

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYOS A CARGA HORIZONTAL DE MAMPOSTERIAS REFORZADAS CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO FC BLOCK FASE II

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JORGE VINICIO CALO CATOTA
georgejvc@hotmail.com

FABIÁN SAMIR SALCEDO PALADINES
samirucko@yahoo.com

DIRECTOR: ING. FELIX VACA
felvaca@hotmail.com

Quito, octubre 2008

DECLARACIÓN

Nosotros, Jorge Vinicio Calo Catota y Fabián Samir Salcedo Paladines, declaramos que el y trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Jorge Vinicio Calo C.

Fabián Samir Salcedo P.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Vinicio Calo Catota y Fabián Samir Salcedo Paladines, bajo mi supervisión.

ING. FELIX VACA
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A ti DIOS que me diste la oportunidad de vivir, guiarme por el camino del bien y me regalaste una familia maravillosa.

A mis Padres, a quienes agradezco de todo corazón por su amor, sus cuidados y apoyarme en cada una de las decisiones que he tomado en la vida.

A mis hermanos Gloria, Isabelita y David por todo lo que hemos compartido y sobre todo por la compañía y el apoyo que me brindan.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

A mis Padres, con mucho cariño quienes me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí.

Jorge Vinicio Calo Catota

AGRADECIMIENTOS

Sabio Dios, ilumina mi pensamiento para poder encontrar las palabras más diáfanas y precisas para poder decir con el corazón más puro y sencillo:

¡Gracias!

Gracias infinitamente.

A aquellos seres que me vieron crecer, que cuidaron mis pasos, que están pendientes de mi salud, de mis estudios, de mis sueños:

A mis padres.

A quienes crecieron conmigo, que apoyaron siempre mis esfuerzos, que compartieron siempre el mismo pan, las tristezas, las esperanzas:

A mis hermanos: Willy y Paolita.

A quien fue, es y será: motivo de mi esfuerzo, ternura y cariño al final de mi jornada, apoyo y amor supremo e infinito:

A mi esposa.

Al profesional en toda la extensión de la palabra, que guió mis primeros pasos en mi carrera y develo de uno en uno los secretos mágicos de la ingeniería...

Al Sr. Ingeniero Civil Gonzalo Baño.

A todos ellos y a quienes por error involuntario no recuerdo:

Mi gratitud imperecedera y profunda mi reconocimiento eterno e infinito que se plasma en una obra real y concreta:

Mi tesis de grado.

DEDICATORIA

Para mi hija Samy Alejandra

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
CONTENIDO.....	VIII
RESUMEN.....	XVII
PRESENTACIÓN.....	XIX
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 ASPECTOS GENERALES.....	2
1.3 DEFINICIONES.....	3
1.3.1 NO PORTANTE.....	3
1.3.2 EN MUROS EXTERIORES.....	3
1.3.3 EN MUROS INTERIORES.....	4
1.3.4 PORTANTE.....	4
1.4 ALCANCES Y OBJETIVOS.....	4
1.4.1 ALCANCES.....	4
1.4.2 OBJETIVOS.....	5
1.4.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.5 METODOLOGÍA.....	6
1.5.1 ENSAYOS A CARGA HORIZONTAL.....	13
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS.....	14
2.1 MATERIALES.....	14
2.1.1 BLOQUE.....	14
2.2 HORMIGÓN LÍQUIDO.....	15
2.2.1 PROPIEDADES Y ENSAYOS.....	16
2.2.2 DOSIFICACIÓN.....	16
2.2.3 ACERO DE REFUERZO.....	17
2.3 ADITIVO PARA EL HORMIGÓN.....	17
2.3.1 EVOLUCIÓN.....	17
2.3.2 DEFINICIÓN.....	19
2.3.4 CLASIFICACIÓN.....	19

2.3.5 EXPANSOR	20
2.3.5.1 DISEÑO DE LA MEZCLA	21
2.3.5.2 PRISMAS DE HORMIGÓN LÍQUIDO.	21
2.3.5.3 CONSTRUCCIÓN DE MOLDE PARA PRISMAS	22
2.3.5.4 ENSAYO DE PRISMAS DE HORMIGÓN LÍQUIDO.....	24
2.4 EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CONSTRCCIÓN DE LAS MAMPOSTERÍAS.....	26
2.5 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ENSAYO	30
2.5.1 EQUIPO DE CARGA.....	30
2.6 INSTRUMENTACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS.....	31
2.6.1 CELDA DE CARGA.....	31
2.7 ELEMENTO AUXILIAR	33
2.8 EXTENSÓMETROS.....	33
2.8.1 ESTRUCTURA METÁLICA DE SOPORTE PARA EXTENSOMETROS.....	35
2.9 MANO DE OBRA	37
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS PREVIO AL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS MAMPOSTERÍAS CON EL SISTEMA FC BLOCK EN EL LABORATORIO	38
3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MAMPOSTERIA	38
3.1.1 REFUERZOS DE LA MAMPOSTERÍA.....	38
3.1.2 DISEÑO DE MUROS EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO	40
3.1.3 RESISTENCIA A LA FLEXOCOMPRESIÓN	41
3.1.4 RESISTENCIA A CORTANTE EN LA DIRECCIÓN PARALELA AL MURO	41
3.1.4.1 VALOR DE VM	42
3.1.4.2 VALOR DE V S.....	43
3.1.4.3 CÁLCULOS	43
3.2 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS MAMPOSTERÍAS CON EL SISTEMA FC'BLOCK EN EL LABORATORIO (C.I.V.E.P.N.)	48
3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	48
3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MAMPOSTERÍAS.....	50
3.2.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PARED CON TRABADO HORIZONTAL	51
3.2.4 CONSTRUCCIÓN DE LA PARED CON TRABADO VERTICAL.....	58
CAPÍTULO 4: ENSAYOS A CARGA LATERAL EN LAS MAMPOSTERÍAS	65
4.1 PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS	65
4.2 ENSAYOS DE LOS MUROS.....	71
4.2.1 ENSAYO PARED CON TRABADO HORIZONTAL.....	72

4.2.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
4.2.1.2 EXPLORACIÓN INTERNA DE LA PARED CON TRABADO HORIZONTAL 81	
4.2.2 ENSAYO DE LA PARED CON TRABADO VERTICAL.....	85
4.2.2.1 ANÁLISIS LUEGO DEL ENSAYO	91
4.2.2.2 EXPLORACIÓN INTERNA DE LA PARED CON TRABADO VERTICAL....	94
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
5.1 CONCLUSIONES	99
5.2 RECOMENDACIONES	101
CAPÍTULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS.....	106

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1.1	VIGA ARMADA CON 6 EJES ANCLADOS.....	7
FIGURA 1.2	VIGA ARMADA CON 8 EJES ANCLADOS.....	7
FIGURA 1.3	ARMADURA DE PARED CON TRABADO VERTICAL.....	8
FIGURA 1.4	PARED RELLENAS DE HORMIGÓN LÍQUIDO	9
FIGURA 1.5	PARED CON TRABADO HORIZONTAL	10
FIGURA 1.6	CONSTRUCCIÓN PARED POR PARTES (TRAMO 1).....	10
FIGURA 1.7	CONSTRUCCIÓN PARED POR PARTES (TRAMO 2).....	11
FIGURA 1.8	SECUENCIA EN CONSTRUCCIÓN DE PARED.....	11
FIGURA 1.9	PARED TOTALMENTE CONSTRUIDA	12
FIGURA 1.10	ARMADO DE VIGA SUPERIOR.....	12
FIGURA 1.11	PARED LISTA PARA EL ENSAYO.....	13
FIGURA 2.1	BLOQUE MURO.....	14
FIGURA 2.2	MEDIO BLOQUE	15
FIGURA 2.3	MOLDE DE FC BLOCK.	23
FIGURA 2.4	MOLDE CONFINADO CON HORMIGÓN LÍQUIDO.	23
FIGURA 2.5	PRISMAS DE MUESTRA.	24
FIGURA 2.6	PREPARACIÓN DE PRISMA PARA ENSAYO A COMPRESIÓN.....	25
FIGURA 2.7	FALLA POR CARGA A COMPRESIÓN EN PRISMAS.	25
FIGURA 2.8	CONCRETERA PARA MEZCLAR EL HORMIGÓN LÍQUIDO.....	26
FIGURA 2.9	CONCRETERA PARA MEZCLAR EL HORMIGÓN.	27
FIGURA 2.10	CONO DE ABRAMS, SIRVE PARA REALIZAR LA PRUEBA DE ASENTAMIENTO.....	27
FIGURA 2.11	MOLDES PARA CILINDROS DE HORMIGÓN.....	28
FIGURA 2.12	BALANZA DE PRECISIÓN PARA PESAR TODAS LAS MUESTRAS	28
FIGURA 2.13	HORNO PARA SECADO DE AGREGADOS EN EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN.....	29
FIGURA 2.14	MÁQUINA PARA REALIZAR LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE MUESTRAS (PRISMAS Y CILINDROS).....	29
FIGURA 2.15	GATO HIDRÁULICO DE 20 T DE CARGA NOMINAL QUE SE UTILIZARÁ EN LA APLICACIÓN DE LA CARGA HORIZONTAL ESTÁTICA EN LA PARED.....	30
FIGURA 2.16	BOMBA ELÉCTRICA ENERPAC CON CAPACIDAD DE 100 TONELADAS	31
FIGURA 2.17	PLACA DE UNIÓN PARED-ROTULA.....	32

FIGURA 2.18 RÓTULA.....	32
FIGURA 2.19 CELDA DE CARGA HBM-KRAFTAUFNEMER FORCE TRANSDUCER CON CAPACIDAD DE 200 KN 2MV/V Y EL ACOPLA.....	33
FIGURA 2.20 LVDTs HBM DE 100 MM - 80 MV/V (TRADUCTORES DE DESPLAZAMIENTO LINEAL VARIABLE), SIRVEN PARA MEDIR DEFORMACIONES).....	34
FIGURA 2.21 POSICIÓN DE LVDT EN VIGA SUPERIOR DE LAS MAMPOSTERÍAS. .	34
FIGURA 2.22 POSICIÓN DE LVDT EN CADENA DE CIMENTACIÓN.....	35
FIGURA 2.23 ESTRUCTURA METÁLICA	36
FIGURA 2.24 SISTEMA UPM100 HBM DE 80 CANALES PARA RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE CARGA Y DEFORMACIÓN DE MANERA DIGITAL PARA LO QUE SE UTILIZÓ EL SOFTWARE CATMAN.	36
FIGURA 3.1 GEOMETRÍA DE LAS MAMPOSTERÍAS	51
FIGURA 3.2 PRIMER TERCIO DE PARED CON TRABADO HORIZONTAL.....	51
FIGURA 3.3 AGREGADO GRUESO Y FINO PARA LA PREPARACIÓN DE HORMIGONES.....	52
FIGURA 3.4 DOSIFICACIÓN AL PESO DEL CEMENTO.....	52
FIGURA 3.5 ADITIVO EXPANSOR	53
FIGURA 3.6 MEZCLA DEL HORMIGÓN LÍQUIDO	53
FIGURA 3.7 CONO DE ABRAMS – CONTROL DE FLUIDEZ DEL HORMIGÓN.....	54
FIGURA 3.8 CONO DE ABRAMS – CONTROL DE ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN (27 CM)	54
FIGURA 3.9 ELABORACIÓN DE PRISMAS PARA CONTROL DE RESISTENCIA SEGÚN NORMA ASTM.....	55
FIGURA 3.10 FUNDICIÓN DE 1/3 DE MAMPOSTERÍA.....	55
FIGURA 3.11 VACIADO DEL HORMIGÓN LÍQUIDO.....	56
FIGURA 3.12 ENCOFRADO FIN DE COLUMNETA Y REFUERZO VIGA SUPERIOR CON LA PARED	57
FIGURA 3.13 ALINEAMIENTO DE EJES CON EQUIPO DE CARGA.....	58
FIGURA 3.14 COLOCACIÓN DE FILA MAESTRA PARED CON TRABADO VERTICAL..	59
FIGURA 3.15 REFUERZO HORIZONTAL Y VERTICAL EN CADA TERCIO DE PARED..	59
FIGURA 3.16 ESTABILIZACIÓN Y NIVELACIÓN DE PARED CON TRABADO VERTICAL.....	60

FIGURA 3.17 APUNTALAMIENTO DE PARED PARA FUNDICIÓN.....	61
FIGURA 3.18 FUNDICIÓN TOTAL DE PARED VERTICAL.....	61
FIGURA 3.19 DISTRIBUCIÓN DEL HORMIGÓN CON VARILLA.....	62
FIGURA 3.20 ENCOFRADO DE VIGAS SUPERIORES.....	62
FIGURA 3.21 PLACA DE UNIÓN VIGA CON LA RÓTULA.....	63
FIGURA 3.22 HORMIGÓN PARA FUNDICIÓN VIGAS SUPERIORES.....	63
FIGURA 3.23 CILINDRO ESTÁNDAR PARA EL ENSAYO DEL HORMIGÓN.....	64
FIGURA 3.24 ENSAYO A COMPRESIÓN PARA DETERMINACIÓN DE F'C.....	64
FIGURA 4.1 PARED RESANADA Y PINTADA.....	65
FIGURA 4.2 PRETENSIÓN DE LOS EJES.....	66
FIGURA 4.3 ANCLAJES INTERNOS.....	66
FIGURA 4.4 PLACA DE REACCIÓN DEL DISPOSITIVO DE CARGA	67
FIGURA 4.5 INSTALACIÓN DEL GATO HIDRÁULICO Y CELDA DE CARGA.....	68
FIGURA 4.6 ENSAMBLE DE PLACA ACOPLADA A LA PARED A SER ENSAYADA..	68
FIGURA 4.7 DISPOSITIVO DE CARGA ARMADO, NIVELADO Y ALINEADO A LA PARED	69
FIGURA 4.8 LVDT EN VIGA SUPERIOR	69
FIGURA 4.9 LVDT EN VIGA INFERIOR	70
FIGURA 4.10 PARED LISTA PARA SER ENSAYADA	70
FIGURA 4.11 APLICACIÓN DE CARGA LATERAL A LA PARED.....	71
FIGURA 4.12 GRÁFICA CICLOS DE CARGA.....	73
FIGURA 4.13 CUARTO CICLO DE CARGA PARED SIN PRESENCIA DE FISURAS....	73
FIGURA 4.14 PRIMERA FISURA EN LA PARED A 6 T DE CARGA NEGATIVA	74
FIGURA 4.15 FISURAS EN LA PARED A LAS 8.0 T DE CARGA POSITIVA.....	75
FIGURA 4.16 FISURAS EN LA PARED A LAS 7,7 T DE CARGA NEGATIVA	75
FIGURA 4.17 FISURAS EN LA PARED A LAS 8,9 T DE CARGA POSITIVA.....	76
FIGURA 4.18 FISURAS EN LA PARED A LAS 10 TONELADAS DE CARGA NEGATIVA.	76
FIGURA 4.19 FISURAS FINALES DE LA PARED (TERMINACIÓN DEL ENSAYO).	77
FIGURA 4.20 PARED AL TÉRMINO DEL ENSAYO.....	78
FIGURA 4.21 DIAGRAMA HISTERÉTICO DE LA PARED HORIZONTAL.....	79
FIGURA 4.22 CURVA EXPERIMENTAL DE LA ENVOLVENTE PROMEDIO DE CARGA Y DEFORMACIONES ALCANZADAS EN AMBOS SENTIDOS.....	80
FIGURA 4.23 ESQUEMA DE PANELES PARA LA EXPLORACIÓN, PARED HORIZONTAL Y VERTICAL.....	81
FIGURA 4.24 FISURAS POR FLEXIÓN EN LA BASE DEL PANEL IZQUIERDO.....	82

FIGURA 4.25 PENETRACIÓN TOTAL DE HORMIGÓN LÍQUIDO EN PANEL IZQUIERDO.....	82
FIGURA 4.26 FISURAS HORIZONTALES EN LAS JUNTAS CORRESPONDIENTES AL PANEL CENTRAL.	83
FIGURA 4.27 FISURAS HORIZONTALES QUE ABARCARON TODA LA PARED, ALGUNAS FUERON ESCALONADAS A TRAVÉS DE LAS JUNTAS Y OTRAS ATRAVESARON LOS MAMPUESTOS.	83
FIGURA 4.28 RECUBRIMIENTO DEL REFUERZO HORIZONTAL PANEL DERECHO.	84
FIGURA 4.29 PENETRACIÓN DEL HORMIGÓN LÍQUIDO EN SU TOTALIDAD.	84
FIGURA 4.30 MAMPUESTOS LLENOS DE HORMIGÓN LÍQUIDO.	85
FIGURA 4.31 GRÁFICA CICLOS DE CARGA PARED VERTICAL.....	85
FIGURA 4.32 APLICACIÓN DE 4TON DE CARGA POSITIVA.....	86
FIGURA 4.33 PARED APLICANDO 6 T DE CARGA POSITIVA.....	87
FIGURA 4.34 PRIMERA FISURA EN PIE DE COLUMNETA DERECHA A 6 T DE CARGA POSITIVA.....	87
FIGURA 4.35 PRIMERA FISURA EN PIE DE COLUMNETA IZQUIERDA A 6 T DE CARGA NEGATIVA.....	88
FIGURA 4.36 PARED APLICANDO 8 T DE CARGA POSITIVA, APARECEN FISURAS EN LA UNIÓN DE BLOQUES, NO EXISTEN FALLAS DE CORTE	88
FIGURA 4.37 PEQUEÑAS FISURAS DE CORTE Y FALLAS MÁS NOTABLES EN LA UNIÓN DE LOS BLOQUES.....	89
FIGURA 4.38 FISURAS EN LA PARED A LAS 9,2 T DE CARGA POSITIVA AGOTAMIENTO DE LA PARED.....	89
FIGURA 4.39 FALLAS PRONUNCIADAS EN LA UNIÓN DE LOS BLOQUES.	90
FIGURA 4.40 FISURAS FINALES DE LA PARED (TERMINACIÓN DEL ENSAYO)	90
FIGURA 4.41 PARED TOTALMENTE ENSAYADA	91
FIGURA 4.42 DIAGRAMA HISTERÉTICO DE LA PARED VERTICAL	92
FIGURA 4.43 CURVA EXPERIMENTAL DE LA ENVOLVENTE PROMEDIO DE CARGA Y DEFORMACIONES ALCANZADAS EN AMBOS SENTIDOS.....	93
FIGURA 4.44 PARED SOSTENIDA CON PUNTALES LISTA PARA EXPLORACIÓN Y DERROCAMIENTO.....	94
FIGURA 4.45 DESPRENDIMIENTO DEL RECUBRIMIENTO EN ACERO POR FALLAS DE DESLIZAMIENTO VERTICAL.....	95
FIGURA 4.46 DESLIZAMIENTO VERTICAL DE LOS MAMPUESTOS.....	95
FIGURA 4.47 FISURAS DIAGONALES LOCALIZADAS, QUE ATRAVESARON LOS MAMPUESTOS.	96

FIGURA 4.48 MAMPUESTOS LLENOS DE HORMIGÓN LÍQUIDO.....	96
FIGURA 4.49 COLUMNETAS LLENAS DE HORMIGÓN LÍQUIDO FORMADAS POR ORIFICIOS DE LOS MAMPUESTOS.....	97
FIGURA 4.50 LA FALLA EN LA BASE FUE POR DESLIZAMIENTO, ANTES QUE POR FLEXIÓN.....	97
FIGURA 4.51 DERROCAMIENTO TOTAL DE PARED.	98

TABLA DE CUADROS

TABLA 2.1 TIPOS DE HORMIGÓN LÍQUIDO (PROPORCIONES EN VOLUMEN).....	17
TABLA 3.1 VALORES MÁXIMOS PARA EL CORTANTE NOMINAL VN.....	42
TABLA 3.2 VALOR DEL CORTANTE NOMINAL RESISTIDO POR LA MAMPOSTERÍA..	42
TABLA 4.1 DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE LA PARED CON TRABADO HORIZONTAL.....	80
TABLA 4.2 DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE LA PARED CON TRABADO VERTICAL.....	93

RESUMEN

Actualmente, gran parte de las edificaciones que existen en el Ecuador, incluido el patrimonio histórico, son construcciones informales y basan su estructura en paredes portantes. Por eso la preocupación en obtener resultados experimentales que aporten a la investigación para la utilización de sistemas innovadores como FC' BLOCK, esta dirigido principalmente a viviendas de interés social, donde la seguridad real de tales construcciones ante efectos sísmicos, como las facilidades constructivas al menor costo es la prioridad.

Para contribuir a un mejor conocimiento de tales estructuras, en esta tesis se analizó este sistema constructivo mediante el ensayo de dos muros construidos a escala real, sometiéndolos a la acción de cargas cíclicas horizontales hasta alcanzar el límite de ruptura del elemento. Las dos paredes tuvieron diferente trabado pero similar configuración y metodología de construcción. La geometría de las paredes fueron diseñadas con 15 cm de espesor del bloque, 257 cm de longitud y una altura de 180 cm. El refuerzo vertical estuvo compuesto por 4 varillas de $\Phi 10$ mm en cada columneta, mientras que el refuerzo horizontal fue de 1 varilla de $\Phi 10$ mm en cada $1/3$ de pared. La pared vertical no tuvo columnetas de confinamiento mientras que la pared horizontal se divide en tres paneles. Cabe destacar que cada bloque en los dos casos estuvo lleno de hormigón líquido.

Previo a los ensayos se realizó un estudio del comportamiento del hormigón líquido con aditivo expansor, para su uso en la construcción de las paredes. Además, Proaño y Ortíz (2007) realizaron la Fase I de esta serie de estudios experimentales. Los resultados obtenidos de estos análisis fueron la base principal para el cambio y mejoramiento de este trabajo.

Los resultados de estos experimentos son presentados mediante gráficas de esfuerzo – deformación, que son discutidas y finalmente, se concluye la posibilidad de uso de estos elementos a la luz de los resultados.

ABSTRAC

In the recent years, the buildings in Ecuador, even the Historical Patrimony, were informal constructions builded with reinforced walls. This fact required to test in laboratory these elements shifting the knowledge of newest construction systems like FC'BLOCK. This system is focused to social housing. Here the priority is the highest security, the simplest construction and the lowest cost.

In this speech, this construction system was analyzed by using the last charge test on two walls builded in 1:1 scale. The test consisted in cyclic horizontal charges over the walls to reach the element cracking point. The walls had similar configuration and construction methodology, but different engaged elements. The wall geometry was 15x 257x 180 cm. The vertical reinforced was 4 bars of 10 mm by column. The horizontal reinforced was 10 mm bar located at 1/3 height. The vertical wall did not have confined columns but the horizontal wall had three panels. Both of them, each block was filled with liquid concrete.

In this work, the liquid concrete was studied before its use in the tests. Proaño and Ortiz did the Fase I of these experiments in 2007. Their work and results were the base of the actual report.

The conclusions and results of these tests are presented here by using hysteric law graphics and the practical uses of these elements are discussed.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo se ha realizado para aportar a futuras investigaciones en cuanto a mampostería reforzada se refiere, incluso ayudara a establecer normas tanto para diseño como para construcción del sistema de mampostería armada, es importante conocer que en nuestro país este sistema constructivo es poco conocido. Este estudio se encuentra dividido en tres partes, cuyo objetivo principal es analizar el comportamiento de mamposterías reforzadas sometidas a carga horizontal.

En la primera parte se encuentra la teoría donde encontraremos la descripción de la metodología utilizada norma en la construcción de las paredes, además se describen cada uno de los elementos que conforman la pared reforzada.

Seguidamente se puede encontrar la parte experimental que con base en la parte teorica se presenta la construcción y ensayo de las paredes construidas a escala real y ensayadas a carga horizontal.

Finalmente se realiza un análisis de la resistencia de las paredes, determinando las conclusiones y recomendaciones encontradas en la construcción de las paredes con el sistema del FC BLOCK.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La normativa para el diseño y construcción de estructuras hechas con base en muros portantes de mampostería en Ecuador es limitada y no se muestra una metodología de construcción clara y fácil de aplicar. Esto resulta preocupante cuando probablemente más del 50 % de los habitantes del país fabrican sus viviendas con este sistema constructivo, de manera informal y sin tomar en cuenta los detalles que deben tener las estructuras sismorresistentes.

Con el propósito de reducir el riesgo para los usuarios de la mampostería portante, y con la finalidad de rescatarla como alternativa estructural válida, en el Centro de Investigaciones de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional (C.I.V.E.P.N), se inició un proyecto de investigación por medio de desarrollo de tesis, con la participación de profesores y estudiantes de pregrado de Ingeniería Civil, enfocado a racionalizar el uso de la tecnología de mamposterías portantes, y para el efecto se usó un producto llamado FC BLOCK.

La mampostería reforzada puede ser la solución estructural más común en toda Latinoamérica y especialmente en Ecuador, obligando a que se dé prioridad para investigar su comportamiento y con ello producir resultados prácticos a corto plazo. Existe la creencia que los muros de mampostería estructural resultan muy vulnerables a las acciones sísmicas, lo que provoca el rechazo a utilizarlos por algunos profesionales de la ingeniería. Sin embargo, sismos recientes mostraron que estructuras de mampostería bien concebidas pueden comportarse adecuadamente.

La experiencia con el sistema constructivo FC BLOCK FASE I es la premisa para nuestra investigación. Se muestra resultados de los ensayos de dos muros de mampostería reforzada de mampuestos de hormigón a escala natural, sometidos únicamente a la acción de cargas laterales. Se procedió de igual manera con otros dos muros, también de mampuestos de hormigón, pero rellenos internamente de hormigón líquido y sin mortero de pega para unión de los mampuestos.¹²

1.2 ASPECTOS GENERALES

El uso de la mampostería estructural como elemento portante en zonas sísmicas está caracterizado por la fragilidad que ella presenta al ser sometida a cargas laterales en el plano de los muros. Esta condición induce esfuerzos de tracción sobre las diagonales de los muros y consecuentemente su agrietamiento, lo que produce pérdida de rigidez y resistencia en todo el sistema estructural por lo que se incluye el acero de refuerzo evaluado sobre el área bruta de la sección del muro, la cuantía no debe ser menor que 0,0007.

De manera análoga, la mampostería armada emplea el acero de refuerzo dentro de los muros portantes para obtener resistencia a tracción. Sobre esta modalidad constructiva existe mucha experiencia a escala mundial (Schneider y Dickey, 1980) y por ello no será considerada en este trabajo.

Dado que ha sido identificada la alta capacidad de absorción de humedad del bloque como la principal debilidad de la mampostería, conviene revisar aquellos factores que favorecen o, en su defecto, retardan esta condición. El primero de ellos es el hormigón líquido y sus propiedades.

Otro aspecto importante para la optimización del sistema, se analiza el proceso constructivo y diseño debido a su geometría propia y exclusiva del FC BLOCK.

1.3 DEFINICIONES

A continuación se presenta una clasificación de la mampostería como conjunto, según sus funciones estructurales y arquitectónicas.

La función estructural está ligada a la capacidad del muro para soportar o no carga, diferente a la de su propio peso, por lo cual se considera los siguientes tipos de mampostería:

1.3.1 No Portante

Es aquella cuya función principal es la de conformar muros que sirvan para dividir espacios, sin tener una función expresa o tácita de soportar techos sea losas o cubiertas. Este tipo de mampostería conforma las particiones o fachadas en edificios con sistemas portantes en pórticos de hormigón, acero o, incluso, madera.

1.3.2 En Muros Exteriores

Las condiciones de exposición en fachadas, fundaciones, etc., donde puede haber presencia de agua al menos por un lado del muro, sea este portante o no, conlleva la necesidad de unidades de baja permeabilidad y absorción con el fin de impedir la entrada de agua a través del muro.

Por supuesto, este fenómeno se ve muy reducido cuando el muro es protegido, adicionalmente, por medio de revoques, pinturas, hidrófugos, etc.

Desde el punto de vista de la resistencia, no se presenta como factor crítico, siempre y cuando soporte la intemperie y sea estable con el tiempo.

1.3.3 En Muros Interiores

En muros interiores o particiones, las condiciones son las mínimas, pues se entiende que ni desde el punto de vista de cargas ni desde el hidráulico o térmico se van a presentar solicitaciones importantes.

En estas condiciones merece un cuidado especial la uniformidad y estabilidad dimensional de las unidades, con el fin de reducir la cantidad de materiales de acabado y evitar la fisuración de los muros por separación de las unidades y el mortero.

1.3.4 Portante

La mampostería portante impone, adicionalmente a las características enunciadas anteriormente, de acuerdo al tipo de exposición, la necesidad de una resistencia superior en los elementos, suficiente para soportar las cargas que debe soportar, o que tengan una resistencia tal que se diseñe la estructura para ella. Esto en cuanto a las unidades, pero como conjunto, aparece la participación del refuerzo, lo que le ha dado la dimensión que posee la mampostería en la actualidad, dentro de los sistemas estructurales.⁶

1.4 ALCANCES Y OBJETIVOS

1.4.1 Alcances

Teniendo en cuenta el estudio realizado en ensayos anteriores de muros contruidos con el sistema FC BLOCK (FASE I), en los cuales no se consiguió un relleno total del muro presentando así baja resistencia. Esta investigación se enfoca en mejorar tanto el tipo de hormigón líquido de relleno como la metodología utilizada en la construcción de los muros, basándose en tipo de agregados y el comportamiento.

Al mismo tiempo plantear una segunda alternativa, que por facilidad constructiva y debido a la geometría de los mampuestos que conforman el muro se obtendrá un mejor relleno, dando como resultado mayor resistencia.

1.4.2 Objetivos

1.4.2.1 Objetivo General

El objetivo fundamental de este trabajo consistió en evaluar el comportamiento de dos muros de mampostería armada a escala natural, de mampuestos huecos rellenos de hormigón líquido, ante cargas laterales cíclicas de tracción y compresión. Se va a comprobar si las modificaciones realizadas en la construcción de los muros nos brindarán mejores resultados, como aporte a la investigación del sistema FC BLOCK para el desarrollo de vivienda segura, y económica en sectores de bajos recursos económicos.

1.4.2.2 Objetivos Específicos

- Definir el hormigón líquido que se va a emplear en la construcción de los muros de mampostería para rellenar los huecos, cuya resistencia mínima a los 28 días es de 140 kg/cm^2 .
- Establecer una metodología constructiva en la elaboración de mamposterías reforzadas.
- Conocer la resistencia a carga horizontal de muros reforzados conformados por mampuestos de hormigón del sistema FC BLOCK así como parámetros relacionados a la sismo resistencia, mediante ensayos destructivos realizados en el Centro de Investigaciones de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional.

- Evitar el colapso de un muro y de la edificación para sismos destructivos. Indispensable colocar armadura de modo tal que ella asuma el total de los esfuerzos de tracción, por flexión o por corte, que se puedan presentar en el muro.

1.5 METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente proyecto se realizaron dos pruebas destructivas de muros reforzados, el primero consiste en la unión de mampuestos con trabado vertical y el segundo con trabado horizontal o normal, ambos muros tienen hormigón líquido en su interior y sus elementos no están unidos por mortero de pega, estas mamposterías fueron sometidas a carga horizontal hasta su agotamiento.

El procedimiento constructivo de los muros se detalla a continuación, es importante señalar que en la construcción de los muros se utilizó un proceso tal, el mismo que pueda ser aplicado a la realidad.³

- La cimentación de las mamposterías consistió en vigas armadas ancladas al piso con 6 y 8 pernos mediante ejes empernados y pretensados. El refuerzo vertical para las mamposterías consistió en un acero ϕ 10 mm cada 82 cm. Ver Fig. 1.1 y 1.2.

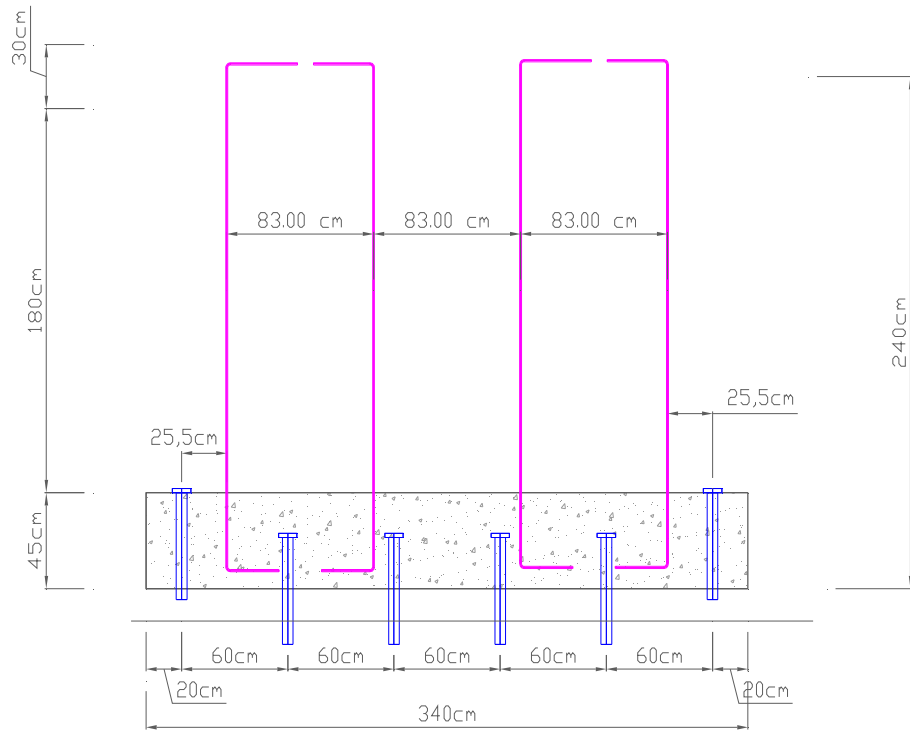


FIGURA 1.1 Viga armada con 6 ejes anclados

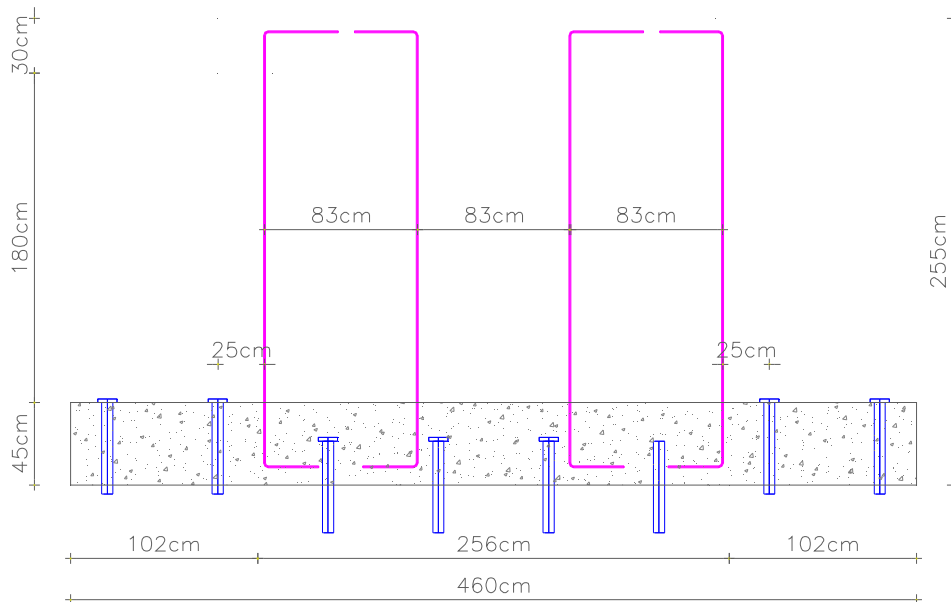


FIGURA 1.2 Viga armada con 8 ejes anclados

- Previa la construcción de las mamposterías se realizó un estudio del tipo de hormigón que se utilizará para el relleno de los muros, en este punto se determinó la dosificación y el tipo de aditivo a utilizar.
- La primera pared se construyó uniendo mampuestos sin utilizar mortero de pega, en la cual se tiene un trabado vertical con el objeto de tener gran facilidad al momento de introducir el hormigón líquido en el interior de los mampuestos; el refuerzo horizontal de las mamposterías consiste en 2 varillas ϕ 10 mm separadas cada 60cm, como se indica la figura 1.3
- Las columnetas están limitadas por las dimensiones del orificio del bloque que tiene por medida de 8x7 cm.
- Finalmente se introdujo el hormigón líquido en todos los orificios de la mampostería. Fig. 1.4.

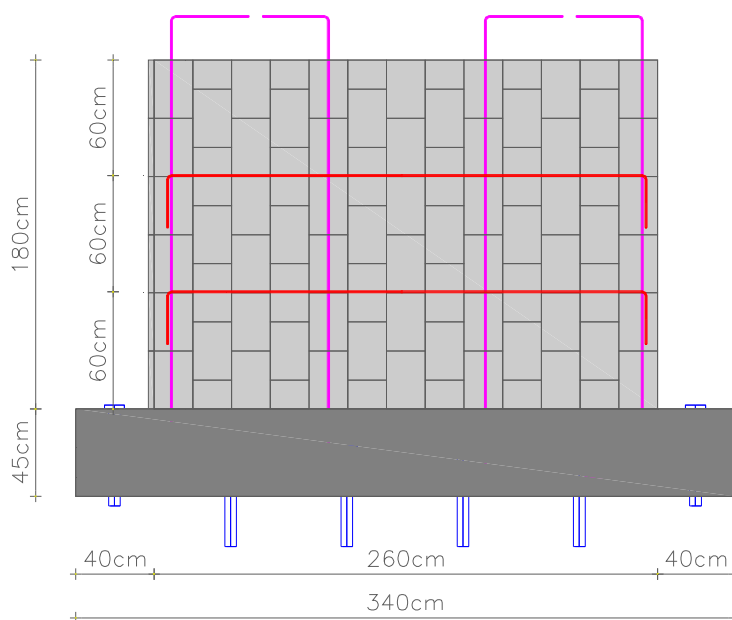


FIGURA 1.3 Armadura de Pared con trabado vertical

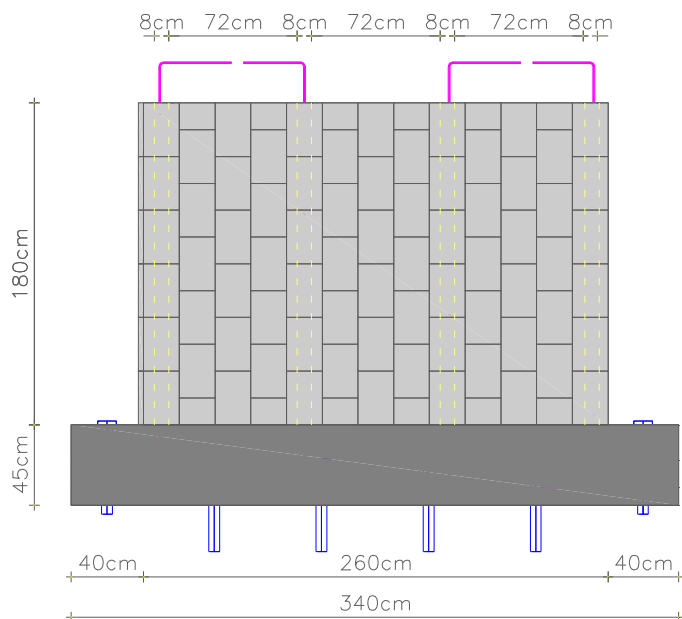


FIGURA 1.4 Pared rellenas de hormigón líquido

- La segunda pared está conformada por mampuestos unidos sin mortero de pega con un trabado horizontal; el refuerzo vertical y horizontal es similar a la pared anterior. Fig. 1.5.
- En la construcción de esta pared se utilizó un procedimiento diferente al anterior el cual consistió en construir la pared por partes, es decir en grupo de 3 filas hasta alcanzar la altura requerida. Ver secuencia Fig. 1.6.
- Con el fin de asegurarse que el hormigón penetre totalmente en los mampuestos, las columnetas al igual que la pared fue encofrada y fundida por partes. Las columnetas tiene por dimensiones 15x8 cm. Fig. 1.6 y 1.7.

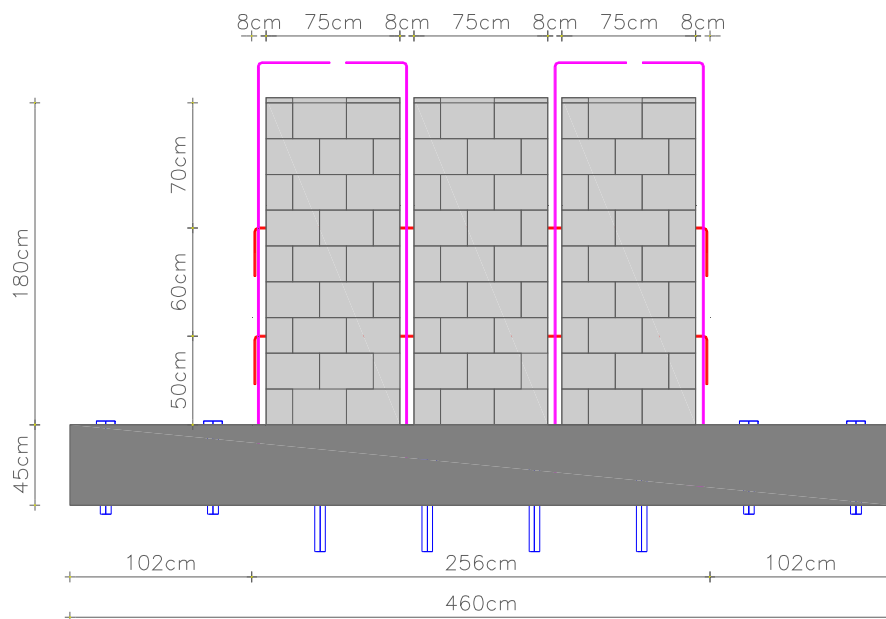


FIGURA 1.5 Pared con trabado horizontal

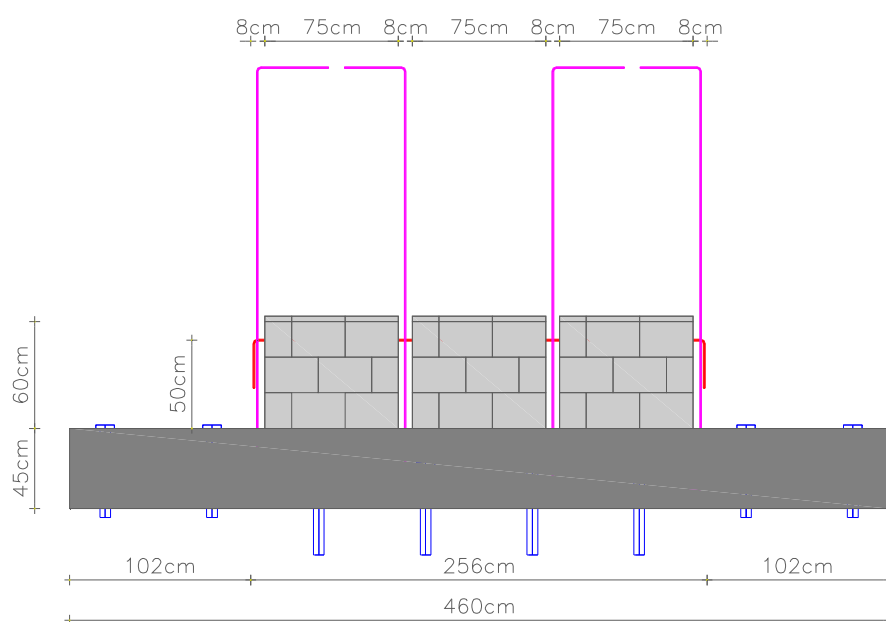


FIGURA 1.6 Construcción pared por partes (Tramo 1)

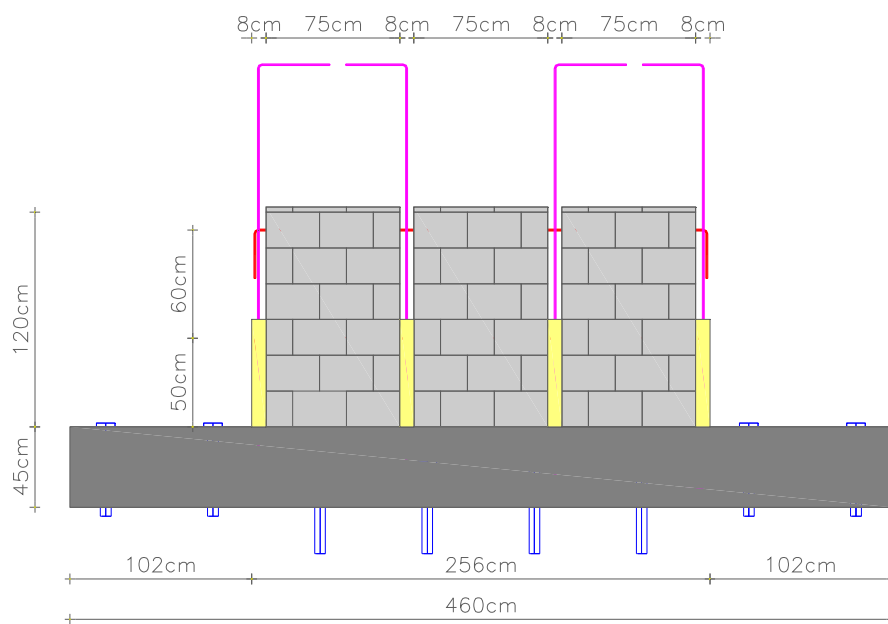
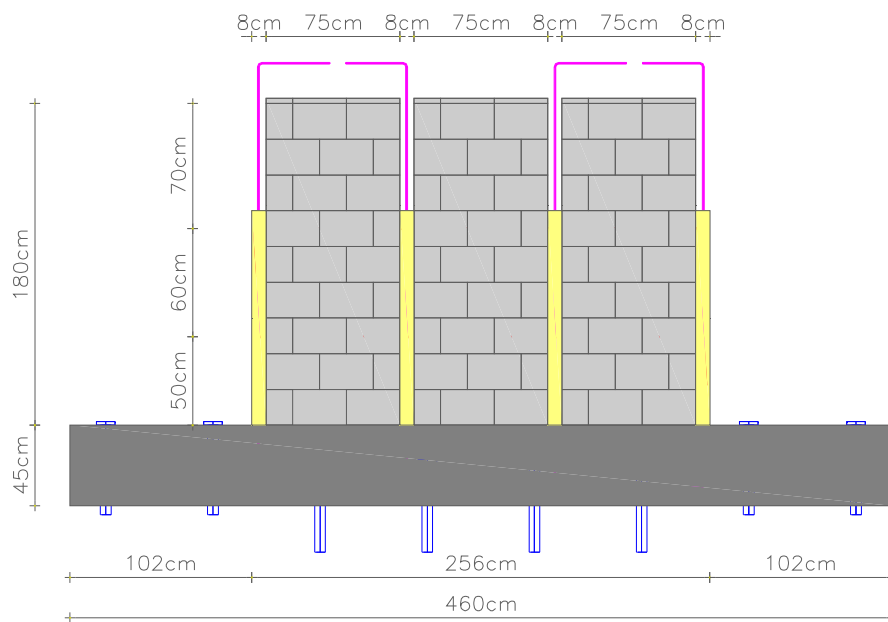


FIGURA 1.7 Construcción pared por partes (Tramo 2)



c) Construcción pared por partes (Tramo 3)

FIGURA 1.8 Secuencia en construcción de pared

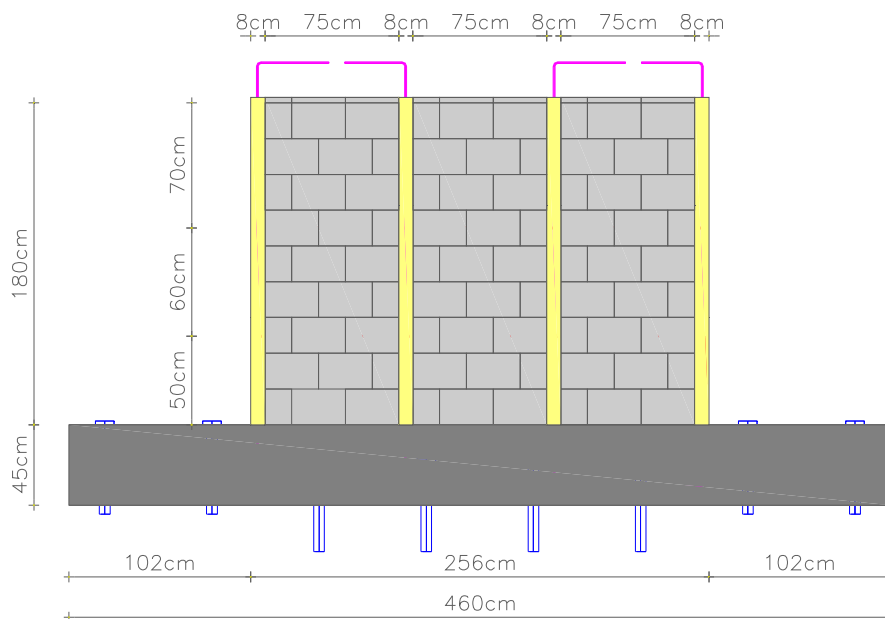


FIGURA 1.9 Pared totalmente construida

- Para realizar los ensayos a carga horizontal se construyeron las vigas superiores que tienen por dimensiones 20x30 cm, considerando que el eje de la viga debe coincidir con el eje donde se aplicará la carga. Estas vigas transmiten la fuerza a las mamposterías simulando un efecto de sismo. Fig. 1.8 y Fig. 1.9.

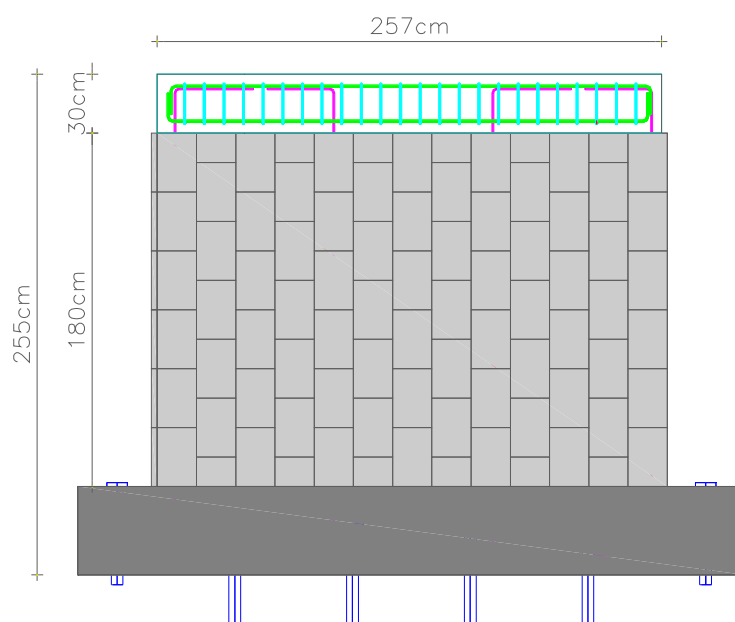


FIGURA 1.10 Armado de viga Superior

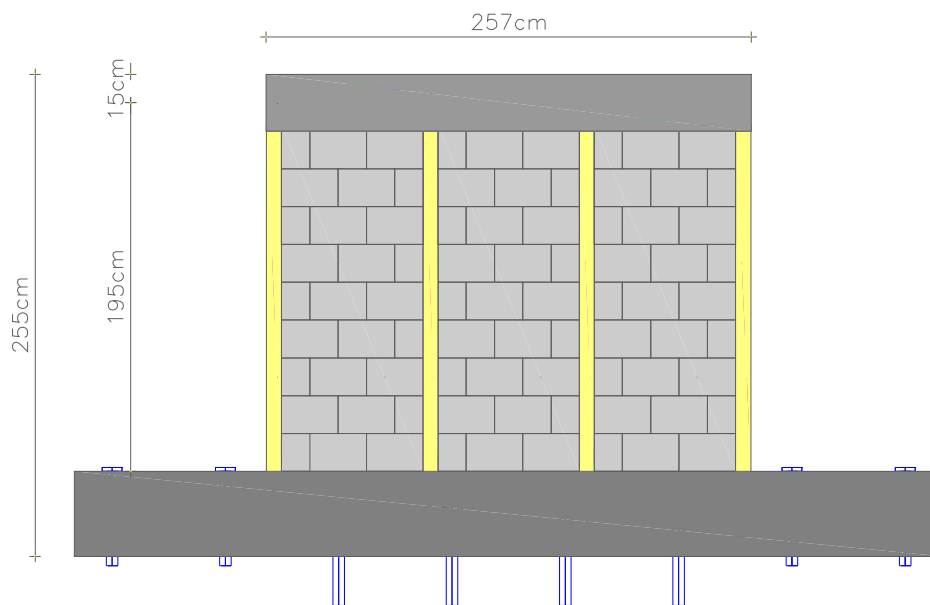


FIGURA 1.11 Pared lista para el ensayo

1.5.1 Ensayos a Carga Horizontal

Los ensayos se realizaron aplicando una carga horizontal cíclica en la parte superior de las mamposterías antes mencionadas, la cantidad de carga está limitada por la resistencia que presenten las mamposterías hasta llegar al agotamiento final.

Las fallas que presenten las mamposterías serán analizadas así como también las se estudiarán factores muy relacionados con la sismo resistencia, como es la ductilidad lateral, la degradación de la rigidez y la capacidad de disipar energía. Desde el punto de vista práctico, se obtendrán límites de desplazamiento y se propondrán propiedades resistentes que podrían ser utilizadas para el diseño de los muros portantes. ¹³

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

2.1 MATERIALES

2.1.1 Bloque

Es el elemento básico para la construcción de la mampostería. Se trata de un elemento de hormigón con una resistencia a la compresión promedio de 41 kg/cm^2 a la rotura⁵ y cuyas dimensiones se observa en la Fig. 2.1, el bloque presenta un orificio en su eje longitudinal, en donde se introducirá hormigón líquido que proporciona mayor resistencia a la mampostería y además se puede decir que es un elemento machi-hembrado por su cresta en la parte superior y un conducto en la parte inferior.

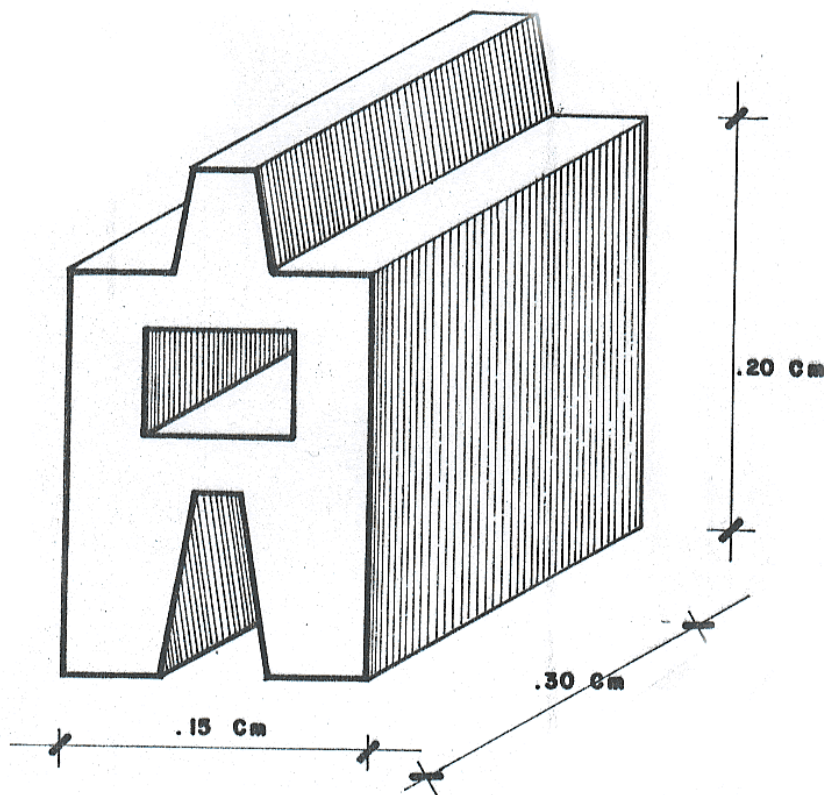


FIGURA 2.1 Bloque muro

Para tener el trabado en la construcción de la mampostería este sistema utiliza el medio bloque, el cual tiene las mismas características del bloque muro, la única diferencia en su longitud como se muestra en la Fig. 2.2.

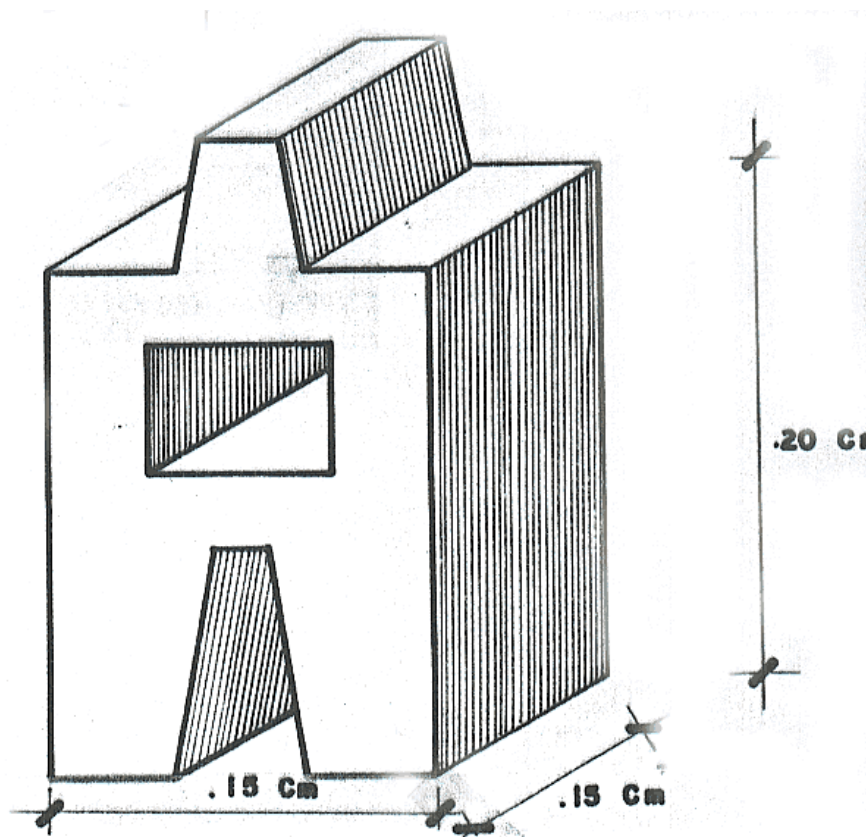


FIGURA 2.2 Medio bloque

2.2 HORMIGÓN LÍQUIDO

“Es una mezcla de materiales cementicios y agua, con o sin agregados, en proporciones tales que se obtiene una consistencia líquida sin segregación de sus constituyentes”.⁶

El hormigón líquido se emplea para rellenar los orificios de las unidades de mampostería en la construcción de los muros armados, y tiene como función integrar el acero de refuerzo con la mampostería en un sólo conjunto estructural.

Existen dos tipos de hormigón líquido el fino y el grueso. El tipo fino, que tiene solo arena como agregado y el tipo grueso arena y ripio, donde el agregado grueso debe tener un tamaño máximo de 3/8". El tipo de hormigón líquido a ser utilizado depende de las dimensiones del orificio del bloque, las características de absorción del bloque y de la altura de la mampostería a ser llenada.

Para la fabricación del hormigón líquido, sea este fino o grueso, se debe seguir las especificaciones de la norma ASTM C476-01 o sus equivalentes.⁶

2.2.1 Propiedades y Ensayos

El hormigón líquido debe tener una resistencia superior a 140 kg/cm^2 , además debe tener una elevada trabajabilidad a nivel líquido, esta característica se determina mediante el ensayo de consistencia con el cono de Abrahms norma ASTM C-143, donde se sugiere el asentamiento de 20 a 28 cm, considerando que no exista segregación de los agregados.

Para lograr esta condición se debe considerar que la relación agua cemento es elevada, lo cual originará un hormigón poroso, pero gracias a la gran capacidad de absorción de los mampuestos que retirarán gran parte del exceso de agua, se logrará un hormigón bien compacto y resistente.

Para verificar la resistencia a la compresión del hormigón siguiendo la norma se ensayaron en una máquina de compresión testigos estándar prismáticos de base cuadrada donde la altura mide el doble del lado de la base.

2.2.2 Dosificación

En la dosificación la relación agua cemento es importante, ya que de esto depende la resistencia y trabajabilidad del hormigón líquido. Esta relación a/c es

entre 0,8 y 1,2, dependiendo del modulo de fineza de la arena y el porcentaje de humedad de los agregados.

La dosificación en volumen para el hormigón líquido sea este fino o grueso se puede observar en la tabla 2.1:

TABLA 2.1 TIPOS DE HORMIGÓN LÍQUIDO (PROPORCIONES EN VOLUMEN)

TIPO DE HORMIGÓN LÍQUIDO	CEMENTO	AGREGADO	
		ARENA	RIPIO
FINO	1	2 ¼ -3	No
GRUESO	1	2 ¼ -3	1 - 2

2.2.3 Acero de Refuerzo

El acero que será empleado para reforzar la mampostería son varillas corrugadas con un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, las mismas que deben estar limpias y sin corrosión.

2.3 ADITIVO PARA EL HORMIGÓN

2.3.1 Evolución

La historia del uso de aditivos químicos en los hormigones se remonta al siglo pasado, tiempo después que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó «Cemento Portland».

La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones fue registrada en 1873, obteniéndose su patente en 1885. Al mismo tiempo que los aceleradores, los primeros aditivos utilizados fueron hidrófugos. Igualmente, a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad. En ese entonces, se comenzaron a

añadir polvos finos para colorear el hormigón. Los fluatos o fluosilicatos se emplearon a partir de 1905 como endurecedores de superficie. La acción retardadora del azúcar también había sido ya observada.

En la década de los 60 se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes, productos que hoy en día son los más utilizados en todo el mundo, debido a su capacidad para reducir el agua de amasado y por lo tanto para obtener hormigones más resistentes, económicos y durables. Obras como la central hidroeléctrica Rapel y el aeropuerto Pudahuel son ejemplos de esa época.

En la década del 70 se introdujeron los primeros aditivos superplastificantes, revolucionando la tecnología del hormigón en esa época, por cuanto se logró realizar hormigones fluidos y de alta resistencia para elementos prefabricados y para la construcción de elementos esbeltos y de fina apariencia.

Paralelamente, para la construcción de túneles, especialmente para las grandes centrales hidroeléctricas y la minería se utilizó la técnica del hormigón proyectado que, a su vez, requiere de aditivos acelerantes de muy rápido fraguado para obtener una construcción eficiente y segura.

En la década de los 80 se introdujo el uso de micro sílice, material puzo-lánico que usado en conjunto con los aditivos superplastificantes permite obtener la máxima resistencia y durabilidad del hormigón.

El primer conjunto de procedimientos y especificaciones data de 1950 y se relacionó al primer tipo de aditivo, incorporadores del aire. Ya en esta normativa se observa la necesidad de crear un grupo de procedimientos que consideran pruebas estándares, materiales controlados, equipos específicos y parámetros comparativos con una mezcla patrón sin el aditivo, para clasificar un producto como aditivo incorporador de aire.⁷

2.3.2 Definición

Los aditivos son productos que se utilizan en pequeñas cantidades en el hormigón o mortero, Y algunas de las propiedades del hormigón, que se pueden modificar son: "Trabajabilidad y exudación en estado fresco". Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento. "Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.

2.3.4 Clasificación

La norma francesa AFNOR P 18-123 "Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons" establecen una clasificación amplia, motivo por el cual será utilizada como referente para la selección del aditivo mas optimo para la construcción de las mamposterías con el sistema FC BLOCK.

“Aditivos que modifican las propiedades geológicas del hormigón fresco:

- Plastificantes - Reductores de agua.
- Superplastificante o Fluidificante.
- Incorporador de aire.
- Expansores – Estabilizadores.

Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:

- Aceleradores de fraguado y/o Endurecimiento.
- Retardadores de Fraguado.

Aditivos que modifican el contenido de aire:

- Incorporadores de Aire.
- Antiespumantes.
- Agentes formadores de Gas.
- Agentes formadores de Espuma.

Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:

- Incorporadores de Aire.
- Anticongelantes.
- Impermeabilizantes.

Aditivos misceláneos:

- Aditivos de cohesión – emulsiones.
- Aditivos combinados.
- Colorantes.
- Agentes formadores de espuma”¹¹

Tomando en cuenta que estos productos ya son de uso habitual en obra y en plantas hormigoneras, no hay que olvidar que estos No fueron fabricados para mejorar la mala confección de hormigones, o dosificaciones diseñadas sin un previo estudio, y su empleo debe ser considerado cuidadosamente, en lo posible acompañado de mezclas de prueba, por lo que en base a experiencias realizadas tanto como conclusiones de la Fase I de sistema FC BLOCK, los expansores son los aditivos que cumplen los requisitos.

2.3.5 Expansor

Son productos que forman gas por una reacción química entre los componentes del cemento y generalmente polvo de aluminio, el cual en presencia de cal descomponen la molécula de agua desprendiendo oxígeno.

Este aditivo permite compensar las retracciones de fraguado, además de producir pequeña expansión final, aumentando la estabilidad de la mezcla, evitando la segregación de ella y su exudación, por lo que junto con un hormigón líquido se espera el lleno total de los orificios de FC BLOCK, y así mejor trabajabilidad de la mezcla mayor rendimiento.

2.3.5.1 Diseño de la Mezcla

Una de las etapas fundamentales del diseño de las mezclas fue definir la dosis de aditivo expansor que generará la expansión, cuya dosis restringida es la especificada: 1 kg por 50 kg de cemento mezclados en seco donde se debe obtener la mayor uniformidad de la mezcla y aplicarla lo más pronto posible para así garantizar que la expansión se realice en el sitio deseado. La expansión es del 10 al 12 %.

La proporción óptima de los materiales, debe considerar un balance entre la máxima calidad y economía.

2.3.5.2 Prismas de Hormigón Líquido.

La determinación de las proporciones de los distintos componentes, considerando un adecuado balance entre la economía y los requerimientos del sistema FC BLOCK, como trabajabilidad, resistencias mecánicas, durabilidad, densidad y apariencia, entre otras.

Se recomienda la confección de hormigones de prueba, a nivel de laboratorio, para posteriormente evaluar las condiciones reales de terreno y sistemas de control que se adopten.

Cada espécimen de hormigón líquido debe tener una sección transversal cuadrada de 3" o más larga en los lados y dos veces más alta que su ancho. Las dimensiones seleccionadas deben estar entre 5 % de su ancho.

Se debe hacer la prueba en tres o más especímenes en cada edad especificada.⁹

2.3.5.3 Construcción de Molde para Prismas

Seleccionar un lugar donde los moldes descansen sin ningún disturbio por 48 horas.

La construcción del molde debe simular la construcción in situ. Si el hormigón líquido es colocado entre dos tipos de unidades de mampostería, los dos tipos deben ser usados para construir el molde.

Formar un espacio con una sección transversal cuadrada de 3" o más largo en cada lado y dos veces más alto que su ancho, mediante el apilamiento de los mampuestos del mismo tipo y condiciones de humedad que los usados en construcción. La superficie de la unidad en contacto con el hormigón líquido no debió haber sido previamente usada en los moldes. Colocar mampuestos no absorbentes, colocar del tamaño y grosor apropiado en la parte de abajo del espacio para alcanzar la altura deseada. La tolerancia en espacio y dimensiones están entre el 5 % del ancho del espécimen.

Cubrir la superficie que estará en contacto con el hormigón líquido con un material delgado y permeable para prevenir que se adhieran a las unidades de mampostería. (Toalla de cocina) Ver Fig. 2.3.

Asegurar las unidades para prevenir desplazamientos durante el vaciado del hormigón líquido y el curado⁹ ver Fig. 2.4 y 2.5.



FIGURA 2.3 Molde de FC BLOCK.

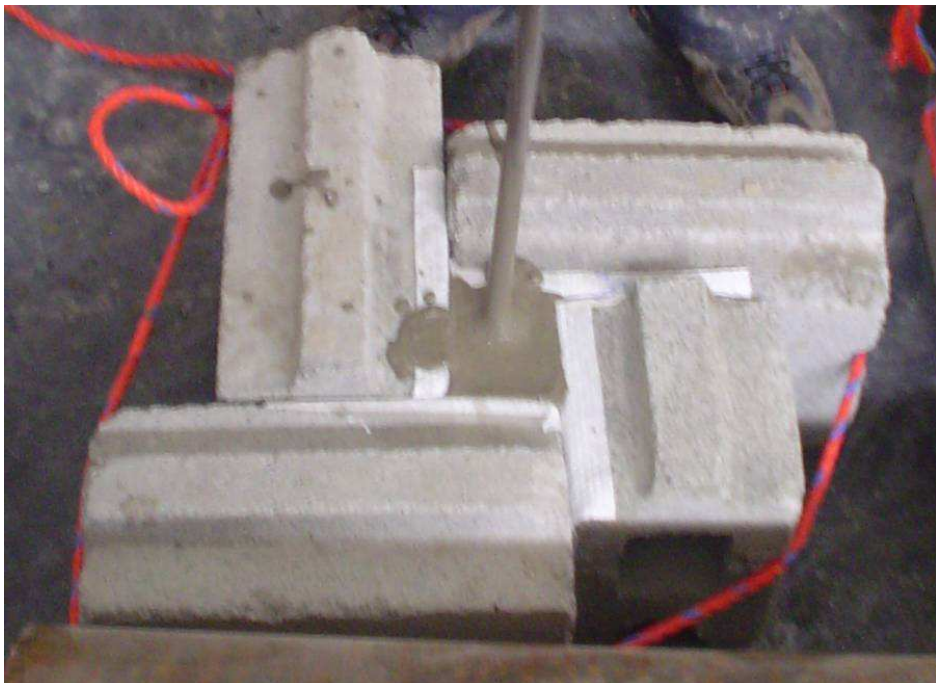


FIGURA 2.4 Molde confinado con hormigón líquido.



FIGURA 2.5 Prismas de muestra.

2.3.5.4 Ensayo de Prismas de Hormigón Líquido

Los prismas de hormigón líquido fueron ensayados a los 28 días después de la toma de muestras; de estos ensayos se puede concluir que la dosificación y mezcla es la óptima ya que se sobre pasó el mínimo requerido, dando como resultado promedio $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$. Ver Fig. 2.6 y 2.7.

El Código Ecuatoriano de la Construcción estipula que para morteros con proporción 1:3 la resistencia mínima es de 15 Mpa, pero uno de los objetivos de la presente investigación es simular las condiciones reales de la práctica en la construcción de mampostería armada, es así que la resistencia característica o $f'c$ del hormigón líquido debía tener como mínimo $f'c=110 \text{ kg/cm}^2$.



FIGURA 2.6 Preparación de prisma para ensayo a compresión



FIGURA 2.7 Falla por carga a compresión en prismas.

2.4 EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS MAMPOSTERÍAS

Es necesario la adquisición de las siguientes maquinas y herramientas así como la estricta supervisión del especialista, con el fin de obtener los mas óptimos resultados. Como se muestra en la secuencia de Fig. 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14.



FIGURA 2.8 Concretera para mezclar el hormigón líquido.



FIGURA 2.9 Concreteira para mezclar el hormigón.



FIGURA 2.10 Cono de Abrams, sirve para realizar la prueba de asentamiento.



FIGURA 2.11 Moldes para cilindros de hormigón.



FIGURA 2.12 Balanza de precisión para pesar todas las muestras



FIGURA 2.13 Horno para secado de agregados en el proceso de dosificación



FIGURA 2.14 Máquina para realizar los ensayos a compresión de muestras (prismas y cilindros).

2.5 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ENSAYO

2.5.1 Equipo de Carga

La carga horizontal, simulando una acción sísmica a nivel estático, se aplicará mediante un gato hidráulico ENERPAC capaz de aportar una carga nominal máxima de 2 Toneladas a través de un pistón. Ver Fig. 2.15 y 2.16.

El modelo de gato utilizado permite obtener el movimiento del pistón, muy útil para tener un control de la carga aplicada en el modelo por desplazamiento cuando se llegue a la zona de post-rotura.



FIGURA 2.15 Gato hidráulico de 20 t de carga nominal que se utilizará en la aplicación de la carga horizontal estática en la pared.



FIGURA 2.16 Bomba eléctrica ENERPAC con capacidad de 100 toneladas

2.6 INSTRUMENTACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

2.6.1 Celda de Carga

Se tiene previsto medir las horizontales en un punto de la estructura de las mamposterías a partir de células de carga. Las células de carga son aparatos de medida de carga mediante un transductor que emite una señal (voltaje) equivalente a una deformación interna del aparato y que permite transformar esa señal a una carga. Como se muestra en las Fig. 2.17, 2.18, y 2.19.



FIGURA 2.17 Placa de unión pared-rotula



FIGURA 2.18 Rótula



FIGURA 2.19 Celda de carga HBM-KRAFTAUFNEHMEP FORCE TRANSDUCER con capacidad de 200 KN 2mv/V y el acople.

2.7 ELEMENTO AUXILIAR

En las mamposterías F'C BLOCK es necesario la utilización de la losa de cimentación como dispositivo auxiliar. Consta de unas cadenas de hormigón que simulan el empotramiento en la cimentación, debidamente diseñadas. Dicha cadena se fija por puntos a la losa del laboratorio (C.I.V.E.P.N), mediante barras roscadas.

2.8 EXTENSÓMETROS

Para medir el desplazamiento que se produce en cada pared como consecuencia de aplicación de la carga horizontal, se utilizarán unos aparatos de medida llamados extensómetros, ver Fig. 2.20. Estos aparatos emiten una señal (voltaje) que equivale a ciertos desplazamientos procesados en el UPM, ver Fig. 2.21. Se colocarán estratégicamente dos extensómetros por pared, ver Fig. 2.22, y 2.23.



FIGURA 2.20 LVDTs HBM de 100 mm - 80 mv/V (Traductores de Desplazamiento Lineal Variable), sirven para medir deformaciones).



FIGURA 2.21 Posición de LVDT en viga superior de las mamposterías.



FIGURA 2.22 Posición de LVDT en cadena de cimentación.

2.8.1 Estructura Metálica de Soporte para Extensómetros

Se ha diseñado una estructura metálica que mantenga los extensómetros en puntos, de manera uniforme. Ver Fig. 2.24



FIGURA 2.23 Estructura metálica



FIGURA 2.24 Sistema UPM100 HBM de 80 canales para recopilación y procesamiento de datos de carga y deformación de manera digital para lo que se utilizó el software CATMAN.

2.9 MANO DE OBRA

Para la construcción de mampostería de muros armados con el sistema FC' BLOCK se requiere en esencia la participación de un albañil y su ayudante en la etapa inicial de levantamiento del muro. La función del primer operario es pegar las unidades de mampostería con el apoyo del ayudante. La fundición de las vigas, se realiza con el personal adecuado en la construcción de hormigón armado.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS PREVIO AL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS MAMPOSTERÍAS CON EL SISTEMA FC BLOCK EN EL LABORATORIO

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MAMPOSTERIA

3.1.1 Refuerzos de la Mampostería

El comportamiento de la mampostería armada es básicamente absorber el corte sísmico asumido para el diseño, que es deducido por los esfuerzos en el sistema constructivo.

Este sistema de muros armados sometidos a diferentes sollicitaciones, coplanares y laterales, en áreas sísmicas. Para garantizar el comportamiento del sistema, es necesaria la integración del acero y de la mampostería.

El componente que integra el acero vertical con la mampostería es siempre el concreto líquido, así como lo es para el acero horizontal cuando se coloca en espacios o canales. El refuerzo diseñado para cumplir las funciones resistentes y de carácter dúctil se basa en las siguientes especificaciones del Código Ecuatoriano de la Construcción:

La cuantía del refuerzo evaluada sobre el área bruta de la sección del muro, en cada una de las direcciones, vertical y horizontal, no debe ser menor que 0,0007.

La suma de ambas cuantías, horizontal y vertical, no puede ser menor que 0,002
La cuantía del refuerzo vertical no puede ser menos de la mitad de la cuantía del refuerzo horizontal.

En la evaluación de las cuantías se puede tener en cuenta los refuerzos mínimos vertical y horizontal, siempre y cuando sean continuos en el tramo del muro.

El refuerzo requerido por cortante colocado en los elementos embebidos se puede considerar dentro de la evaluación de la cuantía horizontal.

Para el refuerzo vertical mínimo debe cumplirse los siguientes requisitos:

El espaciamiento horizontal entre refuerzos verticales no puede ser mayor de 1,20m.

Se debe disponer como mínimo una barra de 12 mm en cada extremo del muro.

Se debe disponer como mínimo una barra de 12 mm al lado de ventanas o aberturas interiores mayores de 600mm horizontalmente o verticalmente. Este refuerzo debe ser continuo dentro del tramo del muro.

Para el refuerzo horizontal mínimo debe cumplirse los siguientes requisitos:

El diámetro del refuerzo horizontal en las juntas horizontales de pega no puede ser menor de 4mm, y no puede espaciarse verticalmente a más 600 mm.

El refuerzo horizontal colocado dentro de elementos embebidos dentro de unidades de mampostería especiales, no puede espaciarse verticalmente a más de 1,20 m.

Se debe colocar un refuerzo horizontal mínimo de dos barras 10 mm en el remate y arranque de los muros y a nivel de las losas de entepiso.

Se debe colocar además un refuerzo horizontal mínimo de dos barras 10 mm en la parte inferior de aberturas interiores con dimensiones mayores de 600 mm. Este refuerzo debe extenderse dentro del muro al menos 600 mm.”

3.1.2 Diseño de Muros en la Dirección Paralela a su Plano

Cuando el modo de falla dominante del muro es la flexión, la resistencia nominal a flexión del muro M_n debe cumplir la siguiente relación:

$$M_n \geq \alpha M_{cr} \quad (3.1)$$

Donde:

$\alpha=1,8$ Mampostería con todas sus celdas inyectadas con mortero de relleno.

$\alpha=3$ Mampostería donde solo están inyectadas las celdas que contienen refuerzo.

M_{cr} : Momento de agrietamiento que viene dado por la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \frac{b * l^2 * w}{6} * fr \quad (3.2)$$

fr : es el módulo de ruptura de la mampostería y que se obtiene así:

Mampostería con todas sus celdas inyectadas:

$$fr = 1 * \sqrt{f'm} \leq 16 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (3.3)$$

Mampostería con sólo las celdas inyectado con refuerzo:

$$fr = 0.66 * \sqrt{f'm} \leq 8 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (3.4)$$

3.1.3 Resistencia a la Flexocompresión

El momento de diseño solicitado M_u que acompaña a la carga axial P_u debe cumplir la condición anterior para el nivel de carga P_u .

$$M_u \leq \phi M_n$$

M_n se obtiene teniendo en cuenta la iteración entre momento y carga axial, de acuerdo con los principios enunciados, los cuales permiten calcular un diagrama de iteración del muro, empleando el coeficiente de reducción de resistencia, ϕ apropiado y que depende del nivel de carga axial.

3.1.4 Resistencia a Cortante en la Dirección Paralela al Muro

Se debe cumplir la siguiente condición con respecto a la fuerza cortante que actúa en la dirección perpendicular al plano del muro.

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_n = V_m + V_s \tag{3.5}$$

Si $V_u \geq \phi V_m$, entonces el refuerzo debe tomar todo el esfuerzo cortante y V_m y V_s se calcula de acuerdo a lo que se verá a continuación. Además el cortante nominal total, V_n no puede exceder en ninguna sección horizontal del muro el valor dado en la tabla 3.2.

TABLA 3.1 Valores máximos para el cortante nominal V_n

$M/(V \cdot D)$	V_n
$0,25 \geq \frac{M}{V \cdot D}$	$1,57 \cdot A_{mv} \cdot \sqrt{f'_m} \leq 8.45$
$0,25 < \frac{M}{V \cdot D} < 1$	$\left[1.75 - 0.72 \cdot \left(\frac{M}{V \cdot D} \right) \right] \cdot A_{mv} \cdot \sqrt{f'_m} \leq \left[9.39 - 4.07 \cdot \left(\frac{M}{V \cdot D} \right) \right] \cdot A_{mv}$
$\frac{M}{V \cdot D} \geq 1$	$1.03 \cdot A_{mv} \cdot \sqrt{f'_m} \leq 5.32 \cdot A_{mv}$

3.1.4.1 Valor de V_m

El cortante nominal resistido por la mampostería, V_m se calcula utilizando las expresiones dadas en la tabla 3.2, donde M es el momento que ocurre simultáneamente con V en la sección bajo consideración, y d puede tomarse como $0,81_w$ en ausencia de un análisis de compatibilidad de deformaciones.

TABLA 3.2 Valor del cortante nominal resistido por la mampostería

$M/(V \cdot D)$	V_m
$0,25 \geq \frac{M}{V \cdot D}$	$V_m = 0.63 \cdot A_{mv} \cdot \sqrt{f'_m}$
$0,25 < \frac{M}{V \cdot D} < 1$	$V_m = \left[0.72 - 0.41 \cdot \left(\frac{M}{V \cdot D} \right) \right] \cdot A_{mv} \cdot \sqrt{f'_m}$
$\frac{M}{V \cdot D} \geq 1$	$V_m = 0.31 \cdot A_{mv} \cdot \sqrt{f'_m}$

3.1.4.2 Valor de V_s

El cortante nominal resistido por el refuerzo horizontal de cortante V_s , se calcula de la siguiente manera:

$$V_s = \rho_n * f_y * A_{mv} \quad (3.6)$$

Donde f_y es la resistencia a la fluencia del acero, y ρ_n es la cuantía del refuerzo que contribuye a resistir la fuerza cortante.

$$\rho_n = \frac{A_v}{s * b} \quad (3.7)$$

A_v es el área de refuerzo horizontal que resiste cortante, espaciado una separación s medida verticalmente, colocado dentro de elementos horizontales embebidos dentro del muro.”1

3.1.4.3 Cálculos

Cálculo del refuerzo vertical y horizontal de los muros.

$$\rho_V = 0,0007 \quad L \text{ PARED} = 253 \text{ cm}$$

$$\rho_T = 0,002 \quad \text{ANCHO PARED} = 15 \text{ cm}$$

$\rho_H = 0,0013$ en el sentido horizontal existe refuerzo en la viga superior y en la viga inferior por lo que se decide tomar como valor de $\rho = 0,0007$

$$ASV = \rho \times b \times L = 2.66 \text{ cm}^2 \text{ (Área del refuerzo vertical)}$$

$$ASH = \rho \times b \times L = 2.66 \text{ cm}^2 \text{ (Área del refuerzo horizontal)}$$

Resistencia a cortante en la dirección paralela al muro con trabado horizontal

DATOS:

$$f_y = 4\,200 \text{ kg / cm}^2$$

$$A = 300 \text{ cm}^2 \text{ (área del bloque)}$$

$$h = 20 \text{ cm (altura del bloque)}$$

$$b = 15 \text{ cm (ancho efectivo)}$$

$$l_w = 257 \text{ cm (longitud horizontal de la pared)}$$

$$d = 205,6 \text{ cm (distancia de la cara de compresión al centroide del refuerzo en tracción)}$$

$$f'_m = 25,05 \text{ kg / cm}^2 \text{ (resistencia a compresión de la mampostería)}$$

$$A_{mv} = b * l_w = 3\,855 \text{ cm}^2 \text{ (Área Efectiva para cortante en la dirección paralela al muro)}$$

Cálculo de V_m :

$$V_m = 0.31 * A_{mv} * \sqrt{f'_m}$$

Según TABLA V-2 / Pág. 47 / propuesta CEC para mamposterías

$$V_m = 5,98 \text{ t}$$

Cálculo del Cortante nominal Resistido por el Refuerzo Horizontal " V_s "

$$A_v = 0,67 \text{ cm}^2 \text{ (Área del refuerzo horizontal que resiste cortante)}$$

$$S = 62 \text{ cm (separación del refuerzo de corte medida a lo largo del eje vertical del muro)}$$

$$p_n = 0,0007 \text{ (cuantía de refuerzo horizontal que contribuye a resistir la fuerza cortante)}$$

$$V_s = p_n * f_y * A_{mv}$$

$$V_s = 11,75 \text{ t}$$

$$V_n = V_m + V_s$$

(3.8)

$$V_n = 17,73 \text{ t}$$

Valores máximos para V_n

$$1.03 * A_{mv} * \sqrt{f' m} \leq 5.32 * A_{mv} \quad (3.9)$$

Según TABLA V-2 / PAG. 48 / propuesta CEC para mamposterías

$$20,51 \leq \\ \Rightarrow V_n = 19,87 \text{ t}$$

Cálculo de V_u

$\phi = 0,6$ (para cortante) PAG. 36 / propuesta CEC para mamposterías

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u = 10,64 \text{ t} \Rightarrow \text{ok!}$$

Si $\phi V_m = 3,59 \text{ t}$

Como $V_u \geq \phi V_m$ entonces el refuerzo debe tomar todo el esfuerzo cortante

Resistencia a cortante en la dirección paralela al muro con trabado vertical

DATOS:

$$f_y = 4\,200 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$A = 300 \text{ cm}^2 \text{ (área del bloque)}$$

$$h = 20 \text{ cm} \text{ (altura del bloque)}$$

$$b = 10 \text{ cm} \text{ (ancho efectivo)}$$

$$l_w = 257 \text{ cm} \text{ (longitud horizontal de la pared)}$$

$$d = 205,6 \text{ cm} \text{ (distancia de la cara de compresión al centroide del refuerzo en tracción)}$$

$$f' m = 25,05 \text{ kg} / \text{cm}^2 \text{ (resistencia a compresión de la mampostería)}$$

$A_{mv} = b * l_w = 3\,855 \text{ cm}^2$ (Área Efectiva para cortante en la dirección paralela al muro)

Cálculo de V_m :

Condición más desfavorable

$$V_m = 0.31 * A_{mv} * \sqrt{f'_m} \quad (3.10)$$

Según TABLA V-2 / Pág. 47 / propuesta CEC para mamposterías

$V_m = 6,0 \text{ t}$

Cálculo del Cortante nominal Resistido por el Refuerzo Horizontal " V_s "

$A_v = 0,67 \text{ cm}^2$ (Área del refuerzo horizontal que resiste cortante)

$S = 62 \text{ cm}$ (separación del refuerzo de corte medida a lo largo del eje vertical del muro)

$\rho_n = 0,0007$ (cuantía de refuerzo horizontal que contribuye a resistir la fuerza cortante)

$V_s = \rho_n * f_y * A_{mv}$

$V_s = 13,42 \text{ t}$

$$V_n = V_m + V_s \quad (3.11)$$

$V_n = 17,41 \text{ t}$

Valores máximos para V_n

$$1.03 * A_{mv} * \sqrt{f'_m} \leq 5.32 * A_{mv} \quad (3.12)$$

Según TABLA V-2 / PAG. 48 / propuesta CEC para mamposterías

$23,27 \leq 20,51$

$\Rightarrow V_n = 13,251 \text{ t}$

Cálculo de V_u

$\phi = 0.6$ (para cortante) PAG. 36 / propuesta CEC para mamposterías

$$V_u \leq \phi V_n$$

$V_u = 11,25 \text{ t}$ \Rightarrow ok!

Si $\phi V_m = 4,20 \text{ t}$

Como $V_u \geq \phi V_m$ entonces el refuerzo debe tomar todo el esfuerzo cortante

Cálculo de la fuerza de pretensión en los ejes de las vigas de anclaje.

Para pared sin mortero de pega, se calculó de la siguiente manera:

Como datos se tiene:

$$V_n = 24 \text{ t}$$

$$f_r = \mu * N$$

$$\mu = 0,3$$

$$\text{equilibrando: } V_n = f_r$$

$$\text{entonces: } V_n / \mu = N$$

$$N = 24 / 0.3$$

$$N = 80 \text{ t}$$

para 6 ejes la fuerza de pretensión sería es de 13,33 t.

Debido a que los ejes no soportan tanto esfuerzo se procedió a aumentar el número de ejes de la viga de 6 a 8, entonces la fuerza de cada eje es de 10 t.

De ahí que se procede a calcular la presión que se debe aplicar con el gato hidráulico a cada eje de la siguiente manera:

$$F = \text{Presión} \times \text{Área}$$

$$F = 10 \text{ t; Área} = 4,72 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Donde: Presión} = F / \text{Área} = 4\ 672 \text{ psi}$$

Para la pared sin mortero de pega el valor de V_n es de 19,87 por lo que se decidió colocar 6 ejes de anclaje, entonces la presión es de 5 200 psi para cada eje.

3.2 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS MAMPOSTERÍAS CON EL SISTEMA FC'BLOCK EN EL LABORATORIO (C.I.V.E.P.N.).

3.2.1 Descripción del Proyecto

Diagrama de flujo pared con trabado horizontal.

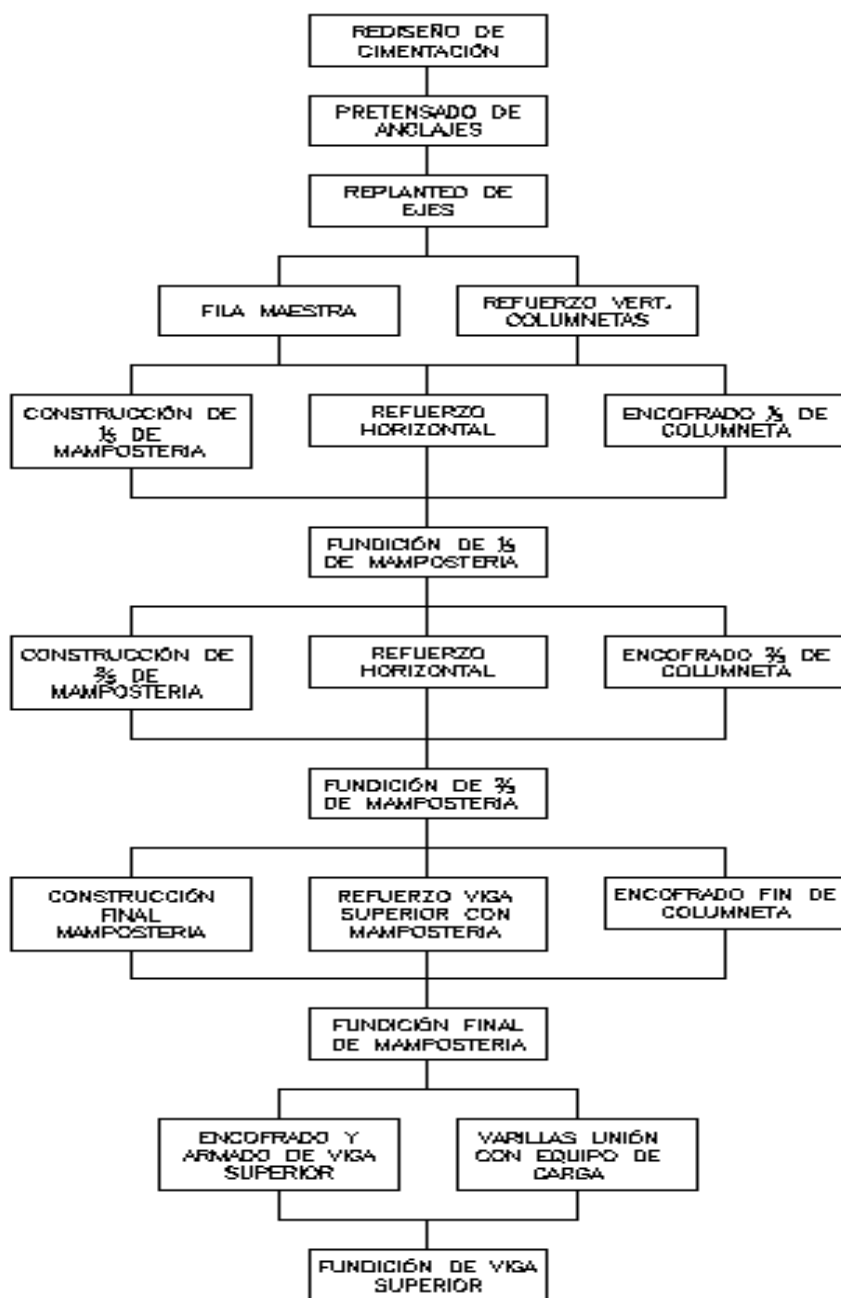
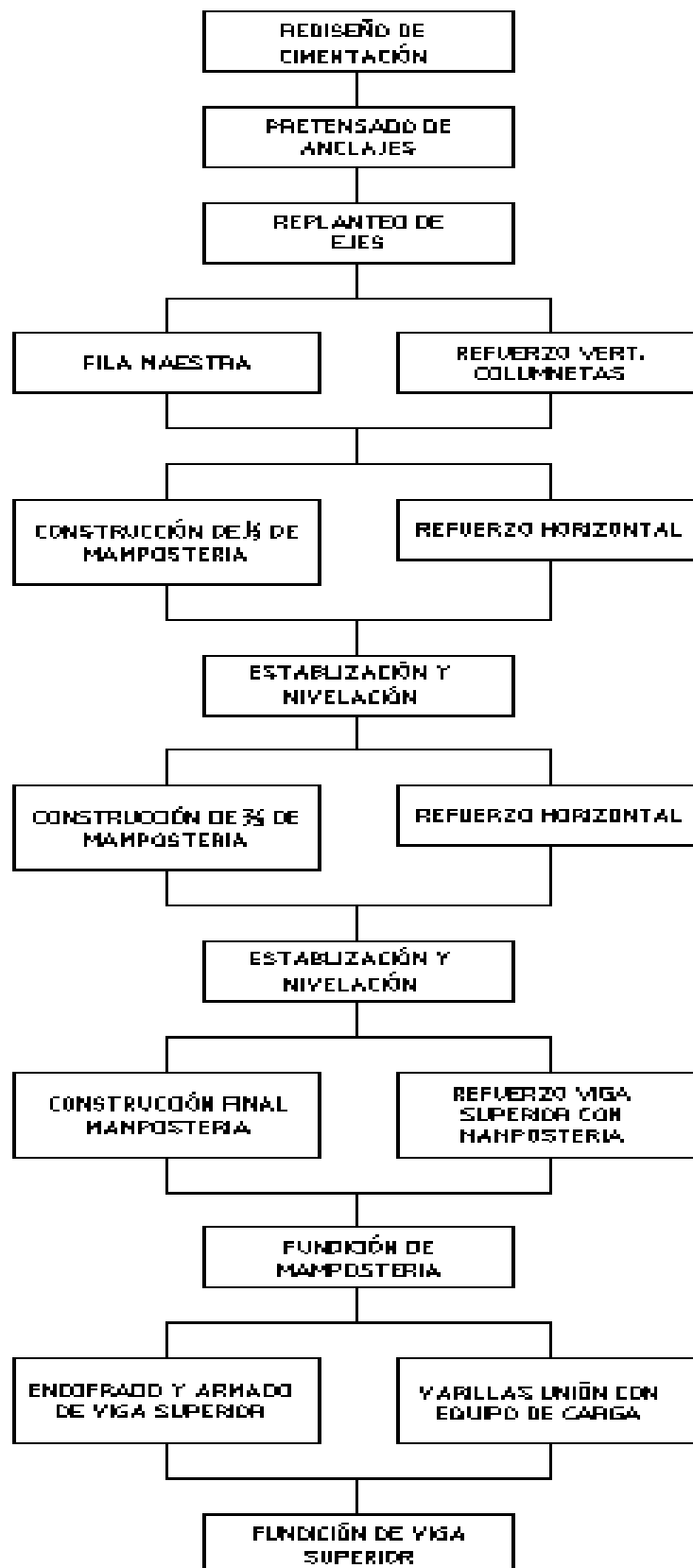


Diagrama de flujo pared con trabado vertical.



3.2.2 Características de las Mamposterías

Los dos muros tuvieron las mismas características geométricas (Fig. 3.1): 15 cm de espesor, 257 cm de longitud y una altura de 180 cm. El refuerzo vertical estuvo compuesto por 4 varillas de Φ 10 mm en cada columneta, mientras que el refuerzo horizontal fue de 1 varilla de Φ 10 mm en cada 1/3 de pared. La pared vertical no tuvo columnetas de confinamiento mientras que la pared horizontal se divide en tres paneles. Cabe destacar que cada bloque en los dos casos de pared fue rellena de hormigón líquido. En la cimentación de las dos paredes se aprovecho las varillas ancladas en la fundición, que sirvieron para traslapar al refuerzo vertical de las nuevas paredes.²

La construcción de los dos muros se hizo en simultáneo por un maestro de obra calificado para este tipo de estructuras con su ayudante. Antes de la construcción se comprobó el diseño teórico de las vigas de cimentación.

Posterior al pretensado de los ejes en las vigas de cimentación se replanteo los ejes que serian guía en el levantamiento de la pared y en la medida para el acople con los equipos de carga.

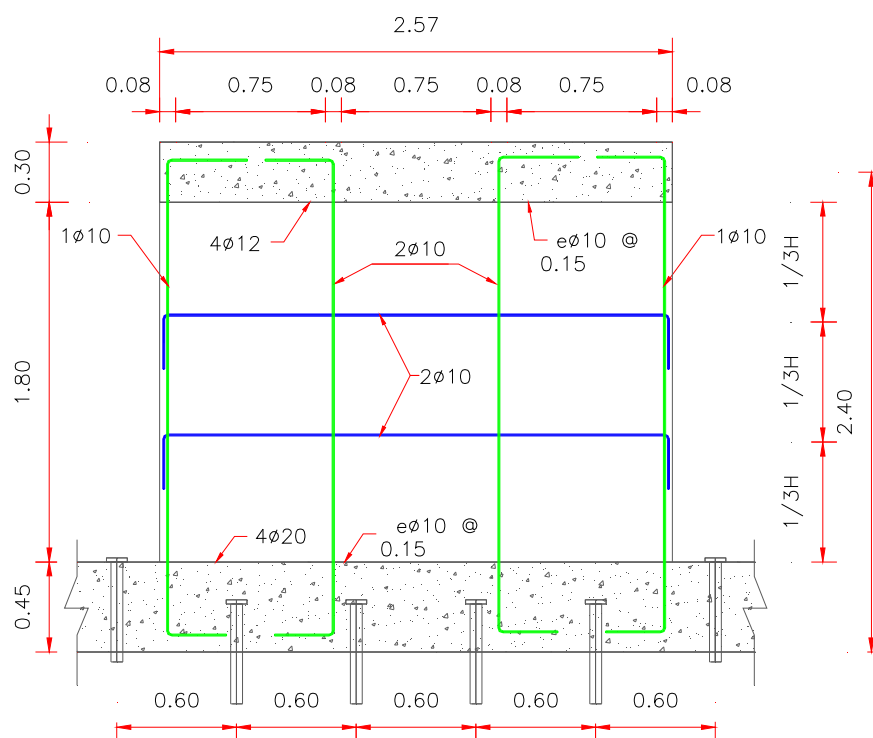


FIGURA 3.1 Geometría de los muros**3.2.3 Construcción de la Pared con Trabado Horizontal**

Para la construcción de las mamposterías se colocó sobre las vigas de cimentación una capa de mortero 1:3, de 1,5 cm de espesor, para asentar las unidades guías de la primera hilada, luego se procedió con el apilado los mampuestos de la siguiente hilada, encajándolos de manera que exista un traslape de medio bloque con los mampuestos de la hilada inmediata inferior. Al terminar el apilamiento de una hilada, se le niveló con las hiladas inferiores por medio de una plomada. Ver Fig. 3.2.

**FIGURA 3.2** Primer tercio de pared con trabado horizontal

Para la preparación del hormigón líquido se seleccionó correctamente los materiales y su dosificación fue al peso. Como se muestra en la secuencia de Fig. 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6



FIGURA 3.3 Agregado grueso y fino para la preparación de hormigones.



FIGURA 3.4 Dosificación al peso del cemento.



FIGURA 3.5 Aditivo expansor



FIGURA 3.6 Mezcla del hormigón líquido

Se controló la confección del hormigón líquido, por medio del cono de Abrams (Fig. 3.7 y 3.8) para el asentamiento, y con la elaboración de prismas para medir la resistencia esperada. Ver Fig. 3.9



FIGURA 3.7 Cono de Abrams – control de fluidez del hormigón



FIGURA 3.8 Cono de Abrams – control de asentamiento del hormigón (27 cm)



FIGURA 3.9 Elaboración de prismas para control de resistencia según norma ASTM.

Previo al vaciado, se encofró las columnetas acomodando así las varillas de $\Phi 10\text{mm}$ en el centro. Luego se vació el hormigón líquido de manera continua por las columnetas. Ver Fig. 3.10.

Para controlar que fluya en la mayor parte de los orificios el hormigón líquido, con una varilla se eliminaba las posibles acumulaciones, debido a que los orificios son horizontales y el vaciado es por gravedad, ver Fig. 3.11. El hormigón, por ser líquido, rellena también los canales horizontales y las columnetas.



FIGURA 3.10 Fundición de 1/3 de mampostería



FIGURA 3.11 Vaciado del hormigón líquido

Se procedió entonces a colocar el acero $\Phi 10$ mm de refuerzo horizontal sobre las crestas, que fue designado longitudinalmente para cada tres hileras.

El refuerzo vertical ya anclado en las vigas de cimentación requirió un traslape de 50Φ de la varilla existente, el cual se lo realizó al final de el levantamiento total de la pared.

Inmediatamente después de terminar el apilamiento del segundo tercio, y luego de que la primera fundición de hormigón líquido haya fraguado, es posible vaciar la segunda fundición, a diferencia de la albañilería armada convencional, donde se debe esperar que seque el mortero utilizado en todas las juntas.

El mismo procedimiento se lo realizó hasta finalizar la construcción de la pared, en 180 cm de altura, luego para la tercera fundición del hormigón líquido había que incluir el refuerzo de anclaje, viga superior con la pared. Ver Fig. 3.12.



FIGURA 3.12 Encofrado final de columneta y refuerzo viga superior con el muro

Posterior a la fundición final de la pared, se completo el encofrado de la viga que serviría para transmitir la fuerza horizontal al a pared. La unión del dispositivo de carga con la viga fueron 4 varillas de $\Phi 18$ mm de 150 cm de longitud (como longitud de desarrollo) y roscadas a $\Phi 16$ mm en una longitud de 8 cm, en donde luego se empernó la placa del dispositivo de carga por lo que su posición fue de acuerdo a los agujeros de la placa. Obligando así a realizar un encofrado especial con 4 agujeros alineados al equipo de carga. Ver Fig. 3.13.



FIGURA 3.13 Alineamiento de ejes con equipo de carga.

3.2.4 Construcción de la Pared con Trabado Vertical

La construcción de la pared con trabado vertical se la realizó simultáneamente a la pared con trabado vertical, y la misma dosificación, así también las medidas, horizontal como la vertical.

Al empezar el armado de la pared, se procedió colocando sobre las vigas de cimentación una capa de mortero 1:3, de 1,5 cm de espesor, para asentar las unidades guías de la primera hilada, que por tener su inercia inversa se buscó un trabado vertical especial colocando solo en la primera hilera y en la última, bloque muro, seguido de medio bloque como sed muestra en la Fig. 3.14.



FIGURA 3.14 Colocación de fila maestra pared con trabado vertical.

De la misma forma que la pared con trabado horizontal se procede a la colocación del refuerzo horizontal y la alineación del refuerzo vertical. (Fig. 3.15) La fundición se realizó en dos etapas, la del hormigón líquido y la viga superior.



FIGURA 3.15 Refuerzo horizontal y vertical en cada tercio de pared.

El control de nivel de cada hilera construida se debió precisar al máximo, ya que por la forma de colocación del bloque se avanzó en gran proporción la altura, pero los mampuestos tendían a acostarse a sus lados. Ver Fig. 3.16.



FIGURA 3.16 Estabilización y nivelación de pared con trabado vertical.

Para la fundición final de hormigón líquido de la pared vertical se colocaron puntales estratégicamente, ya que los mampuestos perdían su posición y no estaba garantizada la estabilidad. Ver Fig. 3.17.

En la fundición de la pared, se controló el asentamiento y resistencia del hormigón líquido, y el vertido fue igual que la pared horizontal, aunque por la disposición de los mampuestos el hormigón penetra directamente, formándose columnetas en cada orificio, con un total de 13. Ver Fig. 3.18.

Se aspiraba a un lleno total en los orificios de los mampuestos, ya que el vaciado fue vertical y por gravedad el hormigón líquido debía fluir, aun así, con la ayuda de una varilla se empujaba el hormigón líquido. Ver Fig. 3.19.

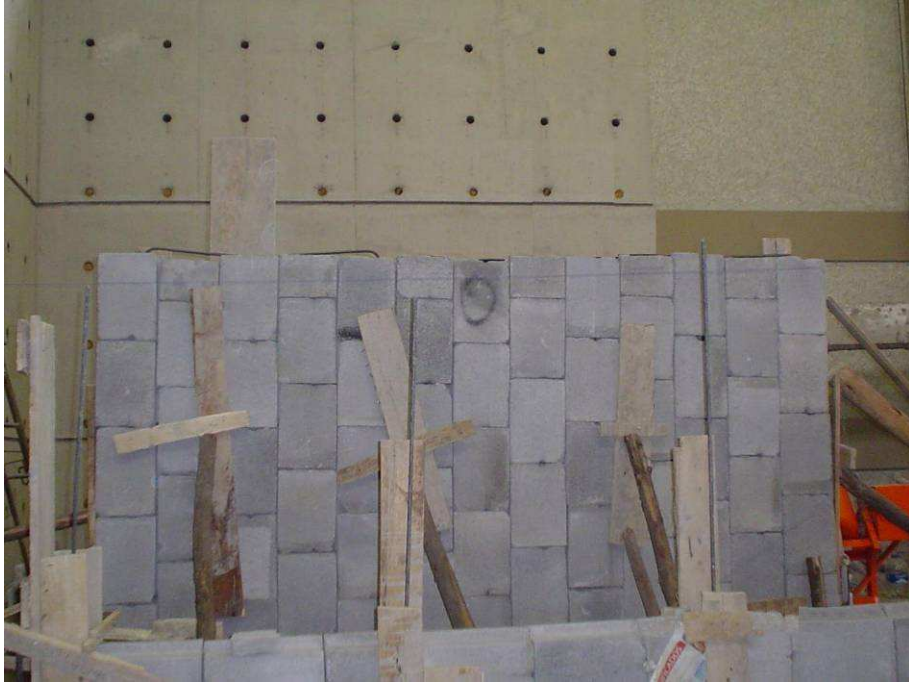


FIGURA 3.17 Apuntalamiento de pared para fundición.



FIGURA 3.18 Fundición total de pared vertical.



FIGURA 3.19 Distribución del hormigón con varilla.

La construcción de las mamposterías fue muy particular una de la otra, a pesar de aquello por tener las vigas superiores las mismas características, se procedió con la fundición simultánea, llevando así la misma dosificación 1:2:4 para obtener la resistencia del hormigón con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Ver Fig. 3.20, 3.21 y 3.22.



FIGURA 3.20 Encofrado de vigas superiores.



FIGURA 3.21 Placa de unión viga con la rótula.



FIGURA 3.22 Hormigón para fundición vigas superiores.

Se tomaron dos muestras de hormigón una de cada viga para comprobar su resistencia a la compresión a los 28 días la cual fue de 210 kg/cm^2 . Ver Fig. 3.23 y 3.24.



FIGURA 3.23 Cilindro estándar para el ensayo del hormigón.



FIGURA 3.24 Ensayo a compresión para determinación de f'_c .

CAPÍTULO 4

ENSAYOS A CARGA LATERAL EN LAS MAMPOSTERÍAS

4.1 PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS

Terminada la construcción de las mamposterías, tal como se describió en la sección 1.5, se procedió a desencofrar tanto las vigas como las columnetas y llevar a cabo el proceso de curado. Una vez que alcanzaron la resistencia adecuada a los 28 días, se procedió a la preparación de las mamposterías para el ensayo a carga horizontal.

Es necesario resanar exteriormente las juntas de los mampuestos para luego pintarlas con la finalidad de tener una mejor visibilidad de las fallas durante los ensayos. Fig. 4.1



FIGURA 4.1 Pared Resanada y Pintada

Luego se procedió a pretensar los anclajes interiores y exteriores de las vigas de cimentación para evitar que estas sufran algún tipo de desplazamiento durante el ensayo de las mamposterías ver figura 4.2 y 4.3.



FIGURA 4.2 Pretensión de los ejes



FIGURA 4.3 Anclajes internos

Como siguiente paso se tiene la instalación del dispositivo de carga, el mismo que sirve para ejercer la fuerza horizontal sobre la viga superior de cada una de las mamposterías. Este sistema está conformado por un gato hidráulico con capacidad de 20 toneladas de carga, que se sujeta en el muro del Laboratorio mediante una placa de reacción, y éste unido a la viga superior por medio de una placa de acero que tiene cuatro orificios por donde pasan las varillas roscadas y que son debidamente aseguradas con tuercas, el ajuste de estas tuercas es importante porque las varillas son las encargadas de transmitir la carga horizontal hacia la viga superior. Previa la instalación de la placa de acero en la viga superior de la mampostería se colocó una placa de neopreno la cual sirve para cubrir irregularidades la superficie de contacto de la viga y lograr una distribución uniforme de la fuerza.

El eje del dispositivo de carga debe coincidir con el centroide de la viga superior el mismo que debe coincidir con el eje de la mampostería. Ver las Fig. 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7.



FIGURA 4.4 Placa de reacción del dispositivo de carga



FIGURA 4.5 Instalación del Gato Hidráulico y Celda de Carga



FIGURA 4.6 Ensamble de placa acoplada a la pared a ser ensayada

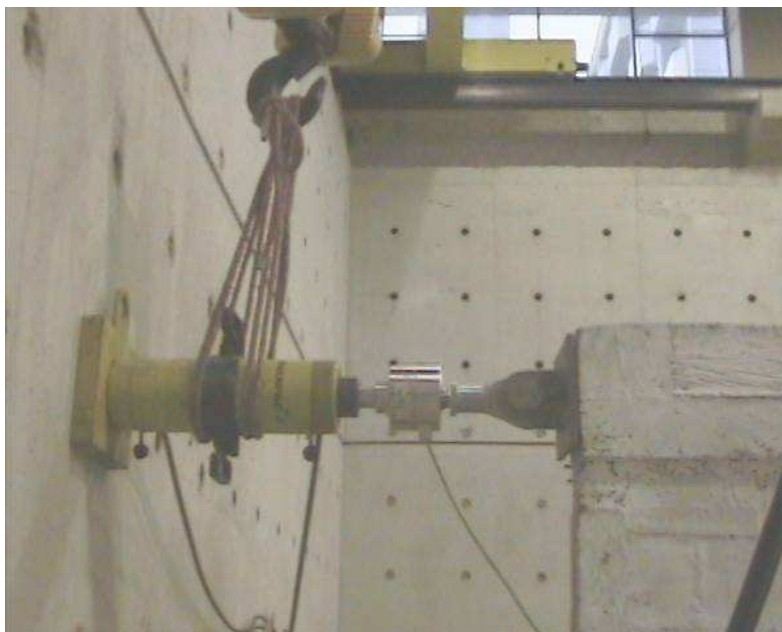


FIGURA 4.7 Dispositivo de carga armado, nivelado y alineado a la pared

Finalmente se colocaron los LVDTs para medir las deformaciones en las vigas, tanto superior como en la inferior y se realizaron las conexiones con los equipos electrónicos UPM y computadora que son los encargados de registrar los resultados de los ensayos. Ver las Fig. 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11.

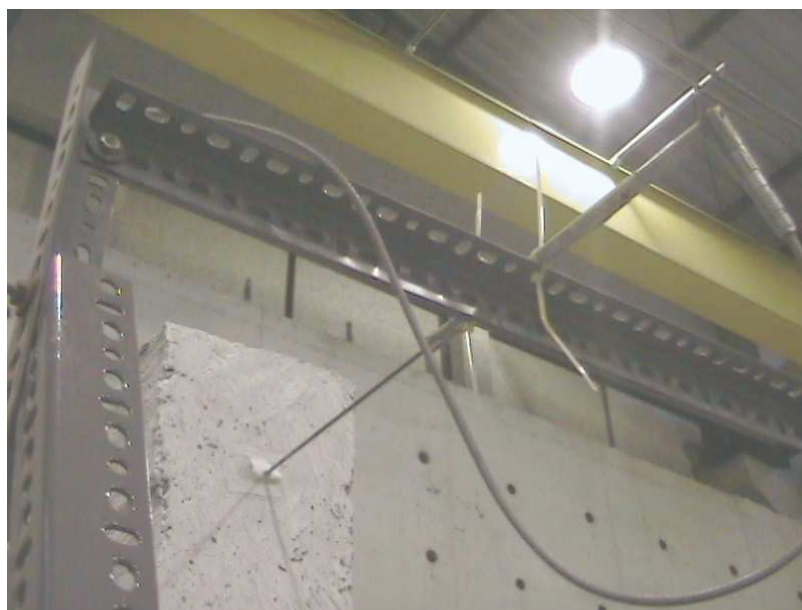


FIGURA 4.8 LVDT en viga superior



FIGURA 4.9 LVDT en viga inferior



FIGURA 4.10 Pared lista para ser ensayada



FIGURA 4.11 Aplicación de Carga Lateral a la Pared

4.2 ENSAYOS DE LOS MUROS

Este ensayo a carga horizontal cíclica se utiliza generalmente para simular las condiciones de carga ante la actuación de posibles esfuerzos horizontales (viento o sismo), esfuerzos a los que se verán sometidos los muros en condiciones reales.

Para empezar el ensayo se procedió a calibrar y encerar los equipos. Se aplicaron dos estados de carga una positiva (empujando la pared) y otra negativa (halando la pared), se inicia el ensayo dando carga positiva.

La carga cíclica se refiere a que luego de aplicar carga positiva de cierta magnitud, seguidamente se le aplicó una carga de la misma magnitud pero de dirección contraria y la magnitud de esta carga se incrementó cada vez que se alternaba carga positiva con carga negativa. ²

El incremento de carga se realizó hasta que la pared llegó a su agotamiento total, es decir la pared no resistía más incremento fuerza y su deformación seguía aumentando, es entonces cuando se considera fin del ensayo. Adicional a esto se tiene gran cantidad de fisuras, las mismas que se describen en los gráficos siguientes.

Una forma de determinar que el ensayo estaba dentro de parámetros normales, se consideró la gráfica fuerza-deformación de la viga superior, donde la deformación de las vigas se las obtiene por medio de los LVDTs, y la fuerza es la magnitud de la carga aplicada.⁶

4.2.1 Ensayo Pared con Trabado Horizontal

El análisis del ensayo se realizó en función de deformaciones y fallas producidas por la aplicación de carga.

Para la representación de las fisuras, se utilizó marcadores de colores donde se estableció que: las fisuras producidas bajo el efecto de carga positiva van con color rojo, y con color azul las fallas producidas por el efecto de carga negativa. Ver Fig. 4.13.

Los ciclos de carga aplicados a través de esta fueron desde 0 a 1 000 kg. E incrementándose como se explica en la Fig. 4.12.

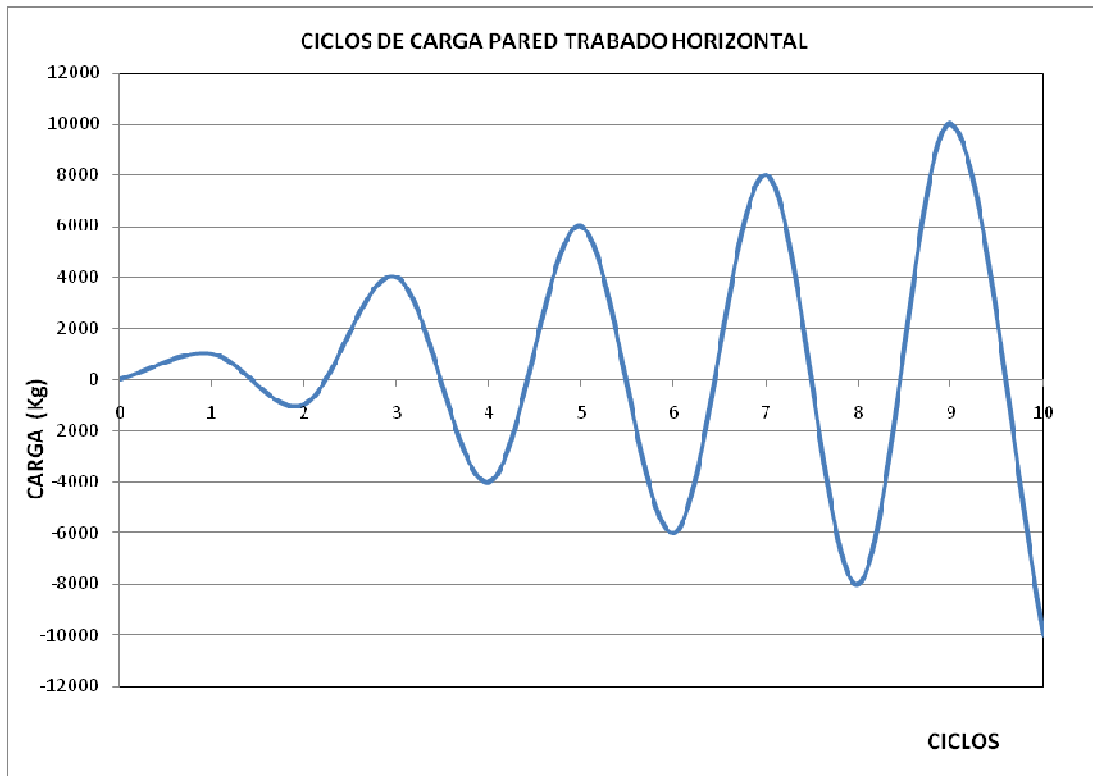


FIGURA 4.12 Gráfica ciclos de carga



FIGURA 4.13 Cuarto ciclo de carga pared sin presencia de fisuras

La primera falla apareció al haberse aplicado una carga de 6 000 kg de carga negativa, con una deformación de 1,47 mm en la viga superior, la fisura se localizaba en las juntas de los mampuestos a lo largo de la tercera fila, como se puede observar en la Fig.4.14.

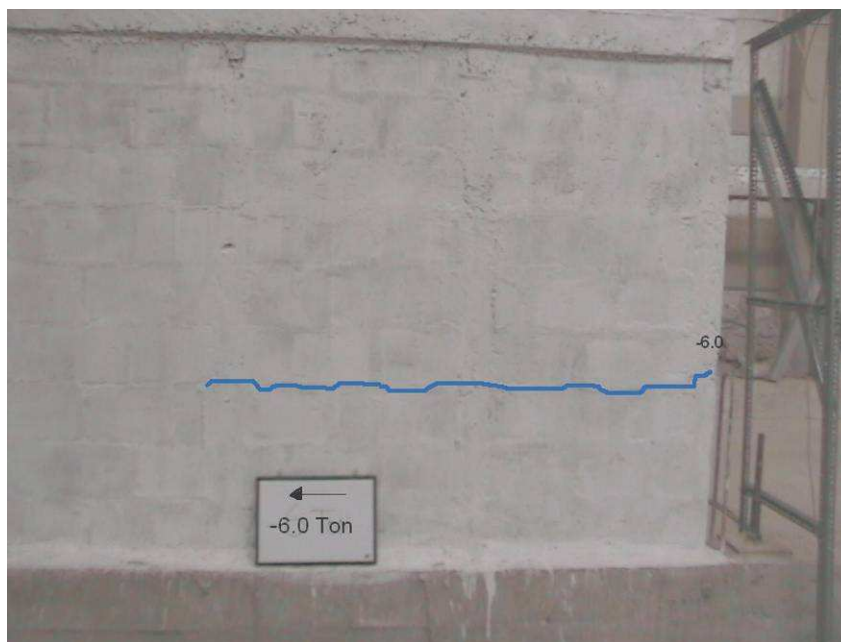


FIGURA 4.14 Primera Fisura en la pared a 6 t de carga negativa

Para el ciclo de carga de 8 toneladas positivo no se presentaron nuevas fallas visibles, sin embargo la falla producida a las 6 ton se prolongo y se hizo más visible. Antes de completar el siguiente ciclo de carga de 8 toneladas negativo se evidenciaron algunas fisuras a las 7,70 t, estas se presentan en sentido horizontal y vertical siguiendo la junta de los mampuestos atravesando las columnetas de hormigón líquido, sin embargo cabe indicar que todavía no existen fallas por corte, ver Fig. 4.15 y 4.16.

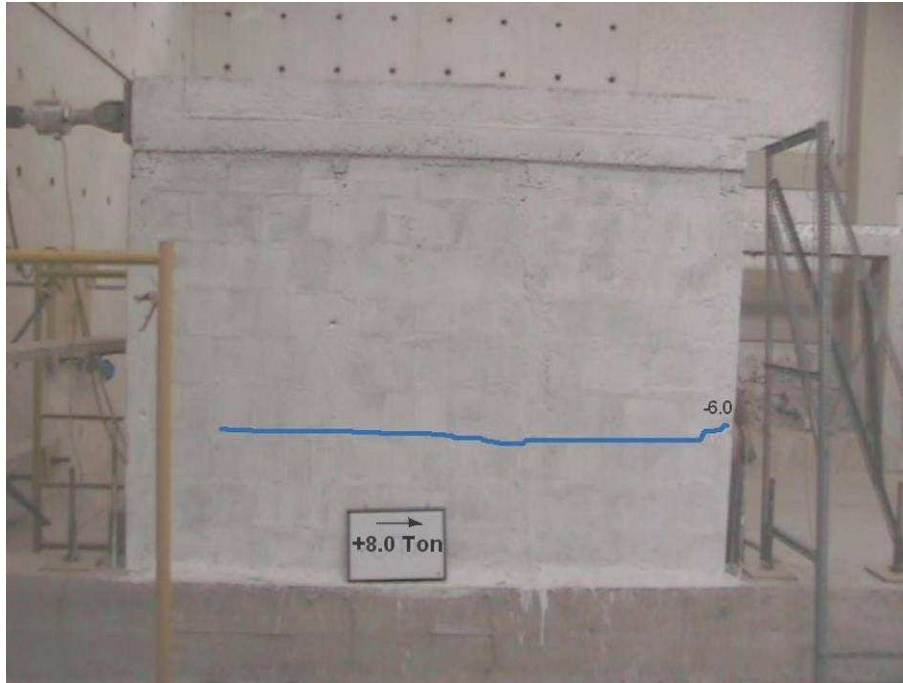


FIGURA 4.15 Fisuras en la pared a las 8.0 t de carga positiva

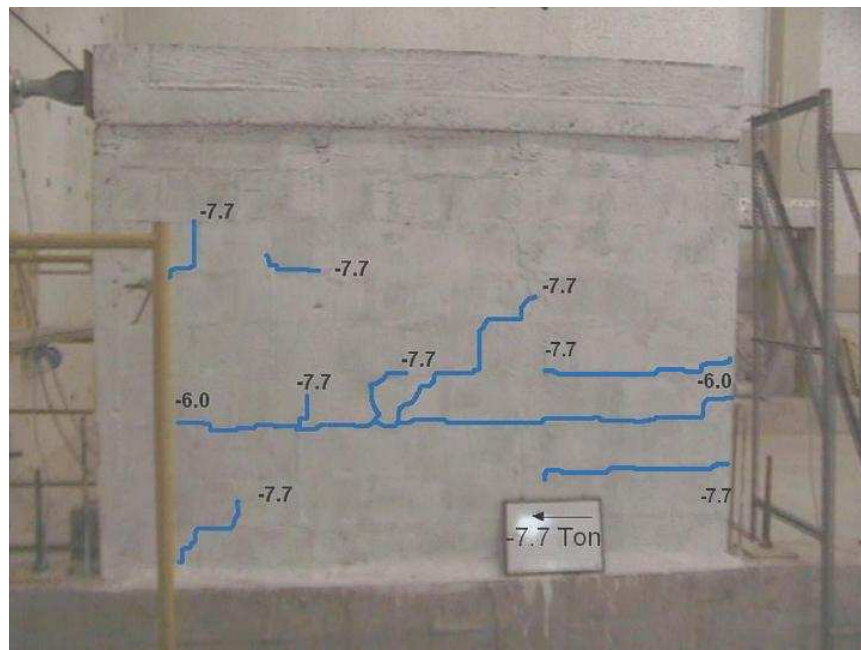


FIGURA 4.16 Fisuras en la pared a las 7,7 t de carga negativa

A continuación correspondía aplicar 10 t de carga positiva, presentándose un agotamiento de la pared a las 8,9 t donde aparecen fisuras más visibles y se decide cambiar al siguiente ciclo correspondiente a 10 t de carga negativa. Ver Fig. 4.17 y 4.18.



FIGURA 4.17 Fisuras en la pared a las 8,9 t de carga positiva.



FIGURA 4.18 Fisuras en la pared a las 10 toneladas de carga negativa.

Se terminó el ensayo cuando la pared llegó a su agotamiento total, es decir que la pared ya no está en la capacidad de soportar más carga. Finalmente la pared llegó a su capacidad máxima de resistencia a las 6,70 t de carga negativa y 8,9 t de carga positiva. Ver Fig. 4.19.



FIGURA 4.19 Fisuras finales de la pared (Terminación del Ensayo).

Al finalizar el ensayo se puede observar que no existen fallas por corte, se observan fisuras bien marcadas producidas en la unión de los mampuestos debido a que no existió mortero de pega entre los mampuestos, además existen fisuras pronunciadas en las columnetas exteriores. Ver Fig. 4.20.



FIGURA 4.20 Pared al término del ensayo.

4.2.1.1 Análisis de Resultados

Los datos obtenidos del ensayo nos demuestran que la pared soportó una carga máxima de 8,9 toneladas con una deformación de 7,5 mm. Además realizando la grafica de la envolvente se determinó el límite elástico que corresponde a un valor de carga iguala a 8,0 t y deformación de 1,45 mm. Ver Fig. 4.21.

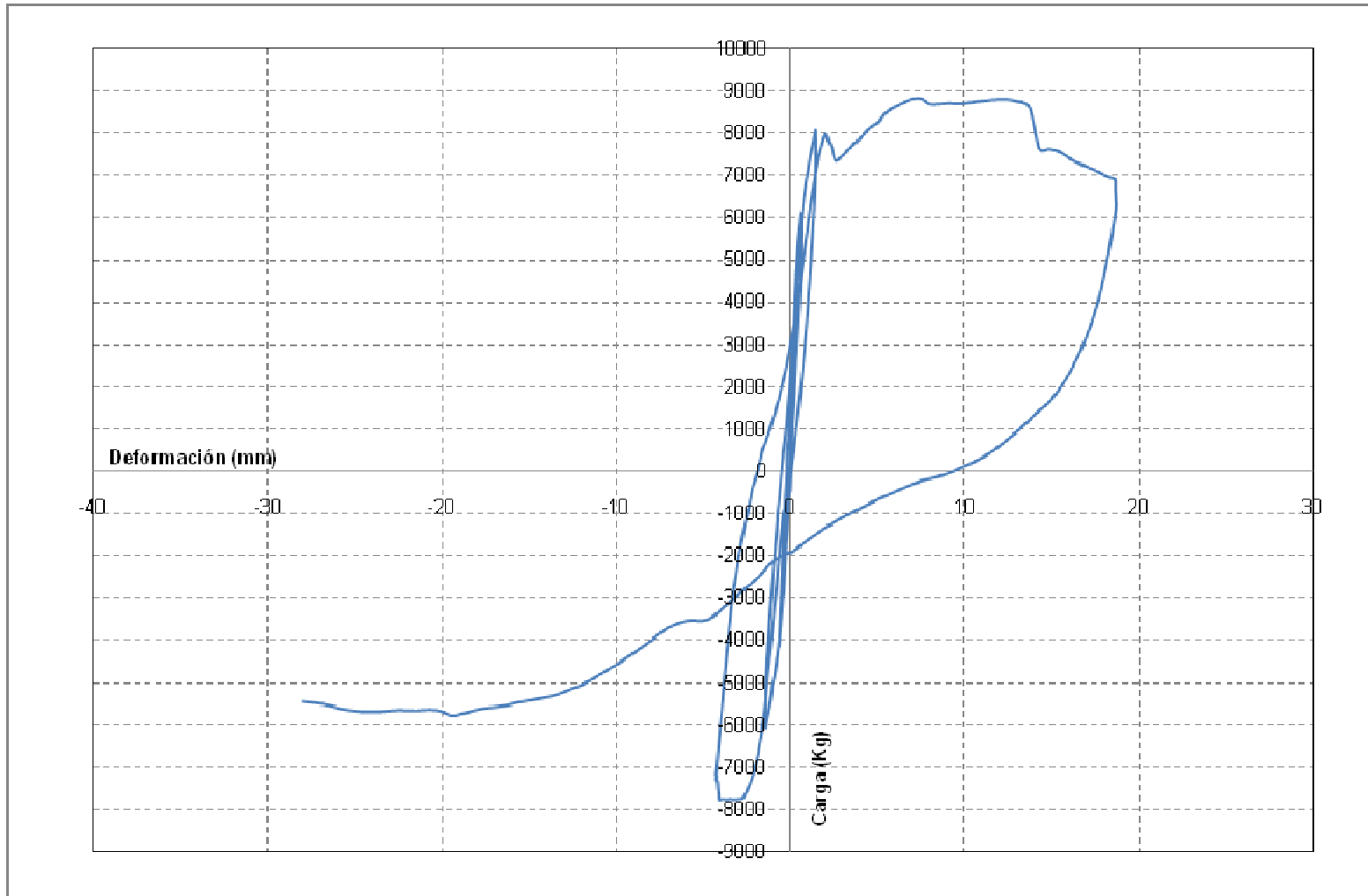


FIGURA 4.21 Diagrama Histerético de la Pared Horizontal. ⁶

A continuación se presentan los datos y grafica de carga vs. deformación obtenidos en el ensayo. Ver tabla 4.1 y Fig. 4.22.

Ciclos	Carga (kg)	Deformación (mm)
0	0,00	0,00
1	1 000	0,01
2	-1 000	0,14
3	4 000	0,35
4	-4 000	0,64
5	6 000	0,60
6	-6 000	1,42
7	8 000	1,45
8	-7 700	4,11
9	8 900	7,50
10	-6 735	87,91

TABLA 4.1 Datos obtenidos en el ensayo de la pared con trabado horizontal.

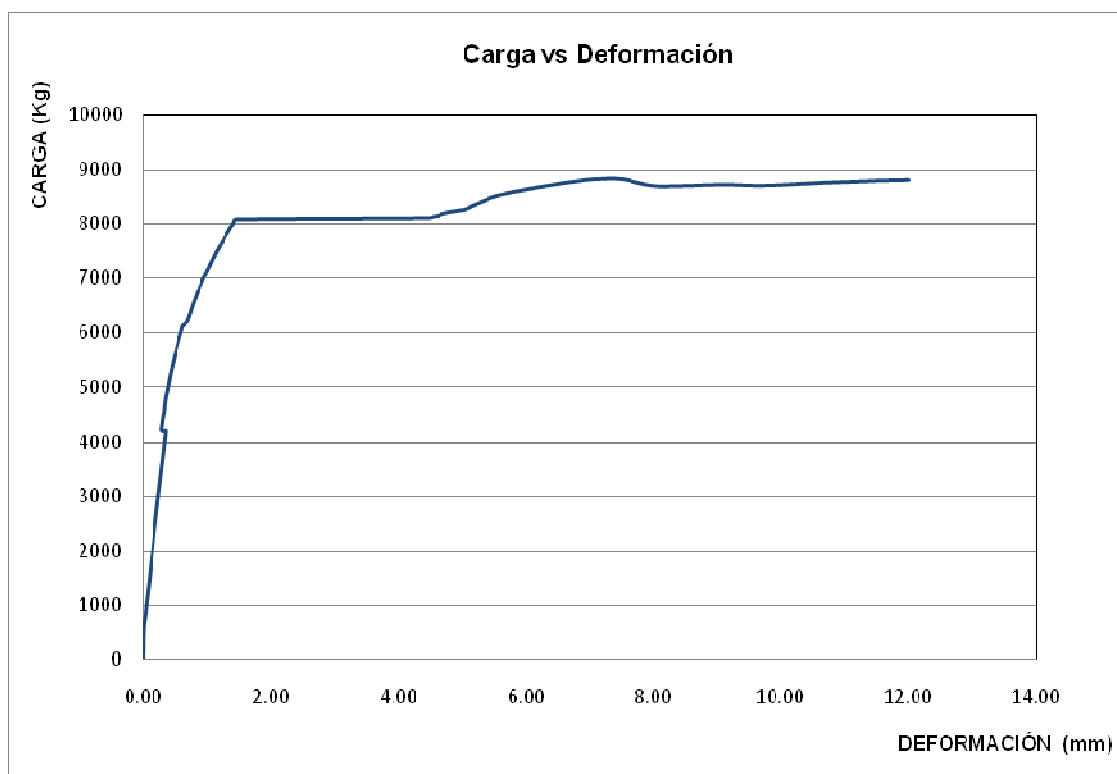


FIGURA 4.22 Curva experimental de la envolvente promedio de carga y deformaciones alcanzadas en ambos sentidos.

4.2.1.2 Exploración interna de la pared con trabado horizontal

En base al mapa de fisura, se realizó la exploración del interior de las mamposterías, tomando en cuenta cuales eran los requerimientos a cumplir.³

Para un mejor análisis se realizó la exploración por paneles, ver Fig.4.23.:

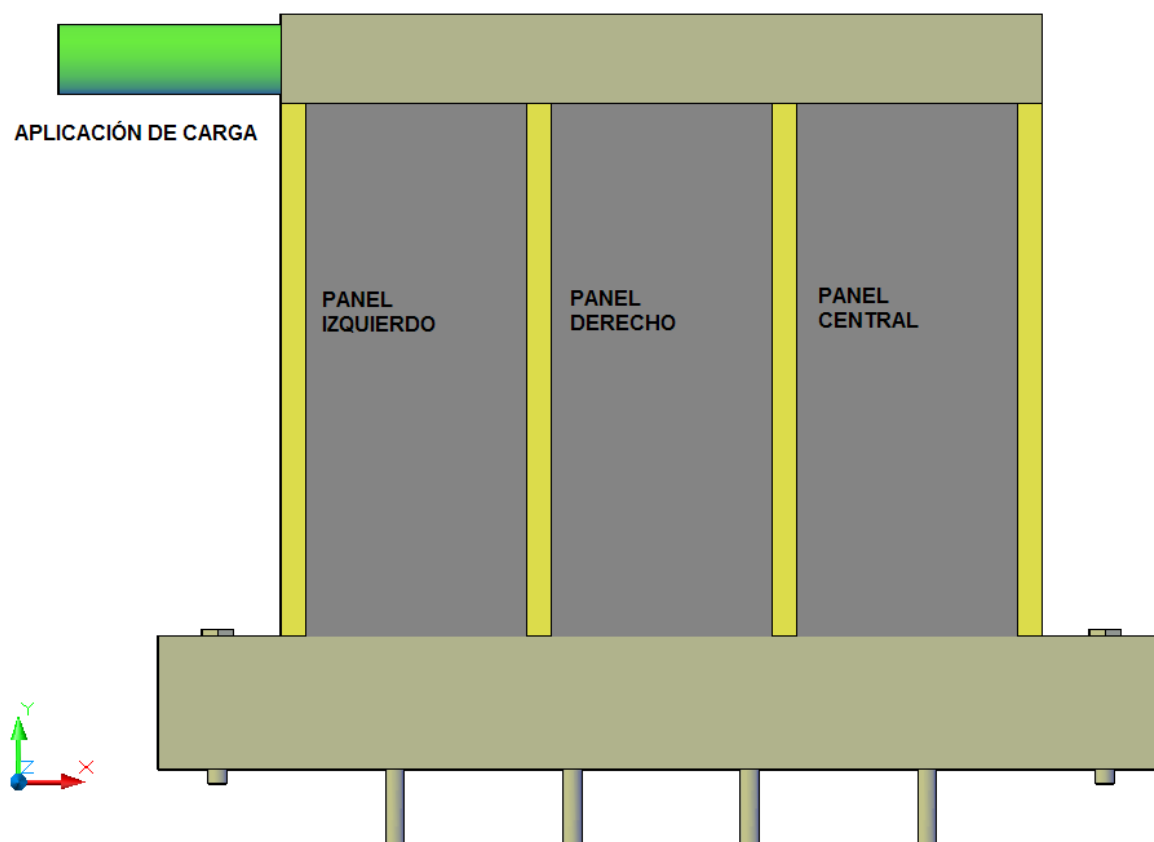


FIGURA 4.23 Esquema de paneles para la exploración, pared horizontal y vertical.

Debido a la falta de mortero de pega entre los mampuestos, la rotura en la pared se produjo de manera total por las juntas, sin que a penas hubiera deslizamiento entre los mampuestos. Se forma una única línea de fisuración siguiendo el escalón de los mampuestos en sentido horizontal muy por debajo de la banda

ancha de la diagonal principal y luego se multiplica el mismo tipo de falla en las hileras subsiguientes, hasta llegar a la fatiga total, que se las puede apreciar en las Fig. 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 y 4.30,



FIGURA 4.24 Fisuras por flexión en la base del panel izquierdo.



FIGURA 4.25 Penetración total de hormigón líquido en panel izquierdo.



FIGURA 4 26 Fisuras horizontales en las juntas correspondientes al panel central.



FIGURA 4.27 Fisuras horizontales que abarcaron toda la pared, algunas fueron escalonadas a través de las juntas y otras atravesaron los mampuestos.



FIGURA 4.28 Recubrimiento del refuerzo horizontal panel derecho.



FIGURA 4.29 Penetración del hormigón líquido en su totalidad.



FIGURA 4.30 Mampuestos llenos de hormigón líquido.

4.2.2 Ensayo de la Pared con Trabado Vertical

Los ciclos de carga aplicados fueron similares al ensayo de la pared con trabado horizontal, el incremento de carga para cada ciclo se puede observar en la Fig. 4.31

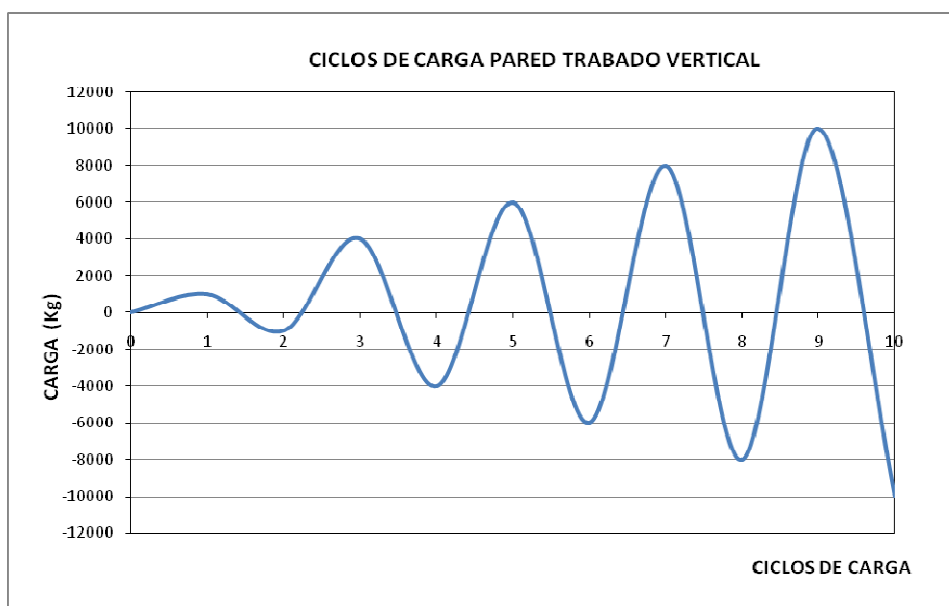


FIGURA 4.31 Gráfica ciclos de carga pared vertical

Para la representación de fisuras al igual que la pared anterior se utilizó: color rojo fallas producidas bajo el efecto de carga positiva, y con color azul las fallas producidas por el efecto de carga negativa.

En el cuarto estado de carga, aplicando 4,0 t de carga positiva no se observa ningún tipo de fisuras, el siguiente estado de carga es 4,0 t de carga negativa, al igual que estado de carga anterior el muro no presenta ningún tipo de fisuras. Ver Fig. 4.32.



FIGURA 4.32 Aplicación de 4ton de carga positiva.

Al aplicar 6,0 t de carga positiva aparecieron las primeras fisuras en la base de las columneta exterior derecha específicamente en la unión del bloque con la columneta. La deformación que corresponde al estado de carga es de 0,6 mm. Ver Fig. 4.33 y 4.34.



FIGURA 4.33 Pared Aplicando 6 t de carga positiva

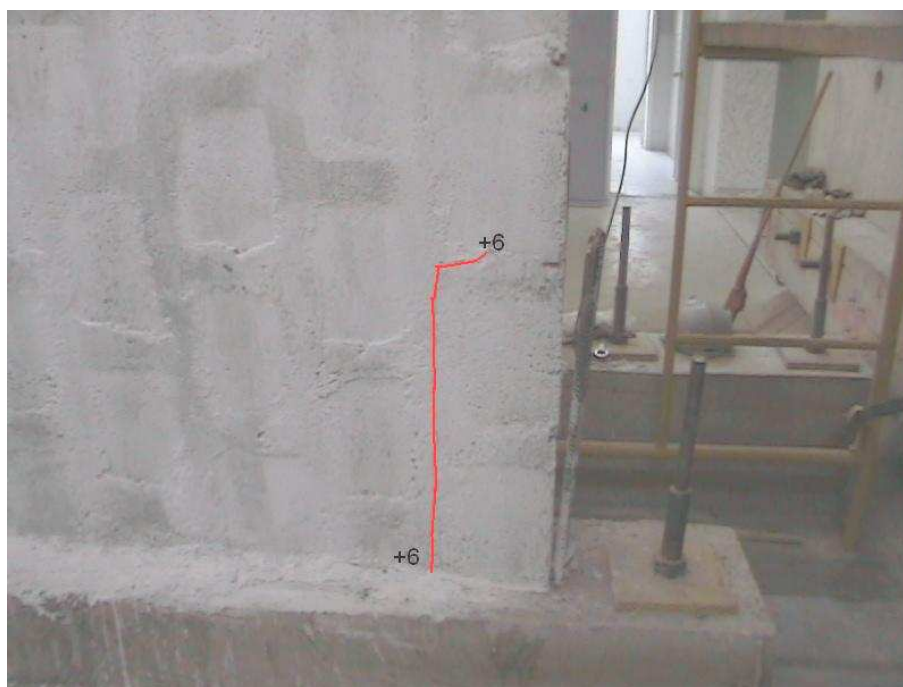


FIGURA 4.34 Primera fisura en pie de columneta derecha a 6 t de carga positiva

Para el siguiente estado de carga de 6,0 t negativo, al igual que el estado de carga anterior la fisura apareció en el pie de la columneta exterior pero en este caso fue en la columneta izquierda. Ver Fig. 4.35 y 4.36.



FIGURA 4.35 Primera fisura en pie de columneta izquierda a 6 t de carga negativa



FIGURA 4.36 Pared aplicando 8 t de carga positiva, aparecen fisuras en la unión de bloques, no existen fallas de corte

Cuando se procedía a aplicar 8 t de carga negativa, se observó que la primera falla de corte apareció a las 7,5 t, como se muestra en la Fig. 4.37.

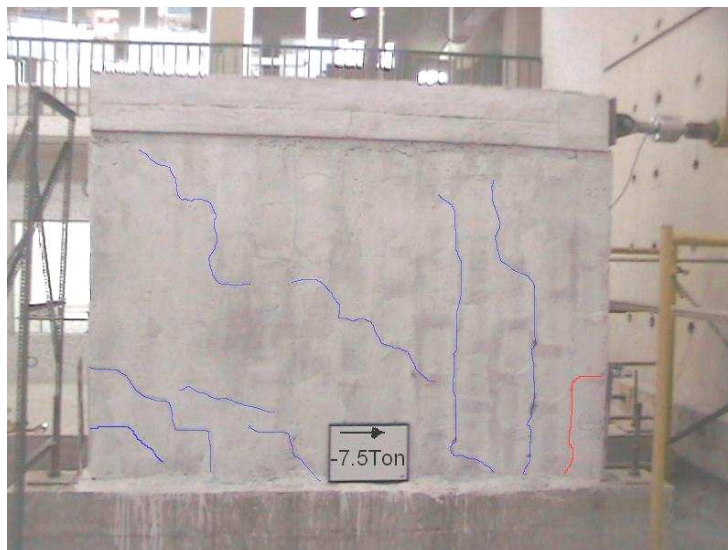


FIGURA 4.37 Pequeñas Fisuras de corte y fallas más notables en la unión de los bloques

A continuación correspondía aplicar 10 t de carga positiva, presentándose un agotamiento de la pared a las 9.2 t donde aparecen grandes fisuras. Ver Fig. 4.38 y 4.39.



FIGURA 4.38 Fisuras en la pared a las 9,2 t de carga positiva agotamiento de la pared



FIGURA 4.39 Fallas pronunciadas en la unión de los bloques.

Se terminó el ensayo cuando la pared llegó a su agotamiento total, es decir que la pared ya no está en la capacidad de soportar más carga. Finalmente la pared llegó a su capacidad máxima de resistencia a las 7,5 t de carga negativa y 9,2 t de carga positiva. Ver Fig. 4.40.



FIGURA 4.40 Fisuras finales de la pared (Terminación del Ensayo)

Al finalizar el ensayo se puede observar existen pequeñas fallas por corte, se observa que predominan fisuras producidas en la unión de los bloques debido a que no existió mortero de pega entre los mampuestos, además existen fisuras pronunciadas en las columnetas exteriores. Ver Fig. 4.41.



FIGURA 4.41 Pared totalmente ensayada

4.2.2.1 Análisis luego del ensayo

Los datos obtenidos del ensayo nos demuestran que la pared soportó una carga máxima de 9,2 toneladas con una deformación de 7,8 mm. Además realizando la grafica de la envolvente se determinó el límite elástico que corresponde a un valor de carga iguala a 7,5 t y deformación de 4,14 mm. Ver Fig. 4.42.

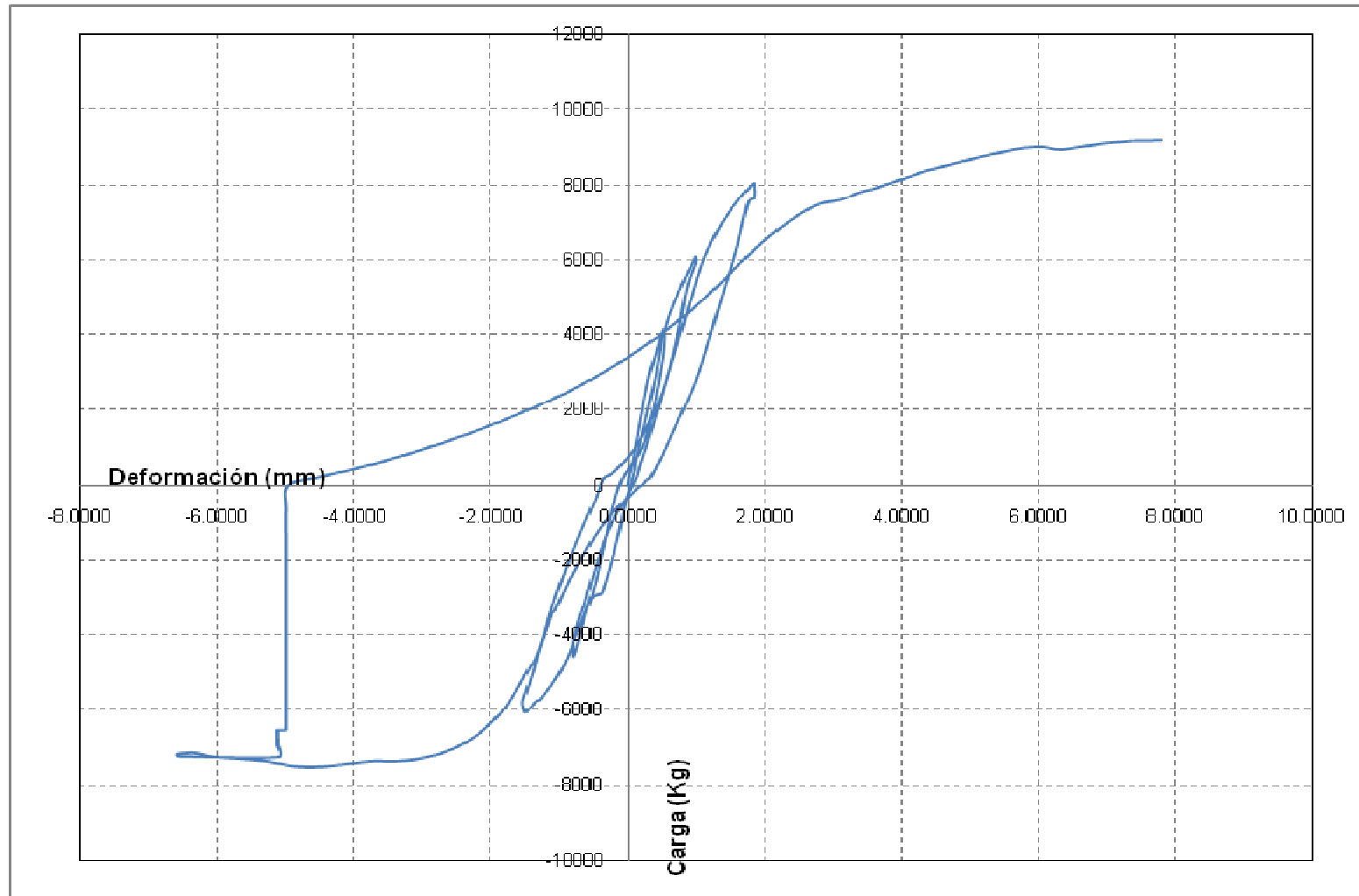


FIGURA 4.42 Diagrama Histerético de la Pared Vertical ⁶

A continuación se presentan los datos y grafica de carga vs. deformación obtenidos en el ensayo. Ver tabla 4.2 y Fig. 4.43.

Ciclos	Carga (kg)	Deformación (mm)
0	0,00	0,00
1	1 000	0,10
2	-1 000	0,14
3	4 000	0,35
4	-4 000	0,62
5	6 000	0,57
6	-6 000	1,40
7	8 000	1,83
8	-7 500	4,14
9	9 200	7,80

TABLA 4.2 Datos obtenidos en el ensayo de la pared con trabado vertical.

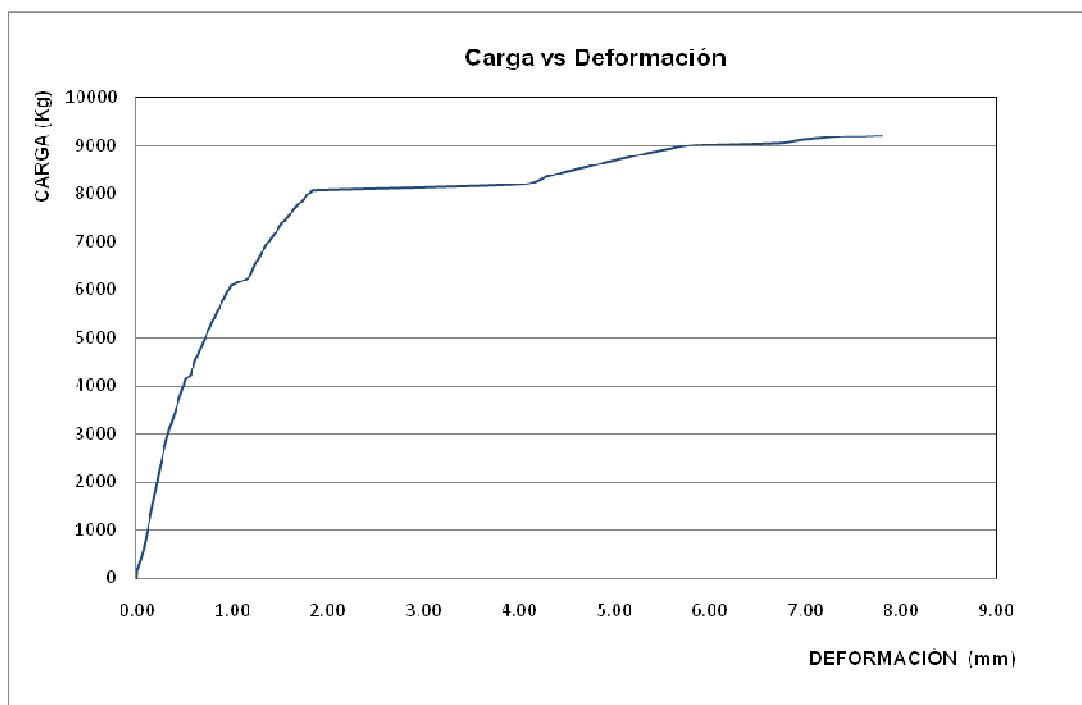


FIGURA 4.43 Curva Experimental de la envolvente promedio de Carga y Deformaciones alcanzadas en ambos sentidos

4.2.2.2 Exploración interna de la pared con trabado vertical

Finalmente se observa en el mapa de fisuras, el tipo de falla en la pared ensayada. Si bien se esperaba que la falla tenga una tendencia vertical, por la disposición del bloque, se presentó principalmente la falla de corte, junto con el deslizamiento entre los bloques.

Al igual que la mampostería con trabado horizontal se procede a la exploración interna del muro con el único fin de controlar la calidad y cantidad de hormigón líquido penetrado en los bloques. Como se muestra en la siguiente secuencia de Fig. 4.44, 4.45, 4.46, 4.47, 4.48, 4.49, 4.50 y 4.51.



FIGURA 4.44 Pared sostenida con puntales lista para exploración y derrocamiento.



FIGURA 4.45 Desprendimiento del recubrimiento en acero por fallas de deslizamiento vertical.



FIGURA 4.46 Deslizamiento vertical de los mampuestos.



FIGURA 4.47 Fisuras diagonales localizadas, que atravesaron los mampuestos.



FIGURA 4.48 Mampuestos llenos de hormigón líquido.



FIGURA 4.49 Columnetas llenas de hormigón líquido formadas por orificios de los mampuestos.



FIGURA 4.50 La falla en la base fue por deslizamiento, antes que por flexión.



FIGURA 4.51 Derrocamiento total de pared.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones resultado de esta investigación, se encuentran limitadas por la poca cantidad de muros ensayados, sin embargo, constituyen un indicio del comportamiento sísmico poco eficiente que tuvo el sistema FC BLOCK, dejando la puerta abierta para nuevas investigaciones en lo relacionado a la mampostería armada.

Del análisis e interpretación de resultados de los ensayos de las dos paredes de mampostería armada, construidas con el sistema FC BLOCK sometidos a carga horizontal hasta su agotamiento, se obtuvieron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 CONCLUSIONES

- Se constato que los bloques no tenían una geometría regular constituyéndose durante el proceso constructivo un problema para alcanzar una buena unión entre mampuestos, considerando que no se utilizó mortero de pega.
- Se trata de un sistema que requiere mejorar el control de calidad tanto en la elaboración de los bloques como en la construcción de las paredes, factores que hacen costoso el sistema tomando en cuenta que el objetivo básico es disminuir tiempos de construcción.
- El tiempo de construcción es menor al correspondiente a los muros de hormigón armado, ya que no existen tiempos de encofrado y desencofrado.

- No se detectaron problemas de orificios, segregación, ni de traslape del refuerzo vertical, pese a que el 100 % del traslape se hizo en la misma sección transversal.
- En la pared con trabado vertical el proceso constructivo fue complicado, ya que al cambiar la configuración del trabado, si bien el avance en la construcción es rápido, el control de niveles horizontales y verticales se vuelve un problema por tratarse de una pared que genera columnetas esbeltas con la unión de los bloques.
- Por lo indicado en el ítem anteriormente se puede indicar que la pared con trabado vertical ya tiene definido un plano de falla durante la construcción, el mismo que fue comprobado en el ensayo.
- En La pared con trabado vertical se observo en lleno máximo de hormigón líquido, debido a la geometría del bloque donde se pudo realizar un vertido de hormigón por gravedad.
- Se observó durante el ensayo tanto para la pared con trabado vertical como para la horizontal que existió un deslizamiento de los bloques debido a la falta de mortero de pega y la irregularidad de de los bloques.
- Por lo explicado anteriormente no se pudo analizar la resistencia al corte las paredes, obteniéndose una falla total por deslizamiento. Sin embargo el corte se presento en la última etapa del ensayo. Adicional a esto se presentaron fallas de fricción cortante, que son fallas diagonales similares a las de corte pero que siguen las uniones de los bloques.
- Para las dos paredes tanto para la pared con trabado vertical como para la pared con trabado horizontal la primera falla que se observó fue a las 6 t en el pie de las columnetas externas, se observo una pequeña fisura horizontal que se consideran fallas por flexión. Sin embargo no se puede

concluir que este fue el plano de falla por que la falla no se prologo más allá del pie de la columneta.

- Durante el derrocamiento de las paredes se observó que el relleno en los orificios con hormigón líquido fue casi total encontrándose pocos vacios, lo que confirma que expansor ayudo a lograr este objetivo.
- En base a conocer experimentalmente la rigidez lateral de los muros, pudo obtenerse indirectamente el módulo de elasticidad de la mampostería, proponiéndose adoptar con fines de análisis estructural: $E = 12\,525 \text{ kg/cm}^2$, $G = 5\,010 \text{ kg/cm}^2$, con la relación $E/G = 2.5$.
- El comportamiento a carga lateral cíclica para una falla por corte fue bastante similar a los sistemas convencionales de mampostería armada, confinada y muros de hormigón armado; es decir, los lazos histeréticos V-D fueron finos y degradantes en rigidez lateral, produciéndose la degradación de resistencia simultáneamente a la aparición de la falla por corte.
- En las gráficas de envolvente de carga se puede observar que la pared con trabado horizontal llega a su limite elástico a las 8 t de carga mientras que la pared con trabado vertical llegó a las 7,5 t con una deformación mayor, valores que indican que la pared con trabado horizontal tiene mayor rigidez durante el rango elástico.

5.2 RECOMENDACIONES

- Tener mucho cuidado con el vaciado del hormigón líquido. Este proceso debe hacerse de forma continua, sin generar impactos transversales contra la pared de bloques apilados.

- El control de calidad para la elaboración de los bloques es necesario, con la finalidad de obtener unidades más regulares y así obtener una mejor unión de los bloques.
- En la construcción de las paredes debería utilizarse mano de obra calificada.
- El mortero de pega o algún proceso definitivo debería faltar en la construcción de las paredes, para controlar el deslizamiento encontrado en la unión de los bloques, incluso esto podría aumentar la resistencia de las paredes.
- En la pared con trabado horizontal se recomienda que sea construida por etapas con el fin de garantizar la máxima penetración de hormigón líquido. Incluso es necesario utilizar algún sistema de vibrado del hormigón para alcanzar una mejor distribución del hormigón líquido.

CAPÍTULO 6

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN, Subcapítulo de la Construcción con Mampostería Estructural, Ecuador 2001

² COMPORTAMIENTO A CARGA LATERAL CÍCLICA DE LA ALBAÑILERÍA ARMADA DE JUNTA SECA CONSTRUIDA CON PLACAS P-14, Pontificia Universidad Católica del Perú.

<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070428-Muros%20Armados.pdf>

³ COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA

http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1222103-092523//07CAPITULO6.pdf

⁴ FOLLETO INSTRUCTIVO FC BLOCK, Ecuador

⁵ GALARZA RAMÍREZ RODRIGO LEONARDO y DE LA CADENA RUIZ AURELIO JAVIER, Tesis EPN: Ensayos a compresión y tracción diagonal de muretes del sistema constructivo FC BLOCK, Ecuador 2004

⁶ HÉCTOR GALLEGOS (1991), Albañilería Estructural, Perú

⁷ LUNA G. y MONROY C., Estudio del Hormigón, Ecuador 1988

⁸ NORMAS ARGENTINAS PARA CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES, Reglamento INPRES – CIRSOC 103. Parte III, Argentina 1991

⁹ NORMAS ASTM, Estados Unidos 2001

¹⁰ NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, NSR-98 Tomo 1, Colombia 1998

¹¹ NORMA FRANCESA AFNOR, "Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons". P 18-123.

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/TECNOLOGIA%209.htm>

¹² NORMA TECNICA DE EDIFICACION E.070 PERU: Comentarios, Profesor Principal de la Pontificia Universidad Católica del Perú

<http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>

¹³ ORTIZ GAMBOA MARCEL JAVIER y PROAÑO CARDENAS OMAR FERNANDO, Tesis EPN: Ensayos a carga horizontal de mamposterías reforzadas con el sistema constructivo FC BLOCK, Ecuador 2007

¹⁴ PROPUESTA DE NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS AL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES Del MUNICIPIO BENITO JUÁREZ, México 2006

¹⁵ RICAR E. KLINGNER, Especificación, Diseño y Cálculo de Mampostería, Ecuador, 1999

¹⁶ SERGIO M. ALCOCER, TOMÁS A. SÁNCHEZ, ROBERTO MELI, Comportamiento de la estructura tridimensional de Mampostería Confinada de dos niveles del Cenapred, México 1993

¹⁷ TOMÁS A. SÁNCHEZ PÉREZ, LEONARDO FLORES CORONA, SERGIO M. ALCOCER, ROBERTO MELI, Respuesta Sísmica de Muros de Mampostería Confinada con diferentes tipos de refuerzo horizontal, México 1992

¹⁸ VACA FÉLIX, Apuntes de clase en la materia de Mampostería en la Escuela Politécnica Nacional, Carrera de Ingeniería Civil, Ecuador – 099024843

¹⁹ ZABALA OJEDA OSCAR, ZABALA OJEDA JAVIER, Tesis PUCE: Rehabilitación de Mamposterías Agrietadas de ladrillo Artesanal, Ecuador 2006

ANEXOS

ANEXO 1: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA

ANEXO 2: PESO ESPECÍFICO DEL RIPIO Y ARENA

**ANEXO 3: CÁLCULOS DE LAS DENSIDADES PARA LOS
AGREGADOS**

ANEXO 4: CONTENIDO DE HUMEDAD

ANEXO 5: DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN LÍQUIDO

ANEXO 6: ENSAYO DE PRISMAS DE HORMIGÓN LÍQUIDO

ANEXO 7: MODELACIÓN DE PAREDES EN SAP 2000