

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO ENTRE UN MURO DE ALBAÑILERÍA ARMADA Y OTRO DE ALBAÑILERÍA DE JUNTA SECA UTILIZANDO BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presentan los bachilleres:

Omar Roberto Chávez Lobatón
Francisco Pedro Seminario Ruiz

ASESOR: Daniel Quiun Wong

Lima, Diciembre del 2014

RESUMEN

La albañilería estructural es una de las alternativas de construcción, en edificaciones de pequeña altura, usadas en el Perú como solución al problema del déficit habitacional. Sin embargo, en algunos casos las buenas prácticas constructivas están siendo obviadas y la construcción de algunas edificaciones se ha tornado informal.

En ese contexto, se busca proponer una nueva forma de construcción en albañilería estructural que sea eficiente y económica. Por ello, se propone en esta investigación el uso de la Albañilería Armada de Junta Seca, la cual resulta eficiente en cuanto a tiempo de ejecución. Esta tiene como particularidad la ausencia de mortero en sus juntas.

Se realizó un estudio experimental para comparar este tipo de albañilería armada con una construida de forma tradicional, utilizando como unidad de albañilería bloques de concreto vibrado. En el estudio se tomó en cuenta el procedimiento constructivo, el tiempo de ejecución y el aspecto económico asociado a su construcción, con el fin de analizar cuantitativamente si esta opción resulta beneficiosa.

En primer lugar, se realizaron pruebas de control sobre la unidad y luego sobre prismas de ambos tipos de albañilería. Luego se construyeron muros representativos de ambos tipos de albañilería, en los que se empleó el mismo refuerzo de acero, al igual que el mismo aparejo de sogas para su asentado. Los dos muros fueron sometidos a un ensayo de carga lateral cíclica, con amplitud de desplazamientos controlados.

Una vez analizados los resultados, se concluyó que la Albañilería Armada de Junta Seca tiene un comportamiento similar a la Tradicional, salvo por los tipos de fisuras que se presentan ante cargas muy severas; el comportamiento fue muy aceptable ya que cumple con las exigencias de la Norma E.070 Albañilería, del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

Esta tesis va dedicada a nuestro estimado profesor, el Ing. Ángel San Bartolomé quien inició este proyecto con nosotros. Nos orientó en el desarrollo de la tesis, brindándonos constantemente la motivación y el conocimiento necesario para la culminación de cada capítulo. Estamos muy agradecidos por el tiempo dedicado y por su amistad, no olvidaremos lo bueno que fue como asesor, profesor y sobretodo como persona.



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.2	OBJETIVOS	1
1.3	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	2
1.4	MARCO TEÓRICO.....	4
2.	UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	5
2.1	DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA	5
2.2	ENSAYOS CLASIFICATORIOS	7
2.2.1	Variación Dimensional.....	7
2.2.2	Alabeo	9
2.2.3	Resistencia a la Compresión (f'_b).....	9
3.	OTROS MATERIALES Y PRUEBAS DE CONTROL.....	11
3.1	CONCRETO.....	11
3.1.1	Ensayos de Compresión.....	11
3.2	GROUT	13
3.2.1	Ensayos de Compresión.....	14
3.3	REVENIMIENTO DEL CONCRETO Y DEL GROUT	16
3.3.1	Resultados	17
3.4	MORTERO	17
3.5	PASTA DELGADA DE CEMENTO	18
3.6	CEMENTO	18
3.7	CAL	18
3.8	ACERO DE REFUERZO	18
4.	PRISMAS DE ALBAÑILERÍA.....	19
4.1	PILAS DE ALBAÑILERÍA	19

4.1.1	Proceso constructivo	20
4.1.2	Técnica de Ensayo de Compresión	21
4.1.3	Resultados del Ensayo	22
4.1.4	Comentarios	24
4.2	MURETES DE ALBAÑILERÍA	25
4.2.1	Proceso Constructivo.....	25
4.2.2	Técnica de Ensayo de Compresión Diagonal	25
4.2.3	Resultados del Ensayo	26
4.2.4	Comentarios	27
5.	CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS	29
5.1	DESCRIPCIÓN DE LOS MUROS.....	29
5.2	CONSTRUCCIÓN DE LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN	30
5.3	MUROS DE ALBAÑILERÍA ARMADA	31
5.3.1	Pasos Comunes en la Construcción de los dos Muros	31
5.3.2	Particularidades del Muro con Juntas Tradicionales	34
5.3.3	Particularidades en el Muro de Junta Seca.....	35
5.4	VIGA SOLERA	36
6.	ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA	37
6.1	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	37
6.2	MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN.....	38
6.3	TÉCNICA DE ENSAYO	41
6.4	COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DURANTE EL ENSAYO	42
6.5	INSPECCIÓN VISUAL POST ENSAYO	54
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
7.1	DIAGRAMA DE LAZOS HISTERÉTICOS.....	55
7.2	RIGIDEZ LATERAL ELÁSTICA (K)	58
7.2.1	Rigidez lateral teórica	58

7.2.2	Rigidez lateral experimental.....	59
7.3	FISURA DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN	61
7.4	AGRIETAMIENTO DIAGONAL.....	62
7.4.1	Agrietamiento Diagonal teórico.....	62
7.4.2	Agrietamiento Diagonal experimental	63
7.5	LIMITE DE REPARACIÓN.....	66
7.6	ENVOLVENTE DEL DIAGRAMA DE LAZOS HISTERÉTICOS	67
8.	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.....	70
8.1	Albañilería Armada Tradicional.....	70
8.2	Albañilería Armada de Junta Seca Realizado en laboratorio	71
8.3	Albañilería Armada de Junta Seca usando bloques especiales	73
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
9.1	UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	75
9.2	PRISMAS DE ALBAÑILERÍA.....	76
9.3	CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS	76
9.4	COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS	77
9.5	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	78
9.6	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	79
9.7	FUTURA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	80

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en comparar los resultados de los ensayos de carga lateral cíclica de dos muros de albañilería armada con procesos constructivos diferentes. En el primer muro (M1), no se le coloca mortero en sus juntas, por lo que se le denomina albañilería de junta seca; en este muro se hace uso de una capa muy delgada de pasta de cemento para corregir las irregularidades que tiene la unidad de albañilería. El segundo muro (M2) se diseña y construye de forma tradicional; es decir, con mortero entre las unidades de albañilería.

La unidad de albañilería a emplear es el bloque de concreto vibrado, el cual tiene 14cm de ancho, 19cm de alto y 39cm de largo. Este bloque es considerado hueco, y la Norma E.070 lo reconoce como unidad alveolar, ya que presentan grandes alveolos perpendiculares a la superficie de asiento que permiten el paso del refuerzo vertical. El bloque de concreto utilizado tiene el nombre comercial de King Block y es fabricado por la empresa UNICON, la cual no fabrica a la fecha unidades destinadas a muros de junta seca.

Para la construcción de los muros de albañilería, se utilizó la misma mano de obra, los mismos materiales (grout, bloque), dimensiones similares y el mismo refuerzo. Es decir, la variante significativa fue el proceso constructivo: usando mortero en uno (M2) y en el otro (M1) la pasta delgada de cemento para cubrir las irregularidades de la unidad. De esta forma, sólo se pretende analizar el efecto del proceso constructivo sobre el comportamiento sísmico de los muros.

Se realizaron ensayos complementarios, como son los de clasificación de materiales y los 2 ensayos que nos proporcionan la resistencia a compresión y a corte de las pilas y muretes, respectivamente.

1.2 OBJETIVOS

Este proyecto tiene como objetivo principal investigar, mediante ensayos de carga lateral cíclica, el comportamiento sísmico experimental de dos muros portantes de albañilería armada, donde el único parámetro que varía es el proceso constructivo.

Luego, se evalúan las diferencias económicas por el uso de dos procesos constructivos diferentes.

Asimismo, se requiere también conocer la resistencia a compresión axial y a corte puro de cada tipo de muro, por lo que se realizarán los ensayos de pilas y muretes. Cabe resaltar que no se registrará las deformaciones axiales ni las deformaciones diagonales, tanto en los ensayos de pilas como en los de muretes. Por lo tanto, no está en nuestro alcance el cálculo del módulo de elasticidad ni el módulo de corte, para ambos tipos de albañilería.

Para ensayo de pilas y muretes se analizarán los tipos de falla y parámetros de diseño con el fin de poder brindar aportes a la norma de albañilería E.070 o simplemente hacer énfasis en los parámetros a tener en cuenta, para mejorar la albañilería en nuestro medio.

Por otro lado, se quiere realizar un comparativo de ambas técnicas constructivas en función a los costos, el tiempo y la dificultad de construcción para ver qué tan productivo es uno con respecto al otro.

Otro objetivo es brindar información sobre qué tan factible puede ser el emplear el tipo de albañilería armada con junta seca, usando como unidad fundamental los bloques de concreto vibrado que actualmente se fabrican, o proponer la fabricación de bloques especiales para atenuar las irregularidades que presentan actualmente.

1.3 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

La albañilería estructural es una de las alternativas de construcción más usadas en nuestro país. Es importante resaltar su uso debido a que es una alternativa económica y sencilla de utilizar para resolver los problemas de déficit habitacional.

Sin embargo, el déficit no ha sido enfrentado de forma adecuada, por lo que se ha originado otro problema actual, la construcción informal o la “Autoconstrucción”. Al no existir una supervisión ni apoyo técnico en la construcción, se producen vicios constructivos que terminan haciendo vulnerable a una estructura. Además, se genera informalidad en el proceso legal, ya que las construcciones no son saneadas ni cuentan con los títulos de propiedad, por lo que no se realizan declaraciones de fábrica ni se pagan tributos municipales.

Hasta antes de 1970, varias edificaciones construidas en el Perú presentaban deficiencias en cuanto a diseño al no considerar el aspecto sísmico de la zona. Otras edificaciones eran sobredimensionadas, con grandes espesores de los muros dispuestos en abundancia en el diseño. En el primer caso, el problema radica en la baja densidad de muros, por lo cual no soportaban altas sollicitaciones sísmicas, presentando daños o colapsos. En el segundo caso, se generaban sobre costos que hacían que la construcción no sea económica.

En la actualidad, el panorama ha cambiado. Se prioriza bastante en la economía y eficiencia de la construcción, siendo este el caso de los muros de junta seca. Se ha planteado desde el punto de vista arquitectónico, edificaciones que aprovechen mejor las dimensiones de los ambientes, ajustando el espesor y la disposición de los muros, para conseguir ambientes más amplios.

Por otro lado, existen restricciones que limitan este tipo de construcción. Como es sabido, el Perú es un país sísmico, donde además el medio ambiente es muy erosivo. Por ello la norma limita estas edificaciones de albañilería hasta sólo 5 pisos.

La investigación y mejora de la calidad de los materiales nos proporcionan mayor seguridad y permiten reducir costos logrando una optimización de los recursos empleados. Asimismo, se están usando nuevas formas y unidades de albañilería para satisfacer nuestras necesidades de resistencia estructural y eficiencia constructiva.

Los bloques de concreto vibrado son una buena alternativa para la construcción en albañilería armada, por sus características dimensionales y su resistencia. Debido a su masificación en la actualidad, se busca encontrar una técnica que los complemente de una manera óptima para la construcción de edificaciones de pequeña altura. Cabe resaltar que a diferencia de los bloques de arcilla, no depredan el suelo agrícola.

Se identifica así la albañilería armada de junta seca como una de las alternativas a emplear. Al usar bloques de concreto vibrado para su construcción, se ahorra tiempo en el proceso constructivo debido a que no se necesita de mortero en las juntas ni se requieren ventanas de limpieza para limpiar los desperdicios de mortero que caen sobre la base del muro. La construcción es más rápida y el apilado de bloques resulta más sencillo. Se pueden levantar muros y rellenarlos con grout en una sola jornada de

trabajo a diferencia de la albañilería tradicional, cuya altura de asentado se limita a 1.3 m según la norma E.070.

Sin embargo, la ausencia de mortero en las juntas podría suponer una pérdida considerable en la resistencia al corte del muro. Debido a esto, es necesario un estudio para analizar su comportamiento sísmico, y luego de los ensayos evaluar si puede considerarse una buena alternativa a emplear.

1.4 MARCO TEÓRICO

La Albañilería Armada es aquella que utiliza bloques por cuyos alveolos corre el refuerzo vertical, mientras que el refuerzo horizontal pasa por unos pequeños canales o por la junta horizontal. Para que ambos materiales se integren, es necesario rellenar los alveolos con concreto líquido (grout). La función del refuerzo es aumentar la resistencia y la ductilidad del conjunto.

La Albañilería de Junta Seca tiene un proceso constructivo muy similar a la albañilería armada tradicional, la diferencia es que no presenta mortero entre las juntas de cada unidad, tampoco ventanas de limpieza en su base (no hay rebabas de mortero que limpiar), y por ello en una sola jornada de trabajo el muro se puede levantar y rellenar sus alveolos. Para casos donde no existan bloques especiales, se acostumbra pincelar los bordes de la superficie de asentado con una pasta delgada de cemento para cubrir las irregularidades de la unidad.

En el procedimiento de construcción de la Albañilería Armada tradicional, es necesario el uso de ventanas de limpieza, las cuales son pequeñas aberturas hechas en los bloques de la primera hilada, que permiten retirar los desperdicios de mortero que caen a través de los alveolos. Estas aberturas se realizan con una amoladora, dándole así la forma rectangular, con dimensiones tales que una mano pueda entrar para retirar los desperdicios.

Lo indicado nos hace pensar que los muros de junta seca tendrían menor resistencia sísmica que los tradicionales, pero la rapidez constructiva de los muros de junta seca, sería mayor, lo cual es materia de este proyecto.

2. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Se utilizaron bloques de concreto vibrado, con nombre comercial KINGBLOCK de 14x19x39 cm (tipos enteros) y medios bloque, ver las figuras 2.1 a 2.3. Estos bloques se fabrican industrialmente por la empresa UNICON y se usan para la construcción de la albañilería armada tradicional. En la actualidad en el Perú no existen bloques de concreto fabricados para los muros de junta seca.

Esta unidad de albañilería es hueca ya que su porcentaje de vacíos es mayor que 30%. Se fabrica a base de cemento, arena, confitillo, agua, aditivos y eventualmente pigmentos colorantes. Estos bloques (Tabla 2.1) cumplen con los requisitos de la Norma Técnica E.070 de Albañilería para su uso en muros portantes.

Tabla 2.1 Resumen de las propiedades de los Bloques de Concreto KINGBLOCK (Fuente: Especificaciones Técnicas proporcionadas por UNICON)

Propiedades	Valor
Dimensiones	14x19x39 cm
% de Vacíos	46.5%
Peso	12.3 kg
Variación Dimensional	Ancho, Alto y Largo menor que ± 2.0 mm
Resistencia a la Compresión	71.4 kg/cm ²



Fig.2.1. Bloque entero y medio bloque.

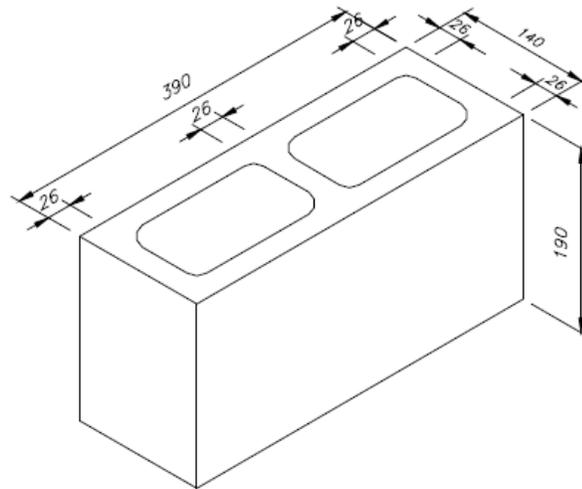


Fig. 2.2 Dimensiones del bloque entero (en milímetros)

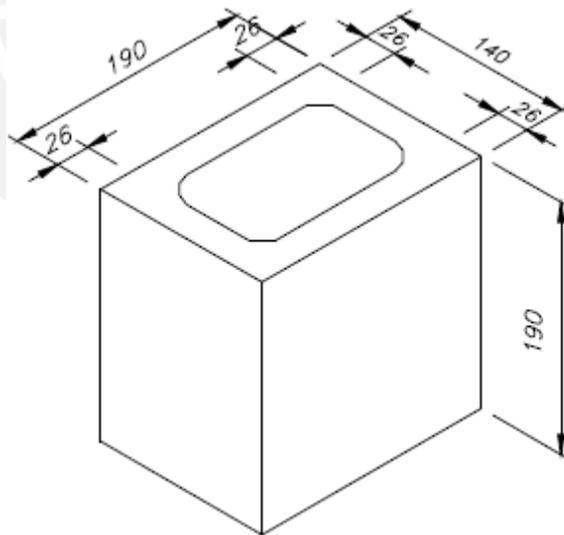


Fig. 2.3 Dimensiones del medio bloque (en milímetros)

2.2 ENSAYOS CLASIFICATORIOS

Cada una de las pruebas clasificatorias se realizó sobre 5 bloques enteros.

2.2.1 Variación Dimensional

Las dimensiones nominales o comerciales incluyen 1 cm de junta, por lo que el bloque de 14x20x40 cm tiene como dimensiones especificadas por el fabricante:

$$b = 140\text{mm}$$

$$L = 390\text{mm}$$

$$h = 190\text{mm}$$

La prueba de variación dimensional consiste en medir las tres dimensiones de la unidad (largo, ancho y altura) en milímetros. Estas mediciones se realizan a la mitad de cada cara, por lo que existen 4 mediciones por cada arista, que luego se promedian para así obtener el valor promedio de una de las aristas del bloque. Estos resultados se vuelven a promediar para toda la muestra, obteniéndose de esta manera el valor promedio de la arista (D_p).

La variación dimensional (V) se calcula restando a D_p la dimensión especificada por el fabricante (D_e), luego esta diferencia se divide entre “ D_e ” y se multiplica al resultado por 100, tal como se indica en la siguiente fórmula:

$$V(\%) = 100 \times \frac{(D_e - D_p)}{D_e}$$

Como se aprecia en la tabla 2.2, la variación dimensional que se obtuvo fue bastante baja ya que ninguna de sus aristas llegó a alcanzar más de 0.5%. Esto se debe a que el proceso de fabricación industrial de estos bloques es muy riguroso.

La Norma E.070 admite una variación dimensional de hasta $\pm 2\%$ para dimensiones mayores a 150 mm y de hasta $\pm 3\%$ para dimensiones entre 100 y 150 mm, para que la unidad califique como Bloque P (para muros portantes). Con los valores obtenidos el bloque de concreto en estudio cumplió con este requisito.

Tabla 2.2 Variabilidad dimensional de bloques de concreto

Especimen N°	Altura (mm)				Largo (mm)				Ancho (mm)			
	h1	h2	h3	h4	l1	l2	l3	l4	t1	t2	t3	t4
1	191.0	192.0	191.0	191.0	389.0	390.0	390.0	389.0	141.0	140.0	140.0	141.0
2	191.0	192.0	191.0	191.0	391.0	390.0	390.0	390.0	141.0	140.0	141.0	141.0
3	191.0	191.0	190.0	190.0	390.0	390.0	390.0	389.0	140.0	141.0	141.0	141.0
4	190.0	191.0	191.0	190.0	388.0	389.0	389.0	390.0	140.0	140.0	140.0	140.0
5	192.0	190.0	191.0	191.0	388.0	389.0	389.0	388.0	140.0	140.0	141.0	141.0
Promedio Parcial	191.0	191.2	190.8	190.6	389.2	389.6	389.6	389.2	140.4	140.2	140.6	140.8
Promedio Total (Dp)	190.9				389.4				140.5			
Desv. Estandar	0.64				0.82				0.51			
Medida Nominal (De)	190				390				140			
Variación (% respecto a medidas nominales)	-0.47				0.15				-0.36			

2.2.2 Alabeo

El ensayo de Alabeo no se ejecutó debido a que el bloque presentaba 2 huecos bastante grandes, que lo calificaban como unidad hueca (46.5% de área hueca).

2.2.3 Resistencia a la Compresión ($f'b$)

La resistencia a la compresión del bloque se calcula dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la unidad. De acuerdo a las disposiciones de la Norma E.070, la resistencia característica ($f'b$) se obtiene restando al promedio de las resistencias calculadas una desviación estándar. Cabe resaltar que una mayor resistencia expresa una mejor calidad de la unidad empleada con mayor densidad y mejor durabilidad.

Los bloques se ensayaron vacíos y no llenos de grout. La finalidad es poder clasificarlos y ver si califican para ser usados en muros portantes.

Para poder ensayar los bloques a compresión fue necesario colocar un capping de diablo fuerte (Fig.2.4), el cual fue hecho a base de cemento y yeso. Esto fue necesario debido a que la unidad es hueca y requería un adecuado modo de transmisión de carga.

En la Tabla 2.3 se muestran los resultados de resistencia a compresión de los bloques y la resistencia característica obtenida:

Tabla 2.3 Resultado de ensayo a compresión de bloques de concreto					
Especimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (kg)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
1	38.80	14.05	12.00	40051	73.47
2	38.90	14.15	12.00	46942	85.28
3	38.95	14.15	12.15	45923	83.32
4	38.95	14.00	12.10	44444	81.50
5	38.95	14.05	12.00	41702	76.20
				fb	79.96
				σ	4.96
				f'b (kg/cm²)	75

El bloque de concreto ensayado resultó apto para ser usado en muros portantes. Esto se debe a que la resistencia obtenida (75 kg/cm^2) fue mayor que la mínima exigida por la Norma E.070 de Albañilería (50 kg/cm^2) para que la unidad califique como Tipo P (Bloque usado en la construcción de muros portantes).

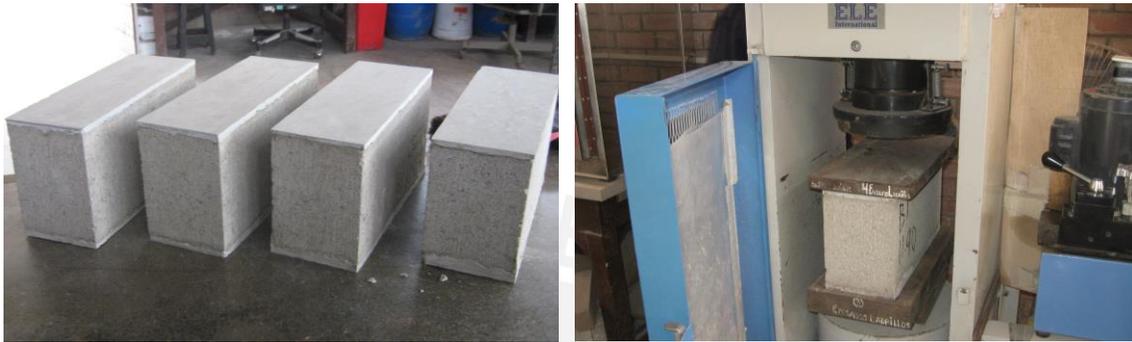


Fig.2.4. Bloques de concreto vibrado con capping y ensayo de compresión.

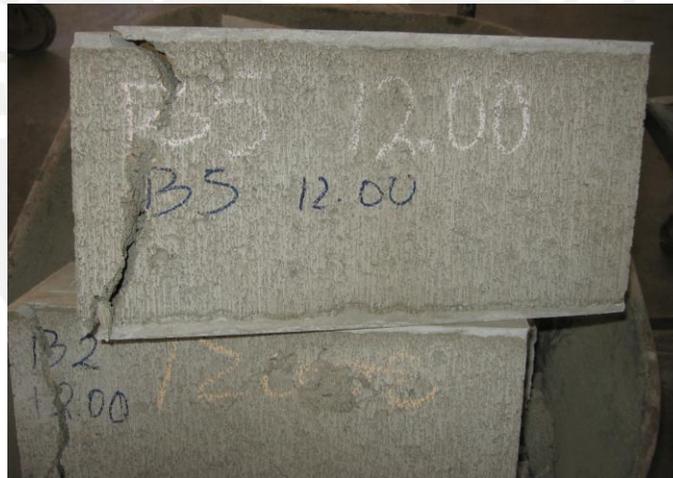


Fig.2.5. Fallas en los bloques de concreto.

3. OTROS MATERIALES Y PRUEBAS DE CONTROL

3.1 CONCRETO

La resistencia nominal del concreto usado en las vigas de cimentación y en las vigas soleras fue $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Estas resistencias fueron verificadas ensayando probetas estándar a los 28 días de edad. Para poder cumplir con estas resistencias se empleó una dosificación del concreto en peso que luego fue transformada a volumen 1:2:3 (cemento: arena gruesa: piedra chancada).

Las probetas de concreto (Fig.3.1) son cilíndricas y poseen las siguientes medidas estándar: 15cm de diámetro y 30cm de altura.

Empleando muestras del concreto a vaciar en la cimentación o en la solera, se rellenan los moldes en 3 capas, compactadas con 25 golpes verticales y distribuidos en toda el área del concreto (Fig.3.1). Luego se golpea con un martillo de goma las caras del molde, evitando que se queden burbujas dentro del concreto. Al final se le da un acabado al concreto dentro del molde rodando una varilla lisa en la parte superior, eliminando desperdicios de concreto y dándole una textura plana a la parte superior. El desmolde se realizó al día siguiente, para enseguida curar las probetas en una poza con agua durante 28 días.



Fig. 3.1. Fabricación de las probetas de concreto.

3.1.1 Ensayos de Compresión

Los ensayos de compresión del concreto nos sirven para corroborar que el concreto empleado cumple con la resistencia requerida (210 kg/cm^2). Por ello se someten las probetas a compresión pura, siéndoles colocadas previamente capping que garantice

una buena transferencia de la carga. Para ambos concretos usados en las vigas de cimentación y en las vigas soleras se superó la resistencia requerida satisfactoriamente (228 y 237 kg/cm², respectivamente). Los resultados se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resultados de ensayos a compresión de probetas de concreto						
Viga de Cimentación						
Probeta	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Area promedio (cm ²)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
VC 1	15.03	15.06	15.05	177.78	45036	253.33
VC 2	15.01	15.04	15.03	177.30	44495	250.96
VC 3	15.02	15.05	15.04	177.54	41203	232.08
VC 4	15.04	15.06	15.05	177.89	40520	227.77
					fc prom	241.03
					σ	12.98
					f'c (kg/cm²)	228
Viga Solera						
Probeta	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Area promedio (cm ²)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
VS 1	14.95	14.96	14.96	175.66	41274	234.97
VS 2	14.92	15.05	14.99	176.36	45076	255.59
VS 3	14.97	14.98	14.98	176.13	44557	252.98
VS 4	14.97	14.98	14.98	176.13	42915	243.66
					fc prom	246.80
					σ	9.40
					f'c (kg/cm²)	237



Fig.3.2. Probeta de concreto y dispositivo de ensayo.



Fig.3.3. Probetas de concreto luego de la rotura.

3.2 GROUT

El grout (o concreto líquido) es el material con el cual se rellenan los alveolos de la unidad de albañilería con el objetivo de integrarla con el refuerzo y así formar un solo conjunto estructural denominado “Albañilería Armada”. El grout utilizado fue dosificado en proporción volumétrica 1: 2½: 1½ (cemento: arena gruesa: confitillo o piedra de ¼”); sin embargo, se le añadió más agua y cemento para obtener un grout más fluido sin modificar la relación agua/cemento.

De acuerdo a la NTP 399.623, la resistencia a compresión del grout deberá ser por lo menos 140 kg/cm². Por lo que fue necesario ensayar probetas de grout con 28 días de

edad. Las probetas (Fig.3.4) fueron fabricadas usando como moldes a los bloques forrados internamente con papel filtro, a fin de permitir la transferencia de agua desde el grout hacia los bloques, tal como ocurriría en un muro, y evitar que el grout quede pegado con el bloque. Estas probetas quedaron en sus moldes durante 28 días y no fueron curadas. Las probetas de grout tuvieron las siguientes medidas nominales: 19cm de altura, 10cm de espesor y 10cm de ancho.



Fig.3.4. Moldes y probetas de grout.

3.2.1 Ensayos de Compresión

Previo al ensayo, las probetas de grout fueron revestidas en sus caras superior e inferior (sujetas a compresión) por un capping de diablo fuerte. Este procedimiento se realizó con la finalidad de cubrir las irregularidades que deja el vaciado del grout de manera que se obtengan resultados menos dispersos.

El ensayo se ejecutó con ayuda de un técnico que controlaba una gata hidráulica, la cual iba aumentando la carga de compresión aplicada a una velocidad de 5 ton/min.

Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Resultado de ensayo a compresión de probetas prismáticas de grout

Especimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
1	10.10	10.25	19.50	17635	170.35
2	10.35	10.30	19.45	16786	157.46
3	10.00	9.90	19.35	16903	170.74
Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²)					166

Los resultados de este ensayo fueron óptimos debido a que cada probeta superó la resistencia a compresión mínima exigida por la Norma E.070 para el grout (140 kg/cm²). En las figuras 3.5 y 3.6 se muestra los dispositivos de ensayos y la forma de falla típica.



Fig.3.5. Probeta de Grout con capping y dispositivo de ensayo.



Fig.3.6. Falla por corte en probetas de grout.

3.3 REVENIMIENTO DEL CONCRETO Y DEL GROUT

El concreto y el grout presentan distinta fluidez, en el caso del concreto la fluidez es mínima y suficiente como para que sea trabajable, en el caso del grout se requiere una gran fluidez (consistencia similar a una sopa de sémola espesa) para que el grout discorra y pueda llenar los intersticios internos del bloque.

Para ambos materiales, se utiliza el cono de Abrams para medir la trabajabilidad o consistencia de la muestra (slump), mediante su descenso una vez que se desmolda. Mientras mayor sea el descenso se obtendrá una mayor trabajabilidad de la mezcla.

El molde metálico tronco-cónico presenta un diámetro inferior de 20cm, superior de 10cm y una altura de 30cm. Su llenado se realiza en 3 capas y cada una de estas es compactada dando 25 golpes con una varilla lisa, para enseguida retirar verticalmente el molde y registrar el descenso de la mezcla (Fig.3.7).



Fig.3.7. Llenado del molde y desmolde de una muestra de grout.

3.3.1 Resultados

Para el concreto de las vigas de cimentación se obtuvo un revenimiento de 2 pulgadas, lo cual es aceptable. Sin embargo, se cree que se pudo conseguir una mayor trabajabilidad para el concreto dosificado.

En el concreto fluido o grout se obtuvo un revenimiento de 9.5 pulgadas, lo cual también es aceptable, aunque es preferible 10 pulgadas. En este caso, se tuvo que hacer una modificación a la mezcla puesto que se requería que sea más fluida para que pueda rellenar bien las celdas de los bloques en los muros de albañilería.

3.4 MORTERO

Es el material que se utiliza para pegar los bloques con “**juntas tradicionales**” de 1cm de grosor. En este proyecto se utilizó una dosificación volumétrica cemento-cal-arena gruesa 1: ½: 4, con una cantidad de agua controlada por el albañil, de tal forma de lograr una mezcla trabajable. Se añadió cal con el objeto de evitar que la mezcla se seque rápidamente, en vista que los bloques fueron asentados en su estado natural.

La mezcla fue preparada en seco (Fig.3.8) sobre un tendal limpio, revoloteándola hasta lograr un color uniforme, para después echarle agua.

No se realizaron ensayos de compresión, puesto que la dosificación utilizada puede emplearse en edificios de hasta 5 pisos sin problemas, más importante es lograr una adherencia adecuada con los bloques.



Fig.3.8. Preparación del mortero

3.5 PASTA DELGADA DE CEMENTO

En la albañilería de “**junta seca**”, se usó una pasta cemento-arena fina 1: 4, que sirvió no tanto para adherir los bloques sino más bien para eliminar las irregularidades que presentan sus superficies, en vista que los bloques utilizados en este proyecto no eran aptos para construir la albañilería de junta seca. Cabe destacar que cuando se utilizan bloques especiales con caras lisas, no se requiere la pasta de cemento.

3.6 CEMENTO

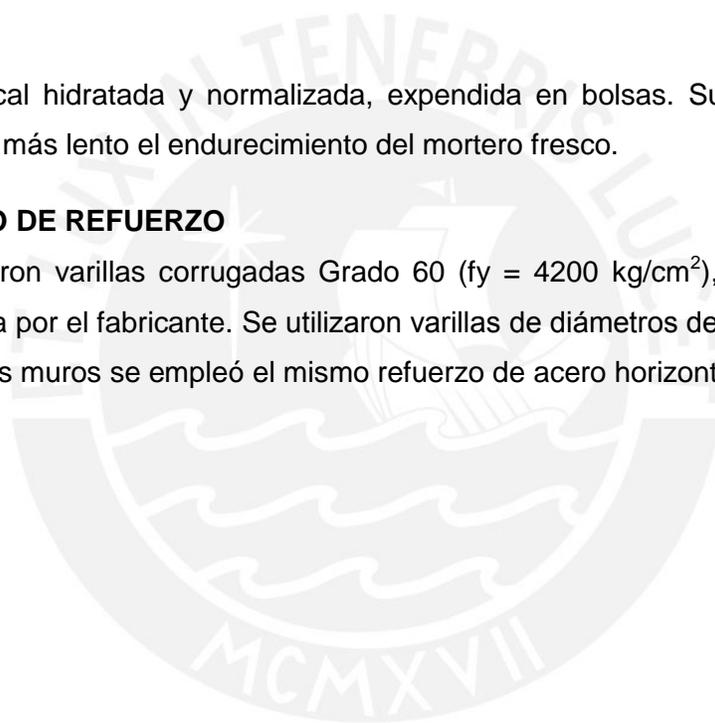
Se usó cemento Portland tipo 1, embolsado. Estas bolsas fueron apiladas sobre una tarima de madera en rumas no mayores de 10 bolsas y cubiertas con plástico.

3.7 CAL

Se utilizó cal hidratada y normalizada, expendida en bolsas. Su uso fue importante para hacer más lento el endurecimiento del mortero fresco.

3.8 ACERO DE REFUERZO

Se emplearon varillas corrugadas Grado 60 ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$), cuya resistencia es garantizada por el fabricante. Se utilizaron varillas de diámetros de $\frac{1}{4}$ ", 8mm, $\frac{3}{8}$ " y $\frac{5}{8}$ ". Para ambos muros se empleó el mismo refuerzo de acero horizontal y vertical.



4. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

A fin de determinar las propiedades de la albañilería simple, se construyeron 3 pilas y 3 muretes por cada tipo de junta utilizada en este proyecto (tradicional y junta seca). Al cumplir 28 días de edad, las pilas fueron ensayadas a compresión axial y los muretes a compresión diagonal.

En las **juntas tradicionales** se usó mortero de 1cm de espesor, mientras que para asentar las unidades en la albañilería de **Junta seca** se usó una pasta de cemento muy delgada (Fig.4.1). Para el caso **Junta Tradicional** el mortero cubrió toda la superficie de asentado (Norma E.070), no se utilizaron cintas ya que se corría el riesgo de que el espacio entre estas cintas no sea llenado por el grout. Finalmente, todos los prismas fueron rellenos en sus alveolos con grout.



Fig.4.1. Albañilería de junta seca (izquierda) y de junta tradicional (derecha)

4.1 PILAS DE ALBAÑILERÍA

El ensayo de compresión en pilas ayuda a determinar la resistencia característica a compresión axial ($f'm$) de la albañilería y en forma indirecta, su módulo de elasticidad (E_m) y de corte (G_m), mediante las expresiones indicadas por la Norma E.070: $E_m = 700 f'm$ y $G_m = 0.4 E_m$.

Las pilas estuvieron formadas por 3 bloques, según se muestra en la Fig.4.1. El espesor fue 14cm.

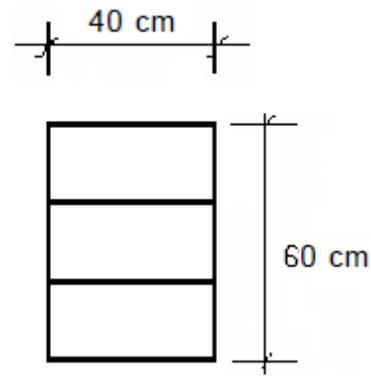


Fig.4.2 Pilas de Albañilería.

4.1.1 Proceso constructivo

Previo al asentado, se limpiaron los bloques removiéndose las partículas sueltas. Los bloques de concreto no se regaron debido a su alta variación volumétrica que podría generar fisuras al secar en el muro.

Para el caso **Junta Tradicional** se tuvo mucho cuidado en conservar limpio el interior de las celdas de los bloques. Para remover los desperdicios de mortero, en las celdas se colocaron pedazos de papel que fueron retirados una vez asentado el bloque superior. Cabe señalar que no se emplearon ventanas de limpieza en las pilas.

El asentado de las pilas de **Junta Seca** tuvo un procedimiento similar. La variante fue el uso de pasta de cemento en reemplazo de la junta de mortero, la cual fue colocada en toda la cara de asiento del bloque.

En ambos casos, la altura de las hiladas fue controlada con un escantillón, mientras que la verticalidad de la albañilería fue controlada con una plomada, asimismo, se curaron las juntas utilizando una brocha húmeda, previo al vaciado del grout.

Luego del asentado, se vació el grout en el interior de cada celda. El vaciado se realizó en una sola etapa y se compactó con una barra en cada celda del bloque. Finalmente, en los 7 días posteriores se curaron las pilas regándolas con agua externamente.



Fig. 4.3 Seis pilas rellenas con grout

4.1.2 Técnica de Ensayo de Compresión

Este ensayo se realizó en una máquina, la cual consistía de una gata hidráulica cuya capacidad es 200 toneladas (Fig.4.4). Esta gata suministra una fuerza a la pila, la cual fue registrada por la celda de carga (conectada a un amplificador y a una caja de conexiones) en valores de voltaje que se transforman a unidades de fuerza con la ayuda de un software computacional.

Se controló la velocidad de la aplicación de la carga, la cual fue de 5 ton/min, y el ensayo por cada pila tomo un aproximado de entre 3 y 4 minutos.

Debido a que no se requirió calcular el módulo de elasticidad (E_m), no se necesitó la instrumentación de los dispositivos que miden desplazamientos (LVDT), siendo la carga de rotura el único valor importante registrado.



Fig.4.4. Montaje de las pilas de albañilería en la máquina de ensayos

4.1.3 Resultados del Ensayo

4.1.3.1 Cálculo de la resistencia a compresión característica (f'_m)

La resistencia a compresión de las pilas (f_m) es calculada dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la sección, multiplicado por un factor que depende de la esbeltez de la pila que es especificado por la Norma E.070. La resistencia a compresión característica de las pilas (f'_m) se obtuvo restando una desviación estándar a la resistencia promedio a compresión (f_m). Además, no fue necesaria ninguna corrección por edad, ya que las pilas tuvieron la edad estándar de 28 días.

Los resultados de las 6 pilas de albañilería armada son presentados en la tabla 4.1, todas las pilas presentaron una falla en común, grietas verticales (Fig.4.5), la cual es la falla ideal en pilas. Esta falla se produce al tratar de expandirse lateralmente el grout (efecto de Poisson) por la compresión aplicada, generándose tracciones laterales en la dirección ortogonal que dan lugar a la grieta vertical. Las pilas denominadas P1, P2 y P3 son de junta seca; mientras que P4, P5 y P6 son de junta tradicional.

Tabla 4.1. Resistencia a compresión (f_m) en pilas a 28 días.

Pila	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Voltaje (v)	Carga máxima (KN)	Esbeltez	Factor de Corrección de Esbeltez	f_m (kg/cm ²)
P1	58.6	39.0	14.0	546.0	5.44	534.04	4.19	0.96	95.83
P2	59.0	39.0	14.0	546.0	5.41	531.84	4.21	0.96	95.61
P3	59.2	39.0	14.0	546.0	4.94	484.94	4.23	0.96	87.25
P4	60.4	39.0	14.0	546.0	6.39	627.55	4.31	0.97	113.51
P5	60.2	39.0	14.1	549.9	5.49	538.89	4.27	0.97	96.52
P6	60.1	39.0	14.1	549.9	5.42	532.85	4.26	0.97	95.39

Tabla 4.2. Resistencia característica a compresión (f'_m) en pilas a 28 días.

Albañilería Junta Seca		Albañilería Tradicional	
f_m prom (kg/cm ²)	92.90	f_m prom (kg/cm ²)	101.81
Desv. Estándar σ	4.89	Desv. Estándar σ	10.15
f'_m (kg/cm²)	88	f'_m (kg/cm²)	92

4.1.3.2 Cálculo del módulo de elasticidad (E_m)

Debido a los numerosos ensayos realizados en pilas a escala a natural, la Norma E.070 proporciona una fórmula para calcular el módulo de elasticidad (E_m) en pilas. Para unidades de concreto vibrado se tiene la siguiente expresión:

$$E_m = 700f'_m$$

Entonces, utilizando nuestros valores de Resistencia característica tendríamos los siguientes valores de módulo de elasticidad:

- Para la albañilería armada de junta seca: $E_m = 61600$ (kg/cm²).
- Para la albañilería armada de tradicional: $E_m = 64200$ (kg/cm²).

4.1.3.3 Cálculo del módulo de corte (G_m)

Debido a los numerosos ensayos realizados en muretes a escala a natural, la Norma E.070 proporciona una fórmula para calcular el módulo de corte (G_m). Para unidades de concreto vibrado se tiene la siguiente expresión:

$$G_m = 0.4E_m$$

- Para la albañilería armada de junta seca: $G_m = 24640$ (kg/cm²)
- Para la albañilería armada de tradicional: $G_m = 25680$ (kg/cm²)

4.1.4 Comentarios

Los resultados del ensayo de pilas resultan aceptables si los comparamos con la Norma E.070, la cual establece que para bloques de concreto vibrado cuya resistencia característica (f'_b) es 75kg/cm^2 , se tiene un valor de resistencia característica a compresión axial (f_m) de 95kg/cm^2 . Según esto, los resultados del ensayo resultan muy cercanos a los establecidos en la Norma E.070 para ambas técnicas de construcción, ya que se obtuvieron 88 y 92kg/cm^2 para las pilas de albañilería armada de junta seca y tradicional, respectivamente.

Al comparar ambas técnicas se atribuye una mayor resistencia característica (f'_m) a la albañilería armada tradicional; sin embargo, este incremento es poco significativo ya que solo se debe al aporte del mortero en las juntas. Puesto que los bloques y el grout, fueron los mismos, así como la forma de falla, se justifica que los resultados sean muy parecidos para las pilas de junta seca y tradicional.



Fig.4.5. Falla de pilas de albañilería tradicional (izquierda) y junta seca (derecha).

4.2 MURETES DE ALBAÑILERÍA

El ensayo de compresión diagonal en muretes ayuda a determinar la resistencia característica a corte puro ($v'm$) y permite predecir en los muros la resistencia a fuerza cortante que aporta la albañilería para cada tipo de junta, así como la forma de falla.

Los muretes tuvieron 4 hiladas de altura, obteniéndose dimensiones de 80cm de lado por 14cm de espesor en un aparejo de soga (Fig.4.6).

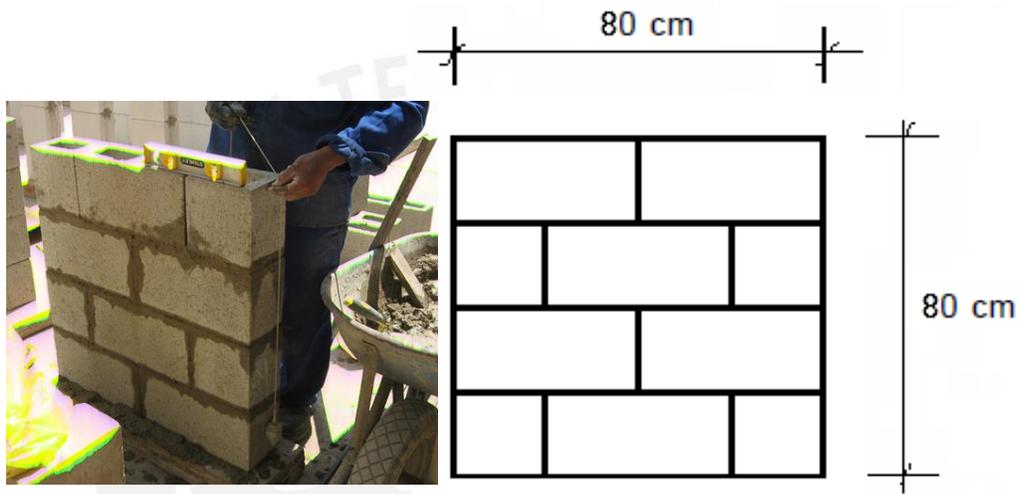


Fig. 4.6. Murete de albañilería.

4.2.1 Proceso Constructivo

El proceso constructivo y el curado para los muretes con juntas tradicionales y juntas secas, fue similar al descrito para las pilas (ver el acápite 4.1.2), excepto que los bloques de hiladas consecutivas fueron traslapados en media unidad.

4.2.2 Técnica de Ensayo de Compresión Diagonal

Este ensayo se realizó en una máquina de ensayos (Fig.4.7), la cual consistía de una gata hidráulica cuya capacidad es 63 toneladas. Esta gata suministra una fuerza a los muretes y se emplea de forma mecánica, a diferencia del ensayo de pilas. La bomba hidráulica que suministra la fuerza fue de 8 litros con una capacidad de 600 BAR, la fuerza máxima se registró de forma visual durante el ensayo.

Se controló la velocidad de aplicación de la carga, la cual fue de 1 ton/min, y el ensayo por cada murete tomó un aproximado de entre 5 y 7 minutos.

Debido a que no se requirió calcular el módulo de corte (v'_m), no se necesitó usar LVDT, siendo la carga de rotura el único valor importante registrado.



Fig.4.7. Montaje de muretes de albañilería (izquierda) y aplicación de carga (derecha)

4.2.3 Resultados del Ensayo

4.2.3.1 Cálculo de la resistencia característica a corte puro (v'_m)

La resistencia a corte puro de los muretes (v_m) se obtuvo dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de diagonal cargada. La resistencia característica a corte puro de los muretes (v'_m) se obtuvo restando una desviación estándar a la resistencia a corte puro (v_m) promedio. Los especímenes cumplieron sus 28 días, por lo que no se necesitó ningún tipo de corrección por edad.

Los resultados de los 6 muretes se presentan en la tabla 4.3. Además, en la Fig.4.8 se muestra el tipo de falla que tuvo, siendo la falla mixta (combinación entre escalonada y otra que corta bloques) la falla más común presentada en el ensayo. Los muretes denominados M1, M2 Y M3 representan a los de albañilería junta seca; mientras que M4, M5 Y M6 representan a los de albañilería tradicional.

Tabla 4.3. Resistencia a corte puro (v_m) en muretes a 28 días.

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Diagonal (cm)	Área de corte (cm ²)	Carga máxima (KN)	v_m (kg/cm ²)	Tipo de Falla
M1	77.9	78.1	14.1	110.31	1555.35	63.88	4.19	Escalonada
M2	77.4	78.5	14.1	110.24	1554.39	94.30	6.18	Escalonada
M3	77.4	78.1	14.1	109.96	1550.38	72.88	4.79	Mixta
M4	79.8	79.8	14.1	112.85	1591.24	149.72	9.59	Mixta
M5	79.7	79.9	14.0	112.85	1579.96	149.76	9.66	Mixta
M6	79.8	79.5	14.0	112.64	1576.99	121.02	7.82	Tracción diagonal

Tabla 4.4. Resistencia característica a compresión (v'_m) en muretes a 28 días.

Albañilería Junta Seca		Albañilería Tradicional	
v_m (kg/cm ²)	5.05	v_m (kg/cm ²)	9.03
Desv. Estándar σ	1.02	Desv. Estándar σ	1.04
v'_m (kg/cm²)	4.0	v'_m (kg/cm²)	8.0

4.2.4 Comentarios

Los resultados del ensayo de muretes deben ser analizados de forma diferente al de pilas. Lo primero que se debe resaltar es que los muretes de junta seca, al no presentar mortero en sus juntas, no existe una buena adherencia entre las unidades, siendo una pasta de cemento el único material que trata de adherir las unidades de albañilería. Esto explica la falla escalonada que ocurrió en la mayoría de muretes de junta seca. Además, se debe recordar que en un muro armado el refuerzo horizontal aporta gran parte de la resistencia al corte, y los muretes carecieron de refuerzo. De este modo, habría que ver si en los muros a escala natural reforzados esta gran diferencia en la resistencia al corte (4 vs 8 kg/cm²) sigue presentándose, en cuyo caso se descartaría la solución junta seca.

La norma E.070 establece que para bloques de concreto vibrado, cuya resistencia es 75kg/cm², se tiene un valor de resistencia característica a corte (v_m) de 9.7 kg/cm²,

utilizando un grout con resistencia característica (f'_m) de 140 kg/cm^2 . Por lo tanto, del comparativo del ensayo y estos parámetros, se puede afirmar que los resultados del ensayo resultan menores a los establecidos en la tabla 9, de la Norma E.070. Sin embargo el murete de albañilería tradicional se aproxima de cierto modo (8.0 kg/cm^2).



Fig.4.8. Falla de muretes de albañilería de junta seca (izquierda) y con mortero (derecha).

5. CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS

5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MUROS

Los muros de Albañilería Armada se diseñan cumpliendo con la Norma Técnica de Albañilería E.070, para que fallen por flexión evitando las fallas por fuerza cortante y por deslizamiento (las espigas verticales centrales colocadas entre la cimentación y el muro tuvieron la función de controlar la falla por deslizamiento). El refuerzo para ambos muros fue el mismo (Fig.5.1), al igual que el aparejo de soga. La única variante entre los dos muros fue que en uno de ellos se utilizó mortero en las **juntas tradicionales (M2)**, mientras que el otro fue de **junta seca (M1)**, substituyendo al mortero por una pasta delgada de cemento.

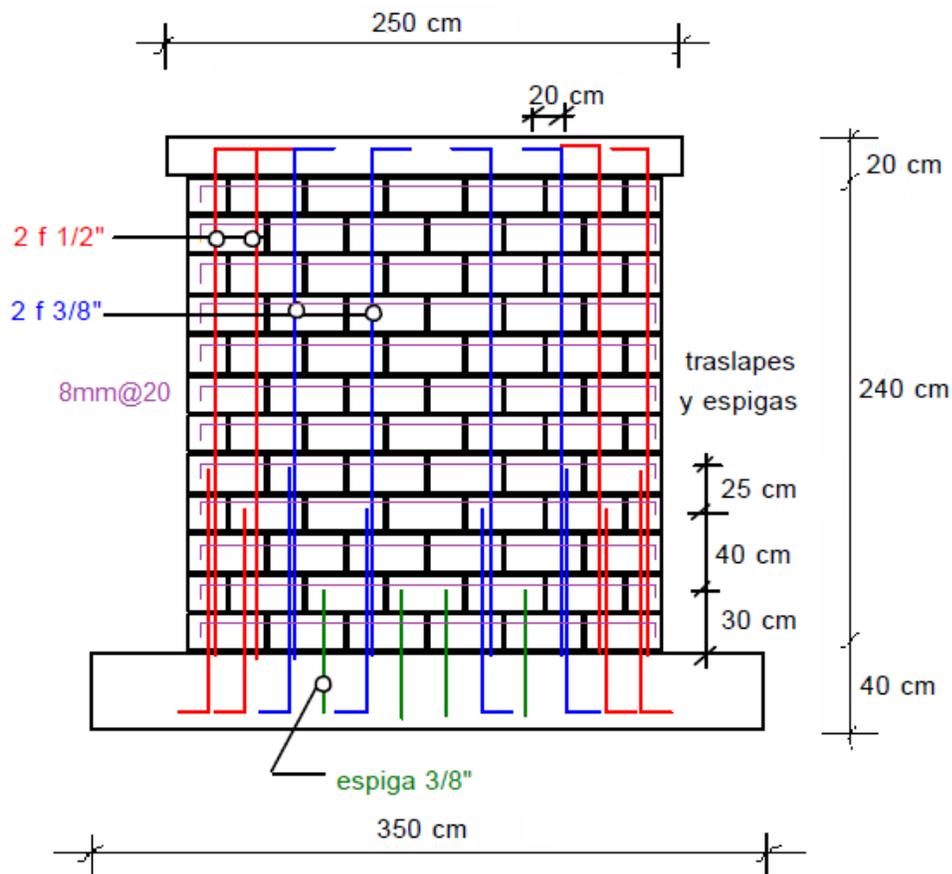


Fig.5.1. Refuerzo utilizado en los dos muros y dimensiones del muro con junta tradicional.

Cabe resaltar que el muro con **juntas tradicionales** de mortero requiere de ventanas de limpieza en los bloques de la primera hilada, mientras que el muro de junta seca careció de estas ventanas (Fig.5.9). Por otro lado, las dimensiones que aparecen en la Fig.1 corresponden al muro con juntas tradicionales (1cm de grosor), en tanto que las dimensiones del muro con junta seca fueron menores.

En síntesis, el muro de **junta seca** tuvo una albañilería con **232 cm de altura, 2.34 cm de longitud** y 14cm de espesor.

5.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN

Las vigas de cimentación de ambos muros fueron de sección rectangular (30cm x 40cm) y con una longitud de 350cm. El concreto se especificó con una resistencia nominal de 210 kg/cm^2 , y el refuerzo estuvo compuesto por: 6 ϕ 5/8", estribos: ϕ 3/8" 1@ 5, 10@10, resto @ 20cm. Ambas vigas fueron construidas en simultáneo.

Se empezó habilitando el acero, se cortó y se dobló el fierro según las dimensiones especificadas para fierros corridos y estribos. Luego la viga armada fue llevada a una base de madera, la cual fue previamente pintada con petróleo. Además de la armadura de la viga, se colocaron las espigas verticales, las cuales servirán para empalmar los fierros verticales de los muros (Fig.5.2).



Fig.5.2. Viga de cimentación, encofrado, refuerzo, tubos y espigas.

Con unos dados de concreto, se dieron los recubrimientos especificados. Se tuvo en cuenta, en esta etapa de la construcción, la colocación de 2 tubos de PVC de ϕ 2" dentro de la viga, que sirvieron para izar al conjunto mediante el puente grúa.

Durante el vaciado, el concreto fue compactado con una vibradora (Fig.5.3) y se efectuaron los ensayos de revenimiento con el cono de Abrams. Asimismo, se fabricaron 2 probetas estándar por cada viga. Tres horas después, antes que endurezca el concreto, se procedió a rayar la superficie de la viga en la zona a ser ocupada por el muro de albañilería.

Finalmente, se procedió a desencofrar ambas vigas de cimentación, procediéndose con el curado por riego durante 7 días consecutivos.



Fig.5.3. Compactación del concreto y espigas en la viga de cimentación.

5.3 MUROS DE ALBAÑILERÍA ARMADA

5.3.1 Pasos Comunes en la Construcción de los dos Muros

- Se usaron bloques de concreto vibrado, los cuales fueron limpiados en seco. Estos bloques no deben regarse, como se acostumbra con los ladrillos de arcilla, ya que por sus grandes cambios volumétricos podrían generarse fisuras en el muro, al expandirse durante el regado y contraerse al secar; en cambio, una vez que la albañilería ha sido construida, puede regarse completamente, sin el peligro de que se formen fisuras, ya que el conjunto bloque-mortero se encuentra integrado.

- Aquellos bloques que iban a contener refuerzo horizontal, fueron ranurados en sus tapas extremas con una amoladora (Fig.5.4), para enseguida retirar el retazo con la ayuda de un martillo; esta operación se hizo para poder colocar el refuerzo horizontal (Fig.5.5) en el eje del muro.
- Los bloques maestros (guías, Fig.5.5) fueron asentados en los extremos del muro, cuidando su verticalidad con una plomada y nivel; la altura de estos bloques fue controlada con un escantillón. Posteriormente se corrió un cordel por las caras externas de estos bloques, que sirvió para controlar la horizontalidad y la altura de los bloques intermedios.
- Los bloques fueron asentados en dos jornadas de trabajo, para evitar que la junta horizontal de las primeras hiladas terminen aplastándose.



Fig.5.4. Ranuración de bloques con amoladora.



Fig.5.5. Refuerzo horizontal en el eje del muro y bloques maestros en los extremos.

- Una vez terminada de construir la albañilería, por la parte superior del muro se insertó el fierro vertical traslapándolo con las espigas (Fig.5.6). Este refuerzo se mantuvo fijo verticalmente amarrándolo temporalmente a una varilla horizontal superior.



Fig.5.6. Inserción de las barras verticales.

- Unas tres horas después de haberse construido la albañilería, antes de efectuarse el vaciado del grout, las juntas fueron curadas pasándoles una brocha con agua.
- El vaciado del grout (Fig.5.7) se realizó en 2 etapas y por cada hueco a rellenar en una tercera jornada de trabajo. El primer vaciado se hizo hasta una altura de aproximadamente 1.30m y con la ayuda de una varilla lisa, se compactó 2 veces por cada hueco, uno al finalizar el vaciado y otro unos 30 minutos después. Esto se hizo para evitar cangrejas en el interior del muro y también para expandir el grout y evitar que al secarse se separe de los bloques. El segundo vaciado se realizó de la misma forma que el primero, pero se dejó un espacio libre de aproximadamente 3 cm desde el borde superior (Fig.5.7), con el objeto de que el concreto de la solera penetre allí formando una llave de corte. Durante el vaciado, se realizaron los ensayos de revenimiento y se fabricaron 3 probetas de grout por cada muro.



Fig.5.7. Vaciado del grout y hendidura de 3cm en la última hilada.

- Inmediatamente después del vaciado del grout, se curó cada muro (Fig.5.8). Se les regó por 3 días consecutivos, a razón de una vez al día, para así evitar que el grout se contraiga y se separe de los bloques.



Fig.5.8. Curado de los dos muros.

5.3.2 Particularidades del Muro con Juntas Tradicionales

- Para este muro se necesitó la creación de ventanas de limpieza para todos los bloques asentados en la primera hilada (Fig.5.9). Para esto, los bloques fueron cortados de tal forma que una mano pudiese entrar en el hueco para poder retirar los desperdicios de mortero que cayeron durante el asentado, evitándose así la formación de una junta fría grout-cimentación.



Fig.5.9. Ventanas de limpieza en la base del muro tradicional y su encofrado.

- Al terminar cada jornada de trabajo, se limpiaron los residuos de mortero a través de las ventanas de limpieza.
- Al día siguiente de haberse terminado la construcción de la albañilería y antes de vaciar el grout, las celdas de los bloques fueron regadas internamente desde la parte superior del muro. Esto se hizo para limpiar los desperdicios y favorecer una mejor adherencia grout-bloque. Luego, a través de las ventanas se procedió a limpiar los desperdicios y sacar el agua empozada en la base. Posteriormente las ventanas fueron encofradas (Fig.5.9).

5.3.3 Particularidades en el Muro de Junta Seca

- En el asentado de los bloques se utilizó una pasta delgada de cemento colocada en forma de cintas, con un espesor variable y el menor posible, de tal forma que su función no sea pegar a los bloques, sino corregir las irregularidades que presentan su superficie de asiento.

Lo usual en los muros de junta seca es usar bloques especiales, con superficies de asiento lisas, y variación de dimensiones muy bajas, de tal modo que no se requiere la pasta de cemento para cubrir las imperfecciones geométricas. Con ello, la albañilería se levanta en un día, apilando bloques, y el mismo día se hace el vaciado del grout.

- A diferencia del muro de albañilería armada con juntas tradicionales, no se necesitó recortar a los bloques de la primera hilada para formar ventanas de limpieza, porque no existe desperdicios de mortero que limpiar.

5.4 VIGA SOLERA

Las soleras de ambos muros fueron de 14x20cm, con unas salientes de 5cm en sus extremos (Fig.5.10), con la finalidad que los cabezales del equipo de ensayos no entre en contacto con la albañilería.

El refuerzo empleado consistió de 4 barras de ϕ 3/8" y estribos de ϕ 1/4", 1@ 5, 4@10 y el resto @ 20cm. La resistencia nominal a compresión del concreto fue $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

El armado del refuerzo se realizó sobre la albañilería, lo que dificultó el proceso constructivo (Fig.5.10) y una vez completada la armadura, se prosiguió con el encofrado de las vigas. Los recubrimientos fueron controlados con la ayuda de unos dados de concreto.

Luego, se realizó el vaciado del concreto, vibrándolo adecuadamente para evitar cangrejeras. En simultáneo se hicieron los ensayos de revenimiento en el Cono de Abrams y se fabricaron 2 probetas por cada viga. Al día siguiente, se procedió con el desencofrado y el curado de las soleras durante 7 días.



Fig.5.10. Refuerzo y características de las soleras.

6. ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA

El ensayo de carga lateral cíclica se realizó después de cumplir 28 días de edad en ambos muros. Para esto, se procedió a movilizar los muros (Fig.6.1) desde el patio de construcción hacia la losa de ensayos, en donde se realizó la instrumentación, el montaje y el ensayo de carga lateral cíclica.



Fig.6.1. Transporte de los muros de albañilería armada a ensayar

6.1 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo de carga lateral cíclica permite realizar una simulación de las cargas laterales que se generan en una estructura frente a solicitaciones sísmicas. Durante el ensayo, la estructura se desplaza en ambos sentidos en la dirección de la fuerza aplicada de forma lenta, es lo que la distingue de un sismo real.

Para esto es necesario prefijar determinados valores de desplazamiento lateral en los muros y realizar para cada desplazamiento, por lo menos 3 ciclos de carga y descarga hasta que el lazo histerético se estabilice. Si en una etapa del ensayo el lazo histerético no logra estabilizarse, se dirá que el espécimen ha colapsado.

Se le denomina fase del ensayo a los ciclos realizados en cada desplazamiento prefijado. En cada fase se tienen 3 ciclos de carga y descarga, y se le ha designado un color diferente (Tabla 6.1) para dibujar las grietas. Con esto, se puede distinguir las grietas, en la cara no instrumentada y pintada de blanco en el muro, por cada fase.

Tabla 6.1 Desplazamientos por Fase del Ensayo

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D (mm)	0.5	1.5	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	25
Ciclos	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Color	Mostaza	Marrón	Amarillo	Verde Claro	Verde Oscuro	Celeste	Azul	Naranja	Rojo	Morado	Rosado

Mientras se van dando los desplazamientos establecidos, con ayuda de un software computacional, se iban registrando los valores de desplazamiento y fuerza para todos los ciclos de todas las fases cada 0.25 segundos. Con estos puntos se va generando los lazos histeréticos y con los máximos valores de carga lateral en los ciclos estables se genera la envolvente cortante-desplazamiento (V-D).

Una vez realizados los gráficos de los lazos histeréticos, se procede a realizar el análisis propio del muro y la comparación de los 2 muros empleados en este proyecto (M1 y M2).

6.2 MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN

Los muros fueron transportados a la losa de ensayos en la cual se le procedió a realizar la instrumentación, con esto es posible registrar los desplazamientos relativos entre distintos puntos del muro.

La instrumentación se basó en colocar dispositivos de medición llamados LVDT. Estos dispositivos fueron distribuidos de tal forma que sea posible medir y detectar cualquier incidencia importante en el muro, una vez iniciado el ensayo.

La distribución de estos dispositivos en el muro (Fig. 6.2) es muy importante ya que cada uno cumple una determinada función. Se dispusieron LVDT con mayor rango de medición en puntos específicos, según la necesidad de registrar mayores desplazamientos dependiendo de la función del LVDT.

A continuación se detalla la ubicación y función de cada LVDT (ver la Fig.6.2 y 6.3):

D1

Ubicado en la parte central de la viga solera, su función fue registrar los desplazamientos laterales. El sensor usado tuvo una capacidad de 100mm y se le usó para controlar el experimento en los valores prefijados en la Tabla 6.1.

D2

Ubicado en la zona central del muro a 10 cm de la viga de cimentación, su función fue registrar los desplazamientos horizontales del muro con respecto a la viga de cimentación (investigar la falla por deslizamiento). El sensor usado tuvo una capacidad de 10mm, aparte se hicieron marcas con una escuadra en el muro y la cimentación, para verificar si todo el muro deslizaba.

D3 y D4

Ubicado a cada lado de los talones del muro, a 30 cm de la vida de cimentación. Su función es registrar los desplazamientos verticales que se producen por la tracción y compresión por flexión. Los sensores usados tuvieron capacidades de 20mm y 50mm en cada talón. Estos LVDT indican una posible falla por compresión y también se usan para determinar la carga asociada a la primera fisura visible de tracción por flexión.

D5 y D6

Ubicados en las diagonales del muro, en la mitad central de la diagonal, tienen la función de medir las deformaciones producidas por las fuerzas de corte en el muro. El sensor utilizado tuvo una capacidad de 50mm y con ellos se podría determinar el módulo de corte G_m .

D7

Ubicado a lo largo de la zona media, a 10 cm de cada borde del muro. Tiene como función medir el grosor de las grietas acumuladas en la zona central en una falla por corte. El sensor usado tuvo una capacidad de 100mm.

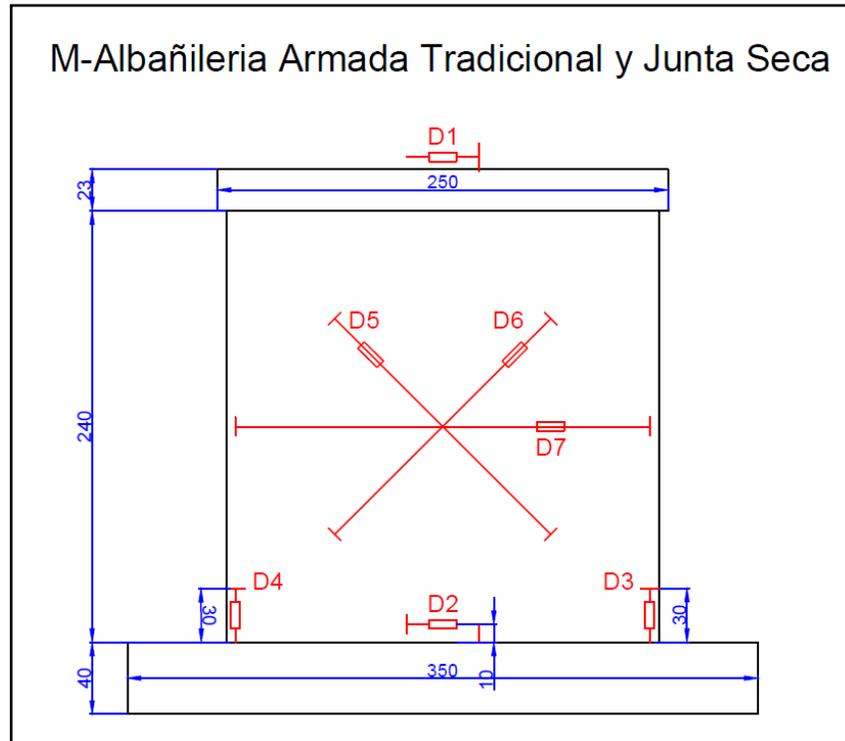


Fig. 6.2. Distribución de LVDT para ambos muros de albañilería armada

Una vez establecida la instrumentación de los muros, se procedió con el montaje del muro en la zona del actuador dinámico y a fijar la cimentación con las gatas. Para esto se procedió a nivelar la base del muro con un capping (Fig. 6.3), con esto se tiene la base del muro sin ningún tipo de desnivel.

La cimentación del muro se fijó a la plataforma de ensayos con unas gatas que verticalmente proporcionaron una fuerza de 21 toneladas en los extremos de la viga de cimentación, otorgándole estabilidad al muro y evitando que se produzca volteo, mientras que con una gata horizontal se aplicó 30 ton para impedir el deslizamiento del conjunto.

Finalmente, se procedió a fijar la altura del actuador en la viga solera del muro. La altura del actuador no fue la misma en ambos muros, ya que el muro de junta seca tiene menor altura con respecto al muro tradicional. Conocido esto, se buscó que el actuador quede alineado con la parte central de la viga solera para ambos muros.



Fig.6.3. Instrumentación de LVDT en muro (izquierda) y Nivelación con capping (derecha)

6.3 TÉCNICA DE ENSAYO

Una vez realizado el montaje, la instrumentación y definidos los parámetros del ensayo por fases, se realizó el ensayo de carga lateral cíclica (Fig.6.4) para los dos muros en días diferentes.

Se inició el ensayo con una precarga de 300 kg para ajustar los pernos del tirante superior, usado para jalar al muro. Luego, la carga regresó a cero y se procedió a dar inicio al ensayo de carga lateral cíclica. Cabe precisar que el ensayo se realizó a una velocidad de 4 min/ ciclo, a excepción del ciclo 2 que se realizó de forma más rápida.

Se registraron todos los valores de desplazamientos por cada ciclo de cada fase. El ensayo se detuvo cuando aparecieron las primeras grietas y también cuando estas grietas aumentaban de tamaño. Con esto se pudo anotar los puntos (desplazamiento y fuerza) en la aparición de cada grieta importante, así como medir su grosor y pintar las grietas de un color asociado a cada fase (Tabla 6.1).

En esta experiencia, el ensayo se extendió un ciclo más de lo establecido inicialmente, ya que no se lograba apreciar un descenso de carga máxima y los lazos histeréticos seguían estables. Por ello se decidió ejecutar una fase 11 con un desplazamiento de 25 mm en ambos muros.

Para poder apreciar una falla por deslizamiento en las fases finales del ensayo, se dibujaron unas líneas verticales en el muro y la viga de cimentación cuando éste se encontraba en su posición de desplazamiento cero.



Fig.6.4. Precarga en muros (izquierda) e inicio de ensayo (derecha).

6.4 COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DURANTE EL ENSAYO

Los muros de albañilería armada, con junta seca (M1) y tradicional (M2), fueron sometidos a desplazamientos en el rango elástico e inelástico. Su comportamiento fue muy similar durante todas las fases del ensayo y la falla final en ambos muros fue por deslizamiento; sin embargo, para este instante ya se había superado la deriva máxima inelástica establecida por la Norma de Diseño Sismorresistente E.030 (0.005, Fase 7 del ensayo).

A continuación se detalla el comportamiento de los dos muros en cada fase del ensayo, identificando las principales incidencias y fallas que ocurrieron conforme se incrementaba el desplazamiento.

Fase 1 (D = 0.5mm), Fig. 6.4 y 6.6**Muro M1**

Comportamiento elástico, no presentó ninguna fisura.

Muro M2

Se presentaron fisuras horizontales que aparecieron en la base del muro y abarcaron desde el extremo del muro hasta casi el centro. La otra fisura se dio en el otro extremo del muro, en la junta de la segunda hilada, cuando se empujaba.



Fig.6.5. Fase 1, M1 (izquierda) y M2 (derecha)



Fig.6.6. Primeras fisuras en M2, cuando se empuja (izquierda) y jala (derecha)

Fase 2 ($D = 1.5\text{mm}$), Fig. 6.7 y 6.8

Muro M1

Las fisuras recién aparecen en la base del muro, además, se presentaron varias fisuras en las juntas de las hiladas superiores y se formaron algunas fisuras escalonadas a un tercio de la altura con respecto a la base.

Muro M2

Presenta un detalle más definido de fisuras escalonadas que abarcan hasta casi el centro del muro. La fisura horizontal se prolonga más y aparecen fisuras en la parte izquierda de la base del muro.



Fig.6.7. Fisuras en la fase 2, M1 (izquierda) y M2 (derecha)



Fig.6.8. Fase 2. Fisuras en los muros M1 (izquierda) y Tradicional M2 (derecha)

Fase 3 (D = 2.5mm), Fig. 6.9 y 6.10

Muro M1

Las fisuras aparecen en forma escalonada desde la mitad de la altura del muro hasta la viga de cimentación, los talones se ven ya involucrados con un ancho de grieta de aproximadamente 1.5mm.

Muro M2

Las fisuras no solo empiezan desde los extremos del muro, sino también desde el centro, la base del muro presenta una fisura a lo largo de todo el muro, pero no hubo deslizamiento.



Fig.6.9. Fisuras en la fase 3, M1 (izquierda) y M2 (derecha)



Fig.6.10. Fase 3. Fisuras en los muros M1 (izquierda) y M2 (derecha)

Fase 4 (D = 5mm), Fig. 6.11 y 6.12

Muro M1

Empieza a aparecer fisuras que atraviesan el bloque de concreto vibrado, luego son continuadas por las juntas en forma escalonada. El ancho de grieta aumenta con respecto al muro M2. Esta fase corresponde a la falla por corte en M1.

Muro M2

Las grietas escalonadas aparecen a lo largo de la altura del muro, falla por corte. Las grietas en el talón izquierdo aumentaron de grosor.



Fig.6.11. Fisuras en la fase 4, M1 (izquierda) y M2 (derecha)



Fig.6.12. Grietas escalonadas en M1 (izquierda) y grietas en talón de M2 (derecha)

Fase 5 (D = 7.5mm), Fig. 6.13 y 6.14

Muro M1

Las grietas siguen siendo escalonadas desde arriba hacia el centro del muro, notándose el corte de algunos bloques.

Muro M2

Aparecen grietas diagonales en el centro del muro, algunas pasan por juntas y otras cortando los bloques.

La grieta localizada en la base de ambos muros abarca toda la longitud del muro y presentan un ancho de 1.5 a 2mm. No se notó deslizamiento.



Fig.6.13. Fisuras en la fase 5, M1 (izquierda) y M2 (derecha).

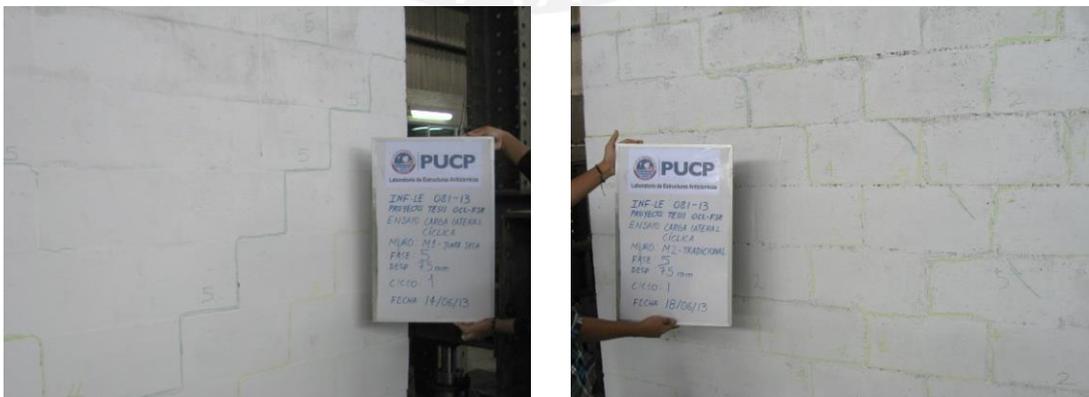


Fig.6.14. Grietas escalonadas en M1 (izquierda) y diagonales en M2 (derecha).

Fase 6 (D = 10 mm), Fig. 6.15 y 6.16

Muro M1 y M2

Aparecen más fisuras escalonadas a lo largo de la altura, en ambos muros.



Fig.6.15. Fisuras en la fase 6, M1 (izquierda) y M2 (derecha)



Fig.6.16. Grietas escalonadas en M1 (izquierda) y en M2 (derecha)

Fase 7 (D = 12.5mm), Fig. 6.17 y 6.18

Esta fase se considera importante porque corresponde a la deriva máxima especificada por la Norma de Diseño Sismorresistente E.030 para los muros de albañilería.

Muro M1

Las grietas escalonadas siguen apareciendo, prácticamente abarcan casi todo el muro.

Muro M2

Las grietas en la base del muro son grandes, pero no hubo deslizamiento. En el talón se presentaron fisuras verticales a la izquierda del muro.



Fig.6.17. Fisuras en la fase 7, M1 (izquierda) y M2 (derecha).



Fig.6.18. Grietas escalonadas en M1 (izquierda) y grietas en talón en M2 (derecha)

Fase 8 (D = 15mm), Fig. 6.19 y 6.20**Muro M1**

Las grietas diagonales y escalonadas aparecen a todo lo alto del muro. No hubo deslizamiento.

Muro M2

Se presentaron fisuras verticales en los extremos, las grietas diagonales se siguen extendiendo por todo el muro. No hubo deslizamiento.



Fig.6.19. Fisuras en la fase 8, M1 (izquierda) y M2 (derecha)

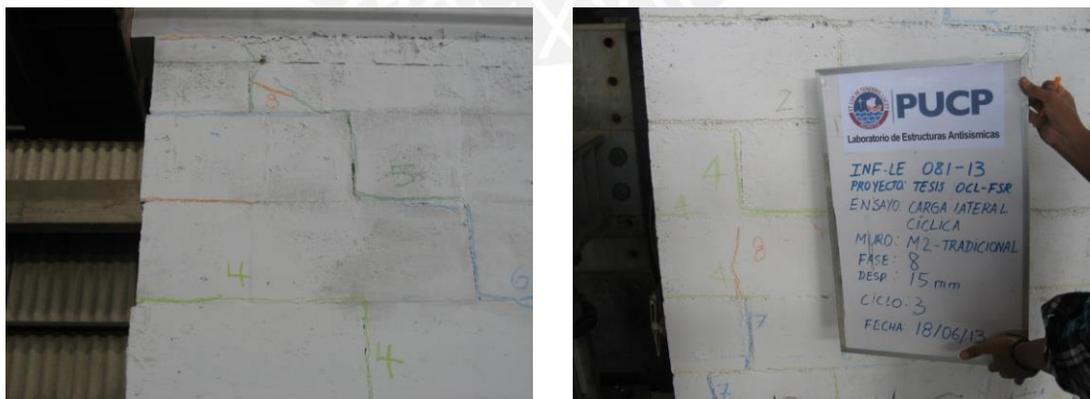


Fig.6.20. Grietas escalonadas en M1 (izquierda) y verticales en M2 (derecha)

Fase 9 (D = 17.5mm) , Fig. 6.21 y 6.22

En ambos muros se logra apreciar una falla por deslizamiento, pero la fuerza máxima se sigue incrementando.

Muro M1

Las grietas que aparecen son verticales y horizontales en los extremos del muro.

Muro M2

La zona más afectada son los talones, el ancho de grieta aumentó en esta fase y aparecen pequeñas grietas verticales. El talón de la izquierda empieza a triturarse.



Fig.6.21. Fisuras en la fase 9, M1 (izquierda) y M2 (derecha)



Fig.6.22. Grietas en la base de M1 (izquierda) y grietas en talón de M2 (derecha)

Fase 10 ($D = 20$ mm), Fig. 6.23 y 6.24

Ambos muros deslizaron a través de sus bases. Por otro lado, inicialmente se había acordado que esta fase sería la última. Sin embargo, al no existir una disminución de fuerzas apreciable, se prosiguió con una fase más.



Fig.6.23. Fisuras en la fase 10, M1 (izquierda) y M2 (derecha)



Fig.6.24. Deslizamiento en la base de M1 (izquierda) y M2 (derecha)

Fase 11 (D = 25mm), Fig. 6.25 y 6.26**Muro M1**

Se presentó una fisura considerable en la el talón derecho, triturándose el bloque mientras que grout no tuvo problemas. El muro deslizó en aproximadamente 2 cm.

Muro M2

En esta fase se concluyó que la falla final fue por deslizamiento, además, el talón izquierdo se trituró. El muro deslizó en aproximadamente 1 cm.



Fig.6.25. Fisuras en la fase 11, M1 (izquierda) y M2 (derecha)



Fig.6.26. Grietas en la base y talón del muro M1 (izquierda) y M2 (derecha)

Resumen

- Los dos muros fallaron por fuerza cortante, hasta antes de presentarse la deriva máxima permitida por la Norma E.030 (0.005, fase 7 del ensayo), posteriormente, a partir de la fase 9, se presentó la falla por deslizamiento.
- La falla por corte se presentó principalmente escalonada en el muro de junta seca M1, mientras que en el de junta tradicional M2 lo hizo en forma mixta, escalonada y cortando bloques. Ver la Fig.6.25.
- La falla por deslizamiento se produjo en mayor grado en el muro M1 que en M2, pero no fue suficiente como para cizallar las barras verticales o doblarlas permanentemente, esto es algo que se observó durante la inspección post-ensayo.
- Las grietas en los talones de M2 fueron más pronunciadas que las existentes en M1 (Fig.6.26).

6.5 INSPECCIÓN VISUAL POST ENSAYO

El daño más significativo que se observó en ambos muros fue el agrietamiento de sus talones. En ambos casos uno de los talones se encontraba en peor estado.

Se aprovechó para revisar el estado del refuerzo vertical, principalmente las espigas, durante la demolición de los muros (Fig.6.27).



Fig.6.27. Estado del refuerzo vertical de M1 luego de los ensayos

Se observó en general un estado aceptable del refuerzo vertical. En algunos casos el refuerzo tuvo una leve deformación por pandeo debido a la flexocompresión que se genera en el talón del muro durante el ensayo.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 DIAGRAMA DE LAZOS HISTERÉTICOS

Los lazos histeréticos V-D obtenidos en el ensayo resultaron muy similares a los de otros sistemas de albañilería armada, confinada y placas de concreto armado. Estos lazos son delgados, propio de los sistemas que disipan poca energía sísmica. Adicionalmente, se aprecia una tendencia a que las curvas pasen por el origen de coordenadas del sistema de referencia, este comportamiento es propio de los sistemas que degradan rigidez lateral.

Conforme aumentaron los desplazamientos del ensayo, se puede apreciar una deformación permanente para carga lateral nula, debido a la falla por deslizamiento.

Los mayores desplazamientos laterales generan una mayor cantidad de fisuras, que al abrirse y cerrarse constantemente, dan lugar al deterioro de la albañilería, con la consiguiente pérdida de rigidez y resistencia, pero que en este caso se concentraron en la zona deslizable.

En las fig. 7.1 y 7.2 se muestran los diagramas de lazos histeréticos obtenidos para ambos muros (Junta Seca M1 y Tradicional M2). Se tomaron en cuenta las 11 fases del ensayo y sus 3 ciclos, con excepción de la primera fase, en la cual se aplicaron 2 ciclos. Los valores de desplazamiento utilizados en las gráficas son los obtenidos por el LVDT D1, el cual medía los desplazamientos en la parte superior de los muros.

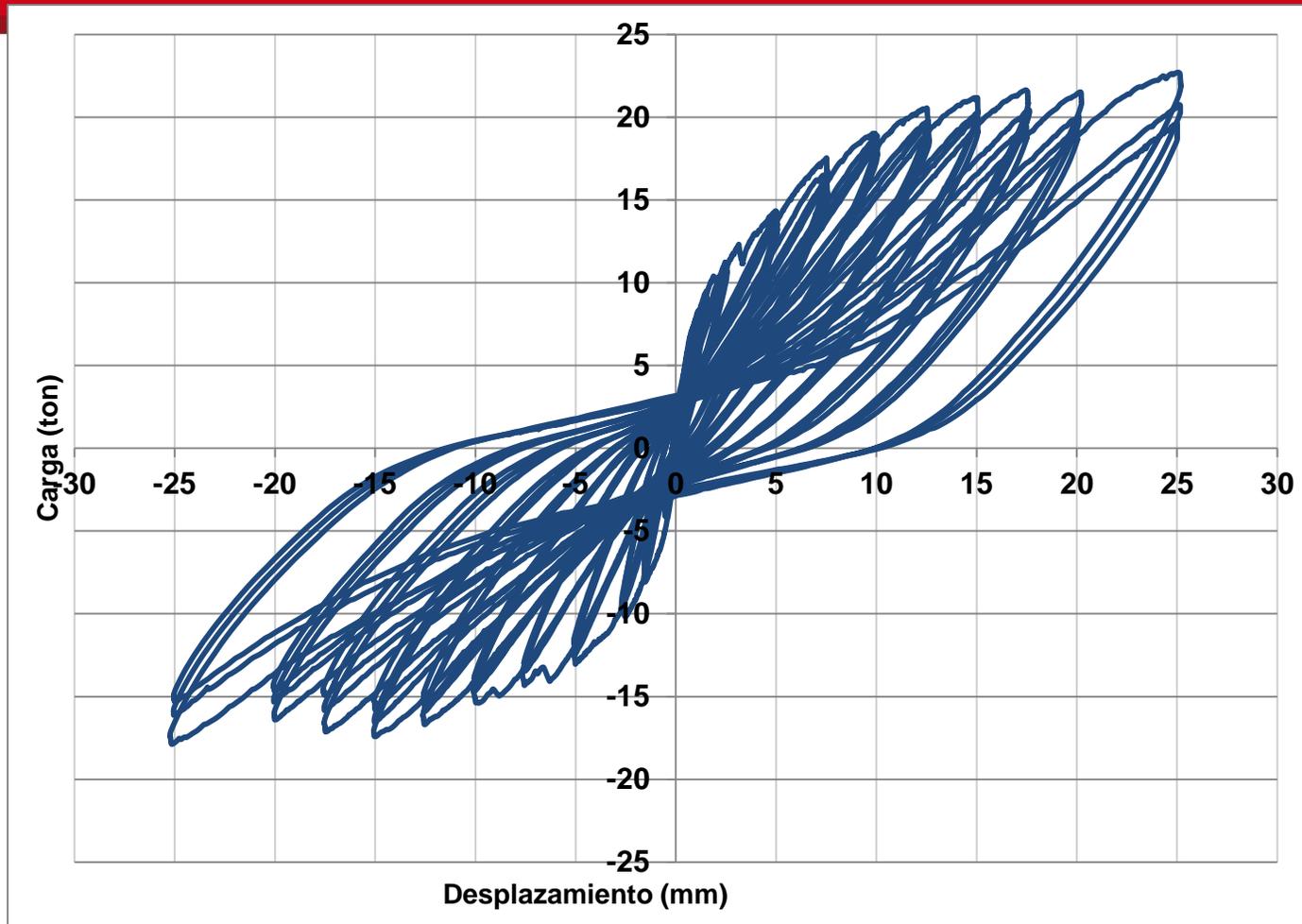


Fig. 7.1 Lazos Histeréticos del muro de Junta Seca M1

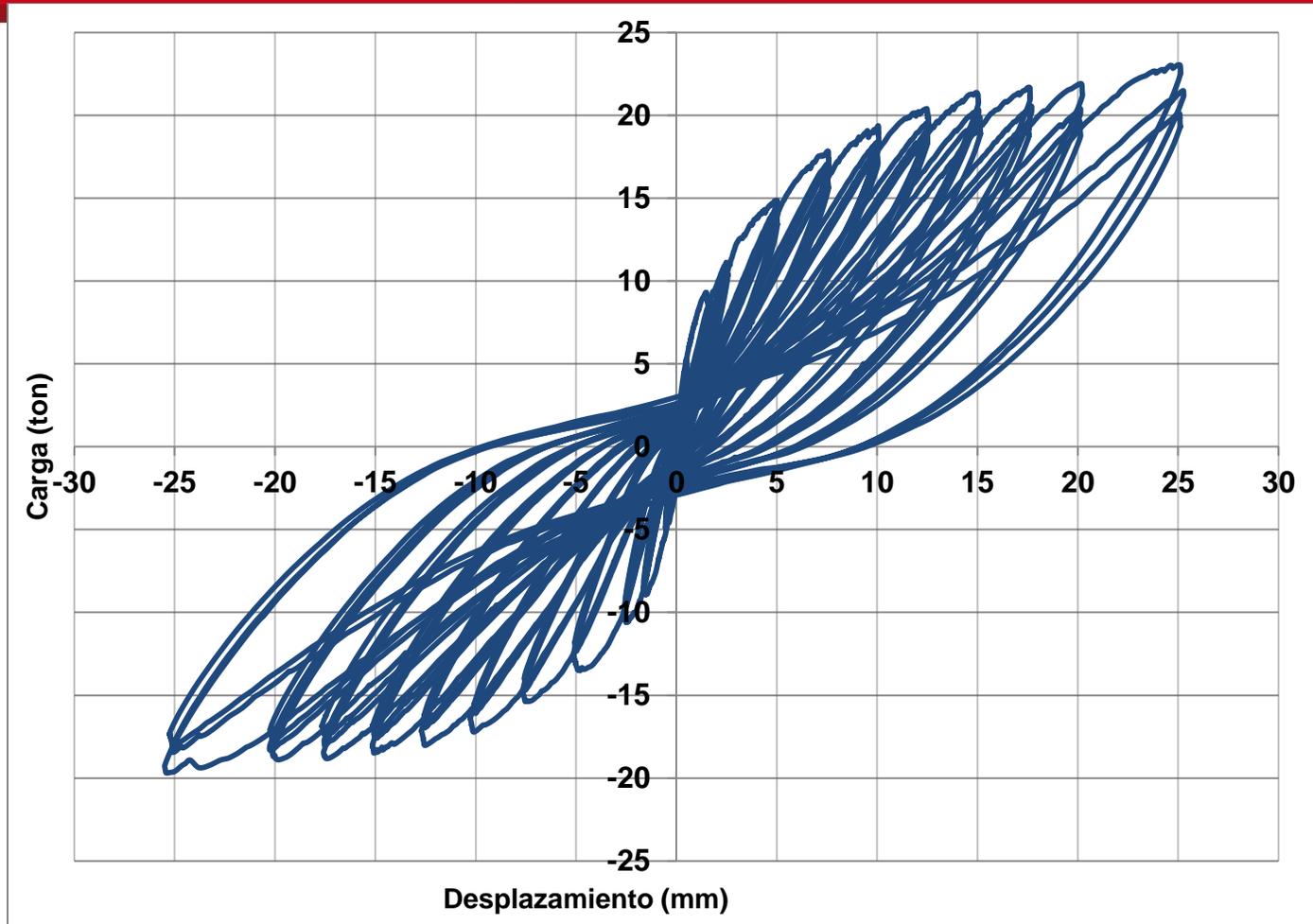


Fig. 7.2 Lazos Histeréticos del muro Tradicional M2

7.2 RIGIDEZ LATERAL ELÁSTICA (K)

7.2.1 Rigidez lateral teórica

Para el caso de un muro en voladizo se puede calcular la rigidez lateral teórica a partir de la siguiente expresión:

$$K = \frac{E}{\frac{h^3}{3I} + \frac{f h (E/G)}{A}}$$

Dónde:

K = Rigidez lateral (ton/m).

E = Módulo de elasticidad = 700 f'm para unidades de concreto.

h = Altura del muro, desde la base hasta el eje de carga = 2.5 m.

I = Momento de Inercia de la sección no agrietada = t L³ /12.

f = Factor de forma = 1.2 (para secciones rectangulares).

G = Módulo de corte = 0.4 E

A = Área de la sección transversal del muro = t L

Tabla 7.1 Cálculo teórico de la rigidez lateral

MURO	M1	M2	Und.
E	616000	642000	ton/m ²
I	0.149	0.159	m ⁴
A	0.3276	0.3346	m ²
h	2.44	2.52	m
f	1.2	1.2	
E/G	2.5	2.5	
K	11254	11447	ton/m

En la tabla 7.1 se obtiene una variación de 1.7% entre la rigidez lateral teórica de M1 y M2, porque hubo pequeñas variaciones en las dimensiones y en el valor de "E".

7.2.2 Rigidez lateral experimental

Con la finalidad de poder calcular la rigidez lateral experimental de cada muro, se hizo uso de la gráfica Carga vs Desplazamiento tomando en cuenta los lazos correspondientes al primer ciclo de la primera fase. El desplazamiento que se considera fue el obtenido por el LVDT D1. Sobre la gráfica se trazó una línea de tendencia que nos permite obtener la rigidez elástica del sistema a través de su pendiente (Fig.7.3 y Fig. 7.4).

De los gráficos se puede apreciar cierta variación en el valor de la rigidez de la rama positiva con respecto de la negativa. Por ello se decidió calcular estos valores para establecer si esta variación es aceptable.

Muro de Junta Seca M1

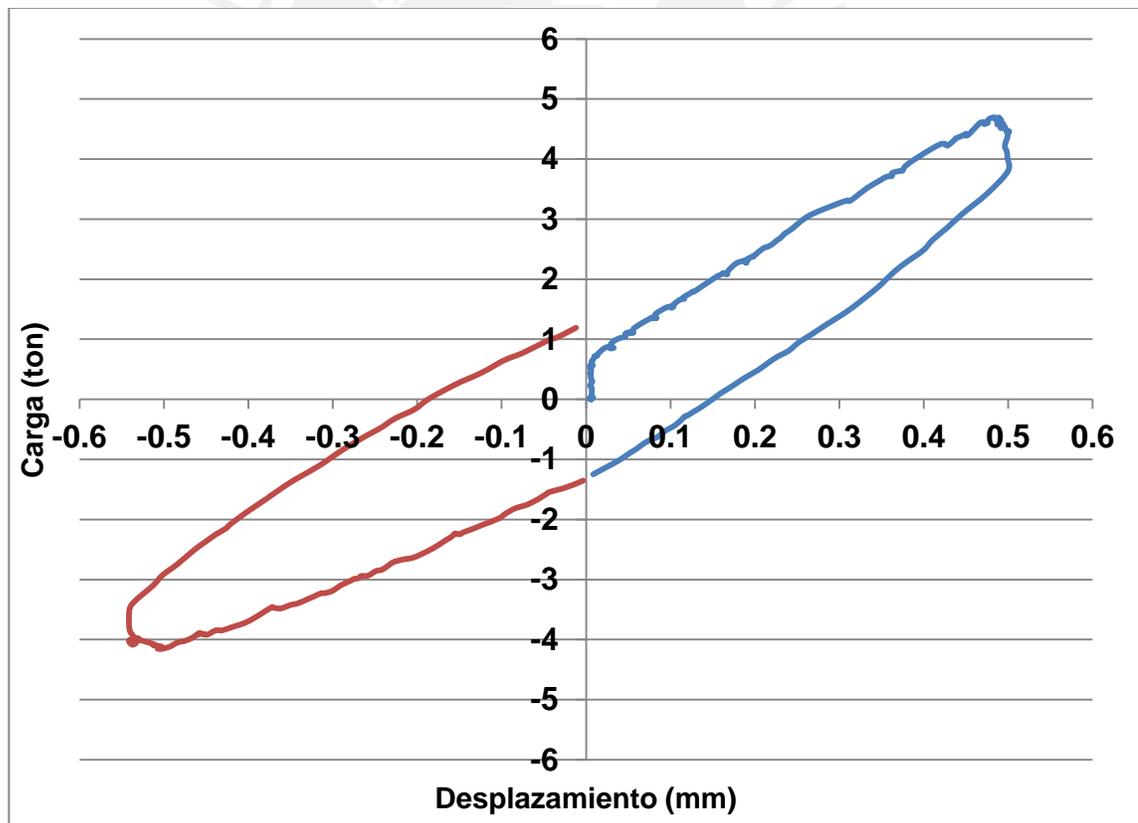


Fig.7.3 Lazo histerético Fase 1 para el Muro de Junta Seca

Muro Tradicional M2

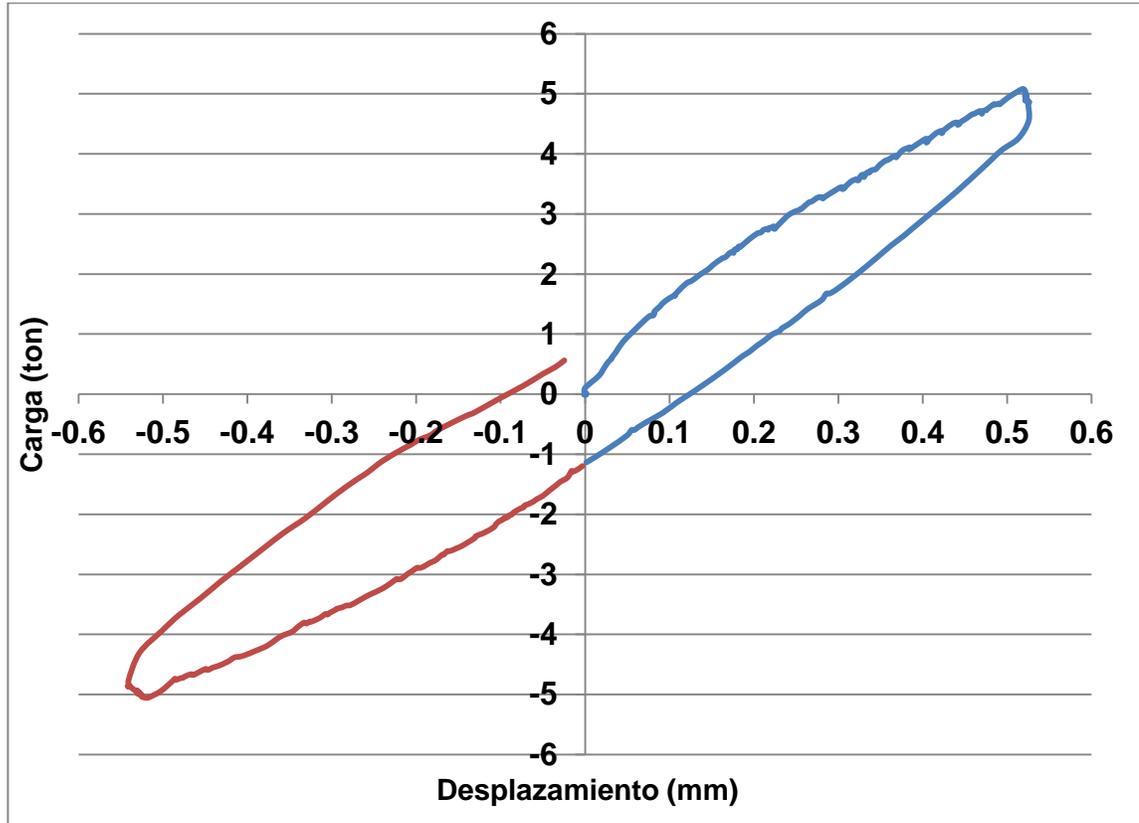


Fig.7.4 Lazo histerético Fase 1 para Muro Tradicional

Para el cálculo de la rigidez lateral experimental (Tabla 7.2) se tomaron en cuenta el rango de valores correspondientes a los desplazamientos entre 0.05 y 0.25 mm, en los cuales se apreció una pendiente lineal.

Tabla 7.2 Cálculo de la rigidez lateral experimental

MURO	D (mm)	F (ton)	K (ton/m)
M1	0.05	1.106	8995
	0.25	2.905	
M2	0.05	0.945	10400
	0.25	3.025	

Para el muro de albañilería armada de Junta Seca, la rigidez lateral elástica de 8995 ton/m difiere en un 20% del valor obtenido teóricamente (11254 ton/m). Esta variación se debe en gran medida a la ausencia del mortero en las juntas, que no fue contemplado en el análisis teórico (se trabajó con la sección bruta).

Para el muro de albañilería armada tradicional, la rigidez lateral elástica de 10400 ton/m difiere en un 9.1% del valor obtenido teóricamente (11447 ton/m). La baja rigidez de este muro se debe a la presencia de fisuras muy finas en esta fase (Fig.6.5).

Ambos muros presentaron una rigidez lateral experimental similar, con una variación de 13.5% mayor para el muro de albañilería armada tradicional. Esto se puede atribuir, como se mencionó anteriormente, a la presencia del mortero en las juntas, aunque la diferencia pudo ser mayor si no hubiese sido por la presencia de fisuras finas en M2 durante la fase 1.

7.3 FISURA DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN

La primera grieta que se formó para los dos muros ensayados ocurrió en la base (talón). Estas fisuras son originadas por las tracciones que genera el momento flector provocado por la acción de la carga horizontal. Para el caso de muros armados se ha previsto una resistencia a tracción por flexión del orden de 10 kg/cm².

La carga asociada a este tipo de fisuras es directamente proporcional al esfuerzo máximo de tracción a través de la siguiente expresión:

$$\sigma_t = \frac{M y}{I} = \frac{F h y}{I}$$

Dónde:

σ_t = Esfuerzo de tracción máximo

F = Carga asociada a la primera fisura

h = Altura de la base al eje del actuador

I = Inercia de la sección

y = Distancia del centroide al extremo traccionado.

Haciendo uso de los gráficos histeréticos se pudo obtener gráficamente los valores de cargas asociadas a la primera fisura.

Para el muro de albañilería armada de **Junta Seca** la primera grieta ocurrió durante el primer ciclo de la **fase 2**, con un valor de carga de **6.3 ton** y un desplazamiento de **0.63mm**.

Para el muro de albañilería armada **Tradicional** la primera grieta ocurrió durante el primer ciclo de la **fase 1**. Sin embargo esta grieta resultó muy difícil de percibir en el gráfico de lazos histeréticos, por lo cual se adoptó el primer salto observado en dicho gráfico. Este último valor corresponde a la **fase 2**, con un valor de carga de **6.0 ton** y un desplazamiento de **0.63mm**. Con estos datos se elaboró la tabla 7.3.

Tabla 7.3 Calculo de resistencia a tracción por flexión

	Muro de Junta Seca	Muro Tradicional
h (m)	2.44	2.52
y (m)	1.22	1.26
I (m ⁴)	0.149	0.159
F (ton)	6.3	6.0
σ_t (ton/m²)	125	120
σ_t (kg/cm²)	12.5	12.0

Ambos muros presentan una resistencia a tracción por flexión cercana al valor referencial (10 kg/cm²). El muro de albañilería armada de Junta Seca M1 presenta una resistencia ligeramente superior a M2 (4%).

7.4 AGRIETAMIENTO DIAGONAL

Luego de que se incrementa la carga lateral, se forman grietas diagonales en el centro del muro. Esto provoca una ligera caída de resistencia, porque inmediatamente empieza a trabajar el refuerzo horizontal.

7.4.1 Agrietamiento Diagonal teórico

La resistencia al corte (V_m) de un muro de albañilería armada se determina mediante la siguiente expresión proveniente de la Norma E.070:

$$V_m = 0.5 v' m \alpha t L + 0.23 P g$$

Este ensayo no se tomó en cuenta la carga axial ($P_g = 0$), la expresión de $V'm$ se simplifica a:

$$V_m = 0.5 v'_m \alpha t L$$

Dónde:

v'_m = Resistencia al corte de la albañilería

t = Espesor efectivo del muro

L = Longitud total del muro

α = Factor de esbeltez = $V L / M = V \times L / (V h) = L / h$

h = Altura del muro

Tabla 7.4 Cálculo de la carga de agrietamiento diagonal teórica

	Muro Tradicional (M2)
L (m)	2.39
t (m)	0.14
h (m)	2.52
α	1.00
v'_m (ton/m ²)	80
V_m (ton)	13.4

No se tomó en cuenta la resistencia teórica en M1 (junta seca) debido a que el ensayo de muretes no muestra un valor significativo de resistencia al corte puro para este tipo de albañilería (ver acápite 4.2.4).

Como se mencionó en el capítulo 4, los muretes de albañilería de Junta Seca presentaron fallas escalonadas debido a la falta de adherencia entre las unidades cuando se somete al conjunto a compresión diagonal.

7.4.2 Agrietamiento Diagonal experimental

Para poder medir las fisuras generadas en las diagonales del muro se hizo uso de los LVDT D5 y D6. Sin embargo, lo observado durante el ensayo sirvió de guía para ubicar el instante en el cual comienzan a aparecer estas grietas diagonales y poder obtener los valores de carga asociados.

En las fig. 7.5, 7.6, 7.7 y 7.8 se muestran las lecturas de los desplazamientos diagonales. Se tomaron en cuenta los lazos correspondientes al primer ciclo de cada fase.

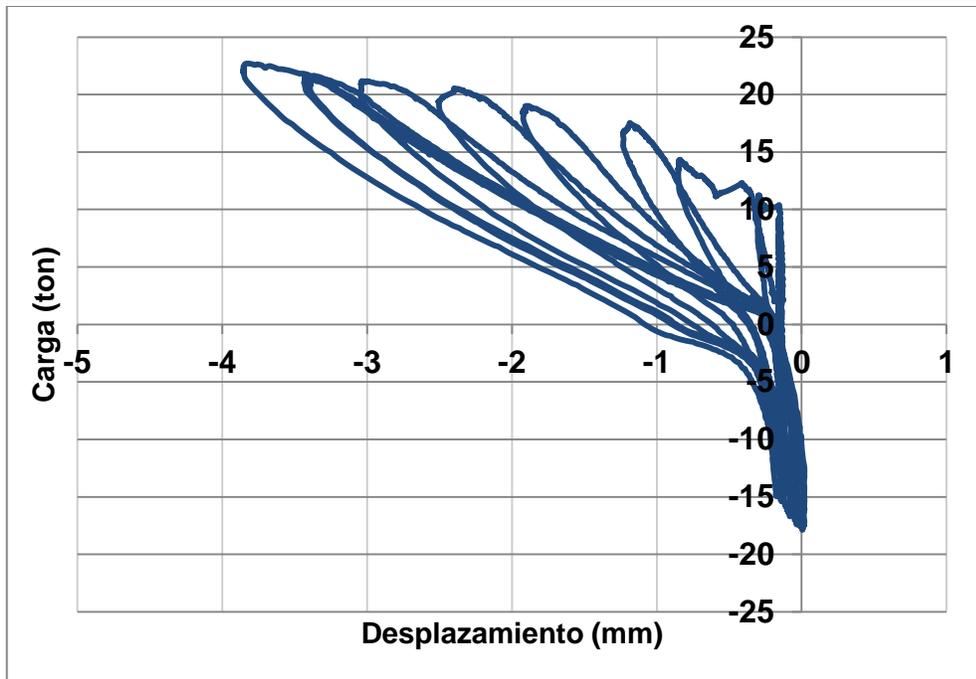


Fig. 7.5 Carga vs Desplazamiento LVDT D5-Muro de Junta Seca

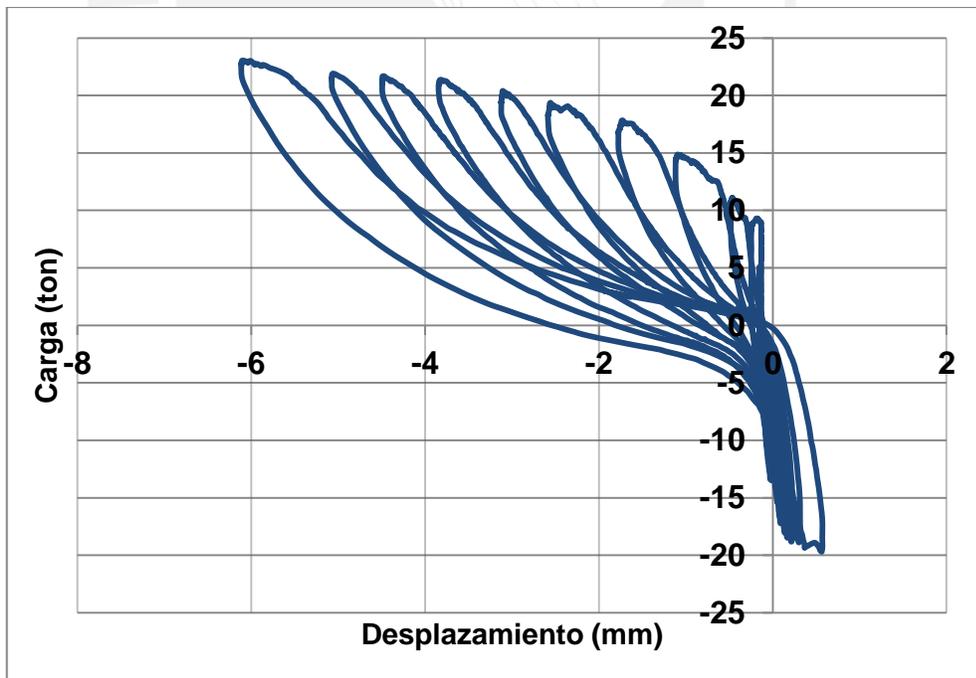


Fig. 7.6 Carga vs Desplazamiento LVDT D5-Muro Tradicional

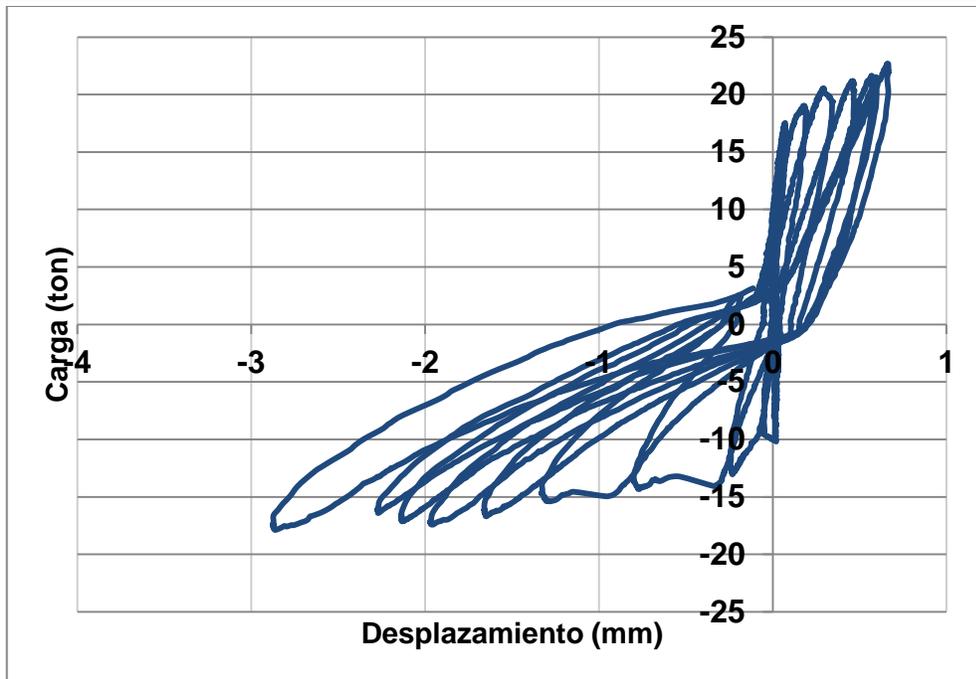


Fig. 7.7 Carga vs Desplazamiento LVDT D6-Muro de Junta Seca

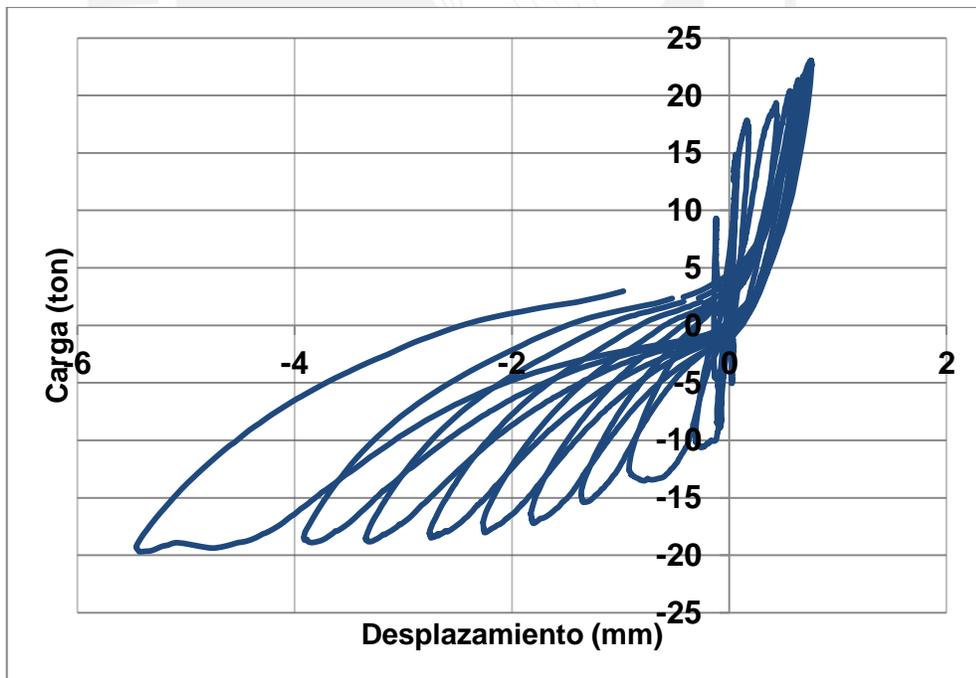


Fig. 7.8 Carga vs Desplazamiento LVDT D6-Muro Tradicional

El muro de albañilería armada de Junta Seca obtuvo un valor de carga asociada al agrietamiento diagonal de **11.5 ton** aproximadamente.

Del muro de albañilería armada tradicional se obtuvo un valor de carga aproximado de **14 ton**. Este valor se aproxima a la carga teórica (**13.4 ton**).

En ambos casos, el agrietamiento diagonal inició en el primer ciclo de la fase 4 y se hizo notorio a simple vista en la fase 5. Luego, estas grietas fueron aumentando su tamaño y longitud conforme se incrementaban los desplazamientos inducidos.

7.5 LIMITE DE REPARACIÓN

De acuerdo a la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente, se especifica como límite una deriva máxima inelástica de $1/200 = 0.005$ para la albañilería reforzada. Es importante identificar este punto debido a que hasta este momento se puede considerar al sistema como económicamente reparable. Luego de este instante, al aplicarse mayores desplazamientos, surgen fallas indeseables a medida que disminuye la resistencia.

Este instante de desplazamiento máximo inelástico está asociado a las **fase 7**, pues en esta fase el desplazamiento lateral controlado es de 12.5 mm, considerando una altura de albañilería promedio de 2.5 m desde la base hasta el eje del actuador, resulta $2500 \times 0.005 = 12.5\text{mm}$.

Durante la fase 7, ninguno de los muros presentó una falla por deslizamiento. Para poder corroborar que no se presentó este tipo de falla durante esta fase se hizo uso del LVDT D2. Este dispositivo nos ayudó a registrar los desplazamientos relativos entre la viga de cimentación y la base del muro. El máximo desplazamiento registrado fue de **1.1 milímetros** aproximadamente para ambos muros, lo cual se consideró despreciable. En la **fase 9** ya se puede apreciar una falla por deslizamiento para ambos muros.

Adicionalmente, se observó una trituración de los talones recién en la fase 9 del ensayo siendo en mayor grado para M2 (junta tradicional).

7.6 ENVOLVENTE DEL DIAGRAMA DE LAZOS HISTERÉTICOS

Ambos muros se llevaron hasta 25 mm de desplazamiento que equivale a una deriva (distorsión) de 0.01. Para poder comparar el comportamiento a carga lateral cíclica de ambos muros se elaboró un gráfico denominado envolvente carga vs desplazamiento, utilizando los valores máximos registrados en cada fase, cuyos valores se muestran en las tablas 7.5 y 7.6. Se tomaron en cuenta los valores del tercer ciclo de cada fase, en los cuales los lazos se hicieron más estables.

Tabla 7.5. Valores máximos de Fuerza y Desplazamiento para M1

fase	D (mm)	V (ton)	D (mm)	V (ton)
1	0.5	5.4	-0.5	-4.1
2	1.5	9.4	-1.5	-7.4
3	2.5	11.2	-2.5	-8.8
4	5.1	13.2	-5.0	-12.2
5	7.5	16.2	-7.5	-13.5
6	10.0	18.5	-10.0	-14.4
7	12.6	19.5	-12.5	-15.5
8	15.1	20.0	-15.0	-15.8
9	17.5	19.5	-17.5	-14.9
10	20.0	19.3	-20.0	-14.7
11	25.0	19.6	-25.0	-15.3

Tabla 7.6. Valores máximos de Fuerza y Desplazamiento para M2

fase	D (mm)	V (ton)	D (mm)	V (ton)
1	0.5	5.1	-0.5	-4.2
2	1.5	7.5	-1.5	-7.7
3	2.6	10.4	-2.5	-9.3
4	5.0	13.4	-5.1	-11.8
5	7.6	15.6	-7.6	-14.0
6	10.0	17.1	-10.1	-15.5
7	12.5	19.1	-12.6	-16.2
8	15.2	18.9	-15.1	-16.8
9	17.6	18.8	-17.7	-16.9
10	20.1	18.8	-20.2	-17.1
11	25.1	19.3	-25.2	-17.4

De esta forma se trazaron las envolventes en sus ramas positivas y negativas para el muro de Junta Seca (M1, Fig.7.9) y para el muro de Junta Tradicional (M2, Fig.7.10).

La comparación de envolventes de ambos muros aparece en la Fig.7.11, en la cual se utilizó la rama más crítica del muro M1 (rama negativa de la Fig.7.9), mientras que para M2 se usó la mejor rama (rama positiva de la Fig.7.10), a fin de que se note la mayor diferencia entre ambos muros. Esto se hizo porque se contaba con un solo espécimen de cada tipo y porque hay mayor confianza en el muro tradicional.

A pesar de haberse seleccionado la peor de las ramas para M1 y la mejor para M2, la diferencia en la carga máxima para una deriva ligeramente mayor a la máxima permitida por la Norma E.030 es pequeña (16% respecto a M2), 16 ton para M1 y 19 ton para M2.

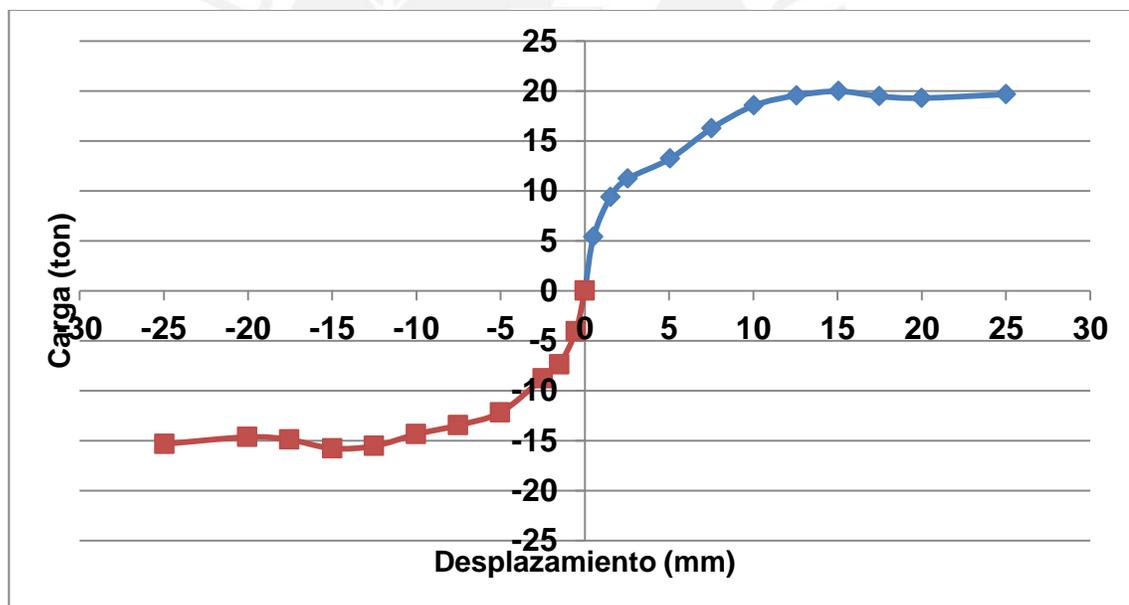


Fig. 7.9 Envolvente de lazos histeréticos estables del muro de Junta Seca M1

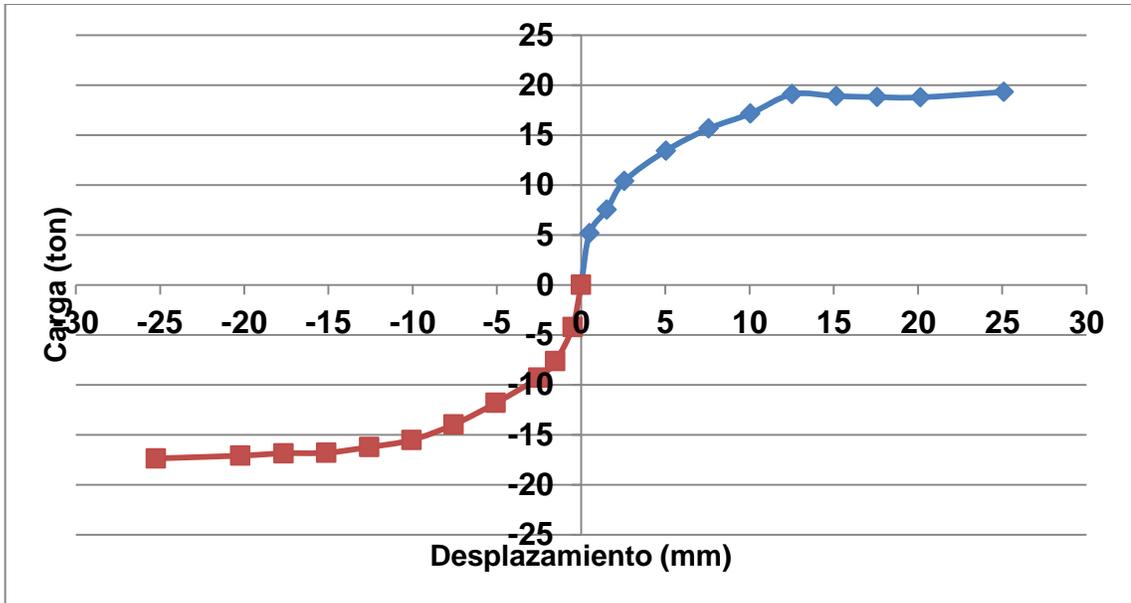


Fig. 7.10 Envoltura de lazos histeréticos estables del muro Tradicional M2

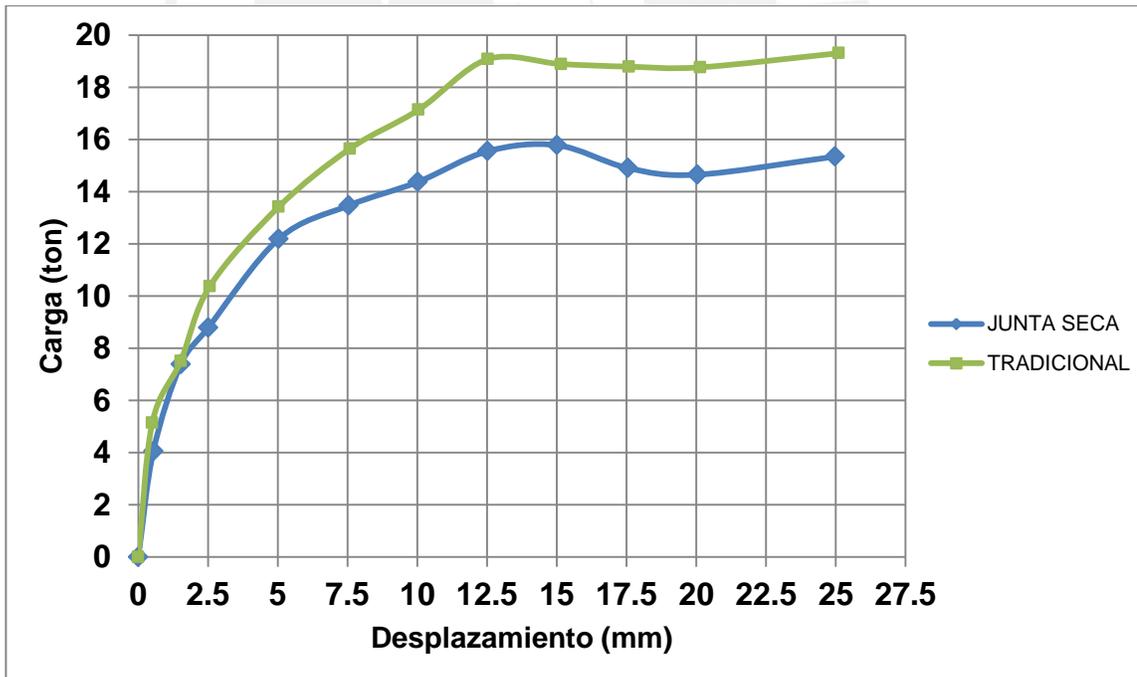


Fig. 7.11 Comparación de envoltura carga vs desplazamiento entre los muros de Junta Seca M1 y Junta Tradicional M2.

8. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Uno de los aspectos importantes para poder cuantificar que tan beneficiosa resulta la albañilería de junta seca frente a la albañilería tradicional, es el factor económico. Debido a esto, se presenta un análisis económico, el cual se basa en un comparativo de las diferencias que existen entre los mencionados sistemas de albañilería con respecto al costo. Para ello se toma en consideración las partidas que presentan un procedimiento constructivo diferente, como lo son el asentado de bloques y vaceado de grout de cada muro. El caso de la colocación del acero de refuerzo, por ejemplo, no fue tomado en cuenta ya que fue el mismo en ambos sistemas constructivos.

El motivo de la investigación es comparar estas técnicas mencionadas con todas sus características principales durante el proceso constructivo de cada muro. Sin embargo, en el caso de la albañilería de junta seca se utiliza una pasta de cemento en cada junta y se emplean bloques que no fueron fabricados para este tipo de albañilería, lo cual implica que el rendimiento de un operario al asentar los bloques no varíe mucho. Por esa razón, se añade al comparativo un tercer caso, el cual resulta de no considerar esta pasta de cemento en las juntas y asumiendo que los bloques de concreto vibrado poseen un mejor detalle de acabado, pensado para la junta seca y que por ende resultan un poco más caros.

8.1 Albañilería Armada Tradicional

En las tablas 8.1 y 8.2 se ha considerado, según el proceso constructivo realizado, la construcción de ventanas de limpieza para la eliminación de excedentes de mortero. Para este procedimiento constructivo, se consideró mayor el tiempo de asentado debido a la necesidad de realizar cortes en los bloques de concreto. Además, es necesario el encofrado y desencofrado de las ventanas de limpieza, y la colocación de un zócalo de madera con altura de 15 cm para el acabado del muro. La finalidad de esta última partida es darle un acabado al muro, evitando que se vea el grout de las ventanas de limpieza.

Durante las horas de vaciado, se está considerando el compactado que se realiza para garantizar que el flujo del grout sea fluido y sobretodo que no se generen vacíos de segregación de agregados.

Tabla 8.1 Asentado de Bloques por m ² de Muro de Albañilería Armada Tradicional				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra				
Operario	hh	1.400	17.27	24.18
Ayudante	hh	1.400	13.11	18.35
Materiales				
Bloque de Concreto vibrado	Und	12.500	1.30	16.25
Cemento	Bol	0.043	17.80	0.76
Arena	m3	0.005	40.00	0.19
Cal	kg	0.389	2.00	0.78
Agua	m3	0.002	3.00	0.00
Madera de Encofrado	m2	0.378	16.00	6.05
Zócalo	ml	0.360	8.00	2.88
Costo Total				S/. 69.45

Tabla 8.2 Vaceado de grout por m ² de Muro de Albañilería Armada Tradicional				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra				
Operario	hh	0.861	17.27	14.87
Ayudante	hh	0.861	13.11	11.29
Materiales				
Cemento	Bol	0.396	17.800	7.040
Arena	m3	0.028	40.000	1.121
Confitillo	m3	0.017	100.000	1.681
Agua	m3	0.013	2.500	0.032
Costo Total				S/. 36.03

8.2 Albañilería Armada de Junta Seca Realizado en laboratorio

En este caso, el procedimiento constructivo empleado es el descrito en el acápite 5, de albañilería de junta seca. El rendimiento de la partida de asentado de los bloques (tabla 8.3) resulta muy parecido al de la albañilería armada tradicional. Esto se debe a que al emplear la pasta de cemento en las juntas tenemos la necesidad de corregir variaciones dimensionales de los bloques, los cuales no están hechos pensando en la

albañilería de junta seca. Además, el asiento de los bloques se realizó de la misma forma que el de albañilería armada, para evitar problemas de esparcimiento de la cinta de mortero y garantizar que no penetren desperdicios dentro del muro.

Se ha considerado un espesor promedio para la junta seca de 3 mm, debido a que los bloques presentaban irregularidades significativas que se iban acumulando y eran notorias en ciertas hiladas del muro.

Tabla 8.3 Asentado de Bloques por m² de Muro de Albañilería Armada de Junta Seca

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra				
Operario	hh	1.220	17.27	24.18
Ayudante	hh	1.220	13.11	18.35
Materiales				
Bloque de Concreto vibrado	Und	12.500	1.30	16.25
Cemento	Bol	0.013	17.80	0.24
Arena	m3	0.002	40.00	0.06
Agua	m3	0.002	3.00	0.01
Costo Total				S/. 53.62

Tabla 8.4 Vaceado de grout por m² de Muro de Albañilería Armada de Junta Seca

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra				
Operario	hh	0.861	17.27	14.87
Ayudante	hh	0.861	13.11	11.29
Materiales				
Cemento	Bol	0.396	17.800	7.040
Arena	m3	0.028	40.000	1.121
Confitillo	m3	0.017	100.000	1.681
Agua	m3	0.013	2.500	0.032
Costo Total				S/. 36.03

8.3 Albañilería Armada de Junta Seca usando bloques especiales

En este análisis comparativo presentamos el caso hipotético con respecto a la junta seca. Se considera que los bloques de concreto vibrado tiene una variación dimensional muy baja y son bastante regulares, de tal forma que es posible aplicar la albañilería armada de junta seca sin necesidad alguna de considerar mortero o pasta de cemento entre sus juntas. Además, consideramos que el bloque resulta un 20% más caro que el costo actual.

Un factor importante que resulta de usar bloques especiales para este tipo de albañilería, es que el muro puede construirse en una sola jornada de trabajo (a diferencia de lo realizado en el ensayo de laboratorio) debido a que no hay presencia de mortero y los bloques tienen mucha más regularidad. Por consiguiente, se puede lograr un gran ahorro con respecto a la mano de obra. Ver Tablas 8.5 y 8.6.

Tabla 8.5 Asentado de Bloques por m² de Muro de Albañilería Armada de Junta Seca hipotético

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra				
Operario	hh	0.350	17.27	6.04
Ayudante	hh	0.350	13.11	4.59
Materiales				
Bloque de Concreto vibrado	Und	12.500	1.56	19.50
Costo Total				S/. 30.13

Tabla 8.6 Vaciado de grout por m² de Muro de Albañilería Armada de Junta Seca hipotético

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra				
Operario	hh	0.700	17.27	12.09
Ayudante	hh	0.700	13.11	9.18
Materiales				
Cemento	Bol	0.396	17.800	7.040
Arena	m3	0.028	40.000	1.121
Confitillo	m3	0.017	100.000	1.681
Agua	m3	0.013	2.500	0.032
Costo Total				S/. 31.14

La actividad común en estos tres casos es la colocación del refuerzo vertical y el horizontal. El costo es igual en ambos casos, por lo que no está siendo incluido en esta parte de la investigación.

Se puede concluir de la tabla 8.7 que realizar la técnica de junta seca resulta más económico que los otros dos. Esto es debido a que el encofrado de las ventanas de limpieza y el posterior acabado del muro de albañilería armada encarece notablemente esta técnica de construcción. Además, el rendimiento de la actividad de asentado de bloques en la junta seca es más elevado al de albañilería armada, por lo que el costo de mano de obra se reduce debido a la facilidad de apilar bloques.

Tabla 8.7. Comparativo del costo por m² de las técnicas empleadas

Descripción	Costo de asentado	Costo del grout	Costo Total
Albañilería armada tradicional	S/. 69.45	S/. 36.03	S/. 105.49
Albañilería armada de junta seca realizado en laboratorio	S/. 53.62	S/. 36.03	S/. 89.65
Albañilería armada de junta seca utilizando bloques especiales	S/. 30.13	S/. 31.14	S/. 61.27

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones que a continuación se presentan se basan en los resultados obtenidos de los ensayos realizados, así como de las observaciones que se consideraron relevantes desde la construcción de los especímenes hasta la revisión post ensayo.

9.1 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

- Los bloques de concreto vibrado KINGBLOCK 14x19x39 clasificaron como de tipo P, es decir apto para ser usado en la construcción de muros portantes de Albañilería Armada. Los bloques cumplieron con todos los requisitos impuestos por la Norma E.070 de variación dimensional y resistencia a compresión ($f'c$).
- En muros de albañilería de Junta Seca es preferible que las unidades tengan algún tipo de machihembrado que sirva como una conexión más firme entre bloques durante el apilamiento de estos.
- Un inconveniente que se observó para la albañilería de Junta Seca es que la ausencia de mortero en la junta vertical de cada bloque hace que exista un desfase en la modulación del muro. Esto se transmite en sobranes de algunos milímetros en las caras laterales que pueden ser ocultados con el tarrajeo.
- En Perú se construye muy poco con albañilería armada de junta seca, usando bloques sílico-calcáreos, mientras que en países industrializados como Japón, se usa albañilería similar para un avance más rápido de la obra.

9.2 PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

- El procedimiento de construcción de los prismas de albañilería sigue el mismo patrón para la construcción de los muros de albañilería armada tradicional y de junta seca, con la única diferencia en que los alveolos son rellenados de grout sin la presencia de barras de refuerzo.

Debido a esto, se recomienda estudiar las características que estos prismas presentan durante la etapa de construcción y ensayo, ya que nos muestran la tendencia del comportamiento de cada tipo de albañilería.

- Los resultados del ensayo de resistencia a compresión (f'_m) en pilas arrojan resistencias características de 88 kg/cm^2 y 92 kg/cm^2 para la albañilería armada de junta seca y tradicional, respectivamente. Estos valores resultan próximos a los que la Norma E.070 establece ($f'_m = 95 \text{ kg/cm}^2$). La falla predominante fue la de grietas verticales producidas por la expansión lateral del grout.
- En los resultados de resistencia a compresión (v'_m) en muretes se obtuvieron valores menores a los establecidos por la Norma E.070 (9.7 kg/cm^2), siendo estos 4.0 kg/cm^2 y 8.0 kg/cm^2 en la albañilería armada de junta seca y tradicional respectivamente. En el primer caso, se debe a que no hay suficiente adherencia entre las unidades, siendo la delgada pasta de cemento la que toma la fuerza cortante. La falla predominante fue escalonada en la de junta seca y mixta en la tradicional.
- Se recomienda instrumentar los prismas para poder hallar los módulos de elasticidad y corte, en este ensayo se usaron las expresiones brindadas por la Norma E.070: $E_m = 700f'_m$ y $G_m = 0.4E_m$.

9.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS

- La construcción de los muros presentó un inconveniente en el momento de asentado de bloques. Estos resultaron ser bastante disparejos, lo que ocasionó que

el muro presentara una cierta curvatura a lo largo de su eje, la cual fue corregida por el acomodo de los bloques con el mortero. Sin embargo, este problema resultó perceptible en el muro de albañilería armada de junta seca, con lo cual se puede inferir que estos bloques, por su irregularidad, no son precisos para este tipo de albañilería y podría provocar su rechazo.

- La dosificación del grout teórica presentó problemas de trabajabilidad, por lo que podría ocasionar que no se rellenen los alveolos en los cuales se encontraba el fierro, generando cangrejas y que no se desarrolle la adherencia necesaria entre ambos. Esta mezcla se optimizó manteniendo la relación agua-cemento pero aumentando proporcionalmente ambas cantidades en peso hasta conseguir la consistencia necesaria.
- Se recomienda el uso de la línea Bloques de concreto de UNICON, una de las ventajas que se obtienen de usarlos es que vienen en piezas medias. Debido a esto, no se vio la necesidad de realizar ningún retaceo de estos bloques durante la construcción de los muros, con lo cual se sigue la línea que se quieren en cuanto a la velocidad de ejecución de la construcción de ambos muros.

9.4 COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS

- Las fisuras que aparecieron en ambos muros cuando estos eran ensayados en las fases establecidas, presentan relación con las características vistas en las grietas de los muretes para ambas técnicas de albañilería estudiadas. Estas correspondieron a una falla escalonada en la albañilería armada de junta seca y una falla mixta a la albañilería armada tradicional.
- Se concluye que la falla en ambos muros sucedió por flexión en los talones que derivó en deslizamiento de la base, los talones y la base de los muros terminaron triturados pero sin presencia de pandeo en los fierros de los extremos. Sin embargo, esta falla se dio después de la deriva reglamentaria (0.005) comprendida en la fase 7, con lo cual satisface el propósito de la presente investigación.

- Ambos muros presentaron deslizamiento en la fase 9. El muro M2, de albañilería armada tradicional a pesar de presentar mayores fisuras en las primeras fases, se reconoce que soportó de mejor forma el efecto de flexión.
- Se recomienda realizar trazos verticales desde la base de la cimentación hasta la primera hilada del muro para llevar un mejor control de la falla por deslizamiento. Durante el ensayo, no se pudo identificar el ciclo en el cual los muros empezaron a deslizarse ya que si no se usan tales trazos, en el inicio de la falla, el movimiento resulta imperceptible.

9.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- El muro de albañilería armada de junta seca presentó una rigidez lateral elástica de 8995 ton/m, que resultó 13.5% menor a la obtenida del muro de albañilería armada tradicional (10400 ton/m). Esta diferencia se le puede atribuir a la presencia del mortero fino en las juntas bruñadas y en consecuencia, a la pequeña variación de largo y altura de los muros.
- Ambos muros presentaron una similar resistencia a tracción por flexión (12 kg/cm^2). Este valor resulta cercano al referencial para muros de albañilería armada (10 kg/cm^2).
- El muro de albañilería armada de Junta Seca obtuvo un valor de carga asociada al agrietamiento diagonal de 11.5 ton aproximadamente. El muro de albañilería armada tradicional tuvo un valor de carga aproximado de 14 ton. Este último valor se aproxima más a la carga de agrietamiento diagonal de la Norma E.0.70 (13.4 ton).
- En ambos casos se puede concluir que los muros tuvieron un buen comportamiento ya que no presentaron ningún tipo de falla al superar la fase 7, la cual correspondía al límite de reparación (deriva inelástica de 0.005). En las fases

siguientes, al incrementarse los desplazamientos inducidos, se presentaron fallas no deseables como deslizamiento y trituración de los talones.

- La carga máxima obtenida para el muro de Junta Seca resultó ligeramente menor (16%) en comparación a la del muro tradicional. Cabe señalar que se comparó la envolvente de lazos histeréticos más favorable para el sistema tradicional y la más desfavorable para el sistema de Junta Seca debido a que se contaba con solo un espécimen de cada tipo. En consecuencia, se puede concluir que el sistema de Junta seca puede ser aplicado ya que ofrece ventajas económicas y constructivas a cambio de una ligera reducción de su resistencia. Dado que solo se ensayó un muro de cada tipo, se recomienda continuar con ensayos similares.

9.6 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

- La albañilería armada de junta seca, a pesar de emplear una pasta de cemento entre sus juntas, resulta más económica que la albañilería armada tradicional. Al ser los bloques de concreto tipo alveolares, el área de asiento es bastante menor que los macizos, con lo que existen grandes mermas en el mortero, las que han sido cuantificadas en un 5%; sin embargo, estas mermas podrían ser inclusive mayores dependiendo de la magnitud de la construcción y a la experiencia de la mano de obra.
- La albañilería armada tradicional necesita de encofrados y de un zócalo para un mejor acabado en la zona de las ventanas de limpieza, por lo que su costo se ve aumentado frente a la albañilería armada de junta seca.
- Con respecto a las actividades de asentado de bloques y al vaciado de Grout, la albañilería armada resulta 17 % más cara que la albañilería armada de junta seca realizada en el laboratorio de estructuras; sin embargo, si la comparamos con la albañilería armada de junta seca hipotética (bloques especiales pensados para la junta seca), resulta 72% más cara que esta. Por lo que efectivamente, se presenta un ahorro muy representativo si es que se aplica la albañilería armada de junta seca con bloques especiales para su empleo.

9.7 FUTURA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Con el objetivo de mejorar y optimizar el procedimiento constructivo de los muros de albañilería de Junta Seca, se recomienda el empleo de bloques muy regulares y uniformes. Las pequeñas irregularidades que aparecieron en los bloques utilizados hicieron que se use una mayor cantidad de pasta de cemento en algunas zonas de asiento de bloques. Además, se recomienda el uso de bloques que presenten algún tipo de machihembrado que permita mayor estabilidad del muro durante su construcción.

Por consiguiente, se propone la investigación del comportamiento de la albañilería de Junta Seca usando bloques diseñados especialmente para este tipo de muros. Estos bloques además de tener una superficie de asiento muy regular deberán presentar una geometría que permita encajar una pieza con otra (similar a los bloques tipo grapa) para formar una sola unidad.

De emplearse este tipo de bloques la albañilería podrá construirse en una sola jornada, como se analizó en el acápite 8.3, y se podrá lograr un considerable ahorro en los tiempos de construcción de muros y, por consiguiente se ahorrará en mano de obra.

REFERENCIAS:

1. San Bartolomé Ángel, 1994. “Construcciones de Albañilería – Comportamiento sísmico y diseño estructural-”. Fondo Editorial PUCP.
2. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO. Norma Técnica de Edificaciones E.070 “Albañilería”. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, 2006.
3. San Bartolomé A., Quiun D. y Silva W., 2011. “Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería”. Fondo Editorial PUCP.
4. San Bartolomé Ángel, 2007. “Blog de Ángel San Bartolomé: Investigaciones en Albañilería”.
<http://blog.pucp.edu.pe/blog/albanileria>
5. San Bartolomé A., Moreno M. y Bolaños H., 2007. “Comportamiento a carga lateral cíclica de la Albañilería Armada de Junta Seca construida con Placas P-14”
6. San Bartolomé A., Rider P., Gutiérrez K., Velásquez S. y Quintanilla E., “Albañilería Armada Construida con Bloques de Concreto Vibrado”.
7. San Bartolomé A., Silva W., Meléndez E. y Castro G., “Estudio experimental de cuatro alternativas para impedir la falla por deslizamiento en los muros de Albañilería Armada”