsteelInner $SteelMatV
element truss 725 29 30
$AsteelInner $SteelMatV
element truss 726 30 31
$AsteelInner $SteelMatV
element truss 727 31 32
$AsteelInner $SteelMatV
element truss 728 32 33
$AsteelInner $SteelMatV
element truss 729 33 34
$AsteelInner $SteelMatV

```

element truss	730 34 35	element truss	203 3 15
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	731 35 36	element truss	204 4 16
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	741 49 50	element truss	205 5 17
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	742 50 51	element truss	206 6 18
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	743 51 52	element truss	207 7 19
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	744 52 53	element truss	208 8 20
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	745 53 54	element truss	209 9 21
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	746 54 55	element truss	210 10 22
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	747 55 56	element truss	211 11 23
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	748 56 57	element truss	221 13 25
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz2	\$ConcHorizMat
element truss	749 57 58	element truss	222 14 26
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	750 58 59	element truss	223 15 27
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	751 59 60	element truss	224 16 28
\$AsteelInner	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	771 73 74	element truss	225 17 29
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	772 74 75	element truss	226 18 30
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	773 75 76	element truss	227 19 31
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	774 76 77	element truss	228 20 32
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	775 77 78	element truss	229 21 33
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	776 78 79	element truss	230 22 34
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	777 79 80	element truss	231 23 35
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	778 80 81	element truss	241 25 37
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz2	\$ConcHorizMat
element truss	779 81 82	element truss	242 26 38
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	780 82 83	element truss	243 27 39
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
element truss	781 83 84	element truss	244 28 40
\$AsteelOuter	\$SteelMatV	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
# HORMIGON HORIZONTAL		element truss	245 29 41
element truss	201 1 13	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
\$AconcHoriz2	\$ConcHorizMat	element truss	246 30 42
element truss	202 2 14	\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat	element truss	247 31 43
		\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat
		element truss	248 32 44
		\$AconcHoriz1	\$ConcHorizMat

```

element truss      249 33 45
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      250 34 46
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      251 35 47
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      261 37 49
$AconcHoriz2      $ConcHorizMat
element truss      262 38 50
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      263 39 51
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      264 40 52
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      265 41 53
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      266 42 54
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      267 43 55
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      268 44 56
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      269 45 57
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      270 46 58
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      271 47 59
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      281 49 61
$AconcHoriz2      $ConcHorizMat

element truss      282 50 62
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      283 51 63
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      284 52 64
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      285 53 65
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      286 54 66
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      287 55 67
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      288 56 68
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      289 57 69
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      290 58 70
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      291 59 71
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      301 61 73
$AconcHoriz2      $ConcHorizMat
element truss      302 62 74
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      303 63 75
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat

```

```

element truss      304 64 76
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      305 65 77
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      306 66 78
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      307 67 79
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      308 68 80
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      309 69 81
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      310 70 82
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat
element truss      311 71 83
$AconcHoriz1      $ConcHorizMat

```

ACERO HORIZONTAL

```

element truss      903 3 15
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      906 6 18
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      909 9 21
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      923 15 27
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      926 18 30
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      929 21 33
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      943 27 39
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      946 30 42
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      949 33 45
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      963 39 51
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      966 66 54
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      969 45 57
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      983 51 63
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      986 54 66
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      989 57 69
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      1003 63 75
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      1006 66 78
$AsteelHoriz1     $SteelMath
element truss      1009 69 81
$AsteelHoriz1     $SteelMath

```

MAMPOSTERIA DIAGONAL

```

element Truss2 401 1 14 13 2
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 402 2 15 14 3
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 403 3 16 15 4
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 404 4 17 16 5
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 405 5 18 17 6
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 406 6 19 18 7
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 407 7 20 19 8
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 408 8 21 20 9
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 409 9 22 21 10
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 410 10 23 22 11
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 411 11 24 23 12
$AconcDiag1 $MampMat

element Truss2 421 13 2 1 14
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 422 14 3 2 15
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 423 15 4 3 16
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 424 16 5 4 17
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 425 17 6 5 18
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 426 18 7 6 19
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 427 19 8 7 20
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 428 20 9 8 21
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 429 21 10 9 22
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 430 22 11 10 23
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 431 23 12 11 24
$AconcDiag1 $MampMat

element Truss2 441 13 26 25 14
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 442 14 27 26 15
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 443 15 28 27 16
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 444 16 29 28 17
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 445 17 30 29 18
$AconcDiag1 $MampMat

element Truss2 446 18 31 30 19
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 447 19 32 31 20
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 448 20 33 32 21
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 449 21 34 33 22
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 450 22 35 34 23
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 451 23 36 35 24
$AconcDiag1 $MampMat

element Truss2 461 25 14 13 26
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 462 26 15 14 27
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 463 27 16 15 28
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 464 28 17 16 29
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 465 29 18 17 30
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 466 30 19 18 31
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 467 31 20 19 32
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 468 32 21 20 33
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 469 33 22 21 34
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 470 34 23 22 35
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 471 35 24 23 36
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 481 25 38 37 26
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 482 26 39 38 27
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 483 27 40 39 28
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 484 28 41 40 29
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 485 29 42 41 30
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 486 30 43 42 31
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 487 31 44 43 32
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 488 32 45 44 33
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 489 33 46 45 34
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 490 34 47 46 35
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 491 35 48 47 36
$AconcDiag1 $MampMat

```

```

element Truss2 501 37 26 25 38
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 502 38 27 26 39
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 503 39 28 27 40
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 504 40 29 28 41
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 505 41 30 29 42
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 506 42 31 30 43
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 507 43 32 31 44
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 508 44 33 32 45
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 509 45 34 33 46
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 510 46 35 34 47
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 511 47 36 35 48
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 521 37 50 49 38
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 522 38 51 50 39
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 523 39 52 51 40
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 524 40 53 52 41
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 525 41 54 53 42
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 526 42 55 54 43
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 527 43 56 55 44
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 528 44 57 56 45
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 529 45 58 57 46
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 530 46 59 58 47
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 531 47 60 59 48
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 541 49 38 37 50
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 542 50 39 38 51
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 543 51 40 39 52
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 544 52 41 40 53
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 545 53 42 41 54
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 546 54 43 42 55
$AconcDiag1 $MampMat

```

```

element Truss2 547 55 44 43 56
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 548 56 45 44 57
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 549 57 46 45 58
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 550 58 47 46 59
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 551 59 48 47 60
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 561 49 62 61 50
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 562 50 63 62 51
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 563 51 64 63 52
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 564 52 65 64 53
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 565 53 66 65 54
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 566 54 67 66 55
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 567 55 68 67 56
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 568 56 69 68 57
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 569 57 70 69 58
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 570 58 71 70 59
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 571 59 72 71 60
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 581 61 50 49 62
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 582 62 51 50 63
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 583 63 52 51 64
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 584 64 53 52 65
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 585 65 54 53 66
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 586 66 55 54 67
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 587 67 56 55 68
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 588 68 57 56 69
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 589 69 58 57 70
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 590 70 59 58 71
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 591 71 60 59 72
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 601 61 74 73 62
$AconcDiag1 $MampMat

```

```

element Truss2 602 62 75 74 63
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 603 63 76 75 64
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 604 64 77 76 65
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 605 65 78 77 66
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 606 66 79 78 67
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 607 67 80 79 68
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 608 68 81 80 69
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 609 69 82 81 70
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 610 70 83 82 71
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 611 71 84 83 72
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 621 73 62 61 74
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 622 74 63 62 75
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 623 75 64 63 76
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 624 76 65 64 77
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 625 77 66 65 78
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 626 78 67 66 79
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 627 79 68 67 80
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 628 80 69 68 81
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 629 81 70 69 82
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 630 82 71 70 83
$AconcDiag1 $MampMat
element Truss2 631 83 72 71 84
$AconcDiag1 $MampMat

element elasticBeamColumn 2001 100
12 [expr 23.76*20./pow(2.54,2)]
3080.8 [expr
pow(23.76,3.)*20./3./pow(2.54,4)] 1
element elasticBeamColumn 2002 12
24 [expr 23.76*20./pow(2.54,2)]
3080.8 [expr
pow(23.76,3.)*20./3./pow(2.54,4)] 1
element elasticBeamColumn 2003 24
36 [expr 23.76*20./pow(2.54,2)]
3080.8 [expr
pow(23.76,3.)*20./3./pow(2.54,4)] 1

```

```

element elasticBeamColumn 2004 36
48 [expr 23.76*20./pow(2.54,2)]
3080.8 [expr
pow(23.76,3.)*20./3./pow(2.54,4)]
element elasticBeamColumn 2005 48
60 [expr 23.76*20./pow(2.54,2)]
3080.8 [expr
pow(23.76,3.)*20./3./pow(2.54,4)]
element elasticBeamColumn 2006 60
72 [expr 23.76*20./pow(2.54,2)]
3080.8 [expr
pow(23.76,3.)*20./3./pow(2.54,4)]
element elasticBeamColumn 2007 72
84 [expr 23.76*20./pow(2.54,2)]
3080.8 [expr
pow(23.76,3.)*20./3./pow(2.54,4)]

```

CARGA VERTICAL

```

# DEFINICION DE CARGA VERTICAL

set controlNode 84;

pattern Plain 2 Linear -factor 1 {
  load $controlNode 0.0 [expr -
1.*2.47] 0.0;
}

# APLICACION DE CARGA VERTICAL

set Tol 1.0e-2;
set iter 5000;

set NstepGravity 20;
set DGravity [expr
1./$NstepGravity];
integrator LoadControl $DGravity;

for {set i 0} {$i < $NstepGravity}
{incr i 1} {
  test NormDispIncr $Tol $iter 0;
  algorithm Newton;
  analysis Static;
  set ok [analyze 1];
  if {$ok != 0} {
    remove recorders;
    return -1
  }
};
puts "Finalizo aplicacion de carga
Gravitacional"
loadConst -time 0.0
# DEFINICION CARGA CICLICA

set load 1.0;

```

```

pattern Plain 1 Linear -factor 1 {
    load $controlNode $load 0. 0.;
}

# DEFINICION "RECORDERS"

recorder Node -file "Muro_AP.txt" -
load -nodes $controlNode -dof 1 disp

```

CARGA CICLICA

```

# CARGA CICLICA
set file [open "CiclicaD3_input.dat"
r];
set factor [expr 1.0];
set Tol 1.0e-3; #
convergence tolerance for test
set iter1 100
set iter2 10000

set d1 0.;
set Nstep 30;
set startT [clock seconds]
puts "check 1"
while {[gets $file temp] > 0} {

    foreach d2 $temp {
        set d2 [expr {$factor*$d2}];
        set DLoad [expr {($d2 -
$d1)/$Nstep}];
        puts [expr {$d1 +
$Nstep*$DLoad}];

        for {set i 0} {$i < $Nstep}
{incr i 1} {
            test NormDispIncr $Tol
$iter1 0
            algorithm Newton
            integrator
            DisplacementControl $controlNode 1
$DLoad
                analysis Static
                set ok [analyze 1]
                if {$ok != 0} {
                    puts "Intentando con
Tangente Inicial Newton.."; # Newton
with Initial Tangent..
                    test NormDispIncr
$Tol $iter2 0
                    algorithm Newton -
initial
                    integrator
            DisplacementControl $controlNode 1
$DLoad
                analysis Static
                set ok [analyze 1]

```

```

        }
        if {$ok != 0} {
            # remove recorders;
            return -1
        }
    };
    set d1 $d2;
}
set endT [clock seconds]
puts "check 2"
puts "Tiempo de Ejecucion: [expr
$endT-$startT] segundos."

```

ANÁLISIS

```

# Definición de Análisis (Analysis
Commands)

```

```

# 1. ConstraintHandler
constraints Transformation

```

```

# 2. DOF_Numberer
numberer Plain

```

```

# 3. SystemOfEqn/Solver

```

```

system UmfPack

```

RUN

```

wipe

```

```

# -----MATERIALES-----
puts MATERIALES
source MATERIALES1_LIZ.tcl

```

```

# -----GEOMETRIA-----
puts GEOMETRIA
source GEOMETRIA1_LIZ.tcl

```

```

# -----ANALISIS-----

```

```

puts ANALISIS
source ANALISIS.tcl

```

```

# -----CARGA VERTICAL-----
puts CARGA_VERTICAL
source CARGA_VERTICAL.tcl

```

```

recorder display "Analysis Ciclico"
20 20 600 800 -wipe
prp 100.0 100.0 1.0;
# projection reference point (prp);
defines the center of projection
(viewer eye)

```

```
vup 0 1 0;
# view-up vector (vup)
vpn 0 0 1;
# view-plane normal (vpn)
viewWindow -400 400 -300 300;
# coordinates of the window relative
to prp
display 10 6 10;
# the 1st arg. is the tag for
display mode,

# the 2nd arg. is magnification
factor for nodes,

# the 3rd arg. is magnif. factor of
deformed shape

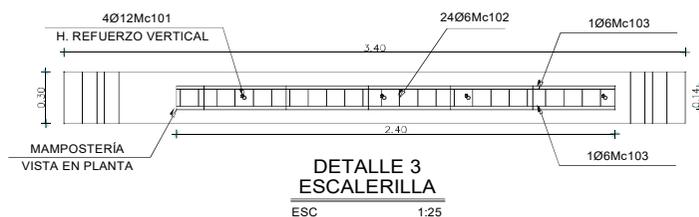
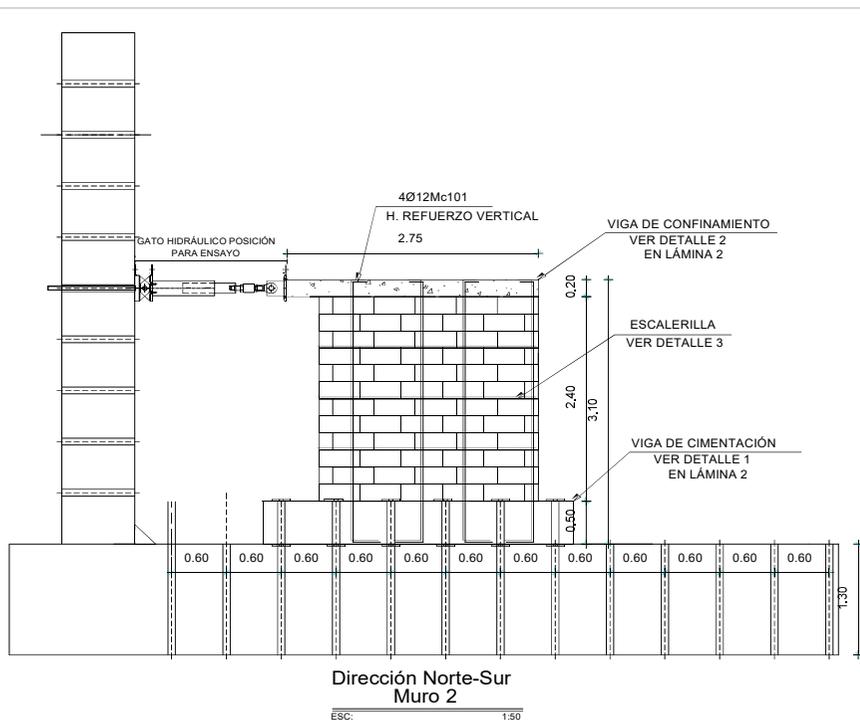
# -----CARGA CICLICA-----
puts CARGA_CICLICA
source CARGA_CICLICA.tcl

puts "Análisis Finalizado!!!!"
# remove recorders;

wipe
```

ANEXO No. 10

**PLANOS Y PLANILLAS DEL ACERO DE DEL MURO DE MAMPOSTERÍA
REFORZADA**



PLANILLA DE ACEROS

Mc	TIPO	Ø mm	No.	DIMENSIONES				LONG. Desar. (m)	LONG. TOTAL m	PESO (Kg)	Observ.
				a	b	c	g				
ACERO DE REFUERZO PARA MAMPOSTERÍA											
101	G	12	12	3.20	0.15	0.30	0.00	3.65	43.80	38.89	
102	I1	6	216	0.12	0.00	0.00	0.00	0.12	25.92	5.75	
103	C	6	18	2.40	0.08	0.00	0.00	2.56	46.08	10.23	

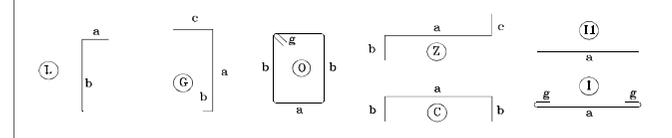
RESUMEN DE MATERIALES

Ø (mm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
W (Kg/m)	0.222	0.395	0.617	0.888	1.208	1.578	2.000	2.466	2.984	3.853	4.834	6.310
L (m)	72.00	0	0	43.80	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO (Kg)	15.98	0.00	0.00	38.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wtot (Kg) =	54.87											

TOTAL DE VARILLAS

Ø (mm)	8	10	12	18
CANTIDAD	-	-	4	-

TIPOS DE HIERROS:



ESPECIFICACIONES:

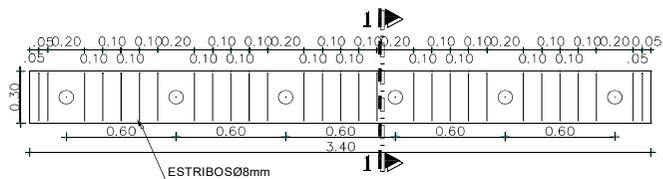
- EL CONCRETO TENDRA UN ESFUERZO A LA ROTURA A LOS 28 DIAS DE $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.
- EL ACERO DE REFUERZO TENDRA UN LIMITE DE FLUENCIA DE $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- LOS TRASLAPES MINIMOS SI NO SE INDICAN EN LOS PLANOS = 60 DIAMETROS DE LA VARILLA.
- EL DISEÑO EN HORMIGON ARMADO SE AJUSTO A LAS NORMAS DEL NEC-15 y A.C.I.
- EL CALCULO DE VOLUMENES DE MATERIALES NO INCLUYE DESPERDICIOS.
- EL RECUBRIMIENTO SE TOMÓ DE 2.5 cm.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

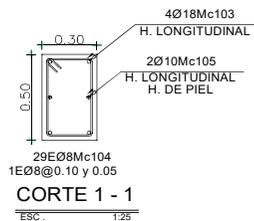
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

NOMBRES: KARINA AGUIRRE MARCELA POMA	CONTENIDO: MAMPOSTERÍA	LÁMINA: <h1 style="text-align: center;">1/2</h1>
	ESCALAS: INDICADAS	



DETALLE 1
VIGA DE CIMENTACIÓN
ESC 1:25



CORTE 1 - 1
ESC. 1:25

NOTA:

- EL H. LISO SERÁ UTILIZADO COMO TENSOR.

PLANILLA DE ACEROS

Mc	TIPO	Ø mm	No.	DIMENSIONES				LONG. Desar. (m)	LONG. TOTAL m	PESO (Kg)	Observ.
				a	b	c	g				
ACERO PARA VIGA DE CIMENTACIÓN Y MAMPOSTERÍA											
101	O	8	45	0.15	0.15	0.00	0.10	0.80	36.00	14.22	
102	C	12	12	2.70	0.15	0.00	0.00	3.00	36.00	31.97	
103	C	18	12	3.35	0.35	0.00	0.00	4.05	48.60	97.20	
104	O	8	87	0.45	0.25	0.00	0.10	1.60	139.20	54.98	
105	C	10	6	3.35	0.35	0.00	0.00	4.05	24.30	14.99	
106	C	18	12	2.70	0.15	0.00	0.00	3.00	36.00	72.00	H. LISO

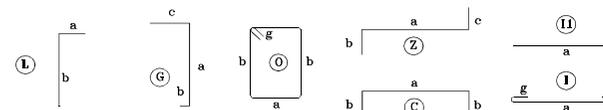
RESUMEN DE MATERIALES

Ø (mm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
W (Kg/m)	0.222	0.395	0.617	0.888	1.208	1.578	2.000	2.466	2.984	3.853	4.834	6.310
L (m)	0	175.20	24.30	36.00	0	0	84.60	0	0	0	0	0
PESO (Kg)	0.00	69.20	14.99	31.97	0.00	0.00	169.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wtot (Kg) =	285.36											

TOTAL DE VARILLAS

Ø (mm)	8	10	12	18	18 H Liso
CANTIDAD	15	3	3	6	6

TIPOS DE HIERROS:



ESPECIFICACIONES:

- EL CONCRETO TENDRA UN ESFUERZO A LA ROTURA A LOS 28 DIAS DE $f'_{c'} = 210 \text{ Kg/cm}^2$.
- EL ACERO DE REFUERZO TENDRA UN LIMITE DE FLUENCIA DE $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- LOS TRASLAPES MINIMOS SI NO SE INDICAN EN LOS PLANOS = 60 DIAMETROS DE LA VARILLA.
- EL DISEÑO EN HORMIGON ARMADO SE AJUSTO A LAS NORMAS DEL NEC-15 y A.C.I.
- EL CALCULO DE VOLUMENOS DE MATERIALES NO INCLUYE DESPERDICIOS.
- EL RECUBRIMIENTO SE TOMÓ DE 2.5 cm.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

NOMBRES: KARINA AGUIRRE MARCELA POMA	CONTENIDO: MAMPOSTERÍA	LÁMINA: 2/2
	ESCALAS: INDICADAS	