

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL
PRODUCTO MALLA NERVOMETAL UTILIZADO EN MUROS
REFORZADOS**

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

LLUMIQUINGA SOTO PAOLO VALENTINO

paolo.lumiquinga@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO M.SC

maria.corream@epn.edu.ec

CO-DIRECTOR: ING. LUIS TNERFE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Ph.D.

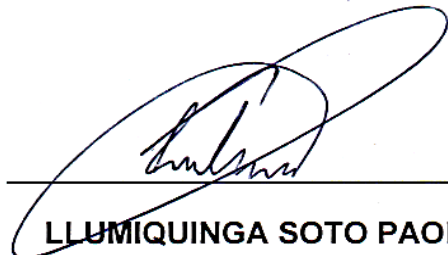
luis.hernandezr@epn.edu.ec

Quito, enero 2023

DECLARACIÓN

Yo LLUMIQUINGA SOTO PAOLO VALENTINO, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

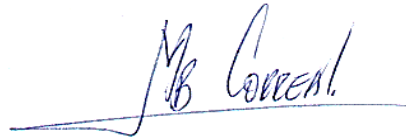
La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



LLUMIQUINGA SOTO PAOLO VALENTINO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por LLUMIQUINGA SOTO PAOLO VALENTINO, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, reading "M. B. Correa Vallejo", written over a horizontal line.

Ing. María Belén Correa Vallejo M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres que me han apoyado durante toda mi carrera, a mis hermanos que han sido una gran ayuda para la culminación de este proyecto.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional y a la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental que me han formado como profesional y me han brindado a lo largo de los años gran conocimiento y experiencia. Agradezco a mi director de tesis, Ing. María Belén Correa Vallejo M.Sc, que me guió a lo largo de todo el tiempo que duró este proyecto.

Agradezco a mis amigos José Gómez, Andrés Cedeño, Kimberly Aguirre y Karina Guadalupe quienes siempre me brindaron su apoyo para que este trabajo salga adelante. A mis amigos y compañeros Andreina, Carla, Melissa, Evelyn, Víctor, Wilson, Daysi, Karina, Jhony, Ricardo, Byron y demás personas que conocí en la universidad.

Agradezco al Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) por todo el apoyo recibido durante todo el tiempo que duró la realización de este trabajo. Al Ing. Christian Gómez quien me inició con este proyecto. A los ingenieros Raúl Baquero, Roberto Dibujes, Edwin Guaminga y Juan Carlos Velasteguí quienes siempre estuvieron pendientes de los avances del proyecto.

Agradezco al Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos (LEMSUR) y a todo su equipo de trabajo.

Agradezco a todos los docentes que me guiaron en la carrera y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron con este proyecto.

Pablo Lumiquinga

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a mis padres, Pedro y María, y a mis hermanos Pedro y Andy, quienes siempre creyeron en mí y siempre me brindaron su apoyo.

Pablo Lumiquinga

ÌNDICE

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA	V
ÌNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÌNDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÌTULO 1	1
INTRODUCCIÒN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 OBJETIVOS GENERAL.....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÌFICOS	2
1.2 ALCANCE.....	3
1.3 JUSTIFICACIÒN.....	3
1.3.1 JUSTIFICACIÒN TEÒRICA	3
1.3.2 JUSTIFICACIÒN METODOLÒGICA	4
1.3.3 JUSTIFICACIÒN PRÀCTICA.....	6
CAPÌTULO 2.....	7
MARCO TEÒRICO.....	7
2.1 MATERIALES	7
2.1.1 BLOQUES DE HORMIGÒN	7
2.1.2 MORTERO	8
2.1.3 HORMIGÒN	8
2.1.4 ACERO	8
2.1.5 MALLA NERVOMETAL	9
2.2 MURO REFORZADO CON MALLA ANCLADA A LA MAMPOSTERÌA Y REVESTIDA CON MORTERO.....	9
2.3 CONSTRUCCIÒN DE UN MURO REFORZADO CON MALLA ANCLADA A LA MAMPOSTERÌA Y REVESTIDA CON MORTERO.....	10
2.4 TIPOS DE FALLAS EN MUROS SOMETIDOS A CARGA LATERAL	11
2.4.1 APLASTAMIENTO EN ESQUINAS (<i>CC-Corner Crushing</i>).....	11

2.4.2	CORTE POR DESLIZAMIENTO (<i>SS-Sliding Shear</i>)	12
2.4.3	AGRIETAMIENTO DIAGONAL (<i>DK Diagonal Cracking</i>).....	13
2.4.4	COMPRESIÓN DIAGONAL (<i>DK Diagonal Compression</i>).....	13
2.4.5	FALLA EN EL PÓRTICO (<i>FF Frame Failure</i>).....	14
2.5	COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO	15
2.6	ENSAYOS DE LABORATORIO	17
2.6.1	ENSAYOS EN AGREGADOS.....	17
2.6.1.1	GRANULOMETRÍA	17
2.6.1.2	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	18
2.6.1.3	DENSIDAD APARENTE.....	18
2.6.1.4	CONTENIDO ORGÁNICO.....	19
2.6.2	ENSAYOS EN BLOQUES DE HORMIGÓN	19
2.6.2.1	DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN BLOQUES	19
2.6.2.2	COMPRESIÓN SIMPLE EN BLOQUES	20
2.6.3	ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN	20
2.6.4	ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CUBOS DE MORTERO	21
2.6.5	ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN MURETES.....	21
2.6.6	ENSAYO DE TRACCIÓN DIAGONAL EN MURETES	21
2.6.7	ENSAYO EN PÓRTICO REFORZADO	22
2.6.7.1	MÉTODO DE PRUEBA C (Protocolo básico de carga <i>CUREE</i>)	22
2.7	NORMAS DE CONSTRUCCIÓN	23
2.7.1	NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (<i>NEC-15</i>).....	23
2.7.2	ASTM INTERNATIONAL	24
2.7.3	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA <i>INEN</i>	24
CAPÍTULO 3		25
ANÁLISIS DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN.....		25
3.1	CONSIDERACIONES DEL DISEÑO	25
3.2	DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL ARMADO	25
3.2.1	VIGA DE CIMENTACIÓN.....	25
3.2.2	COLUMNAS	27
3.2.3	VIGA SUPERIOR.....	28
3.2.4	ACERO TRANSVERSAL EN VIGAS Y COLUMNAS	29
3.2.5	ARMADO GENERAL DEL PÓRTICO DE HOMRIGÓN	30

3.3	MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	31
3.3.1	RESISTENCIA AL CORTE DE LA MAMPOSTERÍA	31
3.3.2	RESISTENCIA A CORTE DEL ENCHAPE	33
3.4	DESLIZAMIENTO DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN.....	35
	CAPÍTULO 4.....	36
	ANÁLISIS DE MATERIALES	36
4.1	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	36
4.1.1	AGREGADOS FINO Y GRUESO	36
4.1.2	BLOQUES DE HORMIGÓN	37
4.1.3	HORMIGÓN	38
4.1.4	MORTERO	38
4.1.5	ACERO	39
4.1.6	MALLA NERVOMETAL	40
4.2	ENSAYOS DE LABORATORIO	41
4.2.1	COMPRESIÓN SIMPLE EN BLOQUES DE HORMIGÓN	41
4.2.2	DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN BLOQUES DE HORMIGÓN.....	42
4.2.3	COMPRESIÓN SIMPLE EN CUBOS DE MORTERO.....	42
4.2.4	COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE HORMIGÓN	45
4.2.5	TRACCIÓN APLICADA A MALLA NERVOMETAL.....	47
	CAPÍTULO 5.....	49
	CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES	49
5.1	CONSTRUCCIÓN DE MURETES SIN REFORZAMIENTO.....	49
5.2	CONSTRUCCIÓN DE MURETES CON REFORZAMIENTO.....	50
5.3	CONSTRUCCIÓN DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO	52
5.3.1	CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA BASE	52
5.3.2	COLOCACIÓN DE LOS EJES DE EMPOTRAMIENTO	53
5.3.3	COLOCACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS STRAIN GAUGES	54
5.3.4	CONSTRUCCIÓN DE LAS COLUMNAS.....	54
5.3.5	CONSTRUCCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA	55
5.3.6	CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA SUPERIOR	57
5.3.7	COLOCACIÓN DE LA MALLA DE REFORZAMIENTO	58
5.3.8	CURADO DEL ESPECIMEN	60
	CAPÍTULO 6.....	61

ENSAYO DE LOS ESPECÍMENES	61
6.1 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	61
6.1.1 PARA ENSAYO DE MURETES	61
6.1.2 PARA ENSAYO DE CARGA CÍCLICA EN MURO REFORZADO.....	64
6.2 ENSAYO DE MURETES.....	69
6.2.1 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE.....	69
6.2.1.1 INSTRUMENTACIÓN PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE	69
6.2.1.2 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE, MURETES SIN REFORZAMIENTO.	70
6.2.1.3 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE, MURETES CON REFORZAMIENTO ...	72
6.2.2 ENSAYO A TENSIÓN DIAGONAL.....	74
6.2.2.1 INSTRUMENTACIÓN PARA EL ENSAYO A TENSIÓN DIAGONAL	74
6.2.2.2 ENSAYO A TENSIÓN DIAGONAL, MURETES SIN REFORZAMIENTO.	75
6.2.2.3 ENSAYO A TENSIÓN DIAGONAL, MURETES CON REFORZAMIENTO	77
6.3 ENSAYO DEL MURO REFORZADO	80
6.3.1 INSTRUMENTACIÓN DEL MURO REFORZADO	80
6.3.2 PROTOCOLO DE CARGA.....	83
6.3.3 ENSAYO DEL MURO REFORZADO CON CARGA CICLICA.....	84
6.3.4 OBSEVACIONES DURANTE LA DESTRUCCIÓN DEL ESPÉCIMEN	89
CAPÍTULO 7.....	91
ANÁLISIS DE RESULTADOS	91
7.1 COMPRESIÓN SIMPLE EN MURETES	91
7.2 TRACCIÓN DIAGONAL EN MURETES	94
7.3 CARGA CÍCLICA EN MURO REFORZADO.....	100
7.3.1 CURVAS DE HISTÉRESIS Y CAPACIDAD	100
7.3.2 ENERGÍA DISIPADA.....	107
7.3.3 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ.....	108
7.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON EL TRABAJO DE ALBUJA & PANTOJA	
109	
7.4.1 PROTOCOLO DE CARGA.....	109
7.4.2 ESTADO FINAL LUEGO DEL ENSAYO	110
7.4.3 CURVAS DE HISTÉRESIS	111
7.4.4 CURVAS DE CAPACIDAD	114
7.4.5 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ.....	115
7.4.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ESPECIMENES.....	116

7.4.7 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....	117
CAPÍTULO 8.....	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFÍA.....	124
ANEXOS	127
ANEXO 01	128
RESULTADOS DE ENSAYOS DE MATERIALES.....	128
ANEXO 02	133
RESULTADOS DE ENSAYOS EN BLOQUES DE HORMIGÓN.....	133
ANEXO 03	135
DOSIFICACIÓN.....	135
ANEXO 04	139
RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYO DE MURO REFORZADO.....	139
ANEXO 05	141
ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	141

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Esquema del pórtico de hormigón.....	4
<i>Figura 2:</i> Esquema de aplicación de carga cíclica horizontal	5
<i>Figura 3:</i> Aplicación de carga vertical en muretes	6
<i>Figura 4:</i> Producto Malla Nervometal.....	9
<i>Figura 5:</i> Mecanismo de fallas para pórticos rellenos con mampostería	11
<i>Figura 6:</i> Falla por aplastamiento en esquinas	12
<i>Figura 7:</i> Falla por deslizamiento a corte.....	12
<i>Figura 8:</i> Falla por agrietamiento diagonal	13
<i>Figura 9:</i> Falla por compresión diagonal.....	14
<i>Figura 10:</i> Falla en el pórtico.....	15
<i>Figura 11:</i> Diagrama carga-desplazamiento en pórtico relleno con mampostería no confinada ...	16
<i>Figura 12:</i> Detalle del armado de viga base.....	27
<i>Figura 13:</i> Detalle del armado de columna.....	28
<i>Figura 14:</i> Diagrama de iteración de columna	28
<i>Figura 15:</i> Detalle del armado de la viga superior	29
<i>Figura 16:</i> Detalle del armado del pórtico de hormigón.....	30
<i>Figura 17:</i> Relación de aspecto de muros	33
<i>Figura 18:</i> Agregado fino y grueso, tratado en laboratorio	37
<i>Figura 19:</i> Bloque de hormigón tipo B	37
<i>Figura 20:</i> Pruebas de dosificación	38
<i>Figura 21:</i> Acero de refuerzo	39
<i>Figura 22:</i> Malla Nervometal	40
<i>Figura 23:</i> Bloque de hormigón ensayado a compresión	42
<i>Figura 24:</i> Cubo de mortero ensayado a compresión.....	44
<i>Figura 25:</i> Cilindros de hormigón ensayados a compresión	47
<i>Figura 26:</i> Elaboración de muretes sin reforzamiento	49
<i>Figura 27:</i> Muretes reforzados antes de ser enlucidos.....	50
<i>Figura 28:</i> Enlucido de muretes	51
<i>Figura 29:</i> Enrazado para ensayo a compresión y tensión diagonal.....	51
<i>Figura 30:</i> Elaboración del armado de la viga base.....	52
<i>Figura 31:</i> Colocación del hormigón en viga base.....	53
<i>Figura 32:</i> Ejes de empotramiento.....	53
<i>Figura 33:</i> Colocación de Strain Gauge	54
<i>Figura 34:</i> Construcción de columnas	55
<i>Figura 35:</i> Primeras hiladas de bloques de hormigón	56
<i>Figura 36:</i> Elaboración del muro de mampostería	56
<i>Figura 37:</i> Elaboración de la viga superior	58
<i>Figura 38:</i> Colocación de la Malla Nervometal	59
<i>Figura 39:</i> Enlucido del muro	59
<i>Figura 40:</i> Cilindro hidráulico.....	61
<i>Figura 41:</i> Marco de carga	62
<i>Figura 42:</i> Marco de carga	62

<i>Figura 43:</i> Deformímetro, 200 [mm].....	62
<i>Figura 44:</i> Deformiometro, 500 [mm].....	63
<i>Figura 45:</i> Sistema UPM 100	63
<i>Figura 46:</i> Acople superior	63
<i>Figura 47:</i> Acople inferior.....	64
<i>Figura 48:</i> Bomba ENERAC	64
<i>Figura 49:</i> Cilindro hidráulico	65
<i>Figura 50:</i> Celda de carga hidráulica	65
<i>Figura 51:</i> Bomba ENERPAC	66
<i>Figura 52:</i> Mangueras ENERPAC	66
<i>Figura 53:</i> Placa de unión	66
<i>Figura 54:</i> Deformímetros de 50 [mm]	67
<i>Figura 55:</i> Acople de muro	67
<i>Figura 56:</i> Strain gauge	67
<i>Figura 57:</i> Caja de control	68
<i>Figura 58:</i> Caja de control para strain gage	68
<i>Figura 59:</i> Ordenador.....	68
<i>Figura 60:</i> Instrumentación de muretes sin reforzamiento.....	70
<i>Figura 61:</i> Instrumentación de muretes con reforzamiento	70
<i>Figura 62:</i> Murete 10 ensayado	71
<i>Figura 63:</i> Murete 10 ensayado	72
<i>Figura 64:</i> Murete 06 ensayado	73
<i>Figura 65:</i> Murete 06 ensayado	73
<i>Figura 66:</i> Instrumentación de muretes sin reforzamiento.....	74
<i>Figura 67:</i> Instrumentación de muretes con reforzamiento	75
<i>Figura 68:</i> Murete 04 ensayado	76
<i>Figura 69:</i> Murete 07 ensayado	76
<i>Figura 70:</i> Murete 08 ensayado	77
<i>Figura 71:</i> Murete 01 ensayado	78
<i>Figura 72:</i> Murete 02 ensayado	79
<i>Figura 73:</i> Murete 03 ensayado	80
<i>Figura 74:</i> Pretensión de ejes.....	81
<i>Figura 75:</i> Deformímetros colocados.....	82
<i>Figura 76:</i> Preparación del ensayo.....	82
<i>Figura 77:</i> Protocolo de carga	83
<i>Figura 78:</i> Paso 4 – ciclo 24 de ida y vuelta.....	85
<i>Figura 79:</i> Primera señal de falla en unión viga columna	85
<i>Figura 80:</i> Paso 7 – ciclo 32 de ida y vuelta.....	86
<i>Figura 81:</i> Desprendimiento de mampostería en viga base y columnas.....	87
<i>Figura 82:</i> Paso 13 – ciclo 42 de ida y vuelta	88
<i>Figura 83:</i> Fisuras en columnas.....	89
<i>Figura 84:</i> Fisuras en conexiones viga-columna.....	89
<i>Figura 85:</i> Desgaste del acero en columnas.....	90
<i>Figura 86:</i> Malla parcialmente en su estado inicial luego del ensayo	90

<i>Figura 87:</i> Curva de Esfuerzo vs Deformación unitaria en muretes SR.....	91
<i>Figura 88:</i> Curva de Esfuerzo vs Deformación unitaria en muretes CR	92
<i>Figura 89:</i> Regresión lineal en curvas esfuerzo vs deformación para muretes SR	93
<i>Figura 90:</i> Regresión lineal en curvas esfuerzo vs deformación para muretes CR	94
<i>Figura 91:</i> Curva de Esfuerzo vs Deformación unitaria en muretes SR.....	95
<i>Figura 92:</i> Curva de Esfuerzo vs Deformación unitaria en muretes CR	96
<i>Figura 93:</i> Regresión lineal en curvas esfuerzo vs deformación para muretes SR	98
<i>Figura 94:</i> Regresión lineal en curvas esfuerzo vs deformación para muretes CR	99
<i>Figura 95:</i> Curvas de Histéresis – Patrón 01	101
<i>Figura 96:</i> Curvas de Histéresis – Patrón 02	101
<i>Figura 97:</i> Curvas de Histéresis – Patrón 03	102
<i>Figura 98:</i> Curvas de Histéresis – Patrón 04	103
<i>Figura 99:</i> Curvas de Histéresis – Patrón 05	103
<i>Figura 100:</i> Curva envolvente del diagrama de histéresis	104
<i>Figura 101:</i> Curvas de capacidad	105
<i>Figura 102:</i> Disipación de energía.....	107
<i>Figura 103:</i> Degradación de la rigidez.....	108
<i>Figura 104:</i> Comparación de protocolos de carga	109
<i>Figura 105:</i> Comparación de estados finales	110
<i>Figura 106:</i> Comparación de curvas de histéresis completas.....	112
<i>Figura 107:</i> Comparación de curvas finales	113
<i>Figura 108:</i> Comparación de curvas de capacidad.....	114
<i>Figura 109:</i> Comparación de degradación de rigidez	115
<i>Figura 110:</i> Comparación de costos y resistencia.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de bloques, de acuerdo a sus usos	7
Tabla 2. Método de prueba C – Amplitud de ciclos primarios.....	23
Tabla 3. Propiedades del acero	39
Tabla 4. Especificaciones de la Malla Nervometal	40
Tabla 5. Propiedades de los bloques de hormigón	41
Tabla 6. Resistencia a la compresión en bloques de hormigón	41
Tabla 7. Absorción y densidad en bloques de hormigón	42
Tabla 8. Propiedades del mortero de laboratorio.....	43
Tabla 9. Cálculo del incremento de resistencia a compresión.....	43
Tabla 10. Propiedades del mortero de pega.....	45
Tabla 11. Resistencia esperada a los 65 días.....	45
Tabla 12. Propiedades del hormigón de laboratorio	46
Tabla 13. Propiedades del hormigón en columnas.....	46
Tabla 14. Propiedades del hormigón en viga superior.....	47
Tabla 15. Propiedades de la Malla Nervometal	48
Tabla 16. Propiedades de muretes a compresión simple.	93
Tabla 17. Módulo de elasticidad en muretes.....	94
Tabla 18. Propiedades de muretes a tracción diagonal.....	97
Tabla 19. Módulo de rigidez de muretes	99
Tabla 20. Valores de desplazamiento y carga máxima para cada paso registrado.....	104
Tabla 21. Características mecánicas del pórtico	106
Tabla 22. Propiedades mecánicas de los pórticos de Albuja % Pantoja, y P Llumiyinga.	116
Tabla 23. Costo de construcción de modelos	117

RESUMEN

El presente proyecto busca verificar las propiedades físico-mecánicas del producto Malla Nervometal aplicado en muros reforzados. Se realizó estudios del material utilizado en muretes y en un muro reforzado. Los muretes consisten en una mampostería con dimensiones específicas, con y sin el refuerzo del producto Malla Nervometal. El muro reforzado consiste en un pórtico de hormigón armado, construido sobre una viga de soporte, mampostería de relleno y reforzado con el producto Malla Nervometal.

Los especímenes de muretes fueron ensayados a compresión simple, aplicando carga vertical sobre la parte superior del murete, y bajo tensión diagonal, colocando los especímenes en una posición rotada 45 grados dentro del plano vertical. El ensayo del muro reforzado se realizó con la aplicación de carga cíclica en la dirección horizontal en un extremo superior del muro hasta alcanzar un colapso relativo.

Los ensayos realizados en los muretes dieron como resultado, el incremento de resistencia usando Malla Nervometal, también se determinó otras características mecánicas para cada tipo de ensayo. Los resultados del muro reforzado dieron evidencia del comportamiento del sistema usando este tipo de reforzamiento, con Malla Nervometal, también fue comparado con los resultados de un muro que fue elaborado con reforzamiento convencional usando malla electrosoldada.

ABSTRACT

This project searches to verify the physical-mechanical properties of the Nervometal Mesh product applied to reinforced walls. Studies were performed the material used in masonry prisms and in a reinforced wall. The masonry prisms consist of a masonry with specific dimensions with and without the reinforcement of the Nervometal Mesh product. The reinforced wall consists of a reinforced concrete portico built on a support beam, filled masonry and reinforced with the Nervometal Mesh product.

The wall specimens were tested in simple compression, applying vertical load on the top of the wall, and under diagonal tension, placing the specimens in a 45-degree rotated position within the vertical plane. The reinforced wall was tested by applying cyclic loading in the horizontal direction at one upper end of the wall until a relative collapse was reached.

The tests performed on the masonry prisms gave as a result, the increase of resistance using Nervometal Mesh, and other mechanical characteristics were also determined for each type of test. The results of the reinforced wall gave evidence of the behavior of the system using this type of reinforcement, with Nervometal mesh, and were also compared with the results of a wall that was elaborated with conventional reinforcement using electrowelded mesh.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país en el que se usan limitados métodos y sistemas constructivos que han llevado a la elaboración de viviendas de precaria calidad estructural, la falta de conocimiento de las propiedades de estos métodos y sistemas constructivos está relacionada con la calidad de los materiales que se utilizan en los mismos (Lirola, 2020). El conocimiento del comportamiento que presentan los materiales utilizados en sistemas estructurales es de gran importancia para su selección y posterior empleo en la construcción de viviendas con métodos tradicionales o métodos modernos (Láncer, 2010).

Dentro de los sistemas estructurales tradicionales y modernos, el empleo de muros reforzados no es una constante en las viviendas comunes, la correcta elaboración de los mismos proporciona una manera eficiente de enfrentar los eventos sísmicos que ocurren continuamente con menor o mayor magnitud en nuestro país, debido a su ubicación geográfica. Los materiales que se emplean en dichos muros son de gran variedad y dependen del tipo de muro que se pretende elaborar, uno de los materiales que es utilizado, pero no muy recurrentemente es la malla como refuerzo estructural (Angulo & López, 2008).

El producto Malla Nervometal no posee una gran cantidad de estudios con respecto a su empleo en sistemas estructurales y por lo tanto no se puede compartir las ventajas en la construcción que este material podría tener. El presente proyecto se realiza para verificar las ventajas que este producto posee en la construcción, en base a los resultados de ensayos destructivos de especímenes tales como muretes (porción de un muro alto, para evaluar características de la mampostería) y un muro reforzado (mampostería que posee en su composición refuerzo de acero o de otro material que ayuda a dar mayor rigidez al sistema). Los muretes sin reforzamiento con una dimensión aproximada de 83x86x15 [cm] dan el dato base para determinar el aumento de resistencia en comparación a los muretes con

reforzamiento de dimensiones aproximadas de 86x87x20 [cm]. El muro reforzado corresponde a un pórtico de hormigón armado en cuya base se levanta el muro de mampostería que posteriormente será reforzado con el producto en estudio Malla Nervometal, los resultados del ensayo son comparados con el trabajo de Albuja & Pantoja quienes de igual manera elaboraron un espécimen de hormigón, pero usaron la malla convencional de reforzamiento. Los resultados que se obtengan permitirán recopilar información del material en estudio y ser un antecedente para continuar con el estudio de más aplicaciones de la Malla Nervometal.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVOS GENERAL

Diseñar y construir un espécimen de muro reforzado con Malla Nervometal y verificar su comportamiento bajo carga cíclica horizontal.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir seis especímenes de muretes, tres con refuerzo Malla Nervometal y tres sin refuerzo, para obtener información del ensayo a tensión diagonal.
- Construir cuatro especímenes de muretes, dos con refuerzo Malla Nervometal y dos sin refuerzo, para obtener información del ensayo a compresión simple.
- Obtener información de desplazamientos horizontales y registro de variación de carga en el muro reforzado sometido a carga cíclica horizontal.
- Comparar los resultados obtenidos del comportamiento del muro reforzado con trabajos anteriores que hayan empleado malla electrosoldada.
- Obtener información acerca de las propiedades físicas de los materiales que se utilizarán en la construcción de los especímenes.
- Comparar los resultados de los especímenes de muretes para apreciar el cambio de resistencia en los especímenes reforzados.

1.2 ALCANCE

El estudio permitirá conocer las propiedades físico-mecánicas del producto Malla Nevometal a través de especímenes expuestos a carga vertical y horizontal. Se colocará como refuerzo el producto en estudio en 5 muretes y en un muro reforzado. Se realizará comparaciones entre muretes con refuerzo y sin refuerzo, entre el muro reforzado y los resultados de un proyecto similar (Albuja & Pantoja, 2017). Los resultados permitirán dar a conocer las ventajas que existen al usar el producto en estudio.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Se han realizado estudios sobre el comportamiento de muros con malla de refuerzo que dan evidencia de su gran resistencia, el empleo de otros tipos de malla de refuerzo permitirá una variedad de materiales y propiedades para el constructor (Fernández & Paredes, 2010).

El uso de refuerzo en el área vertical de los muros reduce el comportamiento frágil de la mampostería. También ayuda a incrementar la resistencia a cargas laterales y a amplias deformaciones. Acoplado el muro a un marco de hormigón armado se logra disminuir el agrietamiento diagonal (Pineda & Alcocer, 2004).

El proyecto propuesto busca, mediante la aplicación de la teoría y los conceptos de construcción de muros elaborar un modelo de ensayo que emplee el producto Malla Nervometal. Ello permitirá recopilar información acerca del comportamiento del muro y del material en estudio, de esta manera dar a conocer los beneficios que da el uso de este material como reforzamiento.

1.3.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La propuesta metodológica de un diseño de muro estructural con Malla Nervometal no está estandarizada, el empleo de un material que no dispone de estudios previos no permite una visión clara de comportamiento que este puede tener, el proyecto busca ampliar la información que se dispone sobre el uso de este material.

Para lograr el objetivo del proyecto, se pondrá en uso el método experimental de aplicación de carga controlada sobre un espécimen de muro reforzado con Malla Nervometal, y 10 muretes, 6 muretes será ensayados a tensión diagonal, de los cuales, 3 con refuerzo y 3 sin refuerzo correspondientemente, 4 muretes será ensayados a compresión simple, es decir, 2 con refuerzo y 2 sin refuerzo correspondientemente, todos elaborados en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV), en base a la información recopilada sobre los materiales a emplearse (ASTM) y con la ayuda de la guía para muros con malla electrosoldada de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15).

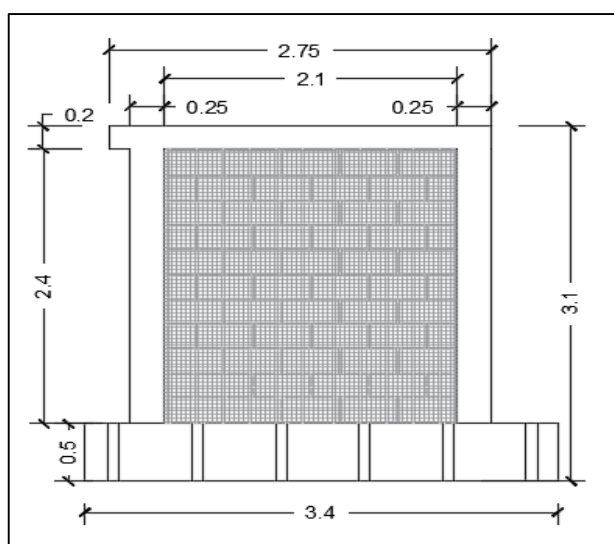


Figura 1: Esquema del pórtico de hormigón, (dimensiones en m)

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen de muro reforzado a ensayar corresponde a un pórtico de hormigón armado dentro del cual, sobre una viga base, se levantará un muro de mampostería, posteriormente reforzado con el producto Malla Nervometal, el muro se encontrará confinado por columnas y una viga superior, al espécimen se le aplicará carga cíclica horizontal en el extremo superior que se conecta con el equipo unido al muro de reacción del Centro de Investigación de la Vivienda.

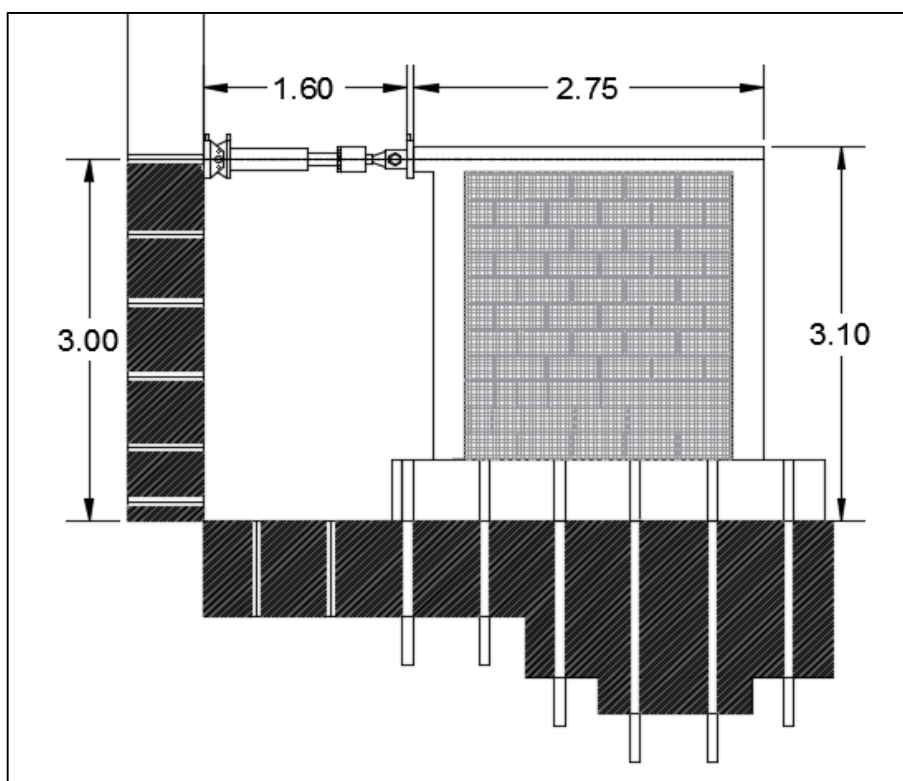


Figura 2: Esquema de aplicación de carga cíclica horizontal,
(dimensiones en m)

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen de murete corresponde 4 filas de bloques de hormigón, para los especímenes reforzados se procede a cubrirles con el producto Malla Nervometal, posteriormente se le aplicará mortero para cubrir ambas caras. Para el ensayo a compresión se le aplicará carga vertical en toda la superficie superior, para el ensayo a tensión diagonal se le aplicará carga vertical en una esquina colocando al espécimen en una posición rotada 45 grados dentro del plano vertical.

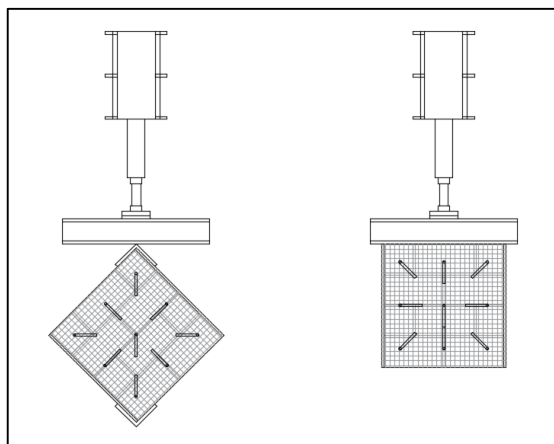


Figura 3: Aplicación de carga vertical en muretes

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Con ello se desea dar evidencia de que el material en estudio, Malla Nervometal, puede ser utilizado en aplicaciones estructurales tales como muro estructural y enchape, para estructuras que requieren ligero aumento de resistencia. (Angulo & López, 2008).

1.3.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El proyecto planteado permitirá dar un antecedente sobre el uso de este material en muros. Los resultados del proyecto darán un panorama de la variedad de aplicaciones que puede disponer el material en estudio Malla Nervometal. El análisis de cada material empleado podrá garantizar un correcto comportamiento del espécimen, el uso del material en un muro estructural permitirá ampliar la variedad de materiales que se encuentran en el mercado para la elaboración del mismo (Láncer, 2010).

El uso de nuevos materiales en aplicaciones estructurales tradicionales podrá permitir un aumento en su resistencia ante eventos sísmicos, de igual manera podrá disminuir el daño en las estructuras con patologías estructurales que existen muy a menudo en la construcción informal del país (Fernández & Paredes, 2010).

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 MATERIALES

2.1.1 BLOQUES DE HORMIGÓN

Unidad de mampostería prefabricada utilizada en la construcción de muros y paredes. Los bloques de hormigón tienen forma prismática, con dimensiones normalizadas, generalmente para la construcción son huecos (Robalino, Peñaherrera, Tito & López, 2015).

Su elaboración consiste en la mezcla de cemento portland, agregados graduados y agua. La correcta mezcla de los materiales debe producir una resistencia aceptable con una mínima densidad y con el mínimo contenido de cemento, de tal manera de obtener elementos de bajo peso y a un costo moderado (Gallegos & Casabonne, 2005).

Los bloques de hormigón se clasifican en función de su uso y otras características. La norma NTE-INEN-638 los clasifica según su uso en:

Tabla 1.

Clasificación de bloques, de acuerdo a sus usos

CLASE	USO
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento
	Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento
	Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento
E	Losas alivianadas de hormigón armado

Fuente: NTE-INEN-638 (2014)

2.1.2 MORTERO

Mezcla de pasta (cemento y agua) y agregado fino (arena), cuyo objetivo es emparejar y unir elementos de mampostería, y el revestimiento de paredes, generalmente se usa como material conglomerante el cemento, pero también son usados otros materiales tales como cal y yeso. (Sánchez, 2001)

El mortero de pega debe tener buena plasticidad, consistencia y ser capaz de retener la cantidad de agua mínima para la hidratación del cemento, también garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante. (NEC-SE-MP, 2015)

2.1.3 HORMIGÓN

Mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), material de relleno (agregados fino y grueso), agua y opcionalmente aditivos, al endurecerse forman un compuesto compacto que después de cierto tiempo logra alcanzar grandes esfuerzos de compresión. (Sánchez, 2001)

El hormigón aporta con una gran resistencia a los esfuerzos a compresión, sin embargo, su aporte para resistir esfuerzos a tracción es considerada baja, para ello dentro de su composición se incluye refuerzo de acero corrugado que le proporciona un gran aumento a la resistencia a tracción.

2.1.4 ACERO

Refuerzo de acero liso o corrugado de alta resistencia que cumple con las normas NTE INEN 1511, ASTM A-82, ASTM A-496. Generalmente utilizado para refuerzos longitudinal y transversal, en elementos estructurales de hormigón armado. También es utilizado como refuerzo de mampostería en forma de chicotes y anclajes. (Catálogo de productos IdealAlambrec)

2.1.5 MALLA NERVOMETAL

Malla de metal expandido con nervios simétricos a lo largo de toda su longitud que actúan como rigidizadores con el objetivo de mejorar su desempeño estructural, especialmente para superficies planas. Sus aplicaciones están en la construcción de techos y paredes, recubrimiento de estructuras metálicas y construcción de obras decorativas. (Catálogo de productos IdealAlambrec)



Figura 4: Producto Malla Nervometal

Fuente: Catálogo de productos IdealAlambrec

2.2 MURO REFORZADO CON MALLA ANCLADA A LA MAMPOSTERÍA Y REVESTIDA CON MORTERO

Estructura conformada por elementos de mampostería unidas con mortero de pega y reforzada internamente o externamente con barras y alambres de acero. El mortero de relleno puede ser colocado en todas las celdas verticales o solamente en aquellas donde esté ubicado el refuerzo. Debe cumplir con los siguientes requisitos. (NEC-SE-MP, 2015)

- Espesor mínimo nominal de 120 [mm]
- Solo se admite aparejo trabado y no se admiten morteros M2.5 y M5.
- La resistencia de la mampostería no debe ser menor a 10 MPa ni mayor a 28 MPa.

Los muros de mampostería se pueden reforzar con mallas metálicas recubiertas con mortero. Se pueden elaborar en viviendas o edificaciones que no posean elementos estructurales como vigas y columnas, o cuando los elementos estructurales no cumplan con los criterios mínimos de reforzamiento estructural. (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

2.3 CONSTRUCCIÓN DE UN MURO REFORZADO CON MALLA ANCLADA A LA MAMPOSTERÍA Y REVESTIDA CON MORTERO

Los materiales de construcción destinados a la elaboración de un muro reforzado deben cumplir los siguientes requisitos:

Resistencia mecánicas acordes con el uso que recibirán (NEC-SE-MP, 2015)

- Estabilidad química (resistencia a agentes agresivos)
- Estabilidad física (dimensional)
- Seguridad para su manejo y utilización
- Aislamiento térmico y acústico
- Estabilidad y protección en caso de incendio (resistencia al fuego)
- Protección de la higiene y salud de obreros y usuarios

La malla debe adherirse a la mampostería, de igual manera a columnas y vigas si existe la posibilidad, para lograr que el muro alcance su esfuerzo especificado de fluencia. Las mallas deberán ser continuas, sin traslapes. Si la altura del muro lo requiere se puede unir las mallas. El traslape se debe colocar en una zona donde los esfuerzos esperados sean bajos. El traslape medio entre dos hojas de malla que se unen no será menor que dos veces la separación interna de la malla, más de 50 [mm]. (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

2.4 TIPOS DE FALLAS EN MUROS SOMETIDOS A CARGA LATERAL

En el trabajo de Pachano F. (2018) se menciona una recopilación de varios modos de falla para pórticos rellenos con mampostería, sin huecos que simulen puertas o ventanas, resumido en un esquema que muestra el mecanismo de falla para varios casos.

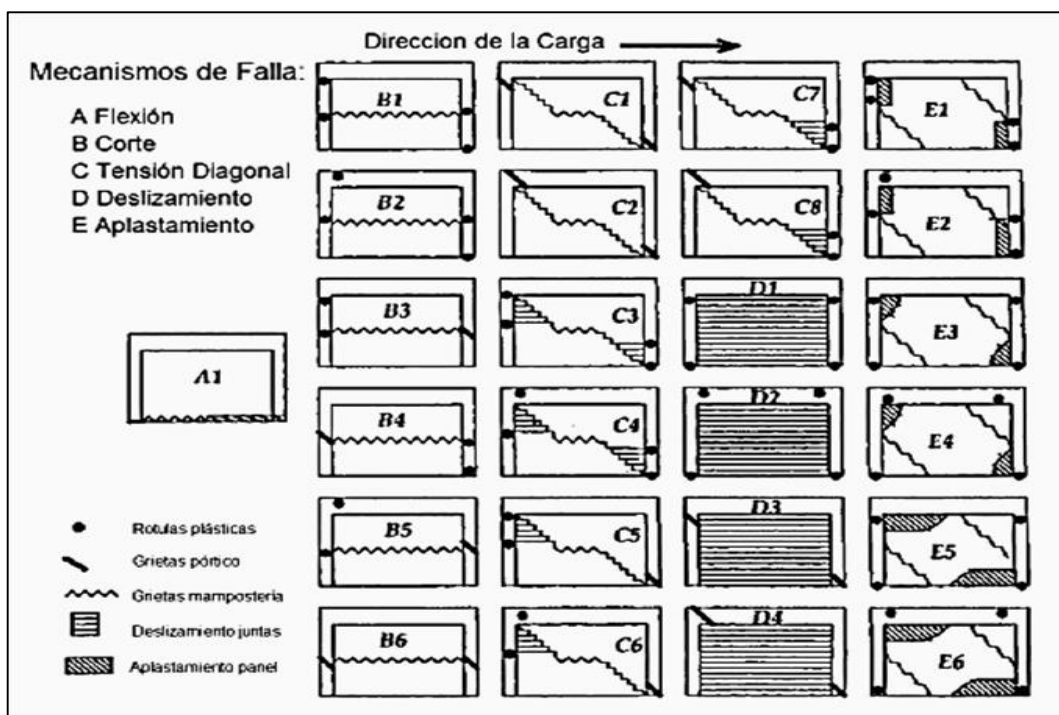


Figura 5: Mecanismo de fallas para pórticos rellenos con mampostería

Fuente: Pachano F. (2018)

2.4.1 APLASTAMIENTO EN ESQUINAS (*CC-Corner Crushing*)

Se produce debido a una concentración de esfuerzos en la diagonal a compresión. Es un tipo de falla generalmente hallada en pórticos con relleno de mampostería de baja resistencia, o en pórticos que presenten uniones débiles y elementos estructurales poco resistentes. En adición, la flexibilidad del pórtico genera una presión contra la mampostería que se concentra en un área reducida. (Pachano, 2018).

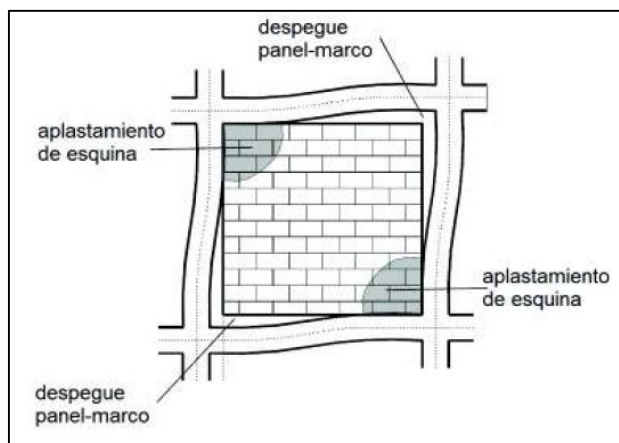


Figura 6: Falla por aplastamiento en esquinas

Fuente: Pachano F. (2018)

2.4.2 CORTE POR DESLIZAMIENTO (*SS-Sliding Shear*)

Se produce por el desplazamiento de una porción de mampostería sobre otra. Este tipo de falla se puede presentar en las juntas o en las unidades de mampostería, dicha falla está relacionada con el uso de mortero de baja calidad y resistencia. (Jativa & Torres, 2021)

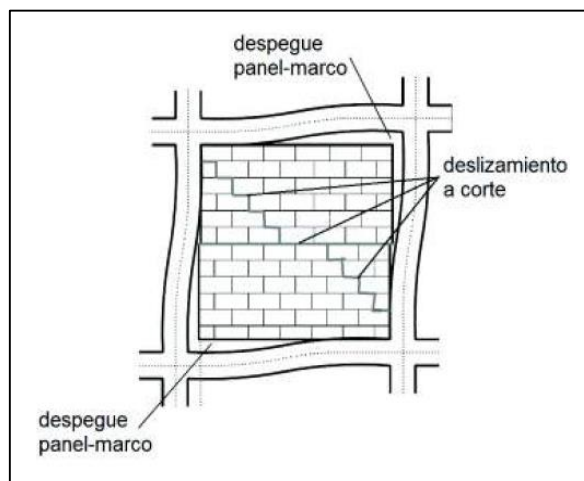


Figura 7: Falla por deslizamiento a corte

Fuente: Pachano F. (2018)

2.4.3 AGRIETAMIENTO DIAGONAL (*DK Diagonal Cracking*)

Este tipo de falla aparece como grietas en la zona de la diagonal comprimida, dicha falla se genera cuando los esfuerzos a tracción generados por la aplicación de carga superan a la resistencia a tracción en los mampuestos. Generalmente se presenta en pórticos débiles con mampostería de alta resistencia. (Pachano, 2018)

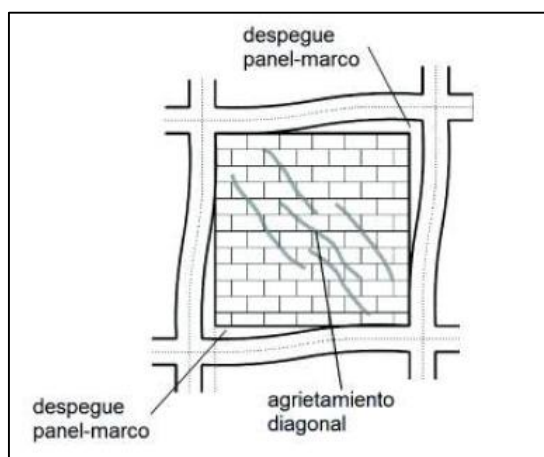


Figura 8: Falla por agrietamiento diagonal

Fuente: Pachano F. (2018)

2.4.4 COMPRESIÓN DIAGONAL (*DK Diagonal Compression*)

Es generada por un aplastamiento de sección en la zona central de la mampostería. Se da comúnmente en muros esbeltos por una inestabilidad fuera del plano del panel, también se puede dar como pequeñas fallas localizadas cuando ya se ha generado una falla de corte por deslizamiento. (Pachano, 2018)

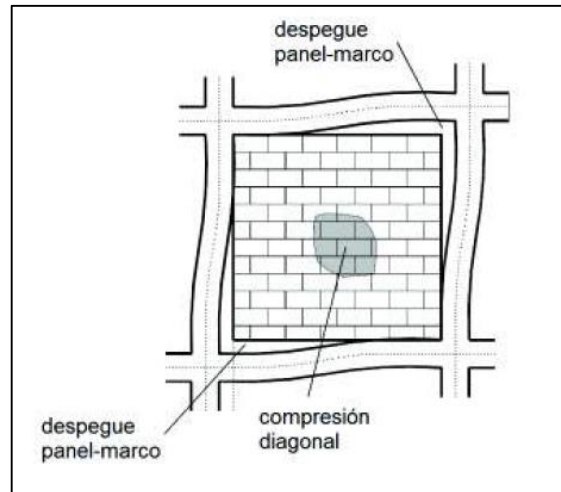


Figura 9: Falla por compresión diagonal

Fuente: Pachano F. (2018)

2.4.5 FALLA EN EL PÓRTICO (*FF Frame Failure*)

En el pórtico del sistema las fallas están relacionados con vigas y columnas débiles y de poca resistencia, uniones con baja calidad y presencia de mampostería de alta resistencia (Pachano, 2018), estas fallas se presentan como:

- Falla por flexión (*FFF Frame Flexural Failure*): se genera como rótulas plásticas en los extremos o en las zonas centrales de los elementos estructurales, en función de la zona de contacto que se dé con la mampostería, con una amplia separación se desarrollarán en los extremos y con un contacto prolongado se moverán en dirección al centro del elemento. (Pachano, 2018)
- Falla axial (*FTF Frame Tension Failure*): se puede presentar por fluencia del refuerzo longitudinal de la columna tensionada en zonas intermedias del elemento o por el desprendimiento de varillas en la zona de unión con la viga. (Pachano, 2018)
- Falla por corte en columnas (*FSF Frame Shear Failure*): aparece cuando la fuerza de compresión generada por la diagonal en la mampostería supera la capacidad a corte de una columna o de ambas columnas. (Pachano, 2018)

- Falla en los nudos (*FJF Frame Joint Failure*): se presenta en uniones de viga y columna que no poseen suficiente anclaje del refuerzo longitudinal o la cantidad de acero en la unión es insuficiente y genera una conexión débil, esto provoca que la fuerza de compresión de la diagonal desarme el conjunto. (Pachano, 2018)

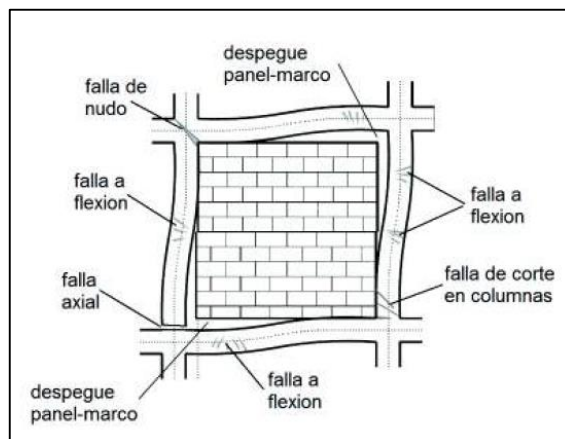


Figura 10: Falla en el pórtico

Fuente: Pachano F. (2018)

2.5 COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO

La filosofía de diseño sismo-resistente se basa en la facultad de los sistemas para dispersar energía por medio de deformaciones plásticas en los miembros estructurales, dichas deformaciones generadas de forma cíclica y en el rango plástico se conocen como comportamiento histerético o histéresis del sistema. (Játiva & Torres, 2021)

Estructuras con lazos de histéresis anchos y consistentes en repeticiones de carga cíclica disipan más energía que sistemas con lazos reducidos. Esta reducción representada en los lazos se genera por la degradación de la rigidez y la resistencia del sistema. Los lazos de histéresis generados en sistemas pórticos de hormigón y mampostería de relleno, expuestos a carga cíclica lateral, presentan gran

estrechamiento en la zona central. Dicho comportamiento se conoce como “lazos de histéresis imperfectos de área reducida”, comúnmente generados por sistemas frágiles que no cumplen lineamientos de las normas. (Pachano, 2018)

Debido a que frecuentemente la mampostería de relleno se levanta luego de la elaboración de los elementos estructurales, se puede generar un desacople entre dos elementos. Dicho desacople provoca una rápida degradación de la rigidez del sistema. (Pachano, 2018)

En la figura 11 se puede apreciar como para un pórtico relleno con mampostería la deformación del sistema en el rango plástico presenta una caída de resistencia hasta estabilizarse en una curva dúctil con forma de lazo. La parte final de la envolvente del diagrama carga-desplazamiento corresponde a las deformaciones plásticas del pórtico de hormigón. Debido a esto el relleno de mampostería debe estar como primera defensa ya que luego de agotarse la resistencia de la mampostería, el sistema depende únicamente del aporte del pórtico de hormigón. (Pachano, 2018)

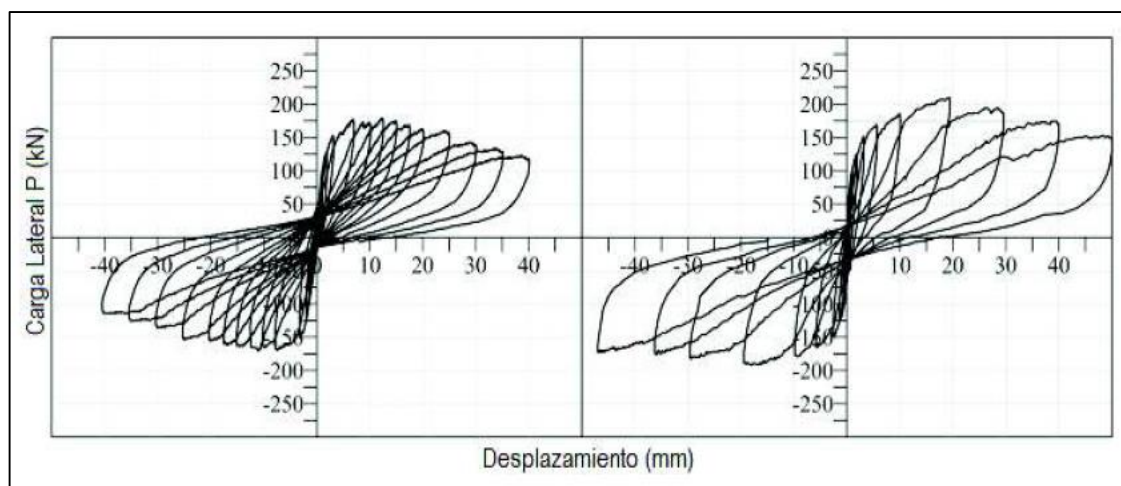


Figura 11: Diagrama carga-desplazamiento en pórtico relleno con mampostería no confinada

Fuente: Pachano F. (2018)

2.6 ENSAYOS DE LABORATORIO

2.6.1 ENSAYOS EN AGREGADOS

2.6.1.1 GRANULOMETRÍA

La granulometría es una propiedad relacionada con el comportamiento del material, debido a que tiene influencia sobre la aireación, retención y movimiento del agua, trabajabilidad y erosionabilidad. (Gabriels D. & Lobo D., 2011)

Este método de prueba se utiliza para determinar la clasificación de los materiales para su uso como agregados o que se están utilizando como agregados. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos de especificación aplicables y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos de agregados y mezclas que contienen agregados. (ASTM C136/C136M, 2014)

Agregado fino: El agregado fino consistirá en arena natural, arena manufacturada u otro agregado reciclado, o una combinación de los mismos. No más del 45 % del agregado fino deberá pasar por cualquier tamiz y ser retenido en el siguiente tamiz consecutivo, y su módulo de finura no será inferior a 2,3 ni superior a 3,1. El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas, los agregados sujetos a la prueba de impurezas orgánicas y que produzcan un color más oscuro que el estándar deben rechazarse. (ASTM C33/C33M, 2018)

Agregado grueso: El agregado grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada por aire u hormigón de cemento hidráulico triturado, u otro agregado reciclado, o una combinación de los mismos. Los agregados gruesos deben cumplir con los requisitos prescritos de la Tabla 3: Requisitos de clasificación para agregados gruesos, de la norma ASTM C33/C33-18, para el número de tamaño especificado. (ASTM C33/C33M, 2018)

2.6.1.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

El peso específico es la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados, incluido el concreto de cemento portland, el concreto bituminoso y otras mezclas que se dosifican o analizan sobre una base de volumen absoluto. El específico también se usa en el cálculo de vacíos en el agregado. (ASTM C127 & C128, 2012)

Los valores de absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua por suficiente tiempo para satisfacer la mayor parte del potencial de absorción. (ASTM C127 & C128, 2012)

Una muestra de agregado se sumerge en agua durante 24 [h] para llenar esencialmente los poros. Luego se retira del agua, el agua se seca de la superficie de las partículas y se determina la masa. Posteriormente, la muestra se coloca en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico o volumétrico para agregado fino, y por el método de desplazamiento de agua para agregado grueso. Finalmente, la muestra se seca al horno y se determina nuevamente la masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y las fórmulas de este método de prueba, es posible calcular la densidad, el peso específico y la absorción. (ASTM C127 & C128, 2012)

2.6.1.3 DENSIDAD APARENTE

Este método de prueba suele usarse para hallar los valores de densidad aparente, necesarios para varios métodos de selección de cantidades para mezclas de hormigón. La densidad aparente también se puede usar para calcular las relaciones masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra. Pero, se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de acarreo y el logrado en el método de prueba ASTM C29/C29M. Además, los agregados en las unidades de acarreo normalmente contienen humedad

absorbida y superficial, mientras que este proceso de prueba determina la densidad aparente en seco. (ASTM C29, 2017)

2.6.1.4 CONTENIDO ORGÁNICO

Este método de prueba se usa para hacer una determinación preliminar de la aceptabilidad de los agregados finos. El objetivo principal de este método de prueba es proporcionar una advertencia de que pueden estar presentes cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. El procedimiento consiste en llenar una botella de vidrio hasta el nivel de aproximadamente 130 [ml] con la muestra del agregado fino para a ser probado, agregar la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen de agregado fino y líquido, indicado después de agitar, sea de aproximadamente 200 [ml], tapar la botella, agitar vigorosamente y luego dejar reposar durante 24 h. (ASTM C40, 2019)

2.6.2 ENSAYOS EN BLOQUES DE HORMIGÓN

2.6.2.1 DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN BLOQUES

La muestra para los ensayos debe estar compuesta por 3 unidades enteras. Cuando el tamaño de las unidades enteras sobrepase la capacidad de los equipos del laboratorio, realizar los ensayos en unidades cortadas de igual sección. Cuando la geometría o las características de las unidades a ensayar no permiten obtener unidades cortadas de igual sección, se permite recurrir a extraer y ensayar fracciones de bloque. (NTE INEN 3066, 2016)

Procedimiento: Sumergir en agua las unidades para ensayo a una temperatura entre 16 [°C] y 27 [°C], durante un lapso de 24 horas a 28 horas. Determinar la masa de las unidades completamente sumergidas, mientras están suspendidas en un alambre, y registrar este valor. Sacarlas del agua y dejarlas que escurran durante 60 segundos \pm 5 segundos sobre una malla metálica, retirar el agua visible de la superficie con un paño húmedo, determinar su masa y registrar

este valor. Repetir este procedimiento cada 24 horas hasta que la diferencia de la masa entre dos pesadas consecutivas sea inferior al 0,2 %. Luego de determinar la masa saturada de las unidades para ensayo, secarlas en un horno ventilado, entre 100 [°C] y 115 [°C]. Pesar las unidades cada 24 horas hasta que la diferencia de la masa entre las dos pesadas consecutivas sea inferior al 0,2 %. (NTE INEN 3066, 2016)

2.6.2.2 COMPRESIÓN SIMPLE EN BLOQUES

Se deben ensayar a compresión tres unidades. Cuando sea posible y a menos que se especifique de otra manera deben ser ensayadas unidades enteras. Ensayar las unidades con el centroide de sus superficies de carga, alineadas verticalmente con el centro de aplicación de carga del elemento de acero con soporte esférico de la máquina de ensayo. En las unidades que son simétricas con respecto a un eje se puede determinar la localización de dicho eje geoméricamente, dividiendo por la mitad la dimensión perpendicular a ese eje. Las unidades de mampostería que son 100 % sólidas y las unidades huecas especiales para uso con sus celdas en dirección horizontal, deben ser ensayadas en la misma posición que van a tener durante el servicio. (NTE INEN 3066, 2016)

2.6.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Este método de prueba consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros o núcleos moldeados a una velocidad que se encuentra dentro de un rango preestablecido hasta que se produce la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen. Se debe tener cuidado en la interpretación de la importancia de las determinaciones de la resistencia a la compresión por este método de ensayo, ya que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, la dosificación, los

procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeado, fabricación, condiciones de edad, temperatura y humedad durante el curado. (ASTM C39, 2021)

2.6.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CUBOS DE MORTERO

El mortero utilizado consiste en 1 parte de cemento y 2,75 partes de arena dosificados en masa. Los cementos portland o portland con inclusor de aire se mezclan en proporciones específicas de agua/cemento. Los cubos de ensayo de dos pulgadas o 50 [mm] se compactan apisonándolos en dos capas. Los cubos se curan un día en los moldes, se los libera de los moldes y se sumergen en agua hasta que se cumpla la edad de ensayo para cada cubo. (ASTM C109, 2020)

2.6.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN MURETES

Este método de prueba proporciona un medio para verificar que los materiales de mampostería utilizados en la construcción den como resultado una mampostería que cumpla con la resistencia a la compresión especificada. Si este método de prueba se usa como guía para realizar investigaciones para determinar los efectos de la construcción de varios prismas o parámetros de prueba en la resistencia a la compresión de la mampostería, se deben informar las desviaciones de este método de prueba. Dichos prismas de investigación no se deben usar para verificar el cumplimiento de una resistencia a la compresión específica de la mampostería. (ASTM C1314, 2021)

2.6.6 ENSAYO DE TRACCIÓN DIAGONAL EN MURETES

Este método de prueba se desarrolló para medir con mayor precisión la resistencia a la tracción diagonal de la mampostería. El tamaño de la muestra se selecciona como el más pequeño que sería razonablemente representativo de un ensamblaje de mampostería de tamaño completo y que permita el uso de máquinas de prueba como las que utilizan varios laboratorios. Es un método de prueba de investigación utilizado solo con el propósito de evaluar los efectos de variables tales

como el tipo de unidad de mampostería, mortero, mano de obra, etc. Se podría usar una muestra de tamaño más pequeño si el equipo de prueba disponible no se acomoda al espécimen cuadrado. Sin embargo, hay una falta de datos experimentales que permiten una evaluación del efecto del tamaño del espécimen en la resistencia al corte o que permitan una correlación entre los resultados de los ensayos con especímenes a pequeña escala y especímenes más grandes. (ASTM E519, 2015).

2.6.7 ENSAYO EN PÓRTICO REFORZADO

Este método de prueba está destinado a medir el desempeño de los elementos verticales del sistema resistente a fuerzas laterales sometidos a cargas laterales. Dado que estas cargas son cíclicas, el proceso de carga simula las acciones y sus efectos sobre las muestras. El espécimen típico consta de un marco, elementos de confinamiento, paneles de relleno, arriostramientos diagonales, etc. Los materiales utilizados para construir los especímenes pueden variar para permitir hallar la falla anticipada del trabajo en estudio. (ASTM E2126, 2018).

2.6.7.1 MÉTODO DE PRUEBA C (Protocolo básico de carga *CUREE*)

Procedimiento de carga controlado por desplazamiento que involucra ciclos de desplazamiento agrupados en pasos a niveles de desplazamiento con incrementos crecientes. Los registros de carga comienzan con una serie de seis ciclos de iniciales con pequeñas amplitudes iguales. Adicionalmente, cada fase del registro de carga consta de un ciclo primario con una amplitud expresada como un porcentaje de la deformación de referencia y posteriores ciclos de arrastre con amplitud del 75 % del ciclo primario. (ASTM E2126, 2018).

Tabla 2.*Método de prueba C – Amplitud de ciclos primarios*

PATRÓN	PASO	MÍNIMO NÚMERO DE CICLOS	AMPLITUD PRIMARIA CICLO, %Δ
1	1	6	5
2	2	7	7,5
	3	7	10
3	4	4	20
	5	4	30
4	6	3	40
	7	3	70
	8	3	100
	9	3	$100 + 100 \alpha^A$
	10	3	Incrementos adicionales de 100α (hasta el fallo de la muestra)
A $\alpha \leq 0.5$			

Fuente: ASTM E2126 (2018)

2.7 NORMAS DE CONSTRUCCIÓN

2.7.1 NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC-15)

Su objetivo es determinar nuevos lineamientos para la construcción de acuerdo a los avances tecnológicos a fin de mejorar los mecanismos de control en los procesos constructivos, definir principios mínimos de diseño y montaje en obra, velar por el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad, y fijar responsabilidades, obligaciones y derechos de los actores involucrados en los procesos de edificación.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción debe dar respuesta a la demanda de la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad y la seguridad de las edificaciones, buscando a su vez, proteger al ciudadano y fomentar un desarrollo urbano sostenible. (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

2.7.2 ASTM INTERNATIONAL

La norma ASTM cuya traducción es Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials o ASTM International), es una organización que desarrolla y publica normas técnicas para una variedad de materiales, productos, sistemas y servicios. Trata sobre un documento desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso y organización que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM.

Las normas se elaboran a base del consenso de quienes tienen intereses en el desarrollo o uso de las normas. En ASTM se ha creado alrededor de 12,000 normas que están vigentes a nivel mundial para varias áreas.

2.7.3 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN

El Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN, es en términos de la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, el organismo nacional competente en materia de reglamentación, normalización y metrología, establecidos en las leyes de la República y en tratados, acuerdos y convenios internacionales. (NTE INEN 2847, 2014)

Los objetivos de la normalización son:

- a) Aptitud para el uso
- b) Compatibilidad
- c) Intercambiabilidad
- d) Limitación de variedad
- e) Seguridad
- f) Protección del ambiente
- g) Protección del producto

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN

3.1 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

Para determinar las dimensiones de los miembros estructurales del pórtico de hormigón, se siguió un parámetro de comparación con el trabajo de Albuja & Pantoja, con el objetivo de comparar los resultados. También se tomó en cuenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros (NEC-SE-VIVIENDA) y Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19). Las dimensiones establecidas para las columnas del pórtico de hormigón fueron de 25x25 [cm]. Para la viga superior se determinó dimensiones correspondientes a 30x20 [cm], esta viga posee mayor base en comparación con la utilizada en el trabajo de Albuja & Pantoja, debido a que se necesitaba un incremento en la base de la viga, para que se pueda acoplar al equipo actual del Centro de Investigación de la Vivienda. La viga de cimentación debido a la incertidumbre en el comportamiento del material en estudio (Malla Nervometal), se estableció sus dimensiones de 30x50 [cm], elemento sobredimensionado para evitar efectos de volcamiento y desplazamiento durante el ensayo.

3.2 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL ARMADO

3.2.1 VIGA DE CIMENTACIÓN

Siguiendo el parámetro de comparación con el trabajo de Albuja & Pantoja se estableció una viga de 30x50 cm, sobredimensionada para que pueda resistir y no sufrir daños durante los ensayos posteriores. Se determinó la cantidad de acero en la viga de cimentación en base de la cantidad de acero usada en el trabajo de Albuja & Pantoja y siguiendo los requisitos que indica la ACI 318-19 CAPÍTULO 9-VIGAS.

$$V_u \leq \phi \cdot 0.83 \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad (1)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{f_y \cdot A_s}{1.7 f'c \cdot b} \right) \quad (2)$$

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} \quad (3)$$

Dónde:

- V_u : Esfuerzo de corte último
- V_s : Esfuerzo equivalente del concreto correspondiente a la resistencia nominal
- M_n : Resistencia nominal a la flexión
- A_s : Área de refuerzo a flexión
- A_v : Área de refuerzo a corte
- $f'c$: Resistencia a compresión del hormigón ($f'c = 210$ [kg/cm²])
- f_y : Resistencia a la fluencia del acero ($f_y = 4200$ [kg/cm²])
- b_w : Ancho del alma ($b_w = 30$ [cm])
- d : Peralte efectivo ($d = 45$ [cm])
- s : Espaciamiento del refuerzo a corte

La cantidad de acero calculada con la ecuación general de resistencia a flexión (ecuación 2) resultó escaso, por ello se determinó la cantidad de acero superior e inferior a partir de la ecuación de acero mínimo (ecuación 4).

$$A_{s \min} \geq \frac{14}{f_y} b_w \cdot d \quad (4)$$

$$A_{s \max} \leq 0.025 b_w \cdot d \quad (5)$$

Se estableció un refuerzo longitudinal de 8 varillas de diámetro 12 mm y como refuerzo transversal estribos de diámetro 10 mm cada 10 cm en los extremos y cada 20 cm en la parte central, sin embargo, debido a la necesidad de ubicar los

ejes de empotramiento en la viga base, el acero transversal no siguió específicamente lo indicado en el diseño y se procedió a ubicar los estribos según sea más conveniente.

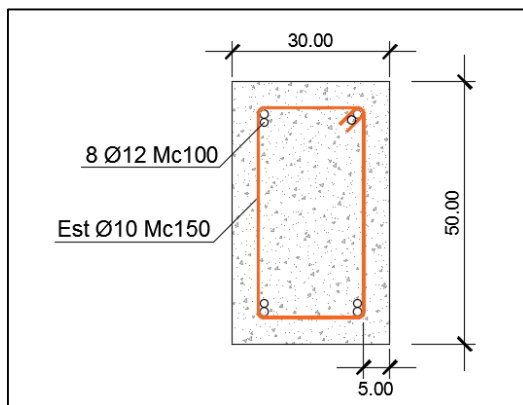


Figura 12: Detalle del armado de viga base,
(dimensiones en cm)

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

3.2.2 COLUMNAS

Las columnas serán de dimensiones similares al trabajo de Albuja & Pantoja, 25x25 [cm] con una cuantía mínima de acero correspondiente a 0.01 como indica la ACI 318-19 CAPÍTULO 10-COLUMNAS-Límites del refuerzo. Luego de establecer las dimensiones del elemento y la cantidad de acero requerida se procedió a calcular la capacidad a compresión de la columna.

$$P = 0.85f'c \cdot Ag + As \cdot fy \quad (6)$$

Dónde:

- P : Capacidad a compresión
- Ag : Área bruta de la sección de hormigón. ($Ag = 25 \times 25 = 625 \text{ [cm}^2\text{]}$)

La carga vertical que debe soportar el elemento es poco considerable, por ello su capacidad a compresión de $P/4 = 34.5 \text{ [t]}$ es suficiente. Adicionalmente se procedió a realizar chequeos de confinamiento para determinar el acero transversal

como indica la ACI 318-19 CAPÍTULO 18-ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES. Se estableció un refuerzo longitudinal de 8 varillas de diámetro 10 [mm]. El diagrama de iteración de la columna con las capacidades nominales y admisibles se presenta en la figura 14.

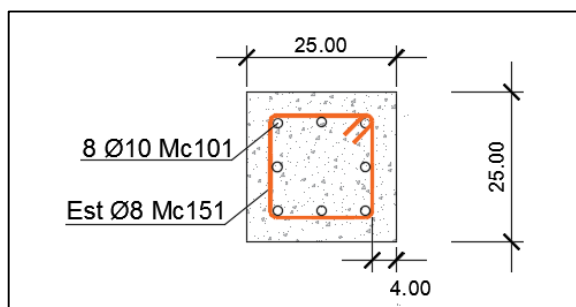


Figura 13: Detalle del armado de columna,
(Dimensiones en cm)

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

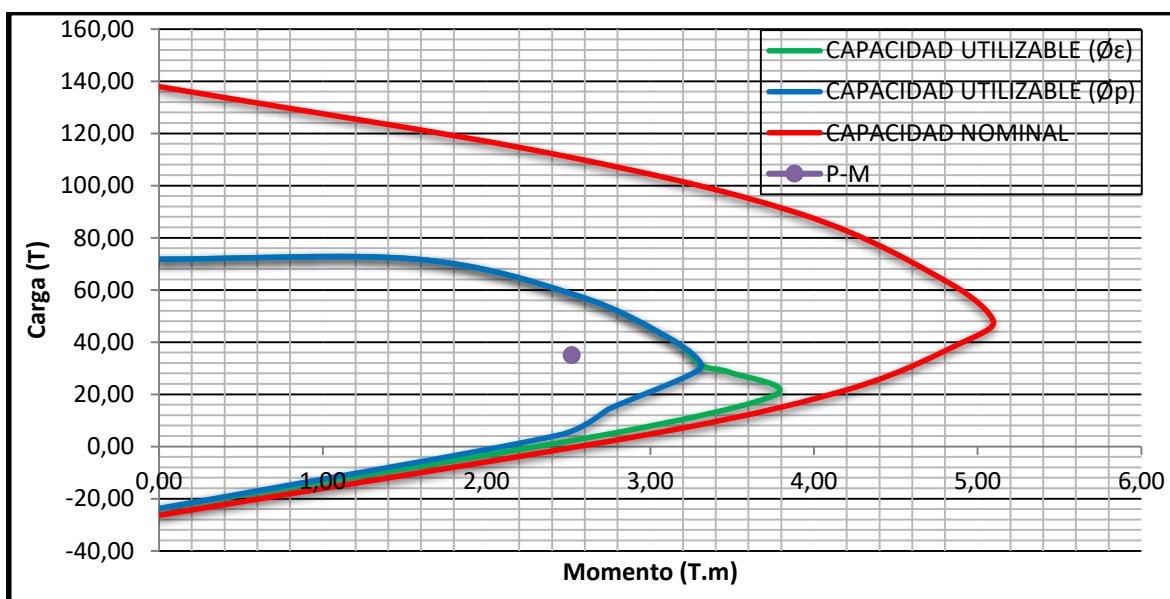


Figura 14: Diagrama de iteración de columna

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

3.2.3 VIGA SUPERIOR

Para la viga superior se estableció dimensiones de 30x20 [cm] para mayor facilidad de acople con el equipo de laboratorio. Para calcular la cantidad de acero

se procedió a determinar los datos necesarios para utilizar la ecuación general de resistencia a flexión (ecuación 2), cuyos resultados fueron muy inferiores, por ello se determinó la cantidad de acero superior e inferior a partir de la ecuación de acero mínimo (ecuación 4). Se estableció un refuerzo longitudinal de 4 varillas de diámetro 10 [mm].

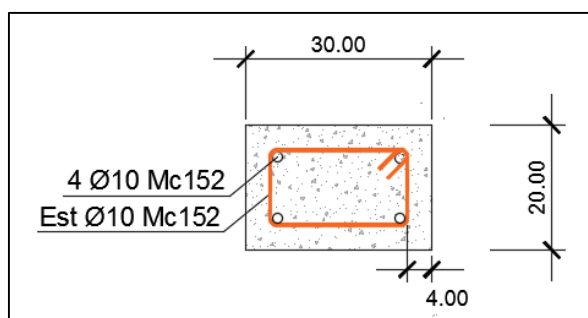


Figura 15: Detalle del armado de la viga superior
(dimensiones en cm)

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Debido a que la viga superior durante el ensayo estará sometida a esfuerzos de compresión por carga lateral se procedió a determinar su capacidad a compresión (ecuación 6). En base a las dimensiones de la viga y a su cantidad de acero se determinó una capacidad a compresión de $P=120$ [t].

3.2.4 ACERO TRANSVERSAL EN VIGAS Y COLUMNAS

Para el espaciamiento de los estribos se siguió los lineamientos que indica la Norma Ecuatoriana de la Construcción Hormigón Armado (NEC-SE-HM) y la ACI 318-19 (CAPÍTULO 18-ESTRUCTURAS SISMO-RESISTENTES: Refuerzo transversal). Para las columnas se determinó estribos de diámetro 8 [mm] con un espaciamiento de 6 [cm] a lo largo de toda la columna, sin embargo, para seguir el parámetro de comparación con el trabajo de Albuja & Pantoja quienes usaron un espaciamiento de 15 [cm] en el centro se estableció un espaciamiento de 13 [cm] en el centro de la columna y un espaciamiento de 6 [cm] en los extremos. Para la viga superior se estableció estribos de diámetro 10 [mm] cada 5 [cm] en los extremos y cada 10 [cm] en la parte central.

3.2.5 ARMADO GENERAL DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN

En la viga superior se incluyó 4 tensores como varillas de diámetro 18 [mm], estos tensores tienen el objetivo de unir el pórtico de hormigón con el equipo del laboratorio, las varillas son roscadas a un diámetro de 16 [mm] para colocar una placa como unión al gato hidráulico, los 4 tensores forman un armado adicional de longitud 2.1 [m] con estribos de diámetro 10 [mm] colocados convenientemente para que el sistema se fije correctamente con los tensores.

El armado de los elementos estructurales del pórtico de hormigón se muestra en la figura 16, el acero transversal con sus respectivos espaciamientos. En la viga base el acero transversal está colocado de tal manera que cada eje de empotramiento este restringido con un refuerzo transversal, esto ayudará a evitar desplazamientos durante el ensayo del espécimen.

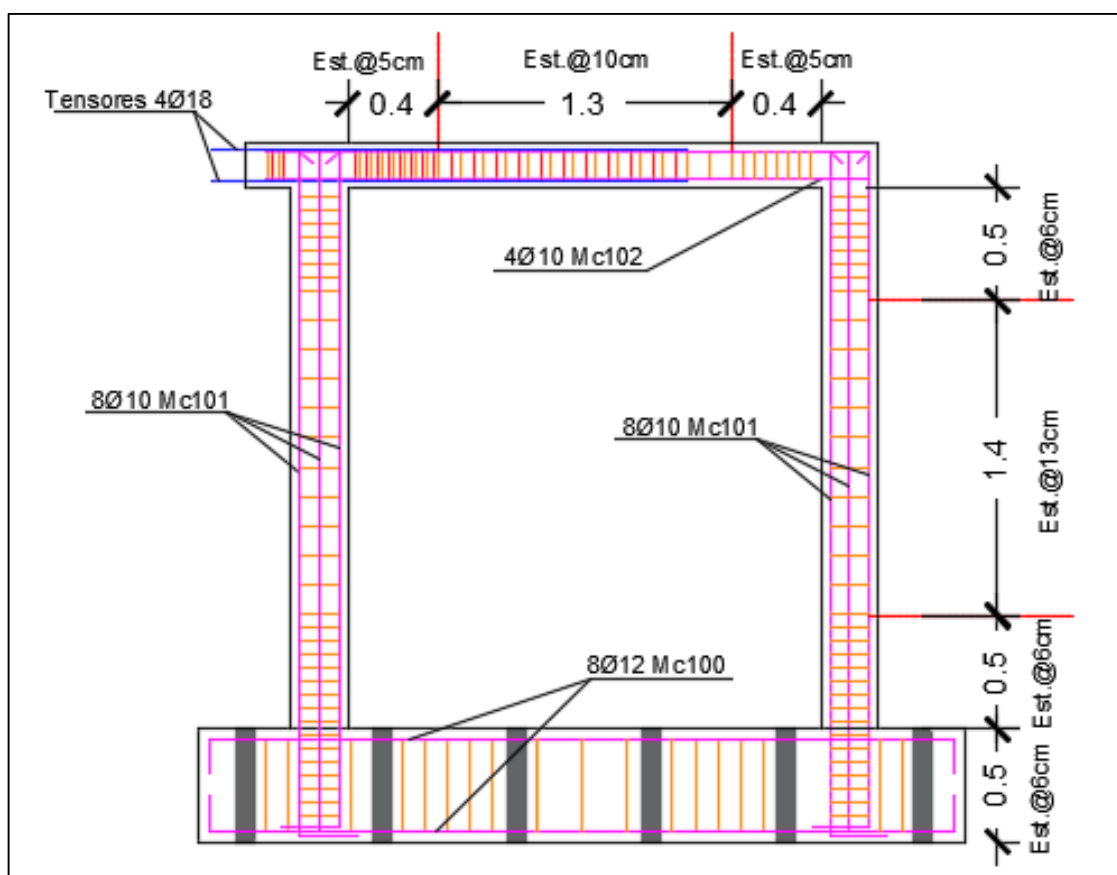


Figura 16: Detalle del armado del pórtico de hormigón, (dimensiones en m)

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

3.3 MAMPOSTERÍA REFORZADA

El muro ubicado en el interior de pórtico de hormigón corresponde a una mampostería elaborado con bloques de hormigón de 40 x 20 x15 [cm] unidos con mortero de relación 1(cemento) :3(agregado fino) y un refuerzo como enchape en ambas caras de la mampostería haciendo uso del producto malla Nervometal.

El producto en estudio posee una configuración especial a lo largo de toda la plancha, debido a esto la simulación de este producto en software de análisis se ha visto complicada y difícil de realizar. Los acercamientos a introducir la configuración de Malla Nervometal en software de análisis poseen un gran porcentaje de incertidumbre y error, debido a esto no se ha podido trabajar en base a simulaciones del sistema en estudio.

3.3.1 RESISTENCIA AL CORTE DE LA MAMPOSTERÍA

Para determinar la resistencia al corte de la mampostería se utilizó los lineamientos indicados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción Mampostería estructural (NEC-SE-MP), los datos empleados fueron de origen teórico. La resistencia a la compresión teórica se obtuvo con los datos esperados en la caracterización de materiales. Se empleó una expresión indicada en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente Título D Mampostería Estructural, fórmula que se basa en la calidad de los materiales.

$$f'm = 0.75 R_m \quad (7)$$

$$R_m = \left(\frac{2h}{75+3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50 k_p}{75+3h} \right) f'_{cp} \quad (8)$$

Dónde:

- $f'm$: Resistencia nominal a la compresión de la mampostería [MPa]
- h : Altura de la unidad de mampostería (200 [mm])
- f'_{cu} : Resistencia a compresión de la unidad de mampostería (1.4 [MPa])

- f'_{cp} : Resistencia a compresión del mortero (5.2 [MPa])
- k_p : Factor de corrección por absorción de la unidad (1.4)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción Mampostería Estructural (NEC-SE-MP) establece la siguiente expresión para el cálculo del cortante resistido por la mampostería, tomado de la tabla 6 de la sección 5.8.3 Resistencia a cortante en la dirección paralela al plano del muro. (NEC-SE-MP, 2015)

$$V_m = 0.20A_{mv}\sqrt{f'_m} \quad (9)$$

Dónde:

- V_m : Cortante nominal resistido por la mampostería [N]
- f'_m : Resistencia a compresión de la mampostería (1.03 [MPa])
- A_{mv} : Área efectiva para determinar los esfuerzos cortantes, para cortante en la dirección paralela al plano del muro, solo el alma de la sección resiste esfuerzos cortantes, el área efectiva estar determinada por el espesor del muro y la medida que existe entre los ejes de las columnas. (NEC-SE-MP, 2015)

$$A_{mv} = 150 [mm] \cdot 2350 [mm] = 352500 [mm^2]$$

$$V_m = 0.20 \cdot 352500\sqrt{1.03} = 71549.68 [N] = 7.3 [t]$$

La ecuación 9 da como resultado un valor de $V_m = 7.3 [t]$, en base a este resultado se tiene un valor aproximado de la resistencia que aportará la mampostería al sistema.

3.3.2 RESISTENCIA A CORTE DEL ENCHAPE

Para hallar la capacidad al corte del enchape se debe calcular algunos parámetros, entre ellos clasificar el muro estructural en base a sus dimensiones y relación de aspecto, la clasificación es obtenida del libro Edificios de Pantallas y Estructuras Aporticadas, de Fratelli (1999).

$$\frac{H}{L} > 5; \text{Muros altos}$$

$$2 \leq \frac{H}{L} \leq 5; \text{Muros intermedios}$$

$$\frac{H}{L} < 2; \text{Muros bajos}$$

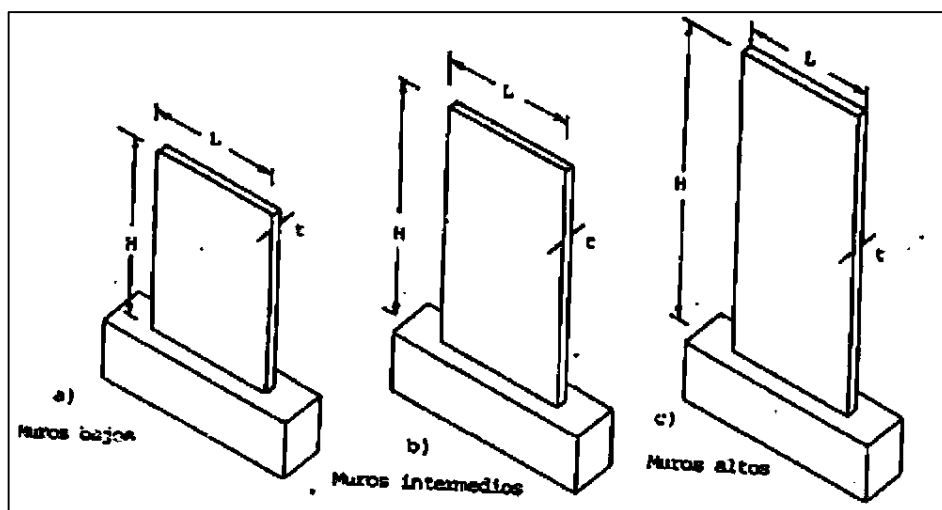


Figura 17: Relación de aspecto de muros

Fuente: Fratelli M. (1999)

Los Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19) establecen una expresión para el cálculo de la resistencia al corte que actúa en el mismo plano del muro, como una suma de la aportación del hormigón y del refuerzo.

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \cdot \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t \cdot f_{yt}) \quad (10)$$

Dónde:

- V_n : Resistencia a corte del enchape [N]
- A_{cv} : Área bruta de la sección del enchape ($A_{cv} = 8 \cdot 240 = 1920$ [cm²])
- λ : Factor de modificación del hormigón ($\lambda = 1$)
- f'_c : Resistencia a la compresión del mortero ($f'_c = 126$ [kg/cm²])
- f_{yt} : Resistencia a la tracción del refuerzo ($f_{yt} = 1836$ [kg/cm²])
- ρ_t : Cuantía del refuerzo del muro ($\rho_t = 0.00474$)
- α_c : Coeficiente que define la contribución relativa del mortero. Los valores del coeficiente están definidos por la relación altura-longitud del muro:

$$\alpha_c = 0.80 \text{ para } \frac{H}{L} \leq 1.5$$

$$\alpha_c = 0.53 \text{ para } \frac{H}{L} \geq 2$$

$$\alpha_c \text{ se interpola linealmente entre } 0.80 \text{ y } 0.53 \text{ si } 1.5 < \frac{H}{L} < 2$$

Para el espécimen diseñado corresponde $\frac{H}{L} = 1.1$ por lo tanto $\alpha_c = 0.80$

$$V_n = 1920(0.80 \cdot 1\sqrt{126} + 0.00474 \cdot 1836)$$

$$V_n = 17250.26 [kg] = 17.25 [t]$$

La ecuación 10 da como resultado un valor de $V_n=17.25$ [t], se puede apreciar un valor aproximado de la contribución que dará el enchape elaborado con el producto en estudio. El conjunto de la mampostería y el enchape dará una resistencia al corte de aproximadamente 25 [t].

3.4 DESLIZAMIENTO DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN

Para el análisis de deslizamiento se consideró como referencia los resultados del trabajo de Albuja & Pantoja quienes en el ensayo de su pórtico reforzado con malla electrosoldada registraron una carga aproximada de 31 [t]. La carga establecida podría representar un valor muy alto, sin embargo, debido a la incertidumbre que existe del comportamiento del material en estudio se trabajará con dicho valor. Para evitar efectos de deslizamiento excesivo del sistema durante el ensayo se debe pre-tensionar los ejes de empotramiento ubicados a lo largo de la viga base. Para ello se debe calcular la sollicitación de pre-esfuerzo que será aplicada en los pernos de los ejes de empotramiento. (Albuja & Pantoja, 2017). En base de la siguiente expresión:

$$P = \frac{\frac{Fr}{u} - W}{n} \quad (11)$$

Dónde:

- P: Carga de pre-esfuerzo de los pernos
- Fr: Fuerza de rozamiento (Fr = 31 [t])
- u: Coeficiente de fricción (u=0.3)
- W: Peso propio de todo el sistema (W = 3.5 [t])
- n: Número de ejes colocados (n = 6)

$$P = \frac{\frac{31}{0.3} - 3.5}{6} = 16.64 \text{ [t]}$$

La ecuación 11 da como resultado $P = 16.64 \text{ [t]}$ que corresponde a un valor de 55.16 [MPa] (8000 [psi]) de pre-esfuerzo, que será aplicado a los pernos de cada eje.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE MATERIALES

4.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Los materiales utilizados en la elaboración de los especímenes fueron seleccionados en base a una revisión del trabajo de Albuja & Pantoja, con el objetivo de seguir un parámetro de comparación en relación con los materiales empleados. Los materiales fueron ensayados para obtener información acerca de sus propiedades para su posterior uso. Las pruebas de laboratorio fueron realizadas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos (LEMSUR) con la asistencia de los especialistas del laboratorio y siguiendo los procesos normativos de la ASTM (American Society for Testing and Materials) e INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización).

4.1.1 AGREGADOS FINO Y GRUESO

Los materiales áridos en base a una investigación del proyecto de titulación de Albuja & Pantoja se determinó adquirirlos en la Planta de Agregados Holcim-Pifo. Ambos materiales fueron sometidos a las siguientes pruebas de laboratorio:

- Granulometría (ASTM C33M)
- Peso específico y absorción (ASTM C127 – C128)
- Densidades aparentes (ASTM C29)

Para el agregado fino se procedió a la prueba de Contenido Orgánico (ASTM C40). El resultado fue que el material no contenía residuos orgánicos. Estas pruebas fueron necesarias para proceder con el desarrollo de la dosificación para el hormigón requerido, 210 [kg/cm²].



Figura 18: Agregado fino y grueso, tratado en laboratorio

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.1.2 BLOQUES DE HORMIGÓN

Los bloques de hormigón en base a una investigación del proyecto de titulación de Albuja & Pantoja y otros trabajos que se realizaron con dicho material, se procedió a adquirirlos en una Planta de mampuestos ubicado en el Valle de los Chillos, barrio Cashapamba. Los bloques fueron tipo B con unas dimensiones aproximadas de 40x20x15 cm. Los mampuestos fueron sometidos a las siguientes pruebas de laboratorio:

- Densidad y absorción (NTE INEN 3066)
- Resistencia a la compresión simple (NTE INEN 3066)



Figura 19: Bloque de hormigón tipo B

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.1.3 HORMIGÓN

El hormigón empleado en la viga base, columnas y viga superior tiene una dosificación para alcanzar una resistencia a compresión de 210 [kg/cm²], para lograr dicha resistencia se siguió una serie de procesos y evaluaciones a los componentes del hormigón, bajo la supervisión de especialistas del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos (LEMSUR). Luego de haber sometido a los componentes del hormigón a varios procesos y evaluaciones se pudo obtener una dosificación por peso de 0.63 (agua): 1(cemento): 2.13 (agregado fino): 1.97 (agregado grueso).



Figura 20: Pruebas de dosificación

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.1.4 MORTERO

El mortero de pega y el mortero de enlucido fueron elaborados a partir de la norma NTE INEN-2518 y NEC-SE-MP 2015, de donde se tomó una dosificación por volumen 1(cemento): 3(agregado fino). Se elaboró muestras de mortero en laboratorio y se extrajo muestras de mortero durante la elaboración de los especímenes, todas las muestras fueron tratadas en base a la norma ASTM C109 para ser ensayados a compresión simple, sin embargo, las muestras de laboratorio presentaron una mayor capacidad a compresión en comparación con las muestras tomadas in situ.

4.1.5 ACERO

El acero de refuerzo empleado para el armado del pórtico, fue suministrado por la empresa IdealAlambrec, acero corrugado de diámetros 8, 10 y 12 milímetros que cumplen con las normas NTE INEN 1511, ASTM A-82, ASTM A-496. El acero se encuentra dentro de la composición del pórtico como refuerzo longitudinal y transversal en vigas y columnas, también se encuentra presente como conectores en columnas y vinchas en la parte transversal del muro. La tabla 3 muestra las propiedades del acero.

Tabla 3.

Propiedades del acero

PROPIEDADES DEL ACERO				
Diámetro [mm]	Longitud [m]	Área transversal [mm ²]	Peso [kg/m]	Límite de fluencia [kg/cm ²]
8	12	50.3	0.395	5000
10	12	78.5	0.617	5000
12	12	113.1	0.839	5000

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Fuente: Catálogo de productos IdealAlambrec



Figura 21: Acero de refuerzo

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.1.6 MALLA NERVOMETAL

La malla empleada para la elaboración de los muretes y el muro reforzado, y cuyo uso es de los principales objetivos de este trabajo, fue suministrada por la empresa Ideal Alambrec. La tabla 5 muestra las especificaciones de la malla.

Tabla 4.

Especificaciones de la Malla Nervometal

ESPECIFICACIONES				
Longitud [m]	Ancho [m]	Espesor [mm]	Área [m ²]	Peso [kg/m ²]
2.21	0.6	0.32-0.45	1.32	0.63

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Fuente: Catálogo de productos IdealAlambrec

La configuración de la malla Nervometal es especial, consiste en 6 secciones que se extienden a lo largo de cada plancha, cada sección está limitada por nervios mayores de aproximadamente 1.5 [cm] de ancho, en cada sección hay 3 nervios menores, 1 nervio central de aproximadamente 0.8 [cm] de ancho y 2 nervios en los extremos de aproximadamente 0.4 [cm] de ancho. El espacio que se forma entre cada nervio está formado por pequeños orificios rectangulares que tienen un área aproximada de 0.9 [cm²]



Figura 22: Malla Nervometal

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

4.2.1 COMPRESIÓN SIMPLE EN BLOQUES DE HORMIGÓN

En base a la norma NTE INEN 3066 se ensayarán 3 especímenes enteros, el total de bloques de hormigón adquiridos fue dividido en dos lotes de los cuales se tomaron 3 unidades por lote. Los bloques de hormigón fueron tratados como indica la norma NTE INEN 3066 – ANEXO E RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE. La tabla 6 muestra los resultados de este ensayo.

Tabla 5.

Propiedades de los bloques de hormigón

PROPIEDADES DE LOS MAMPUESTOS					
Ancho [cm]	Largo [cm]	Altura [cm]	Área neta [cm ²]	Peso [kg]	Esfuerzo [kg/cm ²]
15,03	40,30	19,76	324,99	10,88	37,62

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Tabla 6.

Resistencia a la compresión en bloques de hormigón

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN BLOQUES DE HORMIGÓN							
No	Descripción	Ancho [cm]	Largo [cm]	Altura [cm]	Carga de rotura [t]	Resistencia a la compresión [kg/cm ²]	Clasificación
1	L1CB7	15.07	40.40	19.37	10.49	31.96	Clase B
2	L1CB2	15.07	40.20	19.67	16.85	52.12	
3	L1CB3	14.87	40.10	19.80	17.99	56.04	
4	L2CB4	15.10	40.13	19.50	9.34	27.96	Clase B
5	L2CB5	14.97	40.00	19.70	10.62	32.14	
6	L2CB6	14.97	40.17	19.90	11.61	35.49	

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)



Figura 23: Bloque de hormigón ensayado a compresión

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.2.2 DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN BLOQUES DE HORMIGÓN

Se procedió de igual manera que el ensayo a compresión simple en base a la norma NTE INEN 3066. Los bloques de hormigón fueron tratados como indica la norma NTE INEN 3066 – ANEXO D ABSORCIÓN, DENSIDAD Y OTROS.

Tabla 7.

Absorción y densidad en bloques de hormigón

DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN							
No	Descripción	Ancho [cm]	Largo [cm]	Altura [cm]	Absorción %	Densidad [kg/m ³]	Clasificación
1	L1B1	15.17	40.23	19.77	16.33	1544.14	Liviano
2	L1B2	15.13	40.53	19.80	14.94	1668.82	Liviano
3	L1B3	14.83	40.43	19.77	15.19	1557.60	Liviano
4	L2B4	15.33	40.70	20.00	13.16	1698.68	Liviano
5	L2B5	15.00	40.27	20.03	17.31	1516.03	Liviano
6	L2B6	15.20	40.60	19.67	15.15	1629.79	Liviano

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.2.3 COMPRESIÓN SIMPLE EN CUBOS DE MORTERO

Se elaboró en el laboratorio 9 cubos de mortero siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C109, para edades de ensayo de 7, 14 y 28 días. Las propiedades del mortero elaborado en laboratorio se especifican en la tabla 8.

Tabla 8.*Propiedades del mortero de laboratorio*

MORTERO DE LABORATORIO					
No.	Edad de ensayo [días]	Descripción	Peso [g]	Carga [t]	Esfuerzo [kg/cm ²]
1	28	CT1	303.7	94.10	351.40
2	28	CT2	310.5	116.62	439.84
3	28	CT3	301.6	101.82	389.11
Promedio					393.45

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Se elaboró 3 cubos de mortero de pega por cada murete elaborado, 6 muretes para tensión diagonal y 4 muretes para compresión simple, 10 muretes en total, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C109, para edades de ensayo de 7, 14 y 28 días. Para las pruebas de los cubos de mortero correspondientes a las edades de 28 días se presentó inconvenientes por motivos de la situación nacional del país, debido a esto no se pudo ensayar los cubos de mortero en la edad correspondiente.

Para solucionar este inconveniente se calculó un incremento de resistencia en base de los resultados de resistencia a compresión de cubos de mortero de pega obtenidos por Albuja & Pantoja para una edad de ensayo de 65 días.

Tabla 9.*Cálculo del incremento de resistencia a compresión*

INCREMENTO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN		
	Esfuerzo	
Mortero - 28 días	92.53	kg/cm ²
Mortero - 65 días	142.60	kg/cm ²
Incremento	50.07	kg/cm ²
% de incremento	54.11	%

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Fuente: Albuja & Pantoja (2017)

Se ensayaron los cubos de mortero en un rango de edad de 63-65 días. En base a las especificaciones de la norma NTE INEN-2518 se determinó una resistencia esperada a los 28 días, se le aplicó el incremento de resistencia y se procedió a calcular una resistencia esperada a los 65 días, la misma que se cumplió con los resultados obtenidos. Las propiedades del mortero de pega se especifican en la tabla 10.

Los resultados de los ensayos de laboratorio en comparación con los ensayos de muestras tomadas in situ son mayores debido a varias razones, como el equipo utilizado en los diferentes medios, la aplicación de la cantidad de material, el tiempo de mezcla del mortero.

La elaboración del material para las muestras in situ fue realizado por un trabajador de la construcción, a pesar del control durante la mezcla no se pudo lograr resultados similares a los obtenidos en laboratorio, pero los resultados cumplen con los valores pretendidos y con las normas tomadas como referencia.

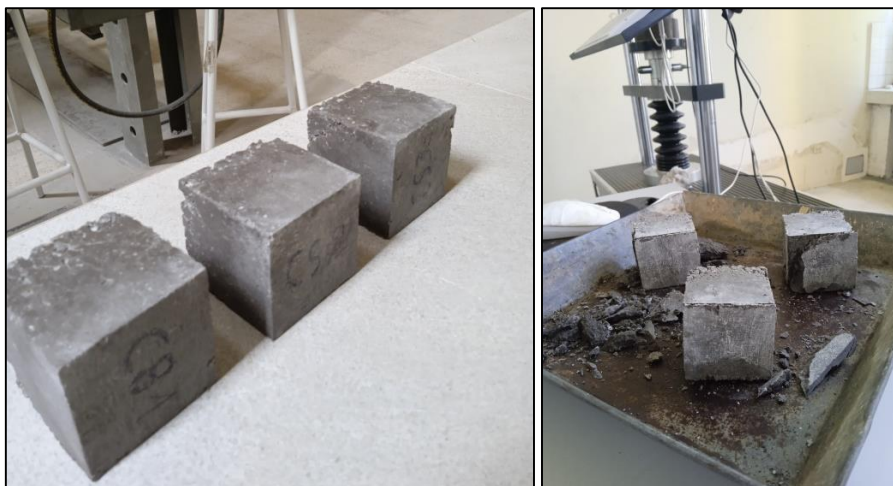


Figura 24: Cubo de mortero ensayado a compresión

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Tabla 10.*Propiedades del mortero de pega*

MORTERO DE PEGA					
No.	Edad de ensayo [días]	Descripción	Peso [g]	Carga [t]	Esfuerzo [kg/cm ²]
1	64	CM1-28	284.6	4.85	195.82
2	64	CM2-28	266.9	5.11	230.98
3	64	CM3-28	265.9	3.77	172.44
4	63	CM4-28	283	5.11	224.08
5	63	CM5-28	270.7	5.20	235.90
6	63	CM6-28	269.7	5.11	232.63
7	63	CM7-28	288.1	5.16	221.32
8	63	CM8-28	267	4.41	200.01
9	63	CM9-28	272.3	3.05	139.35
10	65	CM10-14	297	5.07	186.01
11	65	CM10-28	290	4.81	181.83
Promedio					201.85

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Tabla 11.*Resistencia esperada a los 65 días*

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESPERADA [kg/cm ²]					
		Resistencia esperada a los 28 días	Incremento 54 %	Resistencia esperada a los 65 días	Resistencia promedio a los 65 días
NTE INE 2518	MORTERO TIPO S	126.44	68.3	194.7	201.85

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.2.4 COMPRESIÓN SIMPLE EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Se elaboró en el laboratorio 9 cilindros de hormigón y se extrajo durante el proceso de construcción del pórtico muestras de hormigón para elaborar 6 cilindros correspondientes al hormigón en columnas y 3 cilindros correspondientes al hormigón de la viga superior, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C39, para edades de ensayo de 7, 14 y 28 días.

Para los ensayos de cilindros de hormigón correspondientes a las edades de 28 días se presentó inconvenientes por motivos de la situación nacional del país, debido a esto no se pudo ensayar los cilindros de hormigón en la edad correspondiente. Se procedió a ensayar los cilindros en la edad de 56 días. La tabla 11 muestra los resultados.

Tabla 12.

Propiedades del hormigón de laboratorio

HORMIGÓN DE LABORATORIO							
No.	Edad de ensayo [días]	Descripción	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [g]	Carga de rotura [t]	Esfuerzo en [kg/cm ²]
1	56	CP47	10,15	20,17	3683,6	24,42	301,73
2	56	CP48	10,26	20,03	3650,5	25,07	303,25
3	56	CP49	10,22	20,13	3644,8	23,16	281,95
Promedio							295,64

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

En los cilindros del hormigón correspondientes a la muestra tomada durante la elaboración de las columnas se notó una baja resistencia, debido a un posible incremento de agua en la mezcla.

Tabla 13.

Propiedades del hormigón en columnas

HORMIGÓN EN COLUMNAS							
No.	Edad de ensayo [días]	Descripción	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [g]	Carga de rotura [t]	Esfuerzo en [kg/cm ²]
1	28	INST COL 3-28	10,13	20,07	3530,00	15,24	189,06
2	28	INST COL 6-28	10,11	20,17	3503,50	12,29	152,86
Promedio							170,96

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

En los cilindros del hormigón correspondientes a la muestra tomada durante la elaboración de la viga superior por situaciones internas del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos (LEMSUR) se elaboró solo 3 cilindros de hormigón con moldes de mayor capacidad en volumen.



Figura 25: Cilindros de hormigón ensayados a compresión

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Los resultados de las muestras de hormigón tomadas de la viga superior presentan una gran resistencia, cercana a la obtenida en laboratorio. Sus propiedades se presentan en la tabla 14.

Tabla 14.

Propiedades del hormigón en viga superior

HORMIGÓN EN VIGA SUPERIOR							
No.	Edad de ensayo [días]	Descripción	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Peso [g]	Carga de rotura [ton]	Esfuerzo en [kg/cm ²]
1	28	INST VS 01	14,93	30,63	12352,00	39,73	226,96
2	28	INST VS 02	14,86	30,57	12343,00	47,07	271,23
2	28	INST VS 03	14,92	30,53	12342,00	47,12	269,52
Promedio							249,10

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

4.2.5 TRACCIÓN APLICADA A MALLA NERVOMETAL

Se procedió a someter a la malla a ensayos de tracción efectuados por técnicos del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos (LEMSUR), la malla fue cortada de tal manera que se aislaron los nervios centrales, los nervios mayores no pudieron ser ensayados debido a que estos no son planos a lo largo de la malla, poseen una forma triangular y no pueden ser acoplados en la máquina de ensayos a tracción del Laboratorio. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 15.*Propiedades de la Malla Nervometal*

ENSAYO A TRACCIÓN				
Descripción	Fuerza máxima [kN]	Límite de fluencia superior [MPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Elongación después de la rotura [%]
Nervio Menor	0.60	92.00	137.00	9.50
Nervio Menor Central	0.25	133.00	180.00	6.00

Elaborado: Llumiquina P. (2022)

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPECÍMENES

5.1 CONSTRUCCIÓN DE MURETES SIN REFORZAMIENTO

Siguiendo las indicaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para Mampostería Estructural (NEC-SE-MP, 2015), se construyeron 10 especímenes de muretes en base de los siguientes parámetros:

- El espesor del prisma debe tener igual espesor de los muros. (NEC-SE-MP, 2015)
- La longitud del prisma debe ser mayor o igual al espesor y a la longitud de la unidad de albañilería. (NEC-SE-MP, 2015)
- Incluir un mínimo de 3 hiladas. (NEC-SE-MP, 2015)
- El cociente entre la altura y el espesor debe ser mayor o igual a 3. (NEC-SE-MP, 2015).

Los muretes elaborados sin reforzamiento tenían 4 hiladas y sus dimensiones fueron de 83x86x15 [cm] aproximadamente. La relación entre la altura y su espesor fue de 5.6. Estos muretes fueron ensayados para obtener un valor de resistencia base sin el reforzamiento del producto en estudio (Malla Nervometal).



Figura 26: Elaboración de muretes sin reforzamiento

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.2 CONSTRUCCIÓN DE MURETES CON REFORZAMIENTO

Se procedió a escoger entre los 10 muretes sin reforzamiento a 5 muretes que se les reforzó con el producto en estudio (Malla Nervometal). Se cubrió a cada espécimen con la malla de refuerzo, con la ayuda de alambre de amarre se fijó la malla al murete, posteriormente se procedió a elaborar los orificios para incorporar las vinchas que atraviesan la parte transversal del murete cerrándose en cada cara con un dobléz de 90° , las binchas fueron elaboradas con acero de diámetro de 8 [mm] con el objetivo de optimizar el material disponible. Luego se comenzó a amarrar cada vincha con la malla para posteriormente proceder con el enlucido de cada espécimen. La figura 26 muestra la colocación del producto en estudio (Malla Nervometal) y la ubicación de las binchas en las caras de cada murete.



Figura 27: Muretes reforzados antes de ser enlucidos

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Ya reforzados los especímenes se procedió a enlucirlos, para ello se requirió tamizar la arena con malla de orificios de apertura de 1.7 [mm]. Se enlució todas las caras del murete a excepción de la cara inferior y superior.



Figura 28: Enlucido de muretes

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Para el ensayo a compresión como indica la Norma Ecuatoriana de la construcción para Mampostería Estructural (NEC-SE-MP, 2015), y la Norma ASTM C1314 se procedió a enrazar la parte superior e inferior de los muretes con y sin reforzamiento.



Figura 29: Enraizado para ensayo a compresión y tensión diagonal

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.3 CONSTRUCCIÓN DEL PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO

5.3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA BASE

Siguiendo los planos y las especificaciones de diseño previamente establecidas se procedió a elaborar el armado de la viga base, para el refuerzo longitudinal se usó acero de diámetro 12 [mm] con una longitud de 3.3 [m] y ganchos de 90° con una extensión recta de 15 [cm] en ambos extremos. Para el refuerzo transversal se usó estribos de confinamiento con acero de diámetro de 10 [mm] con dimensiones de 20x40 [cm] y ganchos de 135° con una extensión recta de 7.5 [cm]. El armado de las columnas fue elaborado conjuntamente con el armado de la viga base. Luego se elaboró el encofrado destinado a albergar el hormigón y formar la geometría de las secciones de la viga base, 30x50 [cm] sección transversal y 3.4 [m] de largo.

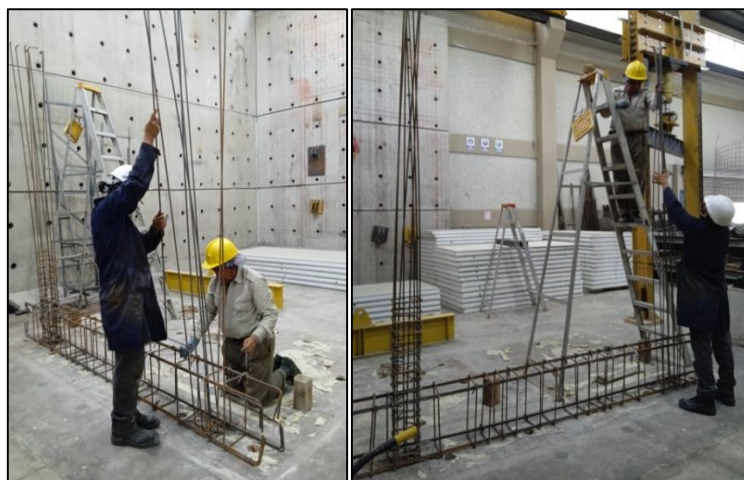


Figura 30: Elaboración del armado de la viga base

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Posteriormente se procedió a elaborar el hormigón con la dosificación obtenida durante el estudio de los materiales, 0.63 (agua): 1(cemento): 2.13 (agregado fino): 1.97 (agregado grueso). Durante la elaboración del hormigón se manejó las siguientes cantidades de material en cada mezcla. Agua 31.5 [kg], un quintal de cemento 50 [kg], Agregado fino 106.5 [kg] y Agregado grueso 98.66 [kg].



Figura 31: Colocación del hormigón en viga base

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.3.2 COLOCACIÓN DE LOS EJES DE EMPOTRAMIENTO

Luego de que el hormigón en la viga base haya alcanzado una edad avanzada se procedió a limpiar e igualar la superficie de la viga para colocar los ejes de empotramiento, los mismos que unen la viga con la losa de reacción, para ello se debe seleccionar los ejes en base a la ubicación de cada uno con respecto a la losa de reacción, debido a que la longitud necesaria para cada eje es diferente en algunos puntos a lo largo de la viga base. Ya seleccionado los ejes para cada orificio de la viga se procede a introducirlos, colocar una placa en cada extremo y ajustar la tuerca correspondiente para cada eje.



Figura 32: Ejes de empotramiento

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.3.3 COLOCACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS STRAIN GAUGES

Se procedió a instalar los dispositivos Strain Gauges, con el objetivo de medir la deformación que se presente durante en el ensayo en la base de las columnas. Para cada Strain Gauge se siguió un proceso que consiste en limpiar y limar la zona donde se colocará el dispositivo hasta que se encuentre lisa y plana, luego con mucho cuidado colocar el dispositivo con la ayuda de cinta adhesiva y pegamento en gel para poder acomodar el dispositivo mientras se va fijando, unir los filamentos del dispositivo a cables que puedan transmitir las reacciones del dispositivo durante el ensayo, asegurar el dispositivo con cinta adhesiva y finalmente cubrir toda la zona del dispositivo con esparadrapo, cuidando continuamente que el cable no sea golpeado. Posterior a la colocación del dispositivo se debe revisar que el Strain Gauge se encuentre en correcto funcionamiento, para ello se debe revisar su voltaje con el multímetro.

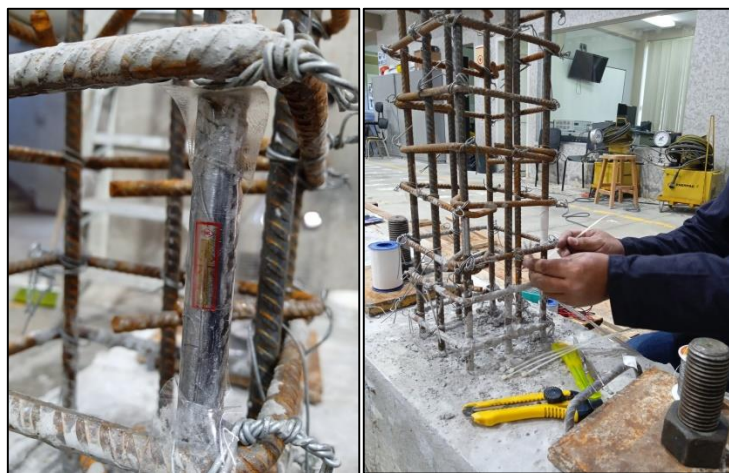


Figura 33: Colocación de Strain Gauge

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.3.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS COLUMNAS

Posterior a la construcción de la viga base se continuó con la construcción de columnas, cuyo armado ya fue elaborado junto con la viga base, para el refuerzo longitudinal se usó acero de diámetro 10 [mm] con una longitud de 3 [m] y ganchos de 90° con una extensión recta de 7 [cm] en la parte superior y 25 [cm] en la parte

inferior. Para el refuerzo transversal se usó estribos de confinamiento con acero de diámetro de 8 [mm] con dimensiones de 16x16 [cm] y ganchos de 135° con una extensión recta de 7.5 [cm]. Luego se elaboró el encofrado destinado a albergar el hormigón y formar la geometría de las secciones de las columnas, 25x25 [cm] sección transversal y 2.4 [m] de altura.

Se procedió a cubrir los ejes de empotramientos con plástico para que el hormigón no los salpique durante la elaboración de columnas, de igual manera para los cables que se conectan con los dispositivos strain gauges. También se necesitó hacer orificios en el encofrado de columnas para colocar durante el vertido del hormigón los conectores, correspondientes a varillas de 8 [mm] de diámetro y 35 [cm] de longitud, distribuidos a lo largo de la columna cada 30 [cm].

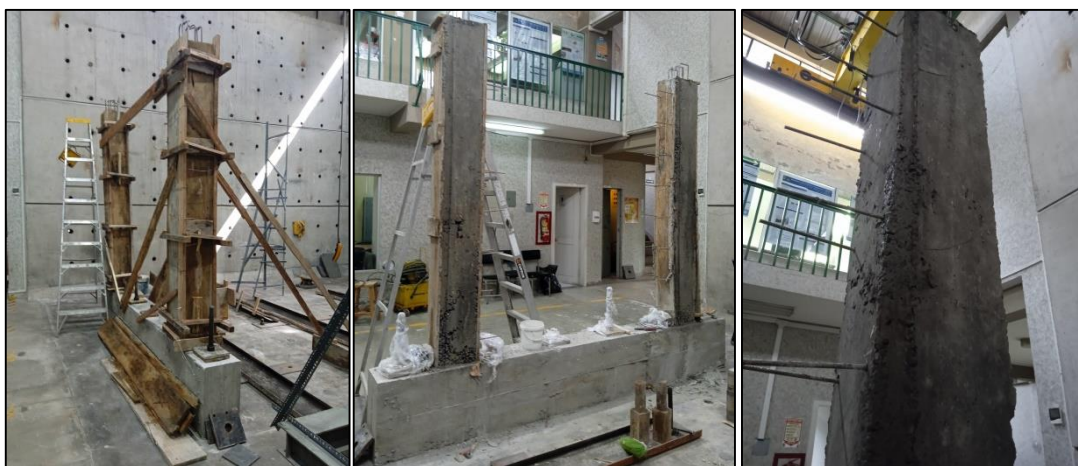


Figura 34: Construcción de columnas

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.3.5 CONSTRUCCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

Posterior a la elaboración de las columnas se continuó con la construcción del muro de mampostería. Las primeras hiladas de bloques de hormigón fueron colocadas con cuidado debido a la presencia de los cables que conectan los strain gauges, y de los ejes de empotramiento con sus respectivas placas.



Figura 35: Primeras hiladas de bloques de hormigón

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Se prosiguió a seguir levantando el muro de mampostería, el mortero de pega fue elaborado con las mismas características al utilizado en los muretes, también se revisó que cada hilada de bloques encaje en el espacio formado por los conectores de cada columna y que la altura alcanzada sea la misma de las columnas.



Figura 36: Elaboración del muro de mampostería

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.3.6 CONSTRUCCIÓN DE LA VIGA SUPERIOR

Se prosiguió con la elaboración de la viga superior, para el refuerzo longitudinal se usó acero de diámetro 10 [mm] con una longitud de 2.7 [m], gancho de 90⁰ con una extensión recta de 12 [cm] en el extremo de la viga que se conecta con la columna libre, gancho de 135⁰ con una extensión recta de 12 [cm] en el extremo que se conecta con el equipo para transmitir la carga cíclica horizontal. Para el refuerzo transversal se usó estribos de confinamiento con acero de diámetro 10 [mm], con dimensiones de 20x12 [cm] y ganchos de 135⁰ con una extensión recta de 7.5 [cm].

Adicionalmente al armado se necesitó incorporar varillas de diámetro 18 [mm] como tensores cuyo objetivo era unir la viga superior y todo el conjunto del pórtico de hormigón con el equipo del laboratorio para transmitir carga cíclica horizontal, cada tensor tenía una longitud de 2.1 [m] y formaban un armado adicional en la viga superior, para dicho armado se necesitó incorporar estribos con acero de diámetro 10 [mm], con dimensiones 26x15 [cm] y ganchos de 135⁰ con una extensión recta de 5 [cm]. En el extremo de cada tensor que se conecta con el equipo se le había elaborado roscas que abarcaban 20 [cm] de la longitud del tensor. Los tensores se unen al equipo del laboratorio a través de pernos de 3/8 de pulgada, con 2 arandelas en cada perno para mayor seguridad.

Se instaló momentáneamente el equipo del laboratorio para lograr coincidir los extremos de los tensores con la placa de acero que une el pórtico de hormigón con la celda de carga. Luego se elaboró el encofrado destinado a albergar el hormigón y formar la geometría de las secciones de la viga superior, 30x20 [cm] sección transversal y 2.75 [m] de largo.



Figura 37: Elaboración de la viga superior

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.3.7 COLOCACIÓN DE LA MALLA DE REFORZAMIENTO

Ya construido el pórtico de hormigón, se procedió a colocar la Malla Nervometal, para ello se midió la longitud requerida y se cortó las planchas de malla, se amarró la malla a los conectores de las columnas para fijarla. Para unir las planchas de malla se usó 10 [cm] de ancho de la malla colocada y de la malla posterior, y así sucesivamente hasta cubrir todo el muro en ambas caras. Posteriormente se realizó los orificios en el muro cada 45 [cm] en la dirección horizontal y vertical, luego se colocó las vinchas que corresponden a varillas diámetro de 8 [mm] y de 50 [cm] de longitud, antes de ser colocadas se encontraban dobladas en un extremo con un gancho de 90⁰ y una extensión recta de 15 [cm], luego de colocarlas se procedió a cerrar la vincha doblando el otro extremo con un gancho de 90⁰.

Luego se continuó con el amarre de cada bincha y conector a la malla, ya concluido el amarre se revisó que cada elemento de unión este correctamente amarrado y que posea 3 puntos de amarre a lo largo de su longitud en contacto con la malla.



Figura 38: Colocación de la Malla Nervometal

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Posteriormente se prosiguió con el enlucido del muro, para ello se tamizó la arena con una malla de orificios de apertura de 1.7 [mm]. Se trabajó con la misma relación de materiales empleada en el enlucido de muretes. Antes de comenzar a cubrir el muro se revisó que exista una distancia de separación de 1 [cm] entre la malla y el muro, con el objetivo de que en ese espacio entre el mortero y exista una buena adherencia entre la malla y el muro.



Figura 39: Enlucido del muro

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

5.3.8 CURADO DEL ESPECIMEN

Ya concluido la elaboración del espécimen se controló que los primeros días reciba gran cantidad de agua, debido a que el mortero de enlucido seguirá absorbiendo agua, de esta manera se evita fisuras en la superficie de las caras del muro. De igual manera se realizó con todos los elementos estructurales del pórtico, vertiendo agua en las superficies superiores para que se distribuya en todo el elemento. De esta manera se ayuda a que cada elemento del pórtico pueda alcanzar la resistencia esperada. Después de haber cumplido 28 días de terminada la construcción se procedería a ensayar el espécimen.

CAPÍTULO 6

ENSAYO DE LOS ESPECÍMENES

6.1 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

6.1.1 PARA ENSAYO DE MURETES

Todo el equipo empleado fue facilitado por el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV), estos equipos fueron utilizados para transmitir carga y para medir deformaciones horizontales y verticales dentro de las caras de los muretes.

Para transmitir carga se usó un cilindro hidráulico de capacidad de 100 [t] a compresión, el cilindro hidráulico está acoplado a un marco de carga de acero con altura ajustable. Para la medición de deformaciones se usó deformímetros LVDT ubicados en ambas caras de los especímenes, en el ensayo a compresión simple se instaló 2 deformímetros en el sentido vertical y un deformímetro en el sentido horizontal, en el ensayo a tensión diagonal se instaló 1 deformímetro en el sentido vertical y 1 deformímetro en el sentido horizontal. Adicionalmente se instaló 2 deformímetros cerca de la celda de carga para medir desplazamientos verticales. El resumen de los equipos utilizados es el siguiente:

- Cilindro hidráulico KRAFTAUFNEHMER FORCE TRANSDUCE, Type C6A



Figura 40: Cilindro hidráulico

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Marco de carga, de altura ajustable



Figura 41: Marco de carga

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Viga de transmisión de carga, para ensayo a compresión simple



Figura 42: Marco de carga

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Deformímetro LVDT HBM DE 200 [mm] (3)



Figura 43: Deformímetro, 200 [mm]

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Deformímetro LVDT HBM DE 500 [mm] (2)



Figura 44: Deformiometro, 500 [mm]

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Sistema UPM 100 VIELSTELLEN-MESSGERAT, de 80 canales



Figura 45: Sistema UPM 100

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Acople superior, para ensayo a tensión diagonal



Figura 46: Acople superior

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Acople inferior, para ensayo a tensión diagonal



Figura 47: Acople inferior

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Bomba ENERPAC, capacidad 100 [t]



Figura 48: Bomba ENERAC

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.1.2 PARA ENSAYO DE CARGA CÍCLICA EN MURO REFORZADO

De igual manera, todo el equipo empleado fue facilitado por el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV), estos equipos fueron utilizados para transmitir la carga cíclica y para medir los desplazamientos horizontales del muro.

Para transmitir carga se usó un cilindro hidráulico unido a una celda de carga de capacidad de 100 [t] a compresión y 60 [t] a tracción, unido al muro de reacción norte del laboratorio. Para la medición de desplazamientos se usó deformímetros LVDT ubicados en 3 puntos del muro, uno en el punto medio de la cara transversal de la viga superior, un segundo en la parte media de la columna y un tercero en la parte inferior de la viga base. Para la medición de deformaciones, se usó cajas de control que reciben la información transmitida por los Strage Gauges instalados internamente en las bases de las columnas. Todos los dispositivos irán conectados a un ordenador que almacena toda la información recopilada durante el ensayo. El resumen de los equipos utilizados es el siguiente:

- Cilindro hidráulico ENERPAC, de embolo sólido, de doble acción.



Figura 49: Cilindro hidráulico

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Celda de carga hidráulica AEP TRANSDUCER, 1 MN, 2 Mv/v, SN: 824518, de capacidad 100 [t] a compresión y 60 [t] a tracción.



Figura 50: Celda de carga hidráulica

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Bomba ENERPAC de capacidad 100 [t].



Figura 51: Bomba ENERPAC

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Mangueras de presión ENERPAC de capacidad 10000 [psi].



Figura 52: Mangueras ENERPAC

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Placa de unión muro de reforzado – celda de carga



Figura 53: Placa de unión

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Deformímetros CONTROLS de 500 [mm].

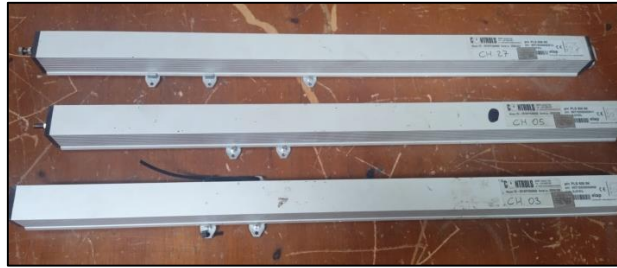


Figura 54: Deformímetros de 50 [mm]

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Acople para muro de reacción.



Figura 55: Acople de muro

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Strain Gage

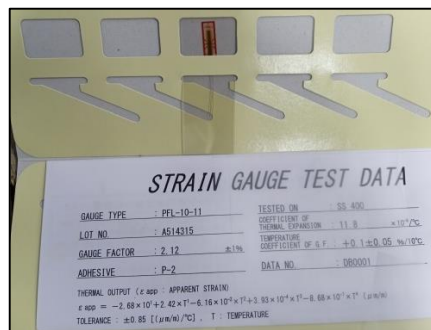


Figura 56: Strain gauge

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Caja de control GFODATALOG8 DATALOGGER, de capacidad pre-establecida de 8 canales.



Figura 57: Caja de control

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Caja de control para Strain Gage CONTROLS MODEL 82-PO398, de 4 canales.



Figura 58: Caja de control para strain gage

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

- Ordenador implementado con el software Datacom2 para procesar la información recopilada.

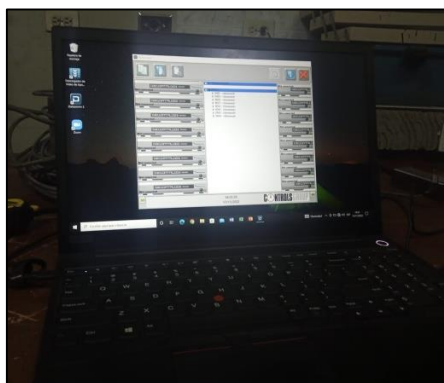


Figura 59: Ordenador

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.2 ENSAYO DE MURETES

Los especímenes de muretes por razones de dificultades externas durante el tiempo de elaboración y por otros proyectos que también se estaban realizando en el laboratorio, fueron ensayados aproximadamente a edades de entre 85-90 días. Primero se realizó ensayos a compresión simple, empezando por los especímenes sin reforzamiento, luego se procedió con los ensayos a tensión diagonal.

6.2.1 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE

6.2.1.1 INSTRUMENTACIÓN PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE

Primero se ajustó el marco de carga para que la altura entre la superficie inferior y la viga que transmite la carga sea la necesaria para poder acomodar los especímenes, 95 [cm] aproximadamente. Se trasladó los especímenes hacia el interior del laboratorio 24 horas antes de ser ensayados.

Se debe acomodar cada espécimen por debajo del marco de carga sobre una tabla de madera que cubra toda la superficie inferior del murete, de tal manera que queden centrados en la zona marcada en la superficie inferior del marco de carga, también se debe verificar que los especímenes se encuentren nivelados y ubicados bajo el centro de la viga que transmite la carga, para evitar la concentración de esfuerzos fuera del área efectiva del espécimen. Luego se debe colocar otra tabla de madera en la parte superior del murete para ayudar a la transmisión de carga. Para cada espécimen con y sin reforzamiento se colocó 2 deformímetros LVDT en el sentido vertical y 1 deformímetro LVDT en el sentido horizontal. Los deformímetros LVDT fueron colocados sobre elementos de apoyo, dichos elementos son fijados a los muretes en lugares predeterminados con la ayuda de pegamento especial (POLY MAX HIGH TACK EXPRESS). Cada deformímetro LVDT será conectado al Sistema UPM 100 que recibirá la información registrada por el dispositivo.



Figura 60: Instrumentación de muretes sin reforzamiento

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)



Figura 61: Instrumentación de muretes con reforzamiento

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.2.1.2 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE, MURETES SIN REFORZAMIENTO.

Se procedió a colocar los especímenes en el lugar previamente determinado, alinearlos en la parte inferior y superior, colocar los deformímetros LVDT, esperar 30 minutos hasta que el pegamento usado para fijar los elementos de apoyo de los dispositivos se seque. Ya cumplido el tiempo requerido se revisó que todos los deformímetros se encuentren ajustados y conectados. Se procedió a empezar el ensayo, primero se comenzó a bajar la viga que transmite la carga hasta llegar al contacto con el murete. Se empezó a transmitir carga en baja intensidad hasta que

el murete se acomode con el equipo del laboratorio. Progresivamente se siguió transmitiendo carga.

El espécimen No 10 presentó un incremento de carga aproximadamente uniforme, hasta alcanzar una carga de 15.44 [t], a partir de esa lectura comenzó a decaer y ya no pudo recuperarse. Las primeras fisuras se presentaron en la parte inferior del espécimen, luego aparecieron fisuras verticales en la tercera hilada de bloques en la cara donde se ubicaban los deformímetros verticales, la otra cara del murete presentó fisuras similares, pero con una prolongación hacia el centro del espécimen. Luego de un tiempo de 11.1 [min] de haber empezado el ensayo se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 7.8 [t] de carga.



Figura 62: Murete 10 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen No 09 presentó un incremento de carga uniforme, hasta alcanzar una carga de 9.69 [t], luego presentó una pequeña caída de carga, continuó recibiendo carga hasta alcanzar una lectura de 15.11 [t]. Las primeras fisuras se presentaron en la esquina superior derecha del espécimen, luego aparecieron pequeñas fisuras en la base del murete, la fisura en la parte superior continuó aumentando de tamaño, lo que indica que se presentó una concentración de esfuerzos en dicha zona, posiblemente por falta de simetría en el espécimen. Luego de un tiempo de 20.2 [min] se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 7.9 [t] de carga.



Figura 63: Murete 10 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.2.1.3 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE, MURETES CON REFORZAMIENTO

Se procedió de igual manera que los muretes sin reforzamiento, adicionalmente se colocó una placa metálica en la parte superior del murete, debido a que el área de la superficie superior del murete reforzado era mayor al área de la viga que transmite la carga, de esta manera se transmite la carga a toda el área efectiva del murete.

El espécimen No 06 presentó un incremento de carga aproximadamente uniforme con una pequeña caída de carga en la lectura 24.87 [t], logro alcanzar una carga de 26.28 [t], a partir de esa lectura tuvo una caída inmediata con poca deformación. Las primeras fisuras se presentaron en la parte superior del espécimen, luego aparecieron fisuras verticales en los bordes de las caras transversales del murete, progresivamente aparecieron fisuras horizontales en la cara donde se encontraban los dispositivos verticales, la otra cara del espécimen no presentó una aparición notable de fisuras, únicamente pequeñas fisuras en la parte inferior y una fisura vertical originada en la una cara transversal del murete. Luego de un tiempo de 14.4 [min] de haber empezado el ensayo se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 18.32 [t] de carga.



Figura 64: Murete 06 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen No 05 presentó un incremento de carga uniforme con pequeños intervalos de caída de carga, hasta alcanzar una carga de 28.78 [t], a partir de esa lectura se decidió acabar el ensayo debido a un gran desprendimiento de enlucido en una esquina del espécimen. Las primeras fisuras se presentaron en la parte superior del espécimen, en la parte transversal, luego apareció una gran fisura vertical en el borde de la cara transversal del murete, progresivamente esa fisura fue aumentando de espesor y longitud, hasta generar desprendimiento de material en la cara transversal y en la cara donde se encontraba el dispositivo horizontal. Luego de un tiempo de 19.8 [min] se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 19.12 [t].



Figura 65: Murete 06 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.2.2 ENSAYO A TENSIÓN DIAGONAL

6.2.2.1 INSTRUMENTACIÓN PARA EL ENSAYO A TENSIÓN DIAGONAL

Primero se ajustó el marco de carga para que la altura entre la superficie inferior y la viga que transmite la carga sea la necesaria para poder acomodar los especímenes, 145 [cm] aproximadamente. Se trasladó los especímenes hacia el interior del laboratorio 24 horas antes de ser ensayados.

Se debe acomodar cada espécimen por debajo del marco de carga sobre un acople de acero que ayuda a que el murete se fije, de igual manera en la parte superior también ira un acople de acero que estará unido a la celda de carga en su extremo inferior. Adicionalmente se debe colocar 2 placas de acero en cada acople, revisando que cada placa este correctamente acomodada entre el acople y el murete. Se debe alinear y nivelar cada espécimen al centro de cada acople de acero. Para cada espécimen con y sin reforzamiento se colocó 1 deformímetro LVDT en el sentido vertical del espécimen y 1 deformímetro LVDT en el sentido horizontal. Los deformímetros LVDT fueron colocados sobre elementos de apoyo, dichos elementos son fijados a los muretes en lugares predeterminados con la ayuda de pegamento especial (POLY MAX HIGH TACK EXPRESS). Cada deformímetro LVDT será conectado al Sistema UPM 100 que recibirá la información registrada por el dispositivo.



Figura 66: Instrumentación de muretes sin reforzamiento

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)



Figura 67: Instrumentación de muretes con reforzamiento

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.2.2.2 ENSAYO A TENSIÓN DIAGONAL, MURETES SIN REFORZAMIENTO.

Se procedió de igual manera que el ensayo a compresión simple, revisando siempre que las placas colocadas en los acoples de acero se encuentren bien pegadas al murete.

El espécimen No 04 presentó un incremento de carga variado con varios intervalos de caída de carga en las lecturas 2.20 [t], 3.07 [t] y logrando alcanzar una carga de 3.22 [t], a partir de ese punto tuvo una ligera caída hasta la lectura 3.043 [t], luego tuvo una caída inmediata sin mucha deformación. Las primeras fisuras se presentaron en la parte inferior del espécimen, cerca del punto de contacto con el acople, luego el mismo extremo inferior ya con fisuras empezó a desgastarse en sus costados, progresivamente el enrazado de la esquina inferior del murete se fue desprendiendo. Luego de un tiempo de 10.9 [min] de haber empezado el ensayo se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 0.75 [t].



Figura 68: Murete 04 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen No 07 presentó un incremento de carga hasta la lectura 3.22 [t], en ese punto tuvo una caída repentina de carga, se recuperó progresivamente y luego tuvo incrementos de carga variados, hasta alcanzar una lectura de 3.34 [t], a partir de ese punto comenzó a caer lentamente registrando aumento de deformación hasta la lectura 2.85 [t], luego tuvo una caída inmediata sin mucha deformación. Las primeras fisuras se presentaron en la parte inferior y superior del espécimen, cerca del punto de contacto con el acople, luego ambos extremos comenzaron a fisurarse en las caras transversales, posteriormente comenzó a desprenderse el enrazado de las esquinas del murete, finalmente se pudo apreciar una gran fisura horizontal en la esquina inferior. Luego de un tiempo de 16.6 [min] se detuvo la transmisión de carga con una lectura de 1.58 [t].



Figura 69: Murete 07 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen No 08 presentó un incremento de carga ligeramente uniforme hasta alcanzar la lectura de 3.34 [t], donde comenzó a caer rápidamente registrando poca deformación hasta la lectura 1.25 [t] luego tuvo una caída de carga con aumentos progresivos de deformación. Las primeras fisuras se presentaron en la parte inferior en la cara transversal, continuando con una fisura horizontal en la misma zona, posteriormente la parte superior empezó a fisurarse y a desprenderse rápidamente, finalmente se apreció un colapso parcial de la esquina superior del murete. Luego de un tiempo de 12.1 [min] se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 0.37 [t].



Figura 70: Murete 08 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.2.2.3 ENSAYO A TENSIÓN DIAGONAL, MURETES CON REFORZAMIENTO

Se procedió de igual manera que el ensayo de tensión diagonal en muretes sin reforzamiento, revisando siempre que las placas colocadas en los acoples de acero se encuentren bien pegadas al murete.

El espécimen No 01 presentó un incremento de carga inmediata con poca deformación hasta alcanzar la lectura 6.67 [t], en ese punto comenzó su caída de carga hasta la lectura 3.05 [t], a partir de ese punto registro aumentos y caídas de carga en intervalos pequeños con aumento de deformación, se recuperó

progresivamente hasta alcanzar una lectura de 5.05 [t] y luego tuvo una caída total de carga con poca deformación. Las primeras fisuras se presentaron en la parte inferior del espécimen en el punto de contacto con el acople generando destrucción del enlucido en esa zona, en ambas caras del murete, luego en la misma zona el mortero comenzó a desprenderse, se evidenció un agotamiento del refuerzo en esa zona, la malla empezó a doblarse, sin embargo, la parte superior no presentó daño alguno. En la parte inferior se presentó concentración de esfuerzos debido posiblemente por una desalineación durante los primeros momentos del ensayo. Luego de un tiempo de 22.33 [min] de haber empezado el ensayo se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 2.19 [t].

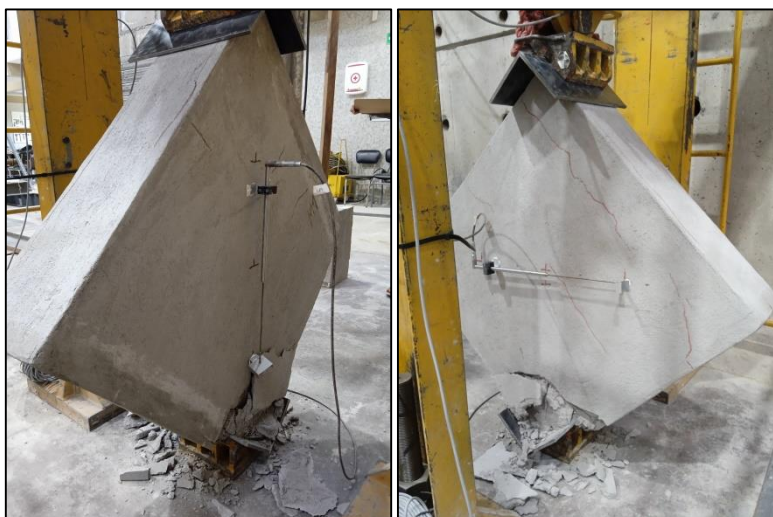


Figura 71: Murete 01 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen No 02 presentó un incremento de carga inmediata con poca deformación, luego una pequeña caída y posterior recuperación hasta alcanzar una lectura de 5.76 [t], en ese punto comenzó una caída de carga prolongada con aumento de deformación y pequeños intervalos de recuperación poco relevantes hasta registrar su caída inmediata. Las primeras fisuras se presentaron en la parte inferior y superior del espécimen en los puntos de contacto con los acoples generando destrucción y desprendimiento del enlucido en esas zonas, posteriormente en la parte superior se presentó un aumento de fisuras con dirección hacia el centro del murete, luego en la parte inferior se evidenció un aumento

notable de destrucción y desprendimiento del enlucido con tendencia hacia el costado derecho del murete en una cara del murete, en la cara posterior se presentó poca destrucción con una gran fisura diagonal, la destrucción y desprendimiento de enlucido en las zonas descritas continuo hasta terminar el ensayo. Luego de un tiempo de 26.75 [min] se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 1.90 [t].



Figura 72: Murete 02 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen No 03 presentó un incremento de carga con poca deformación hasta alcanzar una lectura de 9.20 [t], luego se notó una caída de carga inmediata hasta alcanzar una lectura de 3.76 [t], a partir de ese punto comenzó una recuperación de carga con pequeños intervalos de caída hasta alcanzar otra lectura de 8.80 [t], posteriormente se presentó una caída de carga con aumento de deformación hasta registrar su caída inmediata. Las primeras fisuras se presentaron en la parte inferior del espécimen con pequeñas señales de destrucción del enlucido, posteriormente la destrucción en ese punto continuo con desprendimiento de material, la destrucción se prolongó hacia arriba de manera uniforme acompañada de fisuras verticales en dirección hacia el centro del murete, se notó una fisura general de amplio espesor en el centro de la cara del murete. Luego de un tiempo de 28.41 [min] se detuvo la transmisión de carga con una lectura final de 4.68 [t].



Figura 73: Murete 03 ensayado

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.3 ENSAYO DEL MURO REFORZADO

Luego de que el espécimen alcanzara la edad de 26 días, por pedido del laboratorio y con evidencia de que el hormigón en la viga superior había alcanzado una suficiente resistencia a compresión, se procedió a preparar el ensayo del muro, comenzando con la pretensión de los ejes de empotramiento, seguido con la colocación y preparación de los instrumentos de medición, posteriormente siguió el ensayo del espécimen.

6.3.1 INSTRUMENTACIÓN DEL MURO REFORZADO

Para el pretensado de los ejes de empotramiento se procedió a ubicarse en el subsuelo del laboratorio, en la zona donde se encuentra ubicado el espécimen, con la ayuda de un gato hidráulico se pretensó cada eje con 55.16 [MPa] (8000 [psi]), dato especificado en la sección 3.4, este proceso se realizó con 72 horas de antelación.



Figura 74: Pretensión de ejes

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Posteriormente se empezó a colocar los dispositivos de medición deformímetros LVDT, en los extremos que no están sujetos al equipo que transmite carga. Se ubicó un deformímetro (D03) en el punto medio de la sección transversal de la viga base, otro deformímetro (D05) en el punto medio de la columna y un tercer deformímetro (D27) en la parte inferior de la viga base, todo estos deformímetros registrarán los desplazamientos horizontales que se den en el plano del muro.

Para colocar los deformímetros se procedió a realizar orificios en los centros geométricos de los elementos antes mencionados, a excepción de la viga base, donde el deformímetro fue fijado con cinta en cualquier parte inferior alineado al centro del eje vertical del elemento. Luego se procedió a colocar aditamentos (taco fisher) en los orificios realizados, para fijar el acople de unión entre el deformímetro y el elemento, posterior a ello se armó una estructura de elementos metálicos que albergara a los deformímetros alineados con su respectiva ubicación en el espécimen.



Figura 75: Deformímetros colocados

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Para la configuración de los strain gauges se procedió primero a identificar cada dispositivo, luego cada strain gage recibiría un número de identificación en la caja de control (41-42-43-44), luego fueron conectados a la caja de control No 03 y finalmente conectados al ordenador. Posteriormente se conectaron los deformímetros D03 y D05 a la caja de control 01 y el deformímetro D27 a la caja de control 02, ambas cajas luego fueron conectadas al ordenador. Por último, se revisó que la celda de carga este nivelada y asegurada.



Figura 76: Preparación del ensayo

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.3.2 PROTOCOLO DE CARGA

Para el control de aplicación de carga se siguió los lineamientos establecidos en la norma ASTM E2126, Método de ensayo C (Amplitud de ciclos primarios), en el cual se establece un número mínimo de ciclos para cada paso con su respectiva amplitud. Se determinó 8 pasos para el ensayo, y un posterior paso adicional especificado para incrementar la amplitud de los ciclos como especifica la norma. Cada paso especifica la amplitud para el ciclo inicial y sus respectivos ciclos de arrastre. El equipo del Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) cuenta con equipo para transmitir carga cíclica de 100 [t] a compresión y 60 [t] a tracción, capacidad suficiente para llevar al espécimen a su máxima deformación. La figura 77 muestra el protocolo de carga utilizado en el ensayo.

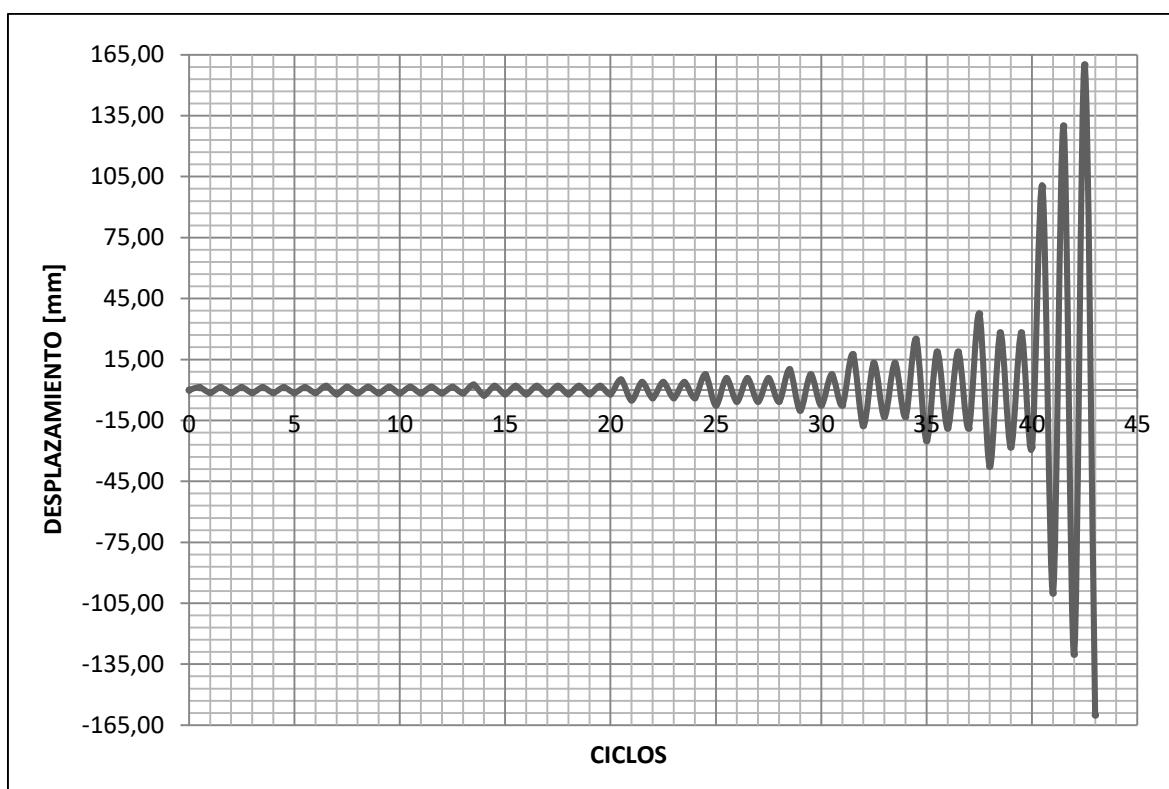


Figura 77: Protocolo de carga

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.3.3 ENSAYO DEL MURO REFORZADO CON CARGA CICLICA

Luego de revisar que el equipo esté funcionando adecuadamente y que pueda recibir información en cada instante del ensayo, se procedió a dar inicio al ensayo. Cada ciclo de ensayo correspondía a la aplicación de carga a compresión (ida) hasta alcanzar la deformación deseada, luego la celda de carga retornaría (vuelta) halando el espécimen hasta alcanzar la deformación indicada en el otro sentido.

Se empezó con una amplitud para el primero ciclo correspondiente a 1.25 [mm] de ida y de vuelta, la misma amplitud se usaría para todos los ciclos del primer paso (6 ciclos). Para el segundo paso se empezó con una amplitud de 1.88 [mm] de ida y de vuelta y 6 ciclos posteriores de arrastre con amplitudes de 1.41 [mm]. En el tercer paso se siguió aumentando amplitud con lecturas de 2.5 [mm] de ida y de vuelta para el primer ciclo y 6 ciclos posteriores de arrastre con amplitudes de 1.88 [mm].

En el cuarto paso alcanzando una amplitud de 5 [mm] de ida y de vuelta para el primer ciclo y 3 ciclos posteriores de arrastre con amplitudes de 3.75 [mm], se detuvo momentáneamente la aplicación de carga para apreciar las fisuras y el daño presente en el espécimen. Para el final del paso cuatro se registraron lecturas máximas de carga correspondientes a 13.18 [t] a compresión y 14.33 [t] a tracción.



Figura 78: Paso 4 – ciclo 24 de ida y vuelta

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)



Figura 79: Primera señal de falla en unión viga columna

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Se continuó con el ensayo, en el quinto paso se empezó con una amplitud de 7.5 [mm] de ida y de vuelta y 3 ciclos posteriores de arrastre con amplitudes de

5.63 [mm]. Para el sexto paso se inició con una amplitud de 10 [mm] de ida y vuelta y 2 ciclos posteriores de arrastre con amplitudes de 7.5 [mm]. Al inicio del séptimo paso en el primer ciclo con amplitud de 17.5 [mm] de ida y vuelta, se detuvo el ensayo momentáneamente para apreciar el progreso de fisuras y daño en el espécimen. En el inicio del séptimo paso se registraron lecturas máximas de carga correspondientes a 13.16 [t] a compresión y 17.25 [t] a tracción.

En este paso ya se evidenció gran cantidad de fisuras que nacen en la esquina superior derecha del espécimen, con dirección diagonal hacia el centro de la cara, también se da la aparición de una gran fisura horizontal cerca del centro de del espécimen, a medida que dicha fisura se acercaba a la columna más cercana, aumentaba de espesor, esta reacción se debe a que la malla en esa sección empieza a doblarse, presionando al enlucido y acelerando su desgaste.



Figura 80: Paso 7 – ciclo 32 de ida y vuelta

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Con un aumento en el desgaste de los elementos viga y columna, el desprendimiento de mampostería en el perímetro del panel se hizo evidente, las fisuras que se generaban a lo largo del perímetro y las zonas centrales del panel alcanzaban ya en algunos casos los 9 [mm] de espesor.



Figura 81: Desprendimiento de mampostería en viga base y columnas

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Posteriormente se continuó con el ensayo, con los siguientes 2 ciclos de arrastre de amplitud 13.13 [mm] pertenecientes al séptimo paso. Para el octavo paso se alcanzó una amplitud de 25 [mm] de ida y vuelta y 2 ciclos posteriores de arrastre con amplitudes de 18.75 [mm]. En ese punto se alcanzó 100 % de deformación pretendida. Luego para llevar al espécimen a su máxima deformación y parcial colapso se siguió con un noveno paso con lecturas que aumentaban la amplitud de deformación a cada ciclo, empezando con 37.5 [mm], luego a 70 [mm], 100 [mm], 130 [mm] y finalmente una lectura de 155 [mm]. El ensayo terminó luego de 168 [min] de haber empezado, llevando a la celda de carga a su posición inicial.

En el último paso se puede evidenciar gran cantidad de fisuras horizontales de gran tamaño ubicadas principalmente en la parte superior del panel. El desgaste y desprendimiento de enlucido se da principalmente por la presión que ejerce la malla luego de superar su capacidad para permanecer fija en el muro. La malla luego de que se le retira carga, tiende a volver a su posición inicial, por ello en las zonas de fisuras de gran espesor no se aprecia fragmentos de malla que se hayan desprendido de la malla principal.



Figura 82: Paso 13 – ciclo 42 de ida y vuelta

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Conjuntamente con las fisuras en el panel se evidenció un aumento considerable en el desgaste de los elementos estructurales del pórtico, fisuras en las conexiones viga-columna y fisuras en las zonas intermedias de vigas y columnas.



Figura 83: Fisuras en columnas

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)



Figura 84: Fisuras en conexiones viga-columna

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

6.3.4 OBSEVACIONES DURANTE LA DESTRUCCIÓN DEL ESPÉCIMEN

Durante la destrucción del espécimen se evidenció algunas características. El pórtico de hormigón presentó un comportamiento homogéneo, el hormigón llegó a su máxima capacidad antes de ceder a una falla frágil producida por los esfuerzos de tracción, los aceros longitudinales sufrieron deformaciones, pero no llegaron a fluir. Se necesitó desgastar los aceros de la columna por medio del peso propio del pórtico para que llegasen a fallar. Esto da como evidencia que el enchape logró aportar su máxima capacidad antes de que fallara el mortero de enlucido y la malla se viera obligada a empezar a doblarse.



Figura 85: Desgaste del acero en columnas

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

La malla mantiene su forma aun después de haber sido usada como refuerzo en el muro. Esto indica que el ensayo aplicado no hizo fluir el acero de la malla, la misma volvió a un estado parcialmente similar al inicial, pero con capacidad reducida y con evidente desprendimiento de las uniones que se usaron para fijar la malla al pórtico en el perímetro del panel.



Figura 86: Malla parcialmente en su estado inicial luego del ensayo

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 COMPRESIÓN SIMPLE EN MURETES

Gran parte de los ensayos a compresión simple en muretes evidenciaron concentración de esfuerzos en puntos localizados, debido a falta de simetría en los especímenes, sin embargo, las resistencias alcanzadas fueron similares para cada tipo de murete. Las fallas se generaron principalmente en la base de los especímenes con fisuras verticales prolongadas en relación al aumento de carga.

Los resultados primarios de las pruebas a compresión simple en muretes son el producto de los valores registrados durante el ensayo, correspondientes a carga vertical y desplazamientos verticales y horizontales. Los especímenes sin reforzamiento registraron valores finales muy similares, ambos muretes mostraron un comportamiento parecido, llegando hasta su resistencia máxima y luego decayendo inmediatamente.

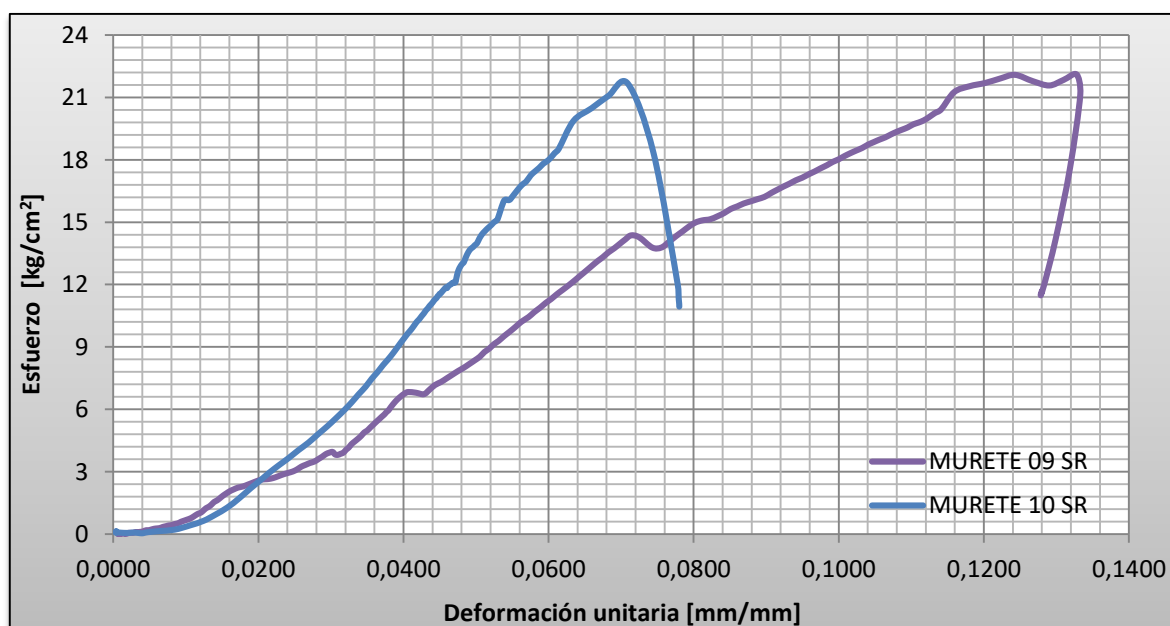


Figura 87: Curva de Esfuerzo vs Deformación unitaria en muretes SR

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

De igual manera para los ensayos en especímenes con reforzamiento se observó similar comportamiento, con la única diferencia de que en el murete 05 CR decayó inmediatamente y se detuvo su ensayo para evitar el daño de los dispositivos de medición.

Ambos muretes tuvieron fallas iniciales en las caras transversales, y una vez alcanzada su resistencia máxima, la malla comenzó a doblarse internamente, provocando una fisura horizontal con poco desprendimiento de material, sin embargo, luego de retirar la carga aplicada, se notó ligeramente que la malla retornaba parcialmente a su estado inicial. Esto indica que los muretes reforzados poseían más capacidad a deformarse por la incorporación de la malla como reforzamiento.

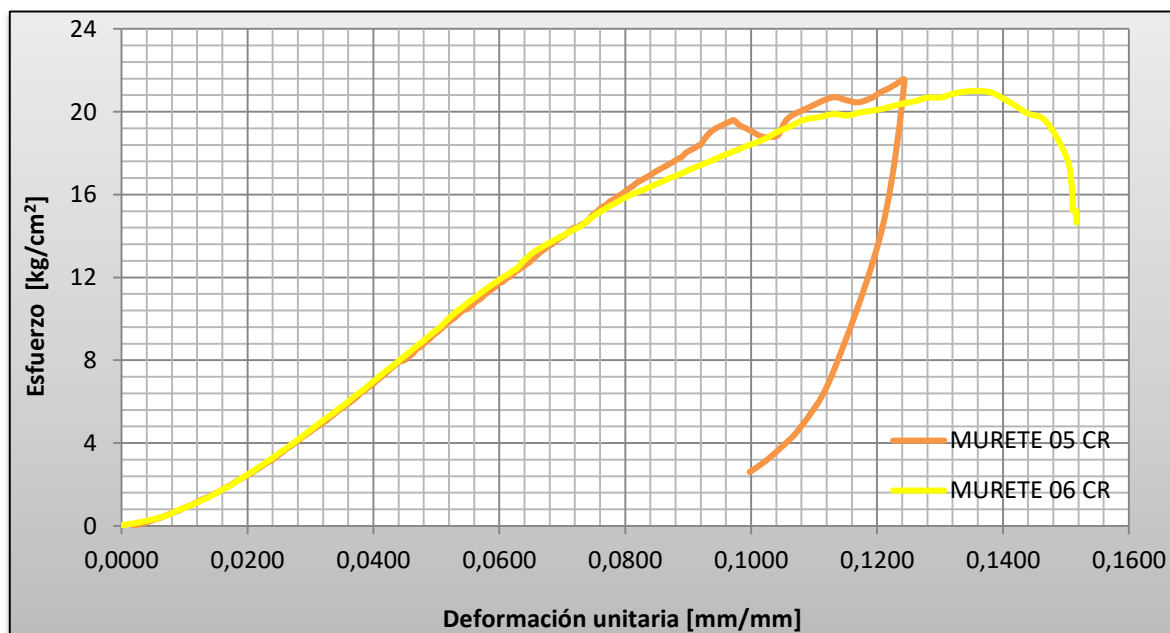


Figura 88: Curva de Esfuerzo vs Deformación unitaria en muretes CR

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

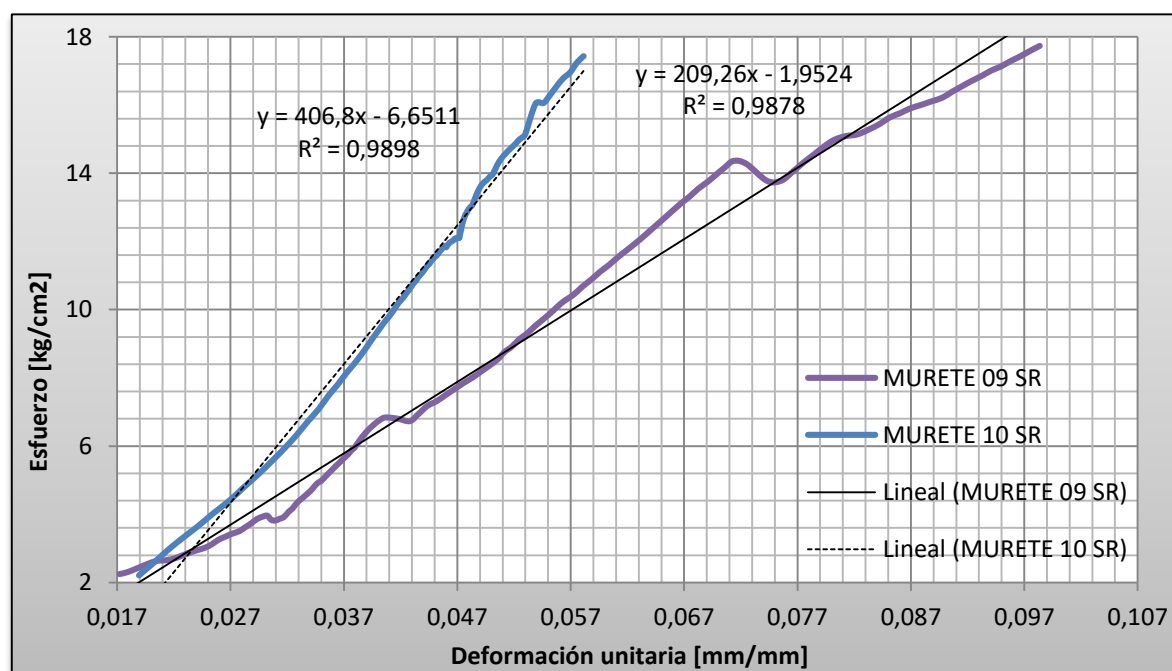
Los resultados de las propiedades mecánicas obtenidos de los ensayos a compresión simple se presentan en la tabla 16, se puede apreciar un gran incremento en la carga máxima para los especímenes reforzados, sin embargo, no se evidencia un incremento de esfuerzo, debido al gran aumento en su área efectiva.

Tabla 16.*Propiedades de muretes a compresión simple.*

COMPRESIÓN SIMPLE EN MURETES							
DESCRIPCIÓN	Ancho [cm]	Altura [cm]	Espesor [m]	Área neta [cm ²]	Carga máxima [kg]	Esfuerzo neto [kg/cm ²]	Esfuerzo promedio [kg/cm ²]
M09 CS-SR	82.87	86.33	15.03	684.06	15115.26	22.10	21.88
M10 CS-SR	84.74	87.56	15.20	712.87	15443.69	21.66	
M05 CS-CR	84.80	86.53	22.40	1338.51	28782.79	21.50	21.26
M06 CS-CR	86.18	87.60	21.03	1250.48	26280.70	21.02	

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

En base a las curvas de esfuerzo vs deformación unitaria y con el uso de regresión lineal se obtuvo el módulo de elasticidad para cada murete. Todos los especímenes poseían un incremento de carga aproximadamente uniforme, por ello se consideró el 80% del esfuerzo máximo para la regresión lineal. Se procedió a calcular los promedios para cada tipo de murete.

**Figura 89:** Regresión lineal en curvas esfuerzo vs deformación para muretes SR

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

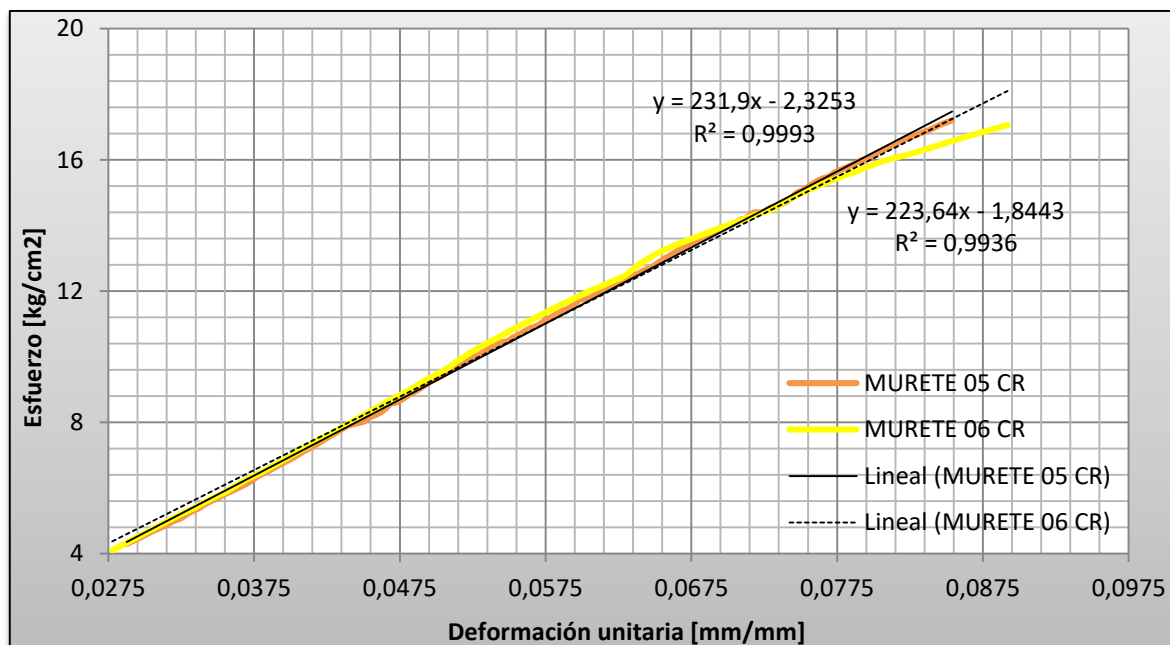


Figura 90: Regresión lineal en curvas esfuerzo vs deformación para muretes CR

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Tabla 17.

Módulo de elasticidad en muretes

MÓDULO DE ELASTICIDAD			
DESCRIPCIÓN	Factor de correlación %	Módulo de Elasticidad [kg/cm ²]	Módulo promedio
M09 CS-SR	98	406.80	308.03
M10 CS-SR	98	209.26	
M05 CS-CR	99	223.64	227.77
M06 CS-CR	99	231.90	

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

7.2 TRACCIÓN DIAGONAL EN MURETES

En la mayoría de los ensayos a tracción diagonal se evidenció colapso y destrucción en las esquinas ubicadas en los acoples que le permitían a los muretes ubicarse rotados 45° en su plano. Estas fallas frágiles se producen generalmente cuando el espécimen no es tan simétrico y se genera una concentración de esfuerzos en los puntos de apoyo. El murete 03 fue el único en presentar una falla

típica de este tipo de ensayo con una grieta vertical en la diagonal del murete y que cruza por la mitad de la cara expuesta.

Los resultados primarios de las pruebas a tracción diagonal en muretes son el producto de los valores registrados durante el ensayo, correspondientes a carga vertical y desplazamientos verticales y horizontales. Los especímenes sin reforzamiento registraron valores finales idénticos, la deformación horizontal registrada en los muretes 04 SR y 08 SR fue muy similar, en el murete 07 SR se observó que el espécimen se recuperó durante el ensayo y registro incremento de carga aplicada y gran aumento de deformación horizontal.

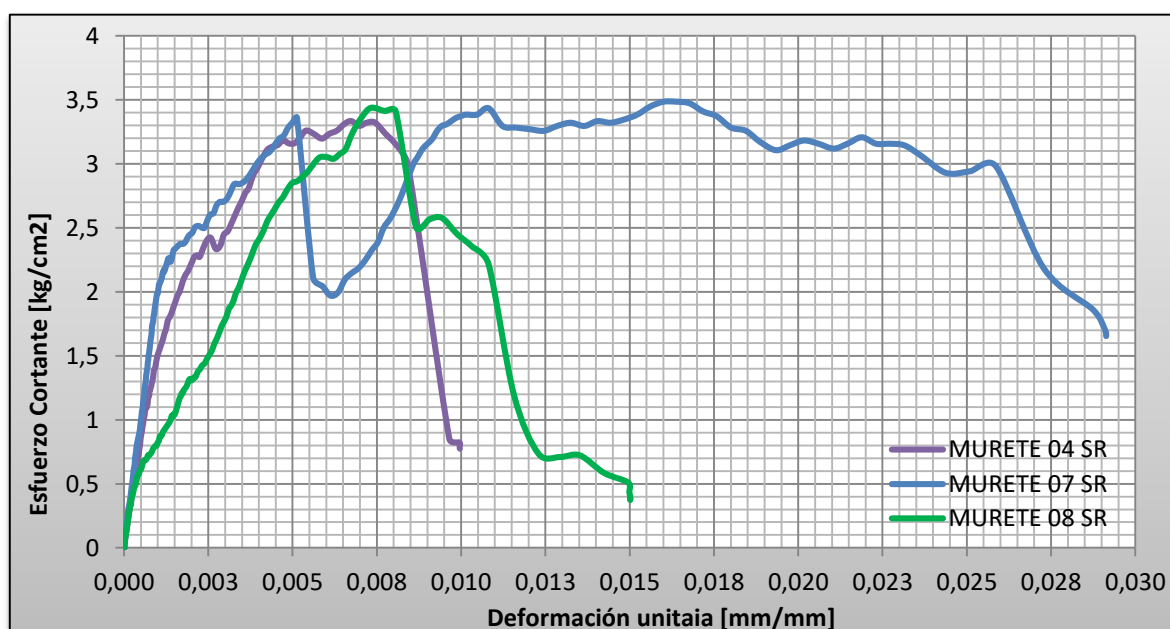


Figura 91: Curva de Esfuerzo vs Deformación unitaria en muretes SR

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Para los especímenes con reforzamiento se observó lecturas de carga aplicada y deformación horizontal similares en los muretes 01 CR y 02 CR, en el murete 03 CR se registró un considerable incremento de carga aplicada acompañada de un gran aumento en la deformación horizontal, dicho murete también fue el único en presentar un tipo de falla típica para este tipo de ensayos.

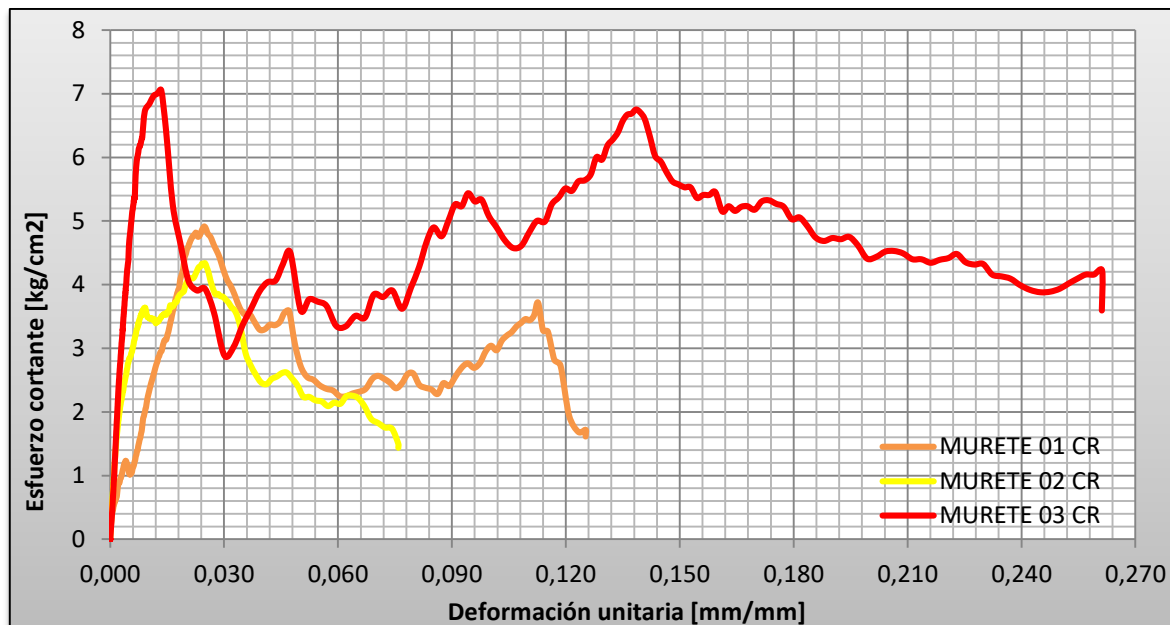


Figura 92: Curva de Esfuerzo vs Deformación unitaria en muretes CR

Elaborado: Llumiuinga P. (2022)

Para determinar los parámetros de esfuerzo cortante, deformación unitaria cortante y módulo de rigidez, se usó las ecuaciones establecidas en la norma ASTM E519 20 y los datos obtenidos de cada murete durante los ensayos.

$$S_S = \frac{0.707 P}{A_n} \quad (12)$$

$$G = \frac{S_S}{\gamma} \quad (13)$$

Dónde:

- S_S : Esfuerzo cortante en el área neta [kg/cm^2]
- P : Carga aplicada [kg]
- A_n : Área neta del espécimen [cm^2]
- G : Módulo de rigidez [kg/cm^2]
- γ : Deformación unitaria cortante [mm/mm]

$$A_n = \left(\frac{w+h}{2} \right) t \cdot n \quad (14)$$

Dónde:

- w : Ancho del espécimen [cm]
- h : Altura del espécimen [cm]
- t : Espesor total del espécimen [cm]
- n : Porcentaje del área bruta de la unidad que es sólida ($n = 0.53$)

$$\gamma = \frac{\Delta x + \Delta y}{dg} \quad (15)$$

Dónde:

- Δx : Deformación en la dirección paralela a la carga [mm]
- Δy : Deformación en la dirección perpendicular a la carga [mm]
- dg : Extensión medida en la dirección paralela a la carga [mm]

Los resultados de las propiedades mecánicas obtenidos de las pruebas a tracción diagonal se muestran en la tabla 18, se puede apreciar un incremento de esfuerzo cortante con el uso de la malla Nervometal, aproximadamente un 62%.

Tabla 18.

Propiedades de muretes a tracción diagonal

TRACCIÓN DIAGONAL EN MURETES							
DESCRIPCIÓN	Ancho [cm]	Altura [cm]	Espesor [m]	Área neta [cm ²]	Carga máxima [kg]	Esfuerzo neto [kg/cm ²]	Esfuerzo promedio [kg/cm ²]
M04 TD-SR	82.98	84.97	15.36	683.73	3224.32	3.33	3.42
M07 TD-SR	82.90	83.38	15.39	678.05	3343.02	3.49	
M08 TD-SR	83.17	86.38	15.29	686.88	3341.48	3.44	
M01 TD-CR	86.20	85.21	21.15	960.68	6678.14	4.91	5.44
M02 TD-CR	87.35	85.57	20.50	939.35	5764.77	4.34	
M03 TD-CR	86.92	85.56	20.18	922.16	9207.12	7.06	

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El módulo de rigidez fue determinado con las fórmulas establecidas por la norma ASTM519 20 y por regresión línea de las curvas esfuerzo cortante vs deformación unitaria, en las curvas correspondientes a los muretes sin reforzamiento se observó que aproximadamente al 60% de su esfuerzo máximo las gráficas empezaban a tener un aumento de deformación unitaria, por lo tanto, se tomó el segmento de curva hasta el 60% del esfuerzo máximo.

En las curvas correspondientes a los muretes con reforzamiento se procedió de igual manera tomando el 60% de la capacidad.

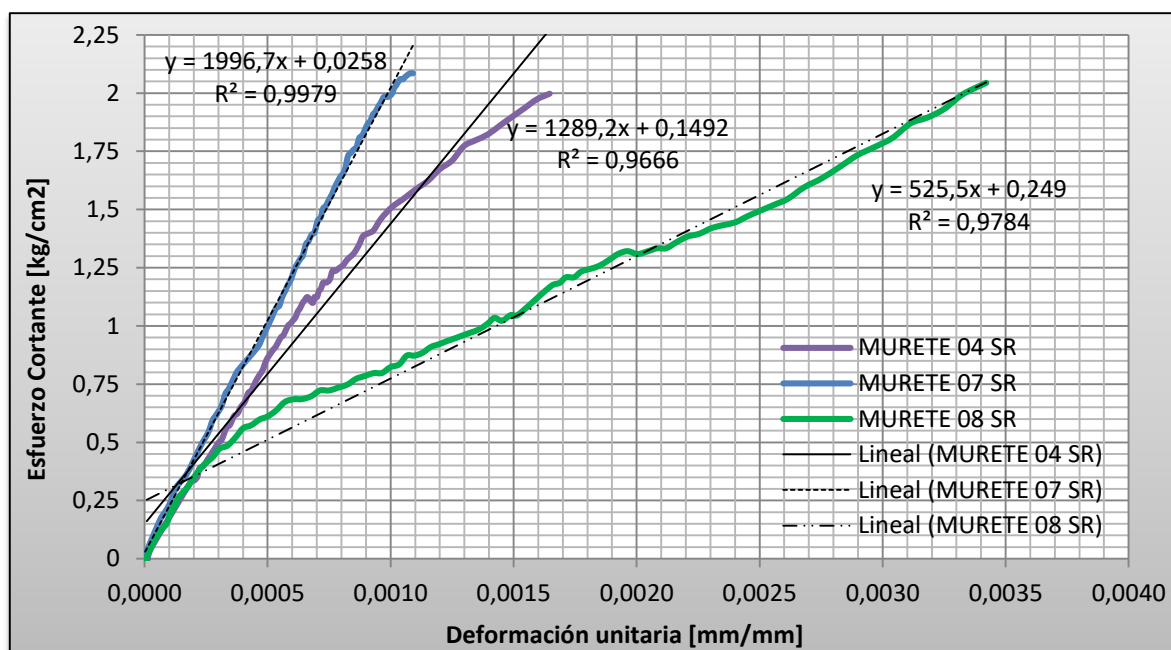


Figura 93: Regresión lineal en curvas esfuerzo vs deformación para muretes SR

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

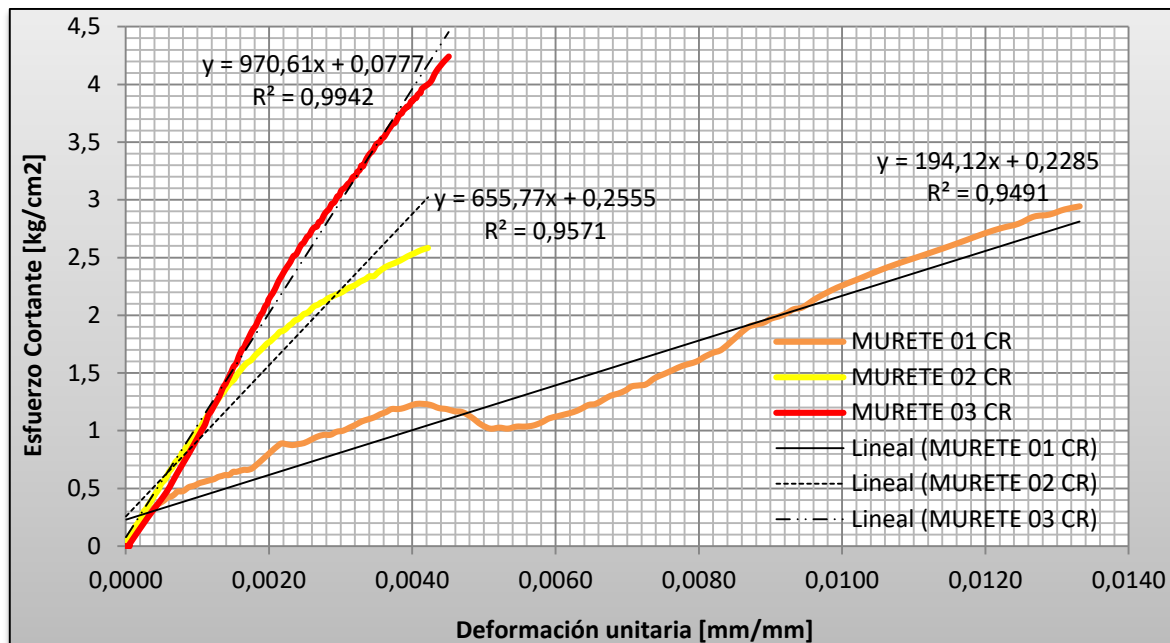


Figura 94: Regresión lineal en curvas esfuerzo vs deformación para muretes CR

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Tabla 19.

Módulo de rigidez de muretes

MÓDULO DE RIGIDEZ			
DESCRIPCIÓN	Módulo de rigidez ASTM [kg/cm ²]	Módulo de rigidez Regresión. [kg/cm ²]	Módulo promedio
M04 TD-SR	1213.89	1289.20	1255.82
M07 TD-SR	1912.18	1996.70	
M08 TD-SR	597.47	525.50	
M01 TD-CR	221.14	194.12	599.15
M02 TD-CR	612.17	655.77	
M03 TD-CR	941.10	970.61	

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Se puede apreciar mayor rigidez en los especímenes sin reforzamiento debido a que estos tenían muy poca deformación antes de empezar a fisurarse, por ello las gráficas en un inicio son más ordenadas. Los especímenes reforzados presentan menor rigidez debido a que durante todo el tiempo de ensayo tuvieron constante aumento de deformación, debido a esto el comportamiento de sus gráficas es más desordenado a medida que aumentaba su esfuerzo cortante.

7.3 CARGA CÍCLICA EN MURO REFORZADO

El ensayo de carga cíclica se realizó en base al protocolo de carga previamente establecido, en función de desplazamientos con incrementos a partir de un desplazamiento hipotético. Se estableció un proceso con 4 patrones predeterminados y un patrón adicional en función de incrementos progresivos.

El primer patrón consto de 1 paso con 6 ciclos (1 ciclo primario y 5 ciclos de arrastre). El segundo patrón estuvo formado por los pasos 2 y 3, ambos con 7 ciclos (1 ciclo primario y 6 ciclos de arrastre). El tercer patrón vino dado por los pasos 4 y 5, ambos con 4 ciclos (1 ciclo primario y 3 ciclos de arrastre). El cuarto patrón estuvo formado por los pasos 6,7 y 8, todos con 3 ciclos (1 ciclos primario y 2 ciclos de arrastre). El patrón adicional se formó con todos los pasos posteriores hasta llegar al final, cada uno de estos pasos estuvo formado por 1 ciclo. Un resumen de los datos obtenidos durante el ensayo se presenta en el Anexo 04 al final.

Los resultados obtenidos corresponden a carga aplicada (compresión y tracción), desplazamiento en 3 puntos del espécimen, deformación en 4 puntos en la base de las columnas. Luego de regular todos los resultados obtenidos durante el ensayo se procedió a determinar los siguientes parámetros y propiedades del espécimen.

7.3.1 CURVAS DE HISTÉRESIS Y CAPACIDAD

La evolución del diagrama de histéresis evidencia la rigidez inicial que presenta el espécimen, con el paso de los ciclos se empieza a apreciar de mejor manera los lasos de histéresis que al ser de gran amplitud indican una mayor disipación de energía.

En el patrón 1 del ensayo se puede apreciar un gráfico de histéresis cuadrado, en esta etapa del ensayo la rigidez del espécimen se mantiene, con valores de carga que varían entre 6 [t] en compresión y 10 [t] en tracción. Para el patrón 2 del ensayo el gráfico de histéresis continúa cuadrado, la rigidez del espécimen se mantiene, con valores de carga que varían entre 6.4 [t] en compresión y 10.2 [t] en tracción.

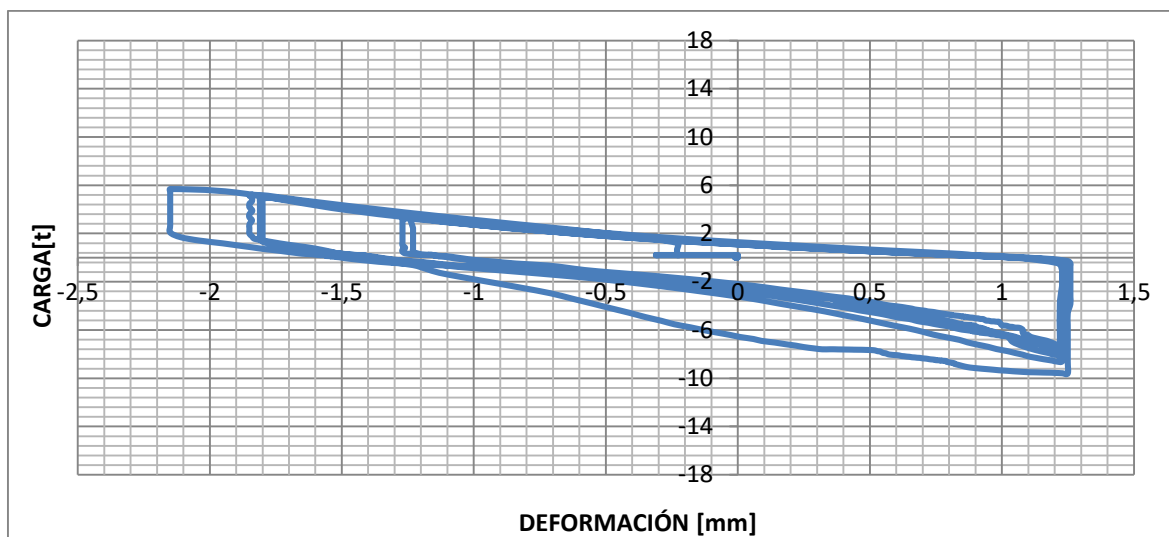


Figura 95: Curvas de Histéresis – Patrón 01

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

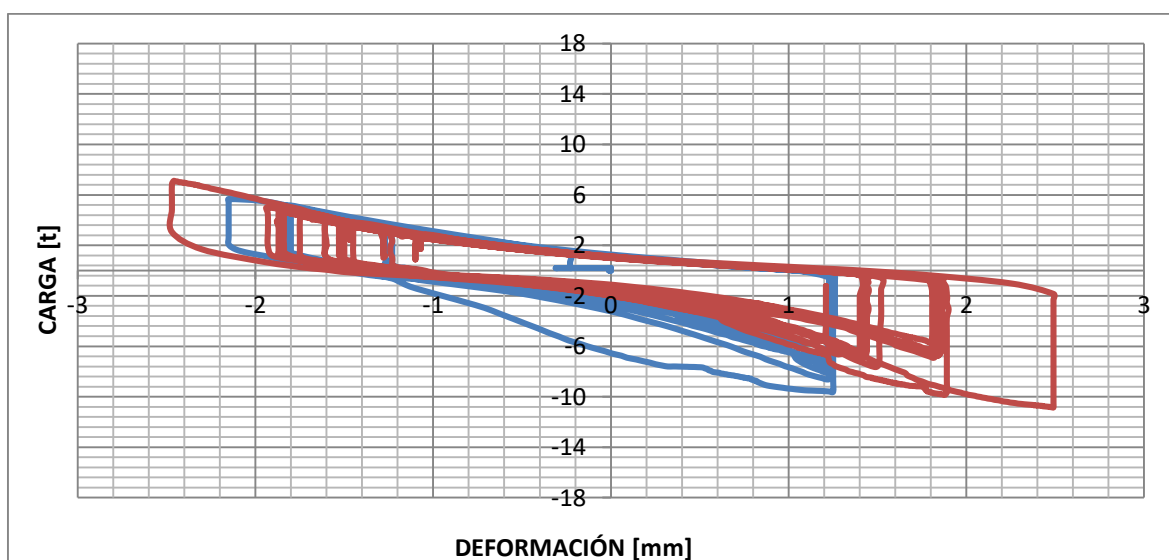


Figura 96: Curvas de Histéresis – Patrón 02

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

En el patrón 3 del ensayo, en el gráfico de histéresis se puede apreciar la aparición de lazos de histéresis típicos, lo que refleja una pérdida de rigidez y aumento de disipación de energía, con valores de carga que varían entre 15 [t] en compresión y 13 [t] en tracción.

Para el patrón 4 del ensayo las curvas de histéresis son de mayor amplitud, se registra un aumento de desplazamiento, con valores de carga que varían entre 17.5 [t] en compresión y 14 [t] en tracción.

En el patrón 5 del ensayo las curvas de histéresis alcanzan una mayor amplitud, se registra un gran aumento de desplazamiento, para esta etapa final del ensayo se puede apreciar los lazos de histéresis con valores de menor carga, debido a que al espécimen se lo llevo al colapso relativo y a partir del patrón 4 empezó a registrar disminución en sus valores de carga.

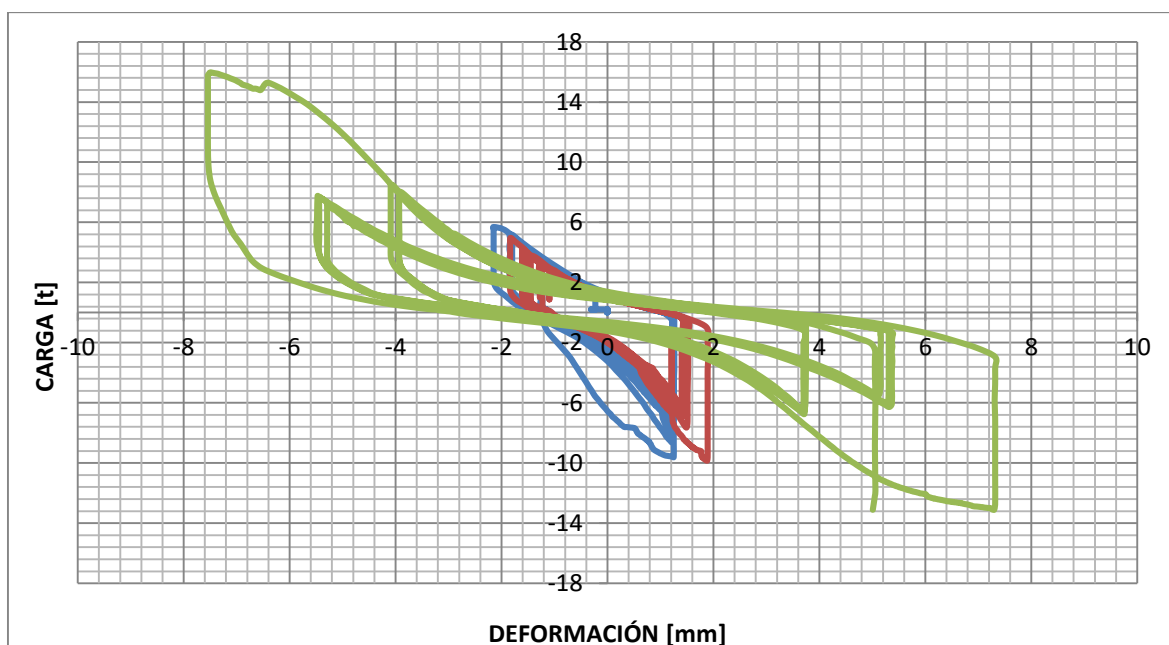


Figura 97: Curvas de Histéresis – Patrón 03

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

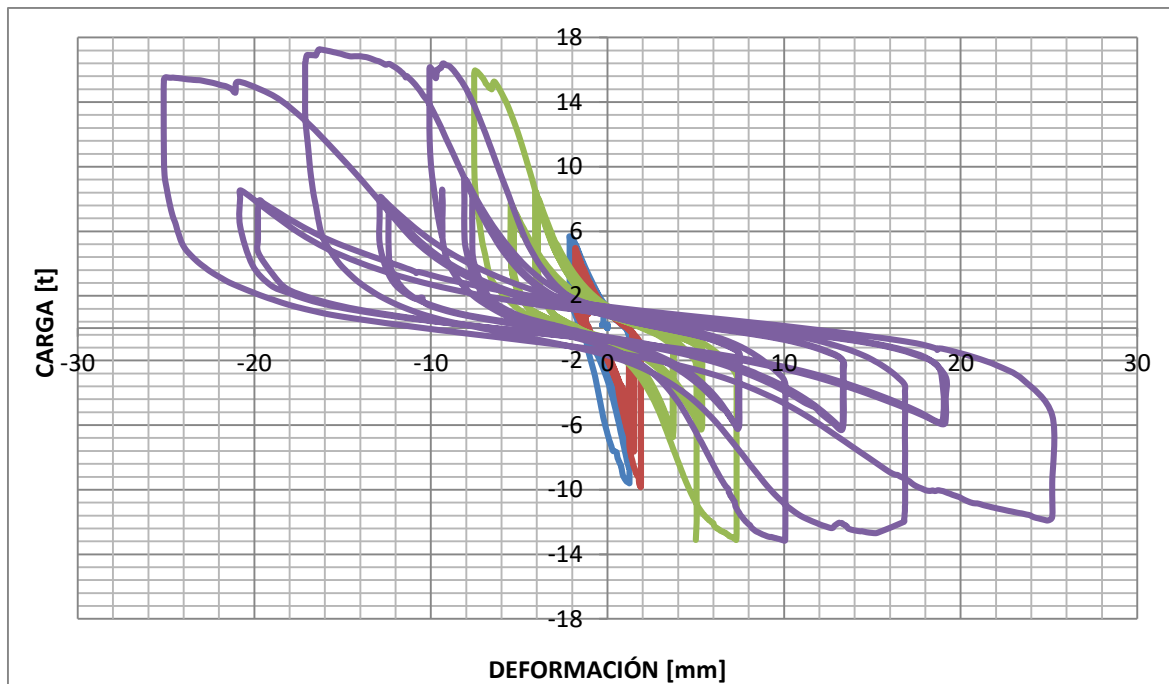


Figura 98: Curvas de Histéresis – Patrón 04

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

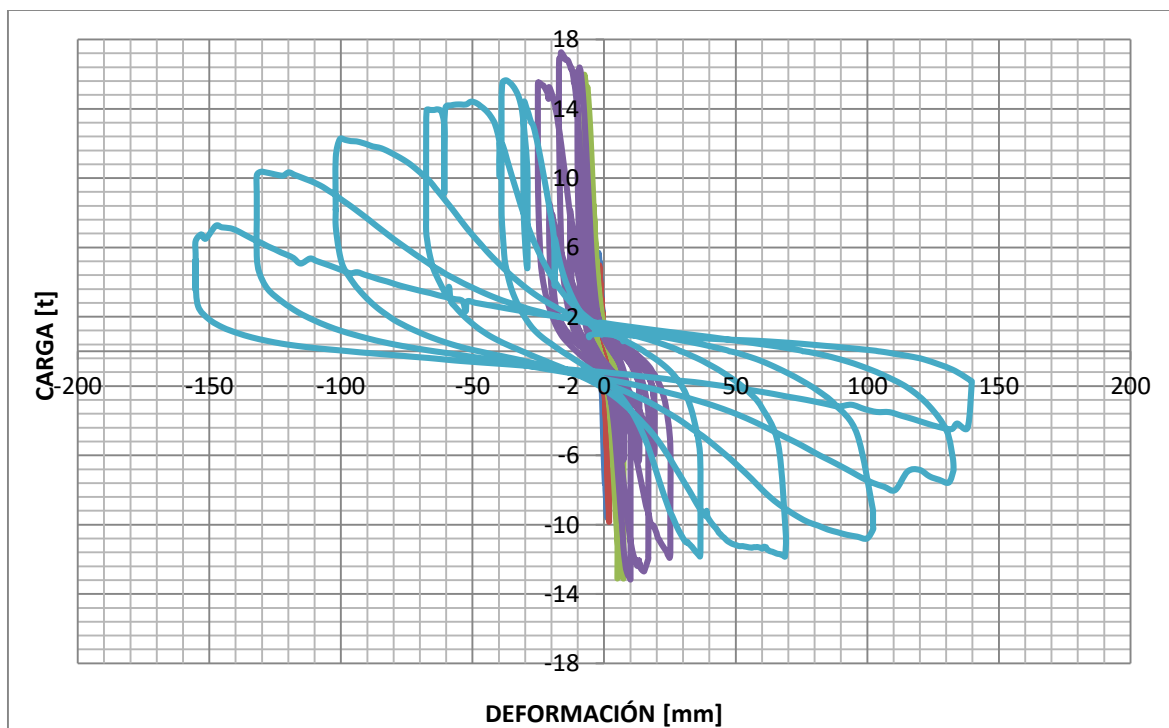


Figura 99: Curvas de Histéresis – Patrón 05

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

La curva envolvente contiene las cargas máximas del primer ciclo de cada paso que se realizó durante el ensayo de carga cíclica, y desprecia los puntos de la curva de histéresis donde el valor absoluto del desplazamiento en la carga máxima es menor al desplazamiento del paso anterior. Los valores obtenidos para el desarrollo de la curva envolvente del espécimen se registran en la tabla 20.

Tabla 20.

Valores de desplazamiento y carga máxima para cada paso registrado

Paso	Ciclo	Compresión máx. [t]	Desplazamiento [mm]	Tracción máx. [t]	Desplazamiento [mm]
1	1	5.14	-1.85	-9.60	1.25
2	7	5.68	-2.15	-9.85	1.88
3	14	7.10	-2.46	-10.84	2.49
4	21	14.33	-5.07	-13.19	4.94
5	25	15.97	-7.5	-13.11	7.30
6	29	16.16	-10.05	-13.16	10.04
7	32	17.26	-16.33	-12.69	15.21
8	35	15.53	-25.03	-11.90	24.96
9	38	15.64	-37.33	-11.84	36.44
10	39	14.41	-50.59	-11.84	68.74
11	40	12.23	-100.5	-10.80	99.84
12	41	10.36	-130.49	-8.00	110.62
13	42	7.24	-147.62	-4.49	132.03

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

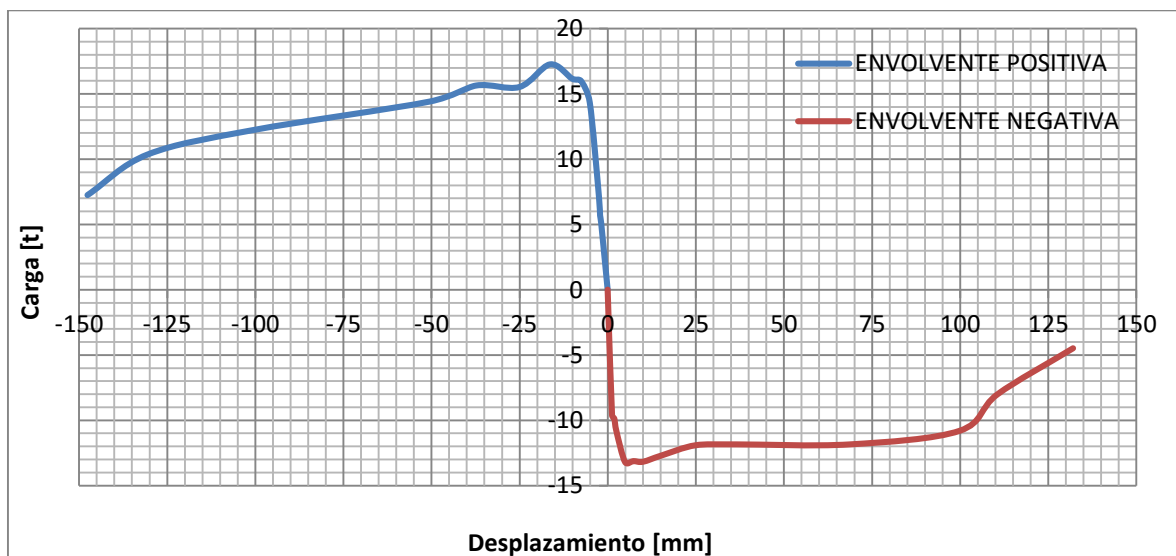


Figura 100: Curva envolvente del diagrama de histéresis

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Para efectos de comparación se procedió a graficar las envolventes en un mismo cuadrante, donde se puede apreciar las curvas de capacidad positiva, negativa y un promedio de las dos. En todas las curvas se puede apreciar un similar comportamiento inicial hasta alcanzar sus máximos valores de carga. Simultáneamente se procedió con la metodología especificada en la norma ASTM E2126 para determinar la curva de energía equivalente elástica-plástica (EEEP) del espécimen, para ello es necesario calcular algunos parámetros.

$$P_{yield} = \left(\Delta u - \sqrt{\Delta u^2 - \frac{2A}{Ke}} \right) Ke \quad (16)$$

$$Ke = 0.4 P_{peak} / \Delta e \quad (17)$$

Dónde:

- P_{yield} : Carga de fluencia
- Δu : Desplazamiento último
- A : Área bajo la curva envolvente
- P_{peak} : Carga máxima absoluta resistida por el espécimen
- Δe : Desplazamiento en el borde superior del espécimen a 0.4 P_{peak}

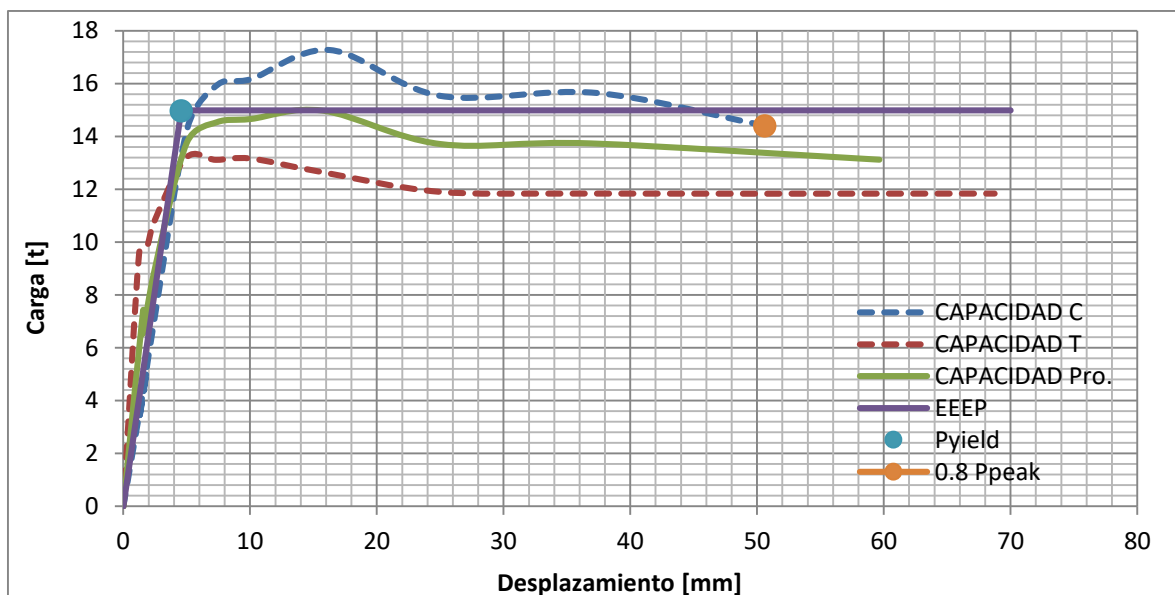


Figura 101: Curvas de capacidad

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

La curva EEEP está definida como una idealización elástica-plástica que encierra un área similar al promedio entre las envolventes positiva y negativa. El rango plástico se define como una recta que pasa por el 40 % de la carga máxima en la envolvente promedio.

Posteriormente se determinó otras propiedades mecánicas del espécimen, especificadas en la norma ASTM 2126, tales como la resistencia al corte, el módulo de corte secante y ductilidad. La ductilidad se define como el cociente entre el desplazamiento último (Δu) y el desplazamiento de fluencia (Δy_{ield}).

$$V_{peak} = \frac{P_{peak}}{L} \quad (18)$$

$$G' = \frac{P}{\Delta} \cdot \frac{H}{L} \quad (19)$$

Dónde:

- V_{peak} : Resistencia al corte
- L : Longitud del espécimen
- G' : Módulo de corte
- P : Carga aplicada en el borde superior del espécimen
- H : Altura de la muestra

A continuación, se presenta una tabla con las características mecánicas del espécimen, calculadas en el estado límite a compresión y tracción.

Tabla 21.

Características mecánicas del pórtico

ESTADO LÍMITE	COMPRESIÓN	TRACCIÓN
Carga máxima (P_{peak}) [t]	17.26	13.19
Desplazamiento último (Δu) [mm]	147.62	132.03
Resistencia al corte (V_{peak}) [t/m]	8.30	6.34
Módulo de corte secante (G') [t/m]	1575.24	3978.80
Ductilidad (D)	11.087	
Deriva máxima	0.0068	
Deriva ultima	0.0615	

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

7.3.2 ENERGÍA DISIPADA

La energía disipada corresponde al área que encierra la curva de histéresis en cada ciclo. Se puede apreciar de mejor manera el crecimiento de la curva, si se tomó en cuenta solo los ciclos primarios de cada paso del ensayo. La gráfica 102 permite visualizar el crecimiento de la energía disipada, hasta el penúltimo paso del ensayo, ya en el último paso del ensayo la energía disipada fue menor y comenzaría a decrecer.

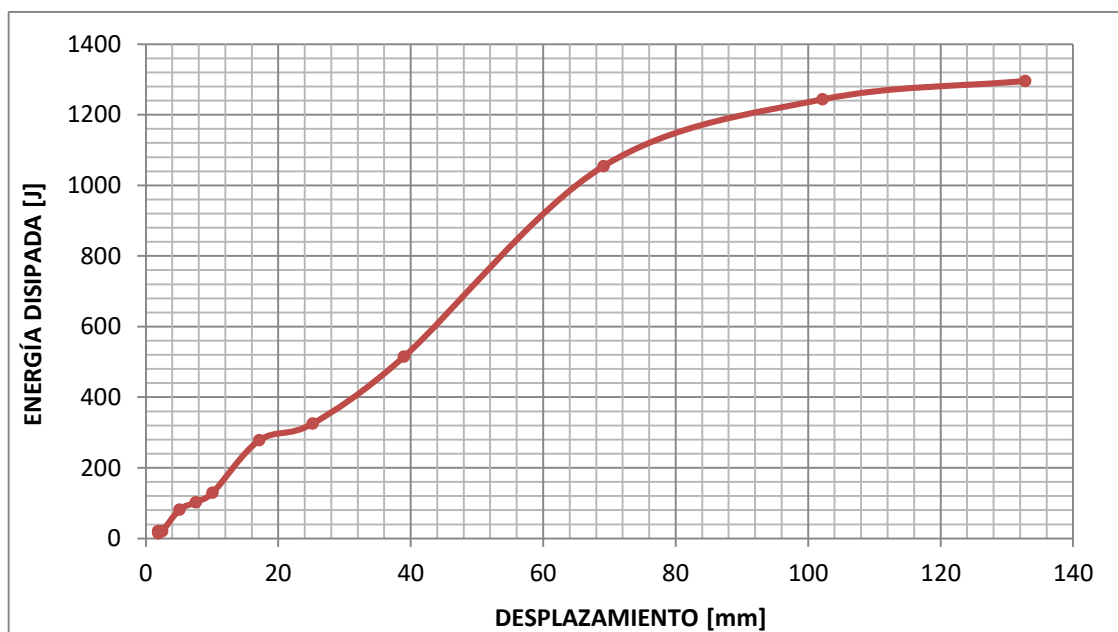


Figura 102: Disipación de energía

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

La energía de disipación creció hasta el penúltimo paso del ensayo, ya en el último paso la energía disipada fue menor y comenzó a decrecer, no se realizó más ciclos debido al daño severo que ya presentaba el espécimen. La energía disipada alcanzó aproximadamente 1296 [J] en un desplazamiento de 132.78 [mm].

7.3.3 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ

La degradación de la rigidez fue calculada a partir de la rigidez inicial y la rigidez secante. La rigidez inicial corresponde a la pendiente que toma la curva al inicio de su ciclo y la rigidez secante es la pendiente que toma la recta entre el punto máximo y mínimo de carga, con sus respectivos desplazamientos. (Pantoja & Albuja, 2017)

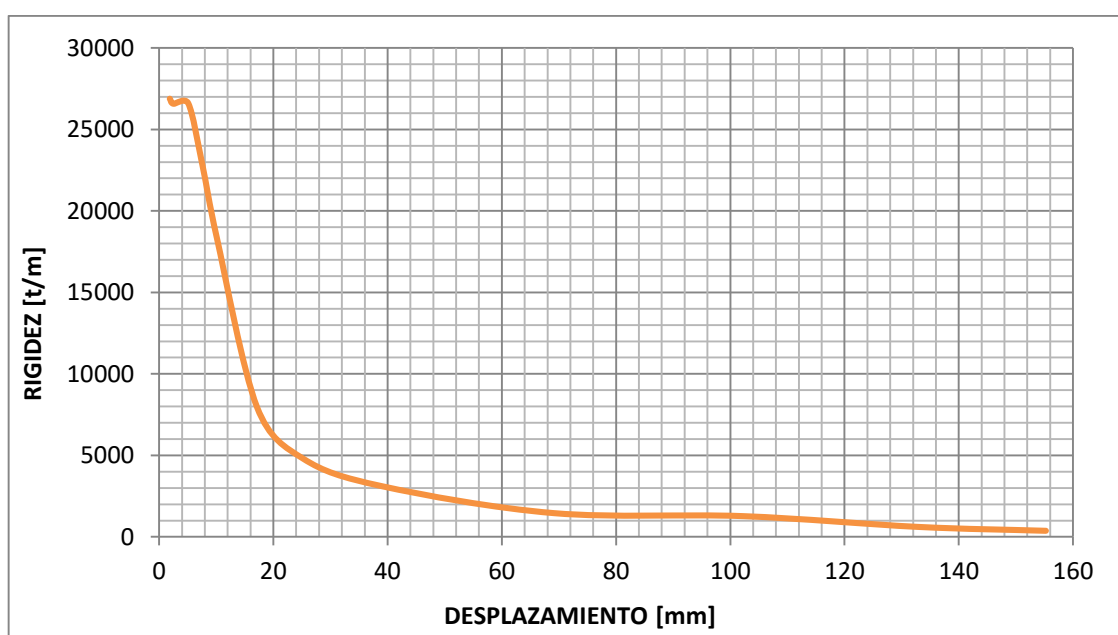


Figura 103: Degradación de la rigidez

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El espécimen al inicio del ensayo registró una rigidez de 26896 [t/m], ya en el último paso del ensayo registra una disminución de rigidez con un valor de 369.77 [t/m], su rigidez decreció aproximadamente en un 98%. Esto se dio debido a que el espécimen se le llevo a su máxima capacidad, en ese estado el daño del panel y del pórtico de hormigón eran muy evidentes y por lo tanto su rigidez muy baja.

7.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON EL TRABAJO DE ALBUJA & PANTOJA

7.4.1 PROTOCOLO DE CARGA

El protocolo de carga utilizado en este trabajo es diferente al usado por Albuja & Pantoja, quienes para elaborar su protocolo de carga se basaron en el incremento de carga por ciclos hasta alcanzar un desplazamiento considerable. El protocolo de carga usado en este trabajo siguió las especificaciones de la norma ASTM E2126, basada en el aumento de desplazamiento hasta lograr la mayor resistencia y el posterior desgaste del espécimen.

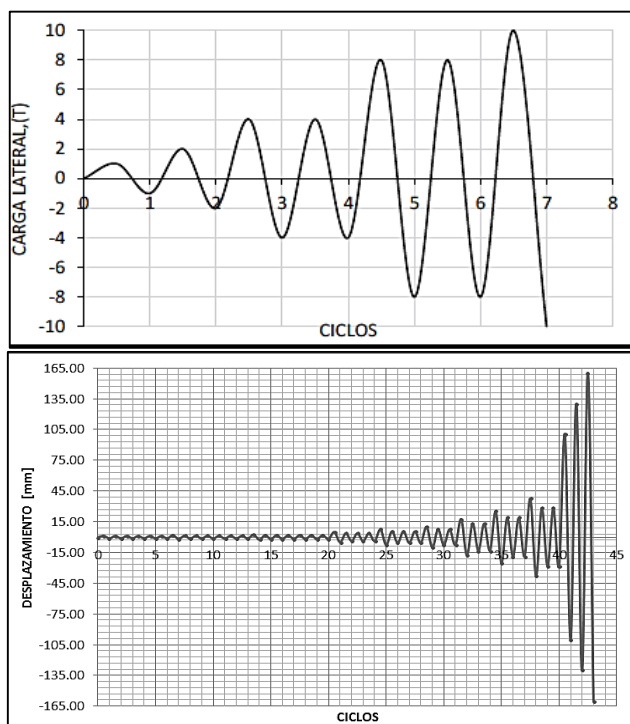


Figura 104: Comparación de protocolos de carga

Fuente: Albuja & pantoja (2017), Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Se puede apreciar en las gráficas como los protocolos de carga difieren en el número de ciclos considerados para el ensayo. En el trabajo de Albuja & Pantoja se realizó 12 ciclos bajo carga cíclica y 7 ciclos bajo carga unidireccional, mientras que para este trabajo se realizó 42 ciclos bajo carga cíclica (13 ciclos primarios y 29 ciclos de arrastre distribuidos en cada paso).

7.4.2 ESTADO FINAL LUEGO DEL ENSAYO

Las fisuras en el panel de relleno y las fallas en el pórtico de hormigón se presentaron de diferente manera, tanto para el trabajo de Albuja & Pantoja como para este trabajo, debido a un diferente protocolo de carga y al diferente reforzamiento que contiene cada uno.



Figura 105: Comparación de estados finales

Fuente: Albuja & Pantoja (2017), Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Las fisuras en el pórtico de Albuja & Pantoja aparecen en la esquina del panel cerca del punto de aplicación de carga y en su esquina opuesta, con direcciones hacia el centro del panel, esto indica una buena respuesta de su sistema de reforzamiento con malla de acero de diámetro 8 [mm], también indica una alta rigidez debido a que el daño es severo, pero no se evidencia un desprendimiento total de material. Con respecto al pórtico de este trabajo las fisuras aparecieron en los costados del panel, cerca de las columnas en direcciones hacia el centro del panel en el sentido horizontal, esto indica la respuesta que da este tipo de reforzamiento frente a la aplicación de carga cíclica.

El refuerzo corresponde a una malla de poco espesor con una configuración especial, que trabaja a mayor capacidad en el sentido horizontal, la rigidez de este sistema es inferior en comparación al pórtico de Albuja & Pantoja, sin embargo, debido al diferente protocolo de carga, el pórtico de este trabajo tuvo un mayor desgaste por la gran cantidad de ciclos completos realizados (42 ciclos), el pórtico de Albuja & Pantoja debido a limitaciones del laboratorio en los años cuando se realizó dicho trabajo, solo fue expuesto a 12 ciclos de carga cíclica completa y 7 ciclos unidireccionales a compresión.

7.4.3 CURVAS DE HISTÉRESIS

Para esta comparación se decidió usar las gráficas de histéresis hasta el tercer patrón, debido a que en el trabajo de Albuja & Pantoja solo se realizó 12 ciclos de carga cíclica completa.

Las curvas de histéresis presentadas del trabajo de Albuja & Pantoja corresponden al ciclo 12 donde se alcanzó una carga lateral de 20 [t] y un daño casi nulo en el sistema, con pequeñas fisuras en el panel y en columnas y vigas. Las curvas de histéresis de este trabajo, para el patrón 3, correspondiente al paso 5, ciclo 28, alcanzaron una carga lateral de 16 [t] y un daño moderado en el sistema, con fisuras menores en las esquinas y una fisura amplia horizontal cerca de la parte superior del espécimen.

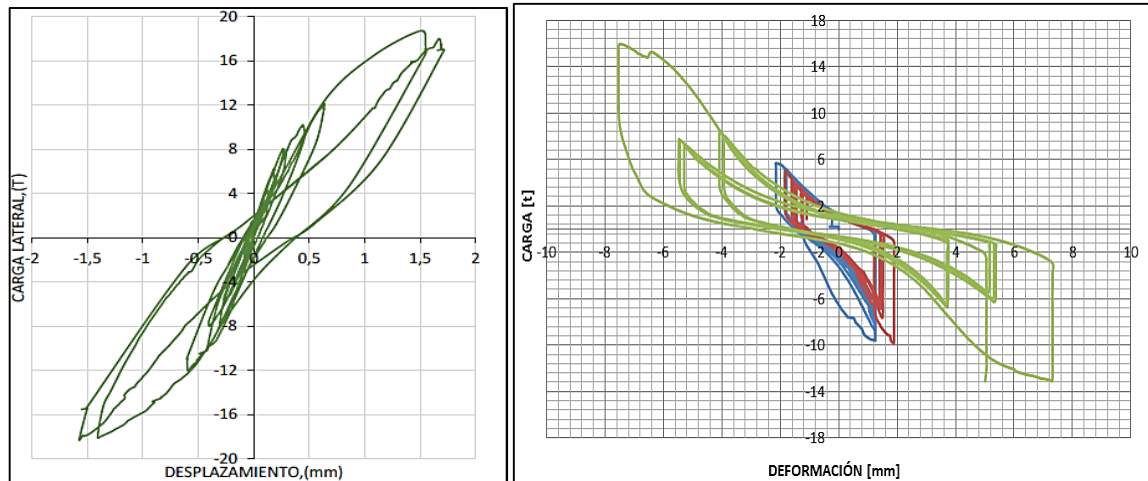


Figura 106: Comparación de curvas de histéresis completas

Fuente: Albuja & patoja (2017), Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El diagrama de histéresis de Albuja & Pantoja presenta lazos de histéresis continuos y más rectos, lo que indica que el espécimen aun no alcanzado su capacidad máxima y que puede seguir soportando más transmisión de carga, mientras que el diagrama de este trabajo presenta lazos de histéresis más alargados y amplios, señal de que el espécimen están llegando a su máxima capacidad de carga y se encuentra disipando más energía.

Es muy evidente la diferencia en el desplazamiento alcanzado por los dos diagramas en esa etapa del ensayo, aproximadamente 2 [mm] en el trabajo de Albuja & Pantoja y 8 [mm] para este trabajo. Clara señal de que el sistema de reforzamiento usado por Albuja & Pantoja genera una estructura más rígida en comparación de una estructura reforzada con Malla Nervometal, sin embargo, a pesar de la gran diferencia de desplazamiento, ambas estructuras se encontraban con daño moderado en similares características.

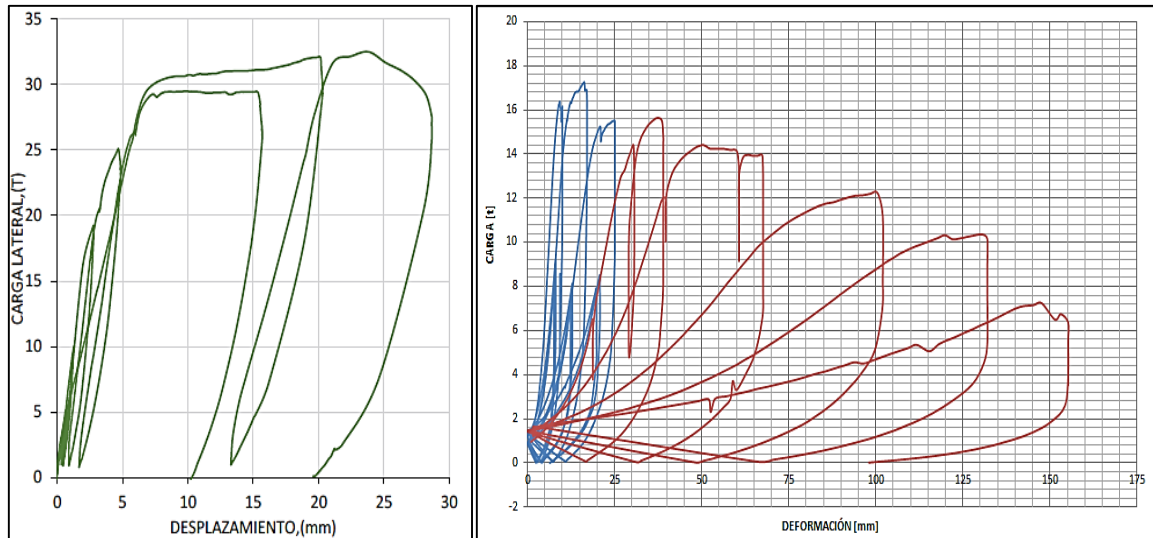


Figura 107: Comparación de curvas finales

Fuente: Albuja & Pantoja (2017), Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Para comparar los resultados finales se usó el resto de datos tomando en cuenta solo la parte que corresponde a la compresión. Debido a que en el trabajo de Albuja & Pantoja luego de alcanzar una capacidad de 20 [t], se continuó con un ensayo unidireccional. La gráfica de Albuja & Pantoja presenta una curva monótonica correspondiente al ciclo 7 de su ensayo unidireccional, donde se alcanzó una carga lateral de 31 [t], con daño severo en el panel y en el pórtico de hormigón. La siguiente gráfica correspondiente a este trabajo presenta la mitad de la curva de histéresis de los patrones 4 y 5, donde se alcanzó una carga lateral de 17.3 [t] con daño severo en todo el sistema y desprendimiento de material en el panel.

Las curvas finales de la gráfica de Albuja & Pantoja presentan gran amplitud y tendencia vertical, lo que indica que el espécimen a pesar del daño severo aún mantiene cierta cantidad de rigidez y ha disipado una gran cantidad de energía, mientras que la gráfica de este trabajo presenta curvas con amplitud moderada y una tendencia progresiva hacia la horizontal, lo que indica la caída de rigidez del espécimen, sin embargo, el espécimen continua disipando energía hasta alcanzar su máxima deformación.

Al igual que en la anterior comparación la diferencia de desplazamiento es muy evidente para las dos gráficas, aproximadamente 30 [mm] en la gráfica de Albuja & Pantoja y 155 [mm] en la gráfica de este trabajo. Esto indica la alta rigidez que se alcanza usando el sistema de reforzamiento convencional de malla cuadrangular de acero, en comparación con el sistema de reforzamiento usando Malla Nervometal, el cual presenta un muy reducido espesor y una configuración especial que trabaja más en el sentido horizontal dependiendo su colocación. Si bien la gran diferencia existente en el desplazamiento evidencia diferentes rigideces en ambos sistemas, también evidencia una buena ductilidad que el sistema usado en este trabajo presenta.

7.4.4 CURVAS DE CAPACIDAD

Las curvas de capacidad de ambos trabajos evidencian la máxima capacidad que cada espécimen logro durante su ensayo, 31 [t] de carga lateral unidireccional en su etapa final y un desplazamiento máximo de 28.6 [mm] para el trabajo de Albuja & Pantoja, mientras que para este trabajo se alcanzó 17.3 [t] de carga lateral cíclica y un desplazamiento máximo de 155 [mm].

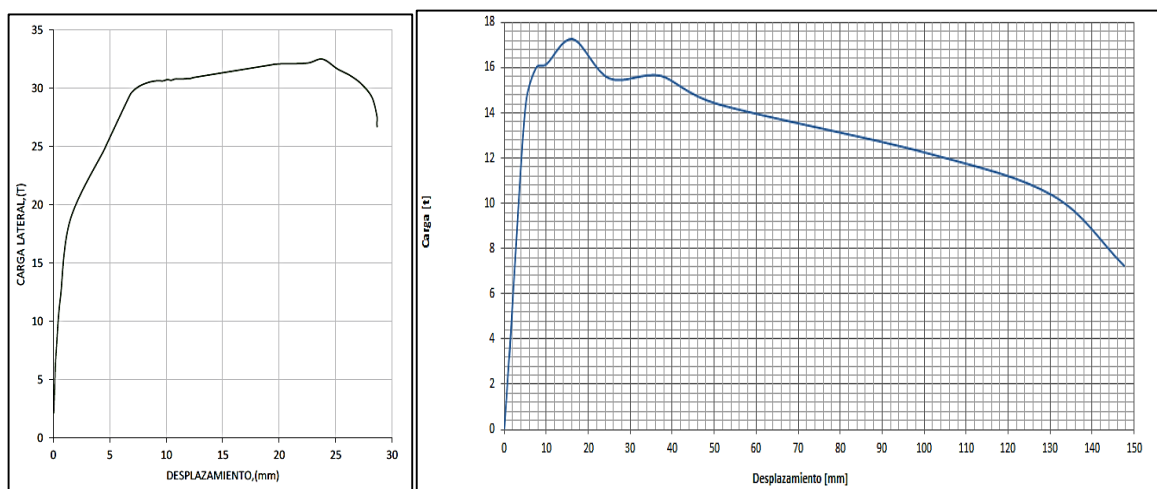


Figura 108: Comparación de curvas de capacidad

Fuente: Albuja & patoja (2017), Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Las curvas muestran como para el trabajo de Albuja & Pantoja, luego de haber alcanzado su máxima capacidad, su espécimen no siguió recibiendo carga, debido al daño severo que el pórtico presentó, mientras que el espécimen de este trabajo luego de haber alcanzado su máxima capacidad de carga lateral, siguió recibiendo carga progresivamente más baja acompañada de gran aumento de desplazamiento, hasta alcanzar un daño severo y desprendimiento de material.

7.4.5 DEGRADACIÓN DE LA RIGIDEZ

Para esta parte se tomó la gráfica de degradación de rigidez de los tres pórticos que elaboraron Albuja & Pantoja, debido a que no había una gráfica existente que mostrara únicamente la información del pórtico reforzado.

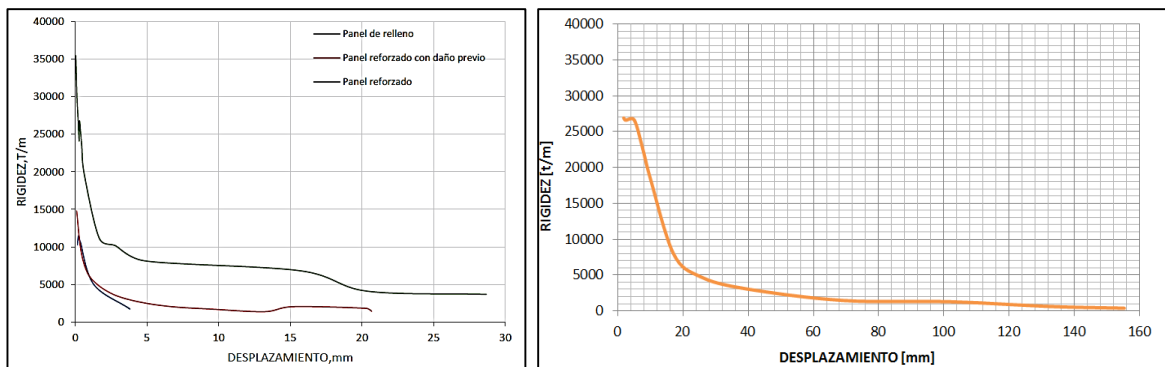


Figura 109: Comparación de degradación de rigidez

Fuente: Albuja & Pantoja (2017), Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

El pórtico reforzado de Albuja & Pantoja registra inicialmente una rigidez de 35433 [t/m] mientras que la rigidez inicial del pórtico de este trabajo corresponde a 26896 [t/m], ambas gráficas tienen decrecer exponencialmente. Al término de los ensayos, el pórtico de Albuja & Pantoja registra una rigidez de 3699 [t/m], lo que representa una degradación del 90%, por otro lado, el pórtico de este trabajo registra una rigidez final de 369 [t/m] lo que representa una degradación del 98%.

El pórtico de este trabajo presenta una mayor degradación de rigidez, en comparación con el pórtico de Albuja & Pantoja, eso indica la capacidad de este sistema para transmitir la mayor cantidad de su capacidad antes de llegar a un colapso parcial. Esto permite considerar con mayor precisión, los límites que el uso de Malla Nervometal como reforzamiento puede otorgar.

7.4.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ESPECIMENES

En base a la información encontrada en el trabajo de Albuja & Pantoja, se pudo elaborar la siguiente tabla de propiedades mecánicas para los correspondientes especímenes. Tomando en cuenta que la geometría de los elementos estructurales de ambos pórticos es similar.

Tabla 22.

Propiedades mecánicas de los pórticos de Albuja & Pantoja, y P Llumiquinga.

PÓRTICO	P. LLUMIQUINGA	ALBUJA & PANTOJA
Carga máxima (Ppeak) [t]	17.26	31.00
Desplazamiento último (Δu) [mm]	147.62	28.67
Resistencia al corte (Vpeak) [t/m]	8.30	14.76
Módulo de corte secante (G') [t/m]	1575.24	2288.10
Ductilidad (D)	11.09	6.78
Deriva	0.0068	0.0083

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Se puede apreciar en la tabla como varias de las propiedades mecánicas mencionadas son superiores para el pórtico de Albuja & Pantoja, sin embargo, la ductilidad en el espécimen de este trabajo es superior. Esto indica que, si bien el sistema de reforzamiento con Malla Nervometal no posee buena capacidad para soportar carga lateral en comparación con el espécimen de Albuja & Pantoja, por otro lado, posee buena capacidad de ductilidad, esta propiedad puede permitirle al refuerzo de la mampostería recuperarse sin problema en el caso de que este sometido a cargas cercanas a su capacidad máxima.

7.4.7 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Este análisis pretende dar a conocer el costo que se requiere para la construcción de un muro reforzado con Malla Nervometal, y comparar dicho resultado con el costo para la construcción de un muro reforzado con malla cuadrangular de acero, empleado en el trabajo de Albuja & Pantoja.

Para este análisis se consideró el costo de la mano de obra y de los materiales. La mano de obra empleada para la construcción del muro reforzado con Malla Nervometal fue adquirida para un pago por día, debido a ciertas complicaciones. Por esa razón se considerará dentro del análisis el costo de mano de obra por semana, según el tiempo que se requiera para la construcción del muro. Con todos los gastos calculados se hará una comparación entre los costos para determinar ventajas y desventajas ante la construcción de un muro con reforzamiento que genera una buena capacidad de resistencia a carga lateral con cierto costo, frente a la construcción de un muro con un reforzamiento que genera una moderada capacidad de resistencia a carga lateral con un menor costo.

Tabla 23.

Costo de construcción de modelos

	REFORZAMIENTO CON MALLA CUADRICULAR	REFORZAMIENTO CON MALLA NERVOMETLA
MATERIALES (\$)	592.10	408.32
MANO DE OBRA (\$)	330.00	375.00
COSTO TOTAL (\$)	922.10	783.32
DIFERENCIA DE PRECIOS	138.78	
PORCENTAJE %	15.1	

Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

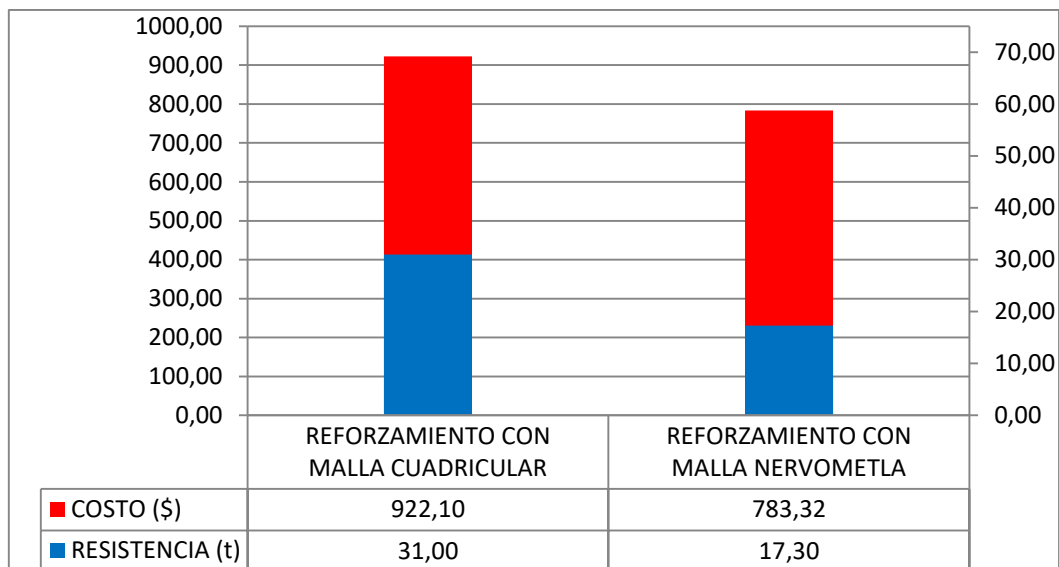


Figura 110: Comparación de costos y resistencia

Fuente: Albuja & patoja (2017), Elaborado: Llumiquinga P. (2022)

Como se puede apreciar la diferencia de costos es de 15% aproximadamente, un valor que depende sobre todo del costo del material de reforzamiento, la malla cuadrangular de diámetro predeterminado tiene un costo superior a la Malla Nervometal. El costo de mano de obra para el uso de Malla Nervometal es ligeramente superior, debido a que el uso de este material para reforzamiento no tiene antecedentes y por ello su colocación requirió más tiempo y dedicación.

Si bien el porcentaje de costo en diferencia de precios es de aproximadamente 15%, frente a una diferencia de resistencia a carga lateral de aproximadamente 45%, el uso de malla nervometal no genera una gran capacidad a resistencia, pero aporta con otras capacidades a la estructura, como una buena capacidad de ductilidad y un comportamiento más elástico. Estas capacidades pueden generar un beneficio durante una rehabilitación de la estructura que haya optado por el uso de este sistema, debido a que la estructura pueda recuperarse constantemente ante cargas que se encuentren cerca de su máxima capacidad.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se determinó varias características físicas y mecánicas del muro reforzado con malla Nervometal, tales como curva de histéresis, capacidad a compresión y tracción horizontal, energía disipada, degradación de la rigidez y ductilidad.
- Los materiales utilizados para elaboración de todos los especímenes cumplieron con los lineamientos de las normas técnicas citadas para este trabajo, por lo tanto, sus propiedades físicas y mecánicas permiten que el pórtico de hormigón y el muro de mampostería puedan aportar con casi toda su capacidad.
- La resistencia establecida para este trabajo fue de 210 [kg/cm²], en laboratorio con el tratamiento de materiales se estableció una dosificación para la resistencia pretendida, la resistencia obtenida en laboratorio fue de aproximadamente 230 [kg/cm²], durante la construcción del espécimen, debido a falta de control durante la elaboración del hormigón se obtuvieron valores de resistencia diferentes para cada elemento, sin embargo, el promedio fue aproximadamente 210 [kg/cm²], por lo tanto el parámetro de comparación con el trabajo de Albuja & Pantoja se mantuvo.
- El producto en estudio Mala Nervometal en su catálogo comercial, no se halló información acerca de sus propiedades físicas y mecánicas, por lo tanto, se le realizó estudios de laboratorio, que arrojaron resultados muy bajos en su capacidad a tracción, por lo tanto, la malla no aportará una gran capacidad a tracción, pero colocada y en conjunto con el sistema de reforzamiento aporta una buena capacidad de ductilidad y un comportamiento más flexible de la estructura.

- El diseño de los muretes cumplió con los lineamientos de la NEC-SE-MP 2015 y de la norma ASTM E519-20, por lo tanto, sus resultados son un reflejo similar del comportamiento que estos tendrán en una estructura más amplia.
- El producto en estudio Malla Nervometal proporcionó a los muretes reforzados un incremento de resistencia bajo carga vertical y un comportamiento en el cual el espécimen aumenta y disminuye su carga progresivamente hasta alcanzar su máxima capacidad.
- El diseño del pórtico de hormigón cumplió con los requerimientos de la NEC15 y la ACI 318S-19, y se siguió un parámetro de comparación con el trabajo de Albuja & Pantoja, con respecto a las dimensiones de sus elementos estructurales, incorporado el producto Malla Nervometal se generó un reforzamiento de resistencia moderada que puede ser empleado en la rehabilitación de estructuras que no requieran gran aumento en su capacidad de resistencia.
- El parámetro de comparación con el trabajo de Albuja & Pantoja, fue mantenido dentro de los alcances del trabajo, sin embargo, debido a algunos cambios en la dimensión de algunos elementos del pórtico y a un armado ligeramente diferente, se estableció que se compararan los resultados de ambas estructuras, pero teniendo en cuenta que no son especímenes iguales.
- Las verificaciones y cálculos de la capacidad a corte del muro, fueron elaborados en base a las especificaciones de las normas NEC15 y ACI 318S-19, dando como resultado que el muro tiene una capacidad a corte de aproximadamente 25 [t], en el ensayo experimental se alcanzó una resistencia de 17.3 [t], por lo tanto, la resistencia del muro dependió en gran porcentaje del proceso constructivo empleado y de la conexión entre el reforzamiento y el muro.
- La Malla Nervometal posee una configuración especial en su sección longitudinal, su incorporación como reforzamiento aportó resistencia moderada bajo carga lateral, mejorando la capacidad del muro en un 35%, un porcentaje bajo, pero compensa con el gran aporte a la capacidad de ductilidad que proporciona.

- El método de conexión entre el pórtico de hormigón y el reforzamiento se realizó en base a conectores en vigas y columnas, y a binchas transversales en toda el área de la mampostería, dicho método resultó poco eficiente para el sistema de reforzamiento en estudio, debido a que el amarre entre los conectores y la malla no generó un nudo suficientemente rígido, sin embargo, esta deficiencia fue compensada con un aumento en la cantidad de binchas amarradas en todo el ancho del panel.
- La rigidez de un muro de mampostería reforzado con Malla Nervometal aumenta en un 263%, mientras que el aumento de rigidez con reforzamiento de malla cuadrangular es de 345%, esto se debe a la gran diferencia en la cantidad de acero colocado, además de las propiedades físicas y mecánicas superiores en el reforzamiento con malla cuadrangular, por lo tanto, el sistema de reforzamiento usando Malla Nervometal puede aumentar la capacidad de rigidez, pero solo debería ser empleado en estructuras que requieran poco aumento de rigidez.
- Al reforzar el muro con Malla Nervometal se obtuvo una ductilidad de 11.09, superior a la obtenida en el trabajo de Albuja & Pantoja, 6.78, esto indica que un sistema que emplea Malla Nervometal poseerá una buena capacidad de ductilidad frente a otros tipos de reforzamiento comúnmente usados.
- La energía disipada en un muro reforzado con Malla Nervometal se mantiene en constante crecimiento y continúa disipando energía luego de alcanzar su máxima capacidad de carga lateral, esto indica el buen comportamiento elástico que posee el sistema.
- El costo de los especímenes analizados difiere en un 15%, este valor está centrado en el costo del refuerzo utilizado en cada muro, el uso de Malla Nervometal como reforzamiento es más barato, pero debe ser usado en sistemas que no requieran un gran aumento de rigidez o en rehabilitaciones de estructuras que presenten poco daño previo.
- El presente trabajo es un antecedente para continuar con la investigación de diferentes usos que puede poseer el producto Malla Nervometal para la construcción en general.

RECOMENDACIONES

- Por las limitaciones del proyecto no se pudo realizar más especímenes de muro, por ello se recomienda en otros estudios realizar suficientes especímenes para apreciar de mejor manera el incremento de capacidad de un muro reforzado frente a uno de relleno.
- Para la construcción de muretes se recomienda establecer una buena simetría en sus dimensiones, para evitar concentración de esfuerzos durante los ensayos.
- Se recomienda realizar una adecuada dosificación de mortero, ya que gran parte de la capacidad del reforzamiento depende de la calidad del mortero de enlucido.
- Las muestras de material deben ser ensayadas en el tiempo que establece la norma que se esté usando como guía, para evitar errores e inconvenientes en los cálculos y resultados posteriores.
- Se recomienda que para una elaboración in situ de hormigón, seguir las especificaciones de dosificación establecidas en laboratorio, para evitar poca pérdida de resistencia por condiciones locales.
- Se recomienda para otros especímenes aumentar la cantidad de acero en la unión viga columna, zona donde empezó la falla del pórtico de hormigón, esto permitirá conocer si el panel del muro puede aportar más capacidad.
- Se recomienda supervisar constantemente la construcción de los especímenes para evitar fallas en la simetría de las probetas, y controlar que los lineamientos establecidos para el proyecto se cumplan.
- Para la colocación de la Malla Nervometal se recomienda primero colocar una capa de mortero de enlucido, posteriormente la malla y mortero de recubrimiento, debido a que por la configuración de la malla el espacio para que pase mortero es muy reducido, y sin una capa previa no habrá buena adherencia entre la malla y el muro.
- La configuración de la Malla Nervometal está dirigida a trabajar en una sola dirección, sin embargo, se recomienda que la malla sea anclada a lo largo de todo el perímetro del pórtico de hormigón y que se considere soldar en las uniones con los conectores de vigas y columnas.

- Para los ensayos de muretes se recomienda colocar placas de acero que cubran toda la superficie de contacto del murete, de esta manera se asegura que la carga se distribuirá uniformemente.
- Durante los ensayos de carga cíclica se recomienda seguir con precisión los límites para cada ciclo de carga, de esa manera no se expone al espécimen a un desgaste anticipado, antes de llegar a su máxima capacidad.
- En el presente trabajo no se pudo realizar una modelación en software debido a la dificultad en la configuración de la malla y al alcance limitado del proyecto, por ello se recomienda que para la modelación de reforzamiento con Malla nervometal usar un software más sofisticado, el programa ETABS no posee una opción que permita modelar dicho reforzamiento, se debe emplear otros programas que permitan ingresar la configuración geométrica de la Malla Nervometal.

BIBLIOGRAFÍA

- Albuja D., Pantoja J., 2017. ESTUDIO DEL REFORZAMIENTO DE LA MAMPOSTERIA DE BLOQUE DE HOMIGON CON LA MALLA ELECTROSOLDADA MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS. Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital – EPN. Páginas 1-120.
- American Concrete Institute, 2019. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. ACI 318S-19. Farmington Hills, MI 48331 USA.
- Anasi O., Arévalo D., 2015. ANALISIS COMPARATIVO DE MUROS DE CORTANTE DE HORMIGON ARMADO CON DIFERENTE RELACION DE ASPECTO A TRAVES DE ENSAYOS DE CARGA LATERAL. Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital – EPN. Páginas 1-110.
- Angulo G., López C., 2008. REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO ARTESANAL. Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital – EPN. Páginas 1-154.
- ASTM International. (2020). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens). ASTM C109. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2020). Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages. ASTM E519. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2020). Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units. ASTM C140. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2006). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM C39. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2018). Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM C33. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. ASTM C136. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2012). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. ASTM C128. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2012). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. ASTM C127. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.

- ASTM International. (2019). Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete. ASTM C40. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2017). Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. ASTM C29. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ASTM International. (2018). Standard Test Method for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems for Buildings. ASTM E2126. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10, TITULO D MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL. Dirección del Sistema Habitacional, BOGOTÁ, COLOMBIA.
- Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2015. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL, NEC - SE – MP. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, QUITO, ECUADOR.
- Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2015. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION VIVIENDAS DE HASTA 2 PISOS CON LUCES DE HASTA 5M, NEC - SE - VIVIENDA. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, QUITO, ECUADOR.
- Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2015. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO, NEC - SE – HM. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, QUITO, ECUADOR.
- Fernández L., Paredes P., 2010. INVESTIGACION TEORICO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL ALTERNATIVO. Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital – EPN. Páginas 1-130.
- Fratelli M., 199. EDIFICIOS DE PANTALLAS Y ESTRUCTURAS APORTICADAS. <https://dokumen.tips/documents/maria-fratelli-edificios-de-pantallas-y-estructuras-aporticadas.html?page=1>
- Gabriels D., Lobo D., 2011. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. Universidad Central de Venezuela. Volumen 14.
- Gallegos H., Casabone C., 2005. Albañilería Estructural. Lima: Fondo Editorial de la Pontificada Universidad Católica del Perú.
- INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, BLOQUES DE HORMIGÓN, REQUISITOS Y METODOS DE ENSAYO, NTE INEN 3066. QUITO, ECUADOR.
- Játiva J., Torres I., 2021. ESTUDIO DEL REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERÍA

DE BLOQUE DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS DETRUCTIVOS APLICADOS A PÓRTICOS DE ACERO CON JUNTAS APERNADAS. Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital – EPN. Páginas 1-167.

Láncer V., 2010. LA VIVIENDA PRECARIA Y SU REPERCUSIÓN SOBRE LA SALUD Y EL BIENESTAR DE SUS HABITANTES. Doctorado en Periferias, Sostenibilidad y Vitalidad Urbana. Páginas 1-119.

Lima K., Paredes J., 2017. ESTUDIO ANALITICO-EXPERIMENTAL DEL DESEMPEÑO DE UN PORTICO DE HORMIGON ARMADO CON PANEL DE RELLENO DE BLOQUE DE BAJA RESISTENCIA, A TRAVES DE UN ESAYO A CARGA LATERAL Y MODELO COMPUTACIONAL. Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital – EPN. Páginas 1-90.

Lirola C., 2020, Sistemas Constructivos tradicionales frente a modernos, Autopromotores, Obtenido de <https://www.autopromotores.com/sistemas-constructivos/>

Lugo Y., Monroy S., 2020. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MURETES DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL CON BLOQUES DE MORTERO ADICIONADOS CON VIDRIO MOLIDO COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE DE CONSTRUCCIÓN. Trabajo de grado, Universidad de Cartagena. Páginas 1-115.

Pachano A., 2018. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS PARA MODELOS NO LINEALES DE MAMPOSTERÍA DE RELLENO EN PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO OBTENIDOS DE MANERA EXPERIMENTAL. Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital – EPN. Páginas 1-254.

Pineda J, Alcocer S. (2004). COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS LATERALES DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA REFORZADOS CON MALLA DE ALAMBRE SOLDADO. Coyoacán: Centro Nacional de Prevención de Desastres de Mexico.

Sánchez D., 2001. TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO. Bhandar Editores. Santa Fe de Bogotá: Pontificada Universidad Javeriana.

ANEXOS

ANEXO 01

RESULTADOS DE ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN



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



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0455-I
Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PAOLO VALENTINO LLUMQUINGA SOTO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0987938339

Quito, 13 de octubre de 2022

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL PRODUCTO MALLA NERVOMENTAL UTILIZADO EN MUROS REFORZADOS
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: COLUMNA
NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO * ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	INST COL 17	2022-08-03	2022-08-10	7	102,75	8292	2150	108,8	TIPO 5	A	12,9	0,10
2	INSTCOL 47	2022-08-03	2022-08-10	7	102,00	8171	2210	94,3	TIPO 2	A	11,8	0,11
3	INST COL 214	2022-08-03	2022-08-10	7	104,25	8536	2140	129,2	TIPO 2	A	15,2	0,10
4	INST COL 514	2022-08-03	2022-08-10	7	103,00	8332	2170	120,9	TIPO 3	A	14,5	0,11
5	INST COL 328	2022-08-03	2022-08-10	7	101,25	8052	2180	148,0	TIPO 5	A	18,4	0,11
6	INST COL 628	2022-08-03	2022-08-10	7	101,25	8052	2160	119,0	TIPO 2	A	14,8	0,11

TIPO DE FALLA

Tipo 1
Conos en ambos extremos simétricamente bien formados, fractura a través de los conos.

Tipo 2
Cono bien formado en uno de los extremos, fractura vertical que recorre a través de la cabeza, como no muy definido en el otro.

Tipo 3
Fractura vertical a lo largo de ambos extremos, conos no muy definidos.

Tipo 4
Fractura diagonal sin fractura a través de los bordes, golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1.

Tipo 5
Fracturas a los lados en el extremo superior o en el fondo (ocurren).

Tipo 6
Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está...

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 en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre expandida de los resultados. El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

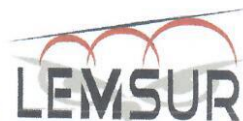
ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



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



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No 22-0458-I
 Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PAOLO VALENTINO LLUMQUINGA SOTO
 Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
 Teléfono: 0987938339

Quito, 13 de octubre de 2022

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL PRODUCTO MALLA NERVOENTAL UTILIZADO EN MUROS REFORZADOS
 Contratante: ***
 Contratista: ***
 Fiscalizador: ***
 ELEMENTO: VIGA
 NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO * ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	INST VS 01	2022-09-08	2022-10-05	27	149,25	17495	2300	387,9	TIPO 2	A	22,2	0,08
2	INST VS 02	2022-09-08	2022-10-05	27	148,50	17320	2330	460,3	TIPO 5	A	28,5	0,10
3	INST VS 03	2022-09-06	2022-10-05	27	149,25	17495	2310	480,8	TIPO 4	A	28,4	0,10

TIPO DE FALLA

Tipo 1
Conos en ambos extremos rotos o rebatidos. Escras a través de la cabecera menor a 25 mm.

Tipo 2
Conos bien formados en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.

Tipo 3
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.

Tipo 4
Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes, golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1.

Tipo 5
Fracturas a los lados en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con un cono).

Tipo 6
Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta.

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 proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron.

U representa la incertidumbre expandida de los resultados.

El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
 Ext.: 1609

COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTERO DE CEMENTO



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



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0457 - I
Hoja 01 de 04

Quito, 13 de octubre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PAOLO VALENTINO LLUMIQUINGA SOTO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0987938339

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL PRODUCTO MALLA NERVOMENTAL UTILIZADO EN MUROS REFORZADOS

Contratante: ***

Contratista: ***

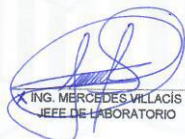
Fiscalizador: ***

NORMA: ASTM C109

Nº	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	PESO (g)	CARGA (T)	CARGA (kN)	ESFUERZO (kg / cm²)	ESFUERZO (MPa)
1	2022-05-30	CM1-7	2022-06-06	7	261,2	2,35	23,05	90	8,8
2	2022-05-30	CM2-7	2022-06-06	7	264,2	2,42	23,77	95	9,4
3	2022-05-30	CM3-7	2022-06-06	7	265,8	1,71	16,73	68	6,6
4	2022-05-31	CM4-7	2022-06-07	7	262,7	2,34	22,97	91	8,9
5	2022-05-31	CM5-7	2022-06-07	7	271,8	2,43	23,80	96	9,4
6	2022-05-31	CM6-7	2022-06-07	7	269,3	2,15	21,13	85	8,4
7	2022-06-01	CM7-7	2022-06-08	7	285,3	2,43	23,80	94	9,2
8	2022-06-01	CM8-7	2022-06-08	7	269,8	2,30	22,55	92	9,0
9	2022-06-01	CM9-7	2022-06-08	7	268,2	1,42	13,93	55	5,4

OBSERVACIONES:

La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

CCV:022-010-I

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

TRACCIÓN EN MALLA NERVOMETAL



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



TRACCIÓN EN ELEMENTOS METÁLICOS

INF. No. 22 - 458-I
Hoja 01 de 02

Quito, 18 de octubre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PAOLO VALENTINO LLUMIQUINGA SOTO
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL PRODUCTO MALLA NERVOMETAL UTILIZADO EN MUROS REFORZADOS

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

NORMA: ASTM E8

Datos de la probeta de ensayo				
Identificación	Material/Procedencia	Tipo de probeta	Sección transversal ⁽¹⁾	
			D ₁ (mm)	D ₂ (mm)
9-I-01	Malla nervometal	Placa	6,8	0,64
				Área (mm ²) 4,4
Datos del ensayo				
Velocidad de ensayo mm/min	Límite de fluencia superior ⁽²⁾	Resistencia a la tracción	Elongación después de la rotura	
	Fuerza (kN)	Fuerza máxima (kN)	Longitud calibrada inicial (mm)	Longitud calibrada final después de la rotura (mm)
5	0,40	0,60	91,00	99,80

Resumen de resultados	
Límite de fluencia superior (MPa)	92
Resistencia a la tracción (MPa)	137
Elongación después de la rotura (%)	9,5



Observaciones: Todos los datos de la probeta de ensayo (identificación, material/procedencia) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente al ítem ensayado.

La información del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

(1) D₁ y D₂ corresponden a las dimensiones de la sección central de la probeta de ensayo. En el caso de probetas circulares, se reportan dos diámetros medidos o nominales.

(2) El límite de fluencia superior corresponde al esfuerzo en el cual la gráfica esfuerzo - desplazamiento deja de ser recta.

ING. MERCEDES-VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 02

RESULTADOS DE ENSAYOS EN BLOQUES DE HORMIGÓN

DENSIDAD ABSORCIÓN EN BLOQUES DE HORMIGÓN

No	Descripción	Ancho			Promedio	Largo			Promedio	Altura			Promedio	Peso Natural	Peso saturado	Peso sumergido	Peso seco
		cm	cm	cm		cm	cm	cm		cm	cm	cm					
1	L1CB1	15.20	15.10	15.20	15.17	40.30	40.20	40.20	40.23	19.90	19.80	19.60	19.77	10.336	11.415	5.060	9.813
2	L1CB2	15.20	15.00	15.20	15.13	40.50	40.60	40.50	40.53	19.90	19.90	19.60	19.80	11.089	12.180	5.830	10.597
3	L1CB3	14.90	14.90	14.70	14.83	40.50	40.40	40.40	40.43	19.60	19.70	20.00	19.77	10.308	11.384	5.039	9.883
4	L2CB4	15.30	15.30	15.40	15.33	40.60	40.80	40.70	40.70	20.00	19.90	20.10	20.00	11.949	12.810	6.146	11.320
5	L2CB5	15.00	15.00	15.00	15.00	40.40	40.30	40.10	40.27	19.90	20.20	20.00	20.03	10.574	11.483	5.026	9.789
6	L2CB6	15.20	15.00	15.40	15.20	40.40	40.60	40.80	40.60	19.80	19.60	19.60	19.67	11.051	11.994	5.603	10.416

DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE BLOQUES																	
No	Descripción	Ancho [cm]	Largo [cm]	Altura [cm]	Peso Natural	Peso saturado	Peso sumergido	Peso seco	Absorción			Contenido de humedad		Densidad		Clasificación	
									[kg/m ³]	Promed	%	Promedio	%	Promedio	[kg/m ³]		Promedio
1	L1B1	15.17	40.23	19.77	10.336	11.415	5.060	9.813	252.085		16.33		32.65		1544.14		Liviano
2	L1B2	15.13	40.53	19.80	11.089	12.180	5.830	10.597	249.291	245.98	14.94	15.48	31.08	30.68	1668.82	1590.19	Liviano
3	L1B3	14.83	40.43	19.77	10.308	11.384	5.039	9.883	236.564		15.19		28.31		1557.60		Liviano
4	L2B4	15.33	40.70	20.00	11.949	12.810	6.146	11.320	223.589		13.16		42.21		1698.68		Liviano
5	L2B5	15.00	40.27	20.03	10.574	11.483	5.026	9.789	262.351	244.28	17.31	15.21	46.34	42.93	1516.03	1614.83	Liviano
6	L2B6	15.20	40.60	19.67	11.051	11.994	5.603	10.416	246.910		15.15		40.24		1629.79		Liviano

DENSIDAD DE BLOQUES							
No	Descripción	Peso sumergido	Peso saturado	Volumen neto [mm ³]	Altura [mm]	Area neta promedio [mm ²]	Promedio
1	L1B1	5.060	11.415	6355000.00	197.67	32150.08432	32394.70
2	L1B2	5.830	12.180	6350000.00	198.00	32070.70707	
3	L1B3	5.039	11.384	6345000.00	197.67	32099.4941	
4	L2B4	6.146	12.810	6664000.00	200.00	33320	
5	L2B5	5.026	11.483	6457000.00	200.33	32231.2812	
6	L2B6	5.603	11.994	6391000.00	196.67	32496.61017	

COMPRESIÓN SIMPLE EN BLOQUES DE HORMIGÓN

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN BLOQUES DE HORMIGÓN																					
No	Descripción	Ancho			Prom.	Largo			Prom.	Altura			Prom.	Carga de rotura		Volumen neto [mm ³]	Area neta promedio [mm ²]	Resistencia a la compresión [Mpa]	Prom.	Esfuerzo [kg/cm ²]	Prom.
		cm	cm	cm		cm	cm	cm		cm	cm	cm		cm	cm						
1	L1CB1	15.00	14.90	14.00	14.63	39.90	40.10	40.00	40.00	19.70	19.80	20.00	19.83	86.80	86800.00	6350000.00	32016.81	2.71	4.441	27.63584	35.059
2	L1CB2	15.10	15.10	15.00	15.07	40.30	40.20	40.10	40.20	19.90	19.70	19.40	19.67	165.10	165100.00	6350000.00	32288.14	5.11		52.12368	
3	L1CB3	14.80	14.90	14.90	14.87	40.10	40.10	40.10	40.10	19.60	19.80	20.00	19.80	176.30	176300.00	6350000.00	32070.71	5.50		56.03699	
4	L2CB4	15.10	15.10	15.10	15.10	40.10	40.10	40.20	40.13	19.50	19.40	19.60	19.50	91.50	91500.00	6504000.00	33353.85	2.74		27.96444	
5	L2CB5	15.00	15.00	14.90	14.97	39.90	40.00	40.10	40.00	19.70	19.80	19.60	19.70	104.10	104100.00	6504000.00	33015.23	3.15	3.13	32.14159	
6	L2CB6	15.00	14.90	15.00	14.97	40.10	40.20	40.20	40.17	20.00	19.90	19.80	19.90	113.80	113800.00	6504000.00	32683.42	3.48		35.49325	
7	L1CB7	15.10	14.90	15.20	15.07	40.40	40.20	40.60	40.40	19.30	19.20	19.60	19.37	102.80	102800.00	6350000.00	32788.30	3.14		31.95989	

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN BLOQUES DE HORMIGÓN							
No	Descripción	Ancho [cm]	Largo [cm]	Altura [cm]	Carga de rotura [kN]	Resistencia a la compresión [Mpa]	Promedio
1	L1CB1	14.63	40.00	19.83	86.80	2.71	4.44
2	L1CB2	15.07	40.20	19.67	165.10	5.11	
3	L1CB3	14.87	40.10	19.80	176.30	5.50	
4	L2CB4	15.10	40.13	19.50	91.50	2.74	3.26
5	L2CB5	14.97	40.00	19.70	104.10	3.15	
6	L2CB6	14.97	40.17	19.90	113.80	3.48	
7	L1CB7	15.07	40.40	19.37	102.80	3.14	

ANEXO 03

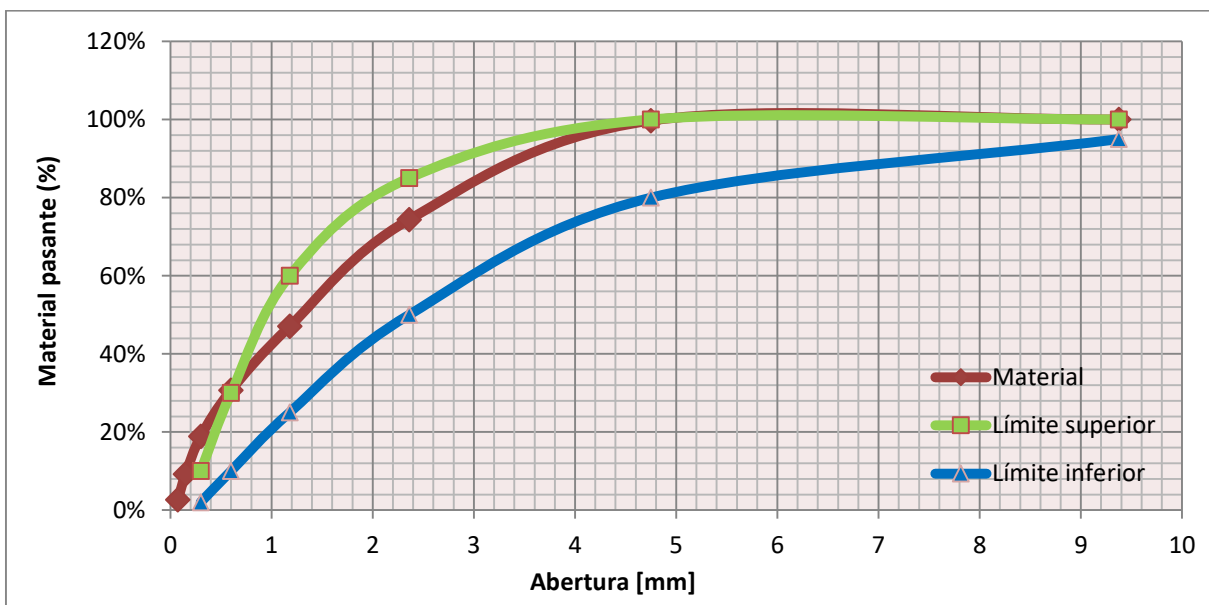
DOSIFICACIÓN

CARACTERISTICAS GENERALES DE AGREGADOS

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN			
AGRAGADO FINO ASTM C128-15		AGREGADO GRUESO ASTM C127-15	
Peso del material SSS:	300.3	Peso del material SSS:	4099.9
Peso del pic. + agua:	662.619	Peso de la canastilla sum:	1192.1
Peso pic. + agua + material SSS:	849.421	Peso canas. + mat. SSS sum:	3637.7
Peso del material seco +recip:	792.2	Peso del material seco + recip:	5062.4
Peso del recipiente:	498.7	Peso del Recipiente:	1106.8
DENSIDADES APARENTES ASTM C29 / INEN 858			
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Peso Molde [g]	1897.6	Peso Molde [g]	5020.9
Altura Molde [g]	15.5	Altura Molde [g]	29.3
Diámetro Molde [cm]	15.2	Diámetro Molde [cm]	20.2
Peso Suelto [g]	6153	Peso Suelto [g]	17396
	6140		17389
Peso compactado [g]	6668	Peso compactado [g]	17861
	6677		17913

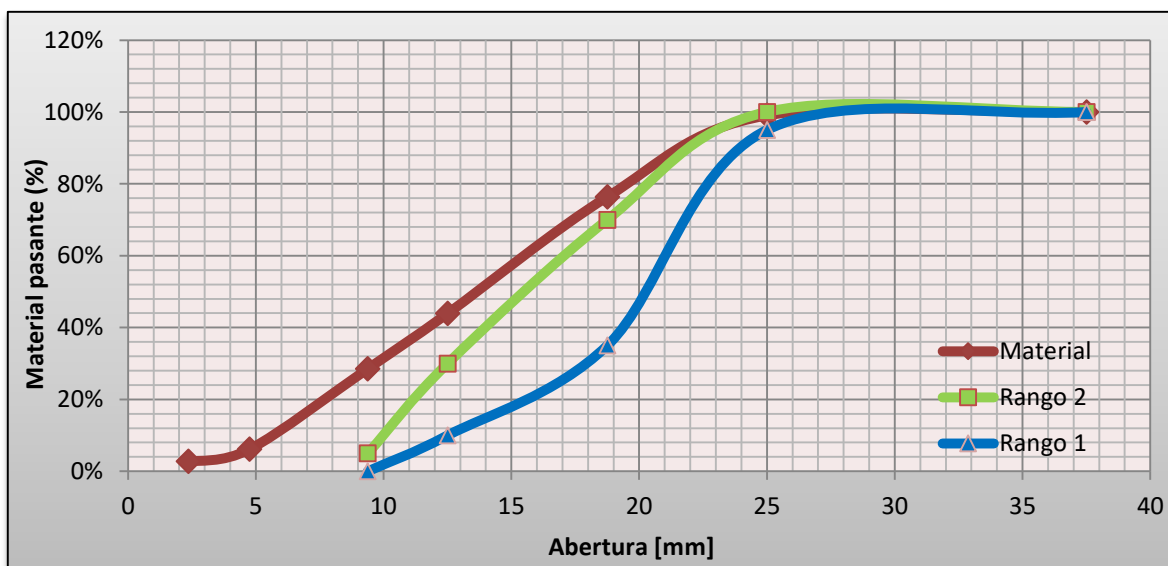
GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO

Granulometría Agregado Fino									
Tamiz	Abertura [mm]	Peso retenido [g]	Peso retenido acumulado [g]	Material retenido %	Material retenido acumulado %	Material pasante acumulado %	Rangos		
No									
3/8	9.375	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95%	100%	
#4	4.750	1.40	1.40	0.28%	0.28%	99.72%	80%	100%	
#8	2.360	126.80	128.20	25.36%	25.64%	74.36%	50%	85%	
#16	1.180	136.60	264.80	27.32%	52.96%	47.04%	25%	60%	
#30	0.600	81.80	346.60	16.36%	69.32%	30.68%	10%	30%	
#50	0.300	59.00	405.60	11.80%	81.12%	18.88%	2%	10%	
#100	0.150	48.40	454.00	9.68%	90.80%	9.20%			
#200	0.075	32.70	486.70	6.54%	97.34%	2.66%			
BANDEJA		11.20	497.90	2.24%	99.58%	0.42%			



GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO

Granulometría Agregado Grueso								
Tamiz	Abertura [mm]	Peso retenido [g]	Peso retenido acumulado [g]	Material retenido %	Material retenido acumulado %	Material pasante acumulado %	Rangos	
No								
1 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
1	25	92.60	92.60	0.93%	0.93%	99.07%	95%	100%
3/4	18.75	2266.50	2359.10	22.67%	23.59%	76.41%	35%	70%
1/2	12.500	3246.50	5605.60	32.47%	56.06%	43.94%	10%	30%
3/8	9.375	1537.60	7143.20	15.38%	71.43%	28.57%	0%	5%
#4	4.750	2242.60	9385.80	22.43%	93.86%	6.14%		
#8	2.360	340.10	9725.90	3.40%	97.26%	2.74%		
BANDEJA		242.70	9968.60	2.43%	99.69%	0.31%		



ANEXO 04

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYO DE MURO REFORZADO

ENSAYO DE CARGA LATERAL

PATRÓN	PASOS	MÍNIMO NÚMERO DE CICLOS	Desplazamiento objetivo (Δ) [mm], Desplazamiento (Δf) [mm] y Fuerza [kN] registrados									Amplitud del ciclo primario (%)	
			CICLO	Δ (+)	Δf (+)	F (+)	CICLO	Δ (+)	Δf (+)	F (+)			
				Δ (-)	Δf (-)	F (-)		Δ (-)	Δf (-)	F (-)			
1	1	6	1	-1.25	-1.85	50.36	4	-1.25	-2.15	55.74	5.00		
				1.25	1.26	-37.72		1.25	1.23	-73.63			
			2	-1.25	-1.80	43.38	5	-1.25	-1.27	31.86			
				1.25	1.23	-83.85		1.25	1.23	-74.96			
			3	-1.25	-1.81	48.49	6	-1.25	-1.23	31.78			
				1.25	1.22	-79.84		1.25	1.24	-68.75			
2	2	7	7	-1.88	-1.24	30.42	11	-1.41	-1.60	41.15		7.50	
				1.88	1.89	-94.38		1.41	1.40	-61.33			
			8	-1.41	-1.48	37.11	12	-1.41	-1.50	37.31			
				1.41	1.51	-70.83		1.41	1.42	-62.52			
			9	-1.41	-1.45	35.50	13	-1.41	-1.61	40.29			
				1.41	1.44	-62.74		1.41	1.42	-64.06			
	10	-1.41	-1.53	38.20									
		1.41	1.44	-56.62									
	3	3	7	14	-2.50	-2.47	66.90	18	-1.88	-1.75	39.30		10.00
					2.50	2.49	-106.26		1.88	1.86	-58.84		
				15	-1.88	-1.85	44.87	19	-1.88	-1.87	44.50		
					1.88	1.84	-61.60		1.88	1.81	-50.63		
				16	-1.88	-1.86	45.81	20	-1.88	-1.94	48.59		
					1.88	1.86	-61.40		1.88	1.81	-54.38		
17	-1.88	-1.85	45.06										
	1.88	1.84	-57.28										
3	4	4	21	-5.00	-5.09	139.95	23	-3.75	-3.94	67.71	20.00		
				5.00	5.01	-128.55		3.75	3.70	-62.10			
			22	-3.75	-3.93	76.36	24	-3.75	-4.09	82.95			
				3.75	3.73	-55.09		3.75	3.74	-58.16			
	5	4	25	-7.50	-7.54	154.62	27	-5.63	-5.44	74.95		30.00	
				7.50	7.32	-125.21		5.63	5.30	-57.89			
26	-5.63	-5.47	76.14	28	-5.63	-5.29	70.07						
	5.63	5.37	-59.35		5.63	5.16	-47.98						
4	6	3	29	-10.00	-10.08	157.42	31	-7.50	-7.65	80.16			40.00
				10.00	10.07	-128.78		7.50	7.47	-58.47			
			30	-7.50	-8.11	90.86							
	7.50	7.40		-59.31									
	7	3	32	-17.50	-17.08	163.09	34	-13.13	-12.39	69.09	70.00		
				17.50	16.79	-117.62		13.13	13.33	-56.46			
33			-13.13	-12.90	77.89								
	13.13	13.38	-56.52										
8	3	35	-25.00	-25.13	146.09	37	-18.75	-20.80	78.99	100.00			
			25.00	25.19	-114.62		18.75	19.03	-51.44				
		36	-18.75	-19.79	72.30								
18.75	19.17		-53.38										
5	9	1	38	-37.50	-38.99	144.57					150.00		
				37.50	36.60	-112.35							
	10	1	39	-62.50	-60.21	138.25					250.00		
				62.50	69.10	-109.34							
	11	1	40	-100.00	-102.00	109.70					400.00		
				100.00	102.18	-100.81							
	12	1	41	-125.00	-132.01	99.54					500.00		
				125.00	131.00	-74.19							
	13	1	42	-150.00	-153.12	66.17				600.00			
				150.00	138.14	-43.20							

ANEXO 05

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

MATERIALES Y MANO DE OBRA			
Concepto	cantidad	precio unitario \$	Total \$
Mano de obra por semana (semanas)	3	125	375
Ripio (t)	1	10.25	10.25
Arena (t)	2	6.46	12.92
Bloques (u)	55	0.32	17.6
Cemento	11	8.95	98.45
Malla	10	6.70	67
Refuerzo longitudinal (8mm)	8	5.20	41.6
Refuerzo longitudinal (10mm)	8	8.00	64
Refuerzo longitudinal (12mm)	3	11.50	34.5
TOTAL \$			721.32

	REFORZAMIENTO CON MALLA CUADRICULAR	REFORZAMIENTO CON MALLA NERVOMETLA
MATERIALES (\$)	592.10	346.32
MANO DE OBRA (\$)	330.00	375.00
COSTO TOTAL (\$)	922.10	721.32
DIFERENCIA DE PRECIOS	200.78	
PORCENTAJE	21.8%	

	REFORZAMIENTO CON MALLA CUADRICULAR	REFORZAMIENTO CON MALLA NERVOMETLA
COSTO (\$)	922.10	783.32
RESISTENCIA (t)	31.00	17.30

