

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**MEJORA DE LA ADHERENCIA MORTERO-LADRILLO
DE CONCRETO**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

ALVARO ARTIDORO MORANTE PORTOCARRERO

ASESOR: ING. ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ

Lima, Diciembre del 2008

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se buscó mejorar la resistencia a fuerza cortante de la albañilería hecha con ladrillos de concreto. Se utilizaron dos técnicas de construcción distintas a la recomendada por el fabricante, para tratar de incrementar la adherencia entre el mortero y los ladrillos. Como patrón de comparación se adoptó la técnica de construcción especificada por la empresa fabricante de los ladrillos de concreto y para medir la adherencia mortero-ladrillo se utilizó la prueba de compresión diagonal en muretes de albañilería. Las técnicas de construcción utilizadas fueron:

- **Técnica A (Patrón):**

Limpieza de los ladrillos para luego asentarlos en seco con mortero en proporción volumétrica 1:4 (cemento-arena). Esta técnica fue empleada como patrón de comparación.

- **Técnica B:**

Similar a la técnica A para luego curar las juntas. El curado de las juntas se hizo con una brocha con agua después de 3 horas del asentado, durante 3 días.

- **Técnica C:**

Similar a la técnica A, pero se usó un mortero con cal en proporción volumétrica 1 : 1/2 : 4 (cemento-cal-arena).

Por cada técnica de construcción se ensayaron 4 pilas y 4 muretes. En total se construyeron 12 pilas y 12 muretes. Además se emplearon 20 ladrillos para someterlos a ensayos de compresión, porcentaje de ranuras, variabilidad dimensional, alabeo, succión y absorción.

Como resultado de los ensayos se comprobó que ninguna de las 3 técnicas sobresale de manera clara en valores de resistencia a compresión axial, pero en resistencia a compresión diagonal hubo ligeras diferencias, por lo tanto, fue el aspecto económico y la resistencia a compresión diagonal lo que definió a la técnica de construcción mas adecuada. Tomando en consideración el ligero aumento de resistencia a compresión diagonal y el bajo incremento en el costo, se concluye que la técnica de construcción mas adecuada es la Técnica C, le sigue la Técnica A y, finalmente, la Técnica B.

AGRADECIMIENTO

Para la realización del presente trabajo de investigación, conté con el apoyo de muchas personas, a las cuales quiero agradecer.

Al personal del Laboratorio de Estructuras de la PUCP, por las facilidades brindadas para la construcción y los ensayos de las pilas y muretes.

Al ingeniero Ángel San Bartolomé, por su asesoría en la presente investigación.

Al señor Manuel Quipuzcoa, por la información brindada sobre el proceso de fabricación de los ladrillos de concreto.

A mi familia, a mi padre y sobretodo a mi madre, por su paciencia y apoyo.

Y a todas las personas que, de alguna manera, han colaborado en esta investigación y en mi formación profesional.

Muchas gracias.

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES	
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Sustento teórico e hipótesis	2
1.4 Plan de trabajo	3
CAPÍTULO 2 - MATERIALES	
2.1 Unidad de albañilería	6
2.1.1 Variabilidad dimensional	7
2.1.2 Alabeo	11
2.1.3 Succión	11
2.1.4 Absorción	15
2.1.5 Resistencia a compresión	17
2.1.6 Porcentaje de ranuras	20
2.1.7 Resumen y discusión de resultados	21
2.2 Agua	23
2.3 Arena	23
2.4 Cal	25
2.5 Cemento	25
2.6 Mortero	25
2.6.1 Ensayo de compresión de cubos de mortero.....	26
CAPÍTULO 3 - PILAS	
3.1 Introducción	31

3.2 Geometría	32
3.3 Secuencia de construcción	32
3.4 Técnica de ensayo	35
3.5 Comportamiento teórico a compresión	37
3.6 Ensayo de compresión de pilas	38
3.7 Tipos de falla	41
 CAPÍTULO 4 - MURETES	
4.1 Introducción	46
4.2 Geometría	47
4.3 Secuencia de construcción	48
4.4 Técnica de ensayo	50
4.5 Comportamiento teórico a compresión diagonal	51
4.6 Ensayo de compresión diagonal	53
4.7 Tipos de falla	55
 CAPÍTULO 5 - PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1 Pilas	60
5.1.1 Resistencia a compresión	60
5.1.2 Módulo de elasticidad	61
5.1.3 Análisis de resultados	65
5.2 Muretes	67
5.2.1 Resistencia a compresión diagonal	67
5.2.2 Módulo de corte	67
5.2.3 Análisis de resultados	72
 CAPÍTULO 6 - ANÁLISIS DE COSTOS	
6.1 Introducción	76

6.2 Análisis de costo unitario	77
CAPÍTULO 7 - CONCLUSIONES	
7.1 Ladrillo de concreto "king concreto"	82
7.2 Mortero	83
7.3 Pila de albañilería	83
7.4 Murete de albañilería	83
7.5 Módulo de elasticidad (Em) y módulo de corte (Gm)	84
7.6 Costo-beneficio	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXO	86

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los ladrillos de concreto constituyen una gran alternativa para reemplazar a los ladrillos de arcilla, muy usados a nivel nacional, por el hecho de no consumir suelo agrícola ni combustible para su cocción. Sin embargo los ladrillos de concreto son de reciente fabricación en el Perú, por lo que no existe investigaciones al respecto, aunque el fabricante especifica una técnica determinada para construir la albañilería.

Por otra parte, el Perú es un país sísmico, por lo que las edificaciones de albañilería deben tener una adecuada resistencia al corte, la cual es dada principalmente por la adherencia que se genera entre el mortero y el ladrillo.

De esta manera, existiendo otras técnicas sencillas de aplicar y distintas a la especificada por el fabricante, que podrían mejorar la adherencia mortero-ladrillo, es que se desarrolló este proyecto, donde se analizaron 3 técnicas de construcción, incluida la del fabricante, mediante la ejecución de ensayos de compresión diagonal hechos en muretes de albañilería.

Debe indicarse que originalmente en el tema de tesis se había planteado 2 técnicas de construcción que no se utilizaron en el desarrollo de este proyecto, por las siguientes razones:

- Originalmente en la Técnica B se especificaba el curado del espécimen regándolo con agua aparte de curar las juntas. En este proyecto se trató de simplificar el proceso para analizar si era suficiente curar tan solo a las juntas, dejando el curado completo de la albañilería para un posterior estudio.

- Originalmente en la Técnica C se especificaba regar a los ladrillos durante media hora la tarde anterior al asentado, esta técnica no se siguió en este proyecto debido a que los ladrillos en su estado natural presentaban una succión óptima, por lo que la técnica original fue reemplazada por otra donde se agregó cal al mortero, asentando los ladrillos secos.

1.2 OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo de investigación es mejorar la adherencia mortero-ladrillo de concreto, mediante procedimientos constructivos distintos al propuesto por el fabricante de los ladrillos, para de este modo mejorar la resistencia al corte de la albañilería.

1.3 SUSTENTO TEÓRICO E HIPÓTESIS

Existen técnicas de tratamiento del ladrillo de arcilla que permiten mejorar sustancialmente la adherencia mortero-ladrillo y, como resultado, elevar la resistencia al corte de la albañilería (San Bartolomé, 1998); sin embargo se desconoce si esas técnicas serán efectivas para la albañilería hecha con ladrillos de concreto.

Una de esas técnicas consiste en regar durante media hora a los ladrillos unas 10 horas antes de asentarlos. Sin embargo, se piensa que este tratamiento sería perjudicial para los ladrillos de concreto, ya que ellos presentan mayores cambios volumétricos que los de arcilla, y al secarse en forma dispareja, podría generar fisuras en los muros de albañilería, por ello, esta técnica fue descartada en este proyecto.

En cuanto a la técnica que especifica el fabricante de ladrillos de concreto, "asentar a los ladrillos secos", se piensa que estas unidades succionarían rápidamente el agua del mortero y lo endurecería atentando contra la adherencia del ladrillo inmediato superior.

Sin embargo, podrían realizarse ligeras modificaciones a la técnica del fabricante (Técnica A), que son las que se analizaron en este proyecto.

Técnica B:

Curado del mortero con una brocha húmeda, para evitar el fraguado rápido del mortero.

Técnica C:

Agregar cal al mortero, para retardar su endurecimiento.

Cabe resaltar que existen otras técnicas que han permitido mejorar la adherencia bloque de concreto-mortero, mediante el uso de aditivos en polvo agregados al mortero (Juan Carlos Torres, 2003), pero que elevan considerablemente el costo de la albañilería, por lo que en este trabajo se prefirió optar por el uso de técnicas económicas.

Para medir la efectividad de las 3 técnicas en la adherencia mortero-ladrillo de concreto se optó por la prueba de compresión diagonal hecha en muretes de albañilería, sin embargo, como las técnicas mencionadas podrían afectar a la resistencia a compresión de la albañilería, también se ensayaron pilas de albañilería a compresión axial.

1.4 PLAN DE TRABAJO

En el presente trabajo de investigación se utilizó ladrillos de concreto "King Koncreto".

Para cumplir con el objetivo de la investigación se realizaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de compresión de pilas (ASTM C 1314-03b).
- Ensayo de compresión diagonal de muretes (ASTM E 519-02).

- Ensayos de compresión, porcentaje de ranuras, variabilidad dimensional, alabeo, absorción y succión de unidades.
- Ensayo de compresión del mortero de las juntas, en cubos de 5 cms de lado (ASTM C 109-02).
- Granulometría de la arena (ASTM C 144-03).

Se utilizaron 3 técnicas de construcción, tomándose como patrón de comparación la técnica especificada por la empresa fabricante de los ladrillos de concreto.

- Técnica A (Patrón):
Limpieza de los ladrillos para luego asentarlos en seco con mortero en proporción volumétrica 1:4 (cemento-arena). Esta técnica fue empleada como patrón de comparación.
- Técnica B:
Similar a la técnica A para luego curar las juntas. El curado de las juntas se hizo con una brocha con agua después de 3 horas del asentado, durante 3 días.
- Técnica C:
Similar a la técnica A, pero se usó un mortero con cal en proporción volumétrica 1 : 1/2 : 4 (cemento-cal-arena).

Por cada técnica de construcción se ensayaron 4 pilas a compresión axial, para calcular su resistencia a compresión ($f'm$), y 4 muretes a compresión diagonal, para determinar la resistencia a compresión diagonal o a corte puro ($v'm$).

En ambos casos se utilizaron celdas de carga para medir la carga aplicada y LVDT para medir los desplazamientos correspondientes. Esta información sirvió para evaluar el módulo de elasticidad (E_m) de las pilas y el módulo de corte (G_m) de los muretes.

En la tabla 1.1 se indica la nomenclatura adoptada para identificar a los especímenes.

Tabla 1.1 - Identificación de especímenes.

TÉCNICA	PILAS	MURETES
A (Patrón)	P1-P2-P3-P4	M1-M2-M3-M4
B	P5-P6-P7-P8	M5-M6-M7-M8
C	P9-P10-P11-P12	M9-M10-M11-M12

Cada pila estuvo compuesta de 6 ladrillos y cada murete estuvo compuesto de 6 hiladas con 2 ½ ladrillos por hilada con juntas de 1cm de espesor en ambos casos. En total se construyeron 12 pilas y 12 muretes (Foto 1.1).



Foto 1.1

Vista general de las 12 pilas y 12 muretes.

Se mantuvo constante para las tres técnicas de construcción:

- El espesor de las juntas (1 cm).
- La calidad del ladrillo.
- La mano de obra.
- La edad de los especímenes.
- Las técnicas y equipos de ensayo.

CAPÍTULO 2

MATERIALES

2.1 UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Se utilizó ladrillo de concreto denominado "King Koncreto", con las siguientes características dadas por el fabricante:

Tipo de unidad de albañilería	Ladrillo de concreto.
Dimensiones	Ancho : 13 cm Alto : 9 cm Largo : 24 cm
Variación dimensional	Ancho < 1.5 mm Alto < 1.5 mm Largo < 1.5 mm
Absorción	Menor al 10%
Resistencia a compresión (medida sobre el área bruta)	140 kg/cm ²
Densidad	Mayor que 2100 kg/m ³
Rendimiento (con juntas de 1.5 cm)	Asentado de soga : 37.4 Und/m ² Asentado de cabeza : 65.7 Und/m ²
Usos y aplicaciones	Muros portantes de albañilería confinada, tabiques, cercos y parapetos de albañilería.

El ladrillo de concreto presenta 5 ranuras perpendiculares a la cara de asiento (Foto 2.1), una cara de asiento lisa y la opuesta rugosa. Se eliminaron aquellas unidades que tenían rajaduras o esquinas dañadas tratando de uniformizar todos los especímenes.



Foto 2.1

Ladrillo con ranuras perpendiculares a la cara de asiento.

A continuación se indica los ensayos a los que fueron sometidos los ladrillos de concreto y los resultados correspondientes.

2.1.1 Variabilidad dimensional

La prueba de variabilidad dimensional tiene relación directa con el espesor de las juntas y, por lo tanto, con la altura de las hiladas. A mayor variabilidad dimensional de las unidades, mayor espesor de las juntas lo que da como resultado una albañilería menos resistente a corte y a compresión.

Para el ensayo se utilizaron 10 ladrillos enteros y secos. Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

La dimensión de cada arista del espécimen ($D=l,b,h$) se tomó como el promedio de 4 medidas en milímetros en la parte media de cada cara (Foto 2.2), luego, por cada arista se calculó el valor promedio (D_p) de toda la muestra; este valor se resta de la dimensión especificada por el fabricante (D_e) y se divide entre D_e . Los resultados se muestran en la tabla 2.1



Foto 2.2

Medición de dimensiones usando el vernier.

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

TABLA 2.1

VARIABILIDAD DIMENSIONAL

ESPECIMEN	LARGO (mm)					ANCHO (mm)					ALTURA (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lprom	A1	A2	A3	A4	Aprom	H1	H2	H3	H4	Hprom
U1	239.8	240.0	240.0	239.9	239.93	130.1	130.0	129.8	130.0	129.98	90.7	89.7	90.2	90.0	90.15
U2	239.8	239.9	240.2	240.0	239.98	130.2	130.1	129.8	130.0	130.03	90.5	90.0	89.9	90.3	90.18
U3	240.2	240.0	240.2	240.2	240.15	130.0	130.5	130.2	130.3	130.25	90.2	89.7	89.7	89.5	89.78
U4	240.2	240.1	239.8	239.9	240.00	130.5	130.8	130.8	130.9	130.75	90.2	89.2	89.9	88.8	89.53
U5	240.3	240.3	240.0	239.7	240.08	130.4	130.9	130.6	130.8	130.68	89.1	88.6	89.6	89.5	89.20
U6	239.8	239.8	240.1	240.0	239.93	130.7	131.1	130.5	130.6	130.73	88.8	87.7	89.0	88.5	88.50
U7	239.9	239.9	240.2	240.2	240.05	130.1	130.7	130.2	130.3	130.33	90.3	89.8	90.0	89.1	89.80
U8	239.7	239.9	240.0	239.9	239.88	130.0	131.1	130.4	129.9	130.35	89.7	89.0	89.3	88.0	89.00
U9	240.3	240.3	240.4	240.4	240.35	130.5	131.1	130.3	130.3	130.55	90.3	89.7	90.3	90.2	90.13
U10	239.9	240.4	240.6	240.4	240.33	130.6	130.5	130.4	131.2	130.68	90.0	89.7	89.6	89.6	89.73
					240.07					130.43					89.60

TABLA 2.1
CONTINUACIÓN

	LARGO	ANCHO	ALTURA
DIMENSION PROMEDIO (mm)	240.07	130.43	89.60
DIMENSION NOMINAL (mm)	240.00	130.00	90.00
V (%)	-0.03	-0.33	0.45

2.1.2 Alabeo

La mayor concavidad o convexidad del ladrillo produce un aumento en el espesor de la junta y disminuye la adherencia mortero-ladrillo al formarse vacíos en la zonas mas alabeadas.

En este ensayo se utilizaron 10 ladrillos enteros y solo se midió el alabeo en la superficie de asiento lisa del ladrillo. El procedimiento fue el siguiente:

Se colocó la superficie de asiento rugosa de los ladrillos sobre una superficie plana y sobre la superficie de asiento lisa se colocó una regla que conectó los extremos diagonalmente opuestos de la unidad, luego se introdujo una cuña metálica graduada al milímetro en la zona mas alabeada (Foto 2.3).



Foto 2.3

Se observa la cuña y regla metálica.

Como resultado del ensayo se obtuvo para cada uno de los 10 especímenes concavidad nula y convexidad nula.

2.1.3 Succión

La succión es la medida de avidéz de agua del ladrillo en la cara de asiento. Por lo tanto, cuando la succión es excesiva no se logra adherencias adecuadas entre el mortero y el ladrillo usando métodos ordinarios de construcción.

Para este ensayo se utilizaron 10 ladrillos enteros y se midió la succión en las dos superficies de asiento (lisa y rugosa). Se procedió de la siguiente manera:

Usando un vernier se midió el ancho y el largo de las dos superficies de asiento (lisa y rugosa).

Se secaron los ladrillos en el horno (Foto 2.4) durante 24 horas a una temperatura de 110°C, luego se dejaron enfriar y se pesaron. Se registró el peso seco.



Foto 2.4
Secado en horno de los ladrillos durante 24 horas.

Se montó la bandeja con agua nivelada con un nivel de burbuja y se colocó la muestra encima de los soportes, tomando como tiempo cero el momento de contacto del ladrillo con el agua. Durante el tiempo de contacto (1 minuto) se mantuvo el nivel de agua original de la bandeja agregando agua (Foto 2.5).



Foto 2.5
Se observa el ladrillo, la bandeja y el cronómetro.

Luego de 1 minuto se retiró la muestra de la bandeja, se secó el agua superficial con un paño húmedo y se pesó. El pesaje se realizó en un lapso no mayor de 2 minutos. Se registró el peso húmedo.

Para los cálculos se usó la siguiente fórmula:

$$S = \frac{200 W}{L \times B}$$

Donde:

- W = Peso húmedo – Peso seco
L = Largo de la superficie de asiento.
B = Ancho de la superficie de asiento.
S = Succión normalizada a 200 cm²

Los resultados se observan en la tabla 2.2

TABLA 2.2

SUCCIÓN

ESPECIMEN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ÁREA (cm ²)	PESO (gr)		SUCCIÓN (gr)	
				SECO	HÚMEDO		
CARA LISA	U1	239.8	130.1	311.98	4286.1	4320.0	21.73
	U2	239.8	130.2	312.22	4291.5	4325.8	21.97
	U3	240.2	130.0	312.26	4293.5	4319.2	16.46
	U4	240.2	130.5	313.46	4335.8	4364.7	18.44
	U5	240.3	130.4	313.35	4381.4	4395.5	9.00
CARA RUGOSA	U6	240.1	130.5	313.33	4282.2	4307.2	15.96
	U7	240.2	130.2	312.74	4289.2	4311.6	14.32
	U8	240.0	130.4	312.96	4193.8	4228.8	22.37
	U9	240.4	130.3	313.24	4284.3	4308.7	15.58
	U10	240.6	130.4	313.74	4334.3	4347.0	8.10

$$\text{SUCCIÓN PROMEDIO} = 18 \frac{\text{gr}}{200 \text{ cm}^2 \times \text{min}} \text{ (Cara Lisa)}$$

$$\text{SUCCIÓN PROMEDIO} = 15 \frac{\text{gr}}{200 \text{ cm}^2 \times \text{min}} \text{ (Cara Rugosa)}$$

2.1.4 Absorción

Para este ensayo se utilizaron 5 ladrillos enteros. A continuación se describe el procedimiento:

Se secaron las muestras en el horno a 110°C durante 24 horas, luego se retiraron los ladrillos del horno, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pesaron. Se registró el peso seco.

Se colocaron los ladrillos secos en un recipiente con agua destilada, manteniéndolos completamente sumergidos durante 24 horas asegurando que la temperatura del agua esté entre 15°C y 30°C (Foto 2.6). Se registró la temperatura al inicio y al final del periodo de inmersión.



Foto 2.6
Ladrillos sumergidos en agua destilada.

Se retiraron los ladrillos del recipiente, se quitó el agua superficial con un paño húmedo y se pesaron. Se registró el peso saturado.

Los ladrillos se pesaron dentro de los 5 minutos a partir del momento que se extraen del recipiente (Foto 2.7).



Foto 2.7
Peso saturado.

Para calcular el agua absorbida se usó la siguiente fórmula:

$$A (\%) = \frac{100 (P2 - P1)}{P1}$$

Donde:

P1 = Peso de la muestra seca.

P2 = Peso de la muestra saturada luego de 24 horas de inmersión.

A = Contenido de agua absorbida en porcentaje.

Los resultados aparecen en la tabla 2.3

TABLA 2.3
ABSORCIÓN

ESPECIMEN	PESO (gr)		ABSORCIÓN (%)
	SECO	24 H. INMERSION	
U11	4162.7	4382.8	5.29
U12	4344.6	4562.2	5.01
U13	4316.6	4529.9	4.94
U14	4363.0	4578.5	4.94
U15	4275.2	4485.3	4.91

ABSORCIÓN PROMEDIO = 5 %

2.1.5 Resistencia a compresión

En este ensayo se utilizaron 5 ladrillos secos enteros. El procedimiento seguido fue el siguiente:

Se midió el largo y ancho de las dos superficies de asiento, luego se colocó el capping de yeso-cemento en ambas superficies (Foto 2.8).



*Foto 2.8
Colocación del capping a las unidades.*

Se colocó la muestra sobre el apoyo de la máquina de ensayo haciendo que los ejes de la muestra coincidan con los ejes del apoyo y se hizo descender el cabezal hasta obtener un contacto perfecto sobre la cara superior de la muestra (Foto 2.9).



*Foto 2.9
Muestra colocada en la máquina de ensayo.*

Se aplicó la carga hasta la mitad de la carga máxima prevista a una velocidad conveniente y la carga restante se aplicó en no menos de 1 minuto ni más de 2 minutos.

Para calcular la resistencia a compresión se usó la siguiente fórmula:

$$f_b = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = Carga de rotura en kg.

A = Área bruta en cm².

f_b = Resistencia a la compresión en kg/cm².

La resistencia característica a compresión axial (f'_b) fue calculada restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

Los resultados aparecen en la tabla 2.4

TABLA 2.4

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

ESPECIMEN	LARGO (mm)			ANCHO (mm)			ÁREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA		fb (Kg/cm ²)
	L1	L2	L prom	A1	A2	A prom		KN	Kg	
U16	240.0	240.1	240.05	130.6	131.1	130.85	314.11	508.0	51784	164.86
U17	239.6	240.0	239.80	130.8	130.9	130.85	313.78	530.0	54027	172.18
U18	240.3	240.3	240.30	130.1	130.3	130.20	312.87	528.0	53823	172.03
U19	240.0	240.3	240.15	130.8	131.0	130.90	314.36	492.0	50153	159.54
U20	240.3	240.3	240.30	130.6	130.8	130.70	314.07	556.0	56677	180.46

fb PROMEDIO = 169.81 Kg/cm²

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = 7.97 Kg/cm²

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = 4.7 %

f'b CARACTERÍSTICA = 162 Kg/cm²

2.1.6 Porcentaje de ranuras

Para este ensayo se utilizaron 5 ladrillos enteros y el procedimiento fue el siguiente:

Usando un vernier se midió el ancho y el largo de la superficie de asiento (Foto 2.10).



Foto 2.10
Medición de la longitud de la superficie de asiento.

Luego se midió el ancho y el largo de las ranuras (Foto 2.11).



Foto 2.11
Medición de la longitud de una ranura.

Para los cálculos se usó la siguiente fórmula:

$$R (\%) = \frac{100 A_r}{A_b}$$

Donde:

- Ab = Área de la superficie de asiento.
- Ar = Área de ranuras.
- R = Porcentaje de ranuras.

Los resultados se observan en la tabla 2.5

TABLA 2.5
PORCENTAJE DE RANURAS

ESPECIMEN	ÁREA (cm ²)		RANURAS (%)
	SUP. ASIENTO	RANURAS	
U21	311.65	89.41	28.69
U22	313.11	88.75	28.34
U23	311.50	89.41	28.70
U24	312.17	88.80	28.45
U25	313.96	89.79	28.60

PORCENTAJE DE RANURAS PROMEDIO = 29 %

2.1.7 Resumen y discusión de resultados

En la tabla 2.6 se muestra un resumen de los resultados de los ensayos hechos para el ladrillo de concreto.

TABLA 2.6

CARACTERÍSTICAS DEL LADRILLO DE CONCRETO

CARACTERÍSTICA		RESULTADO
VARIABILIDAD DIMENSIONAL	Largo	-0.03 %
	Ancho	-0.33 %
	Altura	0.45 %
ALABEO (cara lisa)	Concavidad	0 mm
	Convexidad	0 mm
SUCCIÓN	Cara Lisa	18 $\frac{\text{gr}}{200\text{cm}^2\text{xmin}}$
	Cara Rugosa	15 $\frac{\text{gr}}{200\text{cm}^2\text{xmin}}$
ABSORCIÓN		5 %
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (f _b)		162 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$
PORCENTAJE DE RANURAS		29 %

- De acuerdo a la norma E.070, el ladrillo clasificó como clase IV. En adición se puede decir que al estar la succión comprendida entre los límites de 10 y 20 gr/200cm²xmin, el ladrillo de concreto no necesita ningún tratamiento, excepto su limpieza, antes de asentarlos. También se puede decir que al tener baja absorción, no tendría problema ante la intemperie si se le emplease en muros caravista.
- Por otro lado al tener un porcentaje de ranuras que no sobrepasa el 30% del área bruta, la unidad clasifica como sólida según la norma E.070, por lo

tanto, puede ser utilizado en la construcción de muros portantes confinados.

2.2 AGUA

Se utilizó agua proveniente del servicio público que cumplía con los requisitos de ser bebible, limpia, libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

2.3 ARENA

La arena, libre de materia orgánica, provino de la cantera La Gloria, fue necesario tamizar la arena a través de la malla #4 para que cumpla con los requisitos de la norma ASTM C 144-03 (Foto 2.12).



Foto 2.12
Arena utilizada para la construcción de pilas y muretes.

La arena fue sometida al ensayo de granulometría (Foto 2.13) obteniéndose la curva granulométrica y su módulo de fineza. Los resultados se encuentran en la tabla 2.7



Foto 2.13
Ensayo de granulometría de la arena.

TABLA 2.7

GRANULOMETRÍA DE LA ARENA

TAMIZ ASTM	MATERIAL RETENIDO		RET. AC. (%)	PASA AC. (%)
	gr	%		
#4	0.00	0.00	0.00	100.00
#8	7.05	2.26	2.26	97.74
#16	76.2	24.44	26.70	73.30
#30	72.65	23.30	50.01	49.99
#50	76.60	24.57	74.58	25.42
#100	49.23	15.79	90.37	9.63
#200	21.37	6.85	97.22	2.78
Bandeja	8.66	2.78	100.00	0.00
TOTAL	311.76	100.00		

Módulo de Fineza = 2.44

2.4 CAL

Se usó cal hidratada y normalizada marca La Limeña (Foto 2.14), para la técnica de construcción C.



Foto 2.14
Cal utilizada en el mortero.

2.5 CEMENTO

Se utilizó cemento Portland tipo I marca Cemento Andino (Foto 2.15).



Foto 2.15
Cemento utilizado en el mortero.

2.6 MORTERO

De acuerdo a la técnica de construcción a utilizar (Tabla 1.1) se usaron dos tipos de mortero para las juntas:

- Mortero sin cal de proporción en volumen 1:4 (cemento-arena), utilizado en las técnicas de construcción A y B (Foto 2.16).



Foto 2.16

Mortero sin cal de proporción en volumen 1:4, se toma como medida un balde lleno.

- Mortero con cal de proporción en volumen 1:1/2:4 (cemento-cal-arena), utilizado en la técnica de construcción C.

Para conocer las propiedades del mortero se realizó el ensayo de compresión de cubos de mortero.

2.6.1 Compresión de cubos de mortero

Se sometieron a compresión 10 cubos de mortero de 5 cm de lado (5 cubos por cada tipo de mortero) de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se limpió el molde metálico y se aplicó una capa de aceite en las superficies de contacto.

Se colocó en cada compartimiento del molde una capa de mortero de 2.5 cm de espesor, aproximadamente, y se compactó con un pisón de plástico 16 veces. Esta compactación se efectúa en 2 ciclos de 8 golpes adyacentes repartidos en la superficie del mortero, aplicando cada ciclo en dirección perpendicular con respecto a la anterior (Foto 2.17).



Foto 2.17

Compactado de cubos de mortero.

Luego se colocó otra capa de mortero hasta llenar el molde, compactándola en la forma descrita anteriormente. Una vez completados los 32 golpes a un compartimiento se continua con el siguiente.

Finalmente se enrasó la superficie con respecto al borde superior del molde.

Después de 24 horas se retiraron los cubos del molde y se sumergieron en agua limpia (Fotos 2.18 y 2.19).



Foto 2.18

Cubos de mortero retirados del molde.



Foto 2.19

Cubos de mortero sumergidos en agua durante 28 días.

El ensayo de compresión se realizó a los 28 días, secando los cubos superficialmente, quitando los granos de arena y las incrustaciones de las caras que estarán en contacto con los cabezales de la máquina, siendo estas caras las que estuvieron en contacto con las paredes verticales de los moldes.

El cubo se colocó centrándolo en el cabezal inferior de la máquina de compresión (Foto 2.20). La velocidad de desplazamiento entre los cabezales fue de 1mm/minuto.



Foto 2.20

Cubo de mortero colocado en la máquina de ensayo.

Finalmente se registró la carga máxima indicada por la máquina.

Para calcular la resistencia a compresión se usó la siguiente fórmula:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A}$$

Donde:

P_u = Carga máxima registrada.

A = Área de la sección transversal del cubo.

σ_u = Resistencia a compresión.

Los resultados aparecen en las tablas 2.8 y 2.9, donde se puede apreciar que el mortero con cal tuvo una ligera mayor resistencia a compresión (5%) que el mortero sin cal y menor dispersión de resultados.

Para ambos tipos de mortero, su resistencia a compresión fue ligeramente mayor que la del ladrillo de concreto ($f'b = 162 \text{ kg/cm}^2$).

TABLA 2.8

COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO SIN CAL

ESPECIMEN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	Pu		σ_u (Kg/cm ²)
					KN	Kg	
A1	5.1	5.2	5.1	26.52	40.18	4096	154.44
A2	5.3	5.2	5.1	27.56	40.93	4172	151.39
A3	5.2	5.1	5.2	26.52	50.66	5164	194.73
A4	5.1	5.1	5.2	26.01	58.64	5978	229.82
A5	5.1	5.1	5.2	26.01	36.19	3689	141.83

σ_u PROMEDIO = 174 Kg/cm²

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = 36.99 Kg/cm²

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = 21.2 %

TABLA 2.9

COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO CON CAL

ESPECIMEN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	Pu		σ_u (Kg/cm ²)
					KN	Kg	
C1	5.1	5.2	5.1	26.52	42.18	4300	162.13
C2	5.1	5.1	5.1	26.01	43.43	4427	170.21
C3	5.1	5.1	5.2	26.01	44.92	4579	176.05
C4	5.2	5.2	5.1	27.04	51.41	5241	193.81
C5	5.1	5.1	5.2	26.01	53.65	5469	210.26

σ_u PROMEDIO = 182 Kg/cm²

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = 19.41 Kg/cm²

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = 10.6 %

CAPÍTULO 3

PILAS

3.1 INTRODUCCIÓN

Para analizar el comportamiento a compresión de la albañilería hecha con unidades de concreto, se realizaron ensayos de compresión de pilas.

Se usaron 3 técnicas de construcción, tomándose como patrón de comparación la técnica de construcción especificada por el fabricante de los ladrillos de concreto.

- Técnica A (Patrón)

Limpieza de los ladrillos para luego asentarlos en seco con mortero en proporción volumétrica 1:4 (cemento-arena). Esta técnica fue empleada como patrón de comparación.

- Técnica B

Similar a la técnica A para luego curar las juntas. El curado de las juntas se hizo con una brocha con agua después de 3 horas del asentado, durante 3 días.

- Técnica C

Similar a la técnica A, pero se usó un mortero con cal en proporción volumétrica 1 : 1/2 : 4 (cemento-cal-arena).

Se construyeron 12 pilas, divididas de acuerdo a la técnica de construcción en 3 grupos (A,B,C) y se tomó como patrón de comparación a la técnica A.

Tabla 3.1 - Identificación de especímenes.

TÉCNICA	PILAS	MORTERO
A (Patrón)	P1-P2-P3-P4	1:4
B	P5-P6-P7-P8	1:4
C	P9-P10-P11-P12	1:1/2:4

Cada grupo de 4 especímenes fue construido en una jornada de trabajo y fueron ensayados a los 28 días.

3.2 GEOMETRÍA

Cada pila estaba compuesta por 6 ladrillos de concreto y se usó una junta de 1 cm de espesor, lo que da una altura total de 59 cm y una esbeltez de 4.54

En el Plano N°1 "Pilas" se muestra en detalle la geometría de los especímenes.

3.3 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN

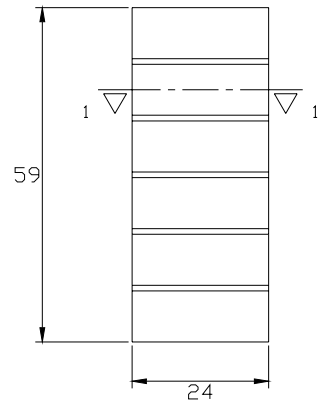
La secuencia de construcción fue la siguiente:

- Se seleccionaron los ladrillos eliminando los que tenían esquinas defectuosas o rajaduras, luego se limpiaron con una escobilla (Foto 3.1).

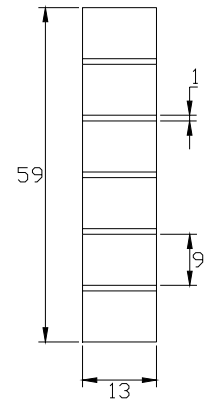


*Foto 3.1
Limpieza de los ladrillos usando
una escobilla.*

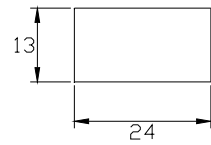
GEOMETRIA



FRONTAL

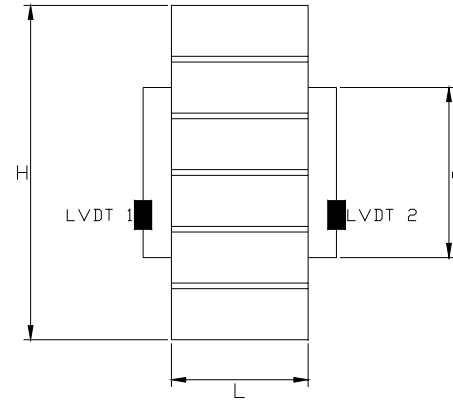


LATERAL

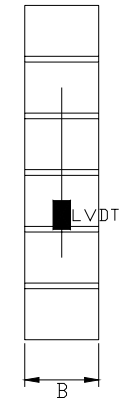


SECCION 1-1

INSTRUMENTACION



FRONTAL



LATERAL



PLANTA

INSTRUMENTO	MAXIMA MEDICION
LVDT 1 - 2	20 mm

PILAS	
TESIS : ALVARO MORANTE PORTOCARRERO	ESCALA : 1/13
ASESOR : ING. ANGEL SAN BARTOLOME	FECHA : NOV 2006
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU - LABORATORIO DE ESTRUCTURAS	PLANO N° : 1

- Se preparó suficiente mortero para usarse en 1 hora de trabajo, de acuerdo a la técnica de construcción. Solo para la técnica de construcción C se uso mortero con cal.
- Para el asentado se colocó primero una capa de mortero que cubría toda la superficie de asiento (Foto 3.2) y luego se colocó el ladrillo.



Foto 3.2

El mortero cubre toda la superficie de asiento.

- Con la plomada se controló la verticalidad y con el escantillón la altura de cada hilada (Foto 3.3).



Foto 3.3

Control de la altura de las hiladas con el escantillón.

- Solo para la técnica de construcción B, se procedió a curar las juntas con una brocha con agua después de 3 horas del asentado y durante 3 días (Foto 3.4).



Foto 3.4

Curado de las juntas en una pila de la técnica B con una brocha con agua.

- Finalmente, antes del ensayo se les colocó un capping de yeso para eliminar imperfecciones en las superficies de contacto con los cabezales de carga (Fotos 3.5 y 3.6).



Foto 3.5

Colocación del capping a una pila.



Foto 3.6

Colocación del capping a una pila.

3.4 TÉCNICA DE ENSAYO

Para obtener el módulo de elasticidad (E_m) se colocaron 2 LVDT en forma vertical (lateral izquierdo y lateral derecho) y se tomó como valor representativo de la deformación unitaria vertical al promedio de las deformaciones unitarias verticales (Foto 3.7).



Foto 3.7

Instrumentación típica de una pila. Se observan: los 2 LVDT (izquierda y derecha), en la parte superior la celda de carga, en la parte inferior la gata hidráulica y a la derecha la computadora.

Se usó una tarjeta de adquisición de datos marca: National Instruments, modelo: PCI 6034, número: 778075-01 y una computadora marca: IBM Pentium III, modelo: 6269-R35, serie: 78-VHRNC conectada a los LVDT (Foto 3.8).



Foto 3.8

Computadora, impresora, amplificador y caja de conexiones.

Se tomaron las lecturas en milímetros para las deformaciones y en Kilo Newton para la carga.

En el Plano N°1 "Pilas" se presenta la ubicación de los LVDT.

Se usaron perfiles metálicos, anclados al piso del laboratorio mediante pernos, como marco de reacción y una gata hidráulica marca: Lukas de 200 ton de capacidad (Foto 3.7). El ingreso y salida de aceite a la gata se controló mediante una bomba manual marca: Lukas de 8 litros con capacidad de 450 bares (Foto 3.9).



Foto 3.9
Bomba para ingreso y salida de
aceite marca Lukas.

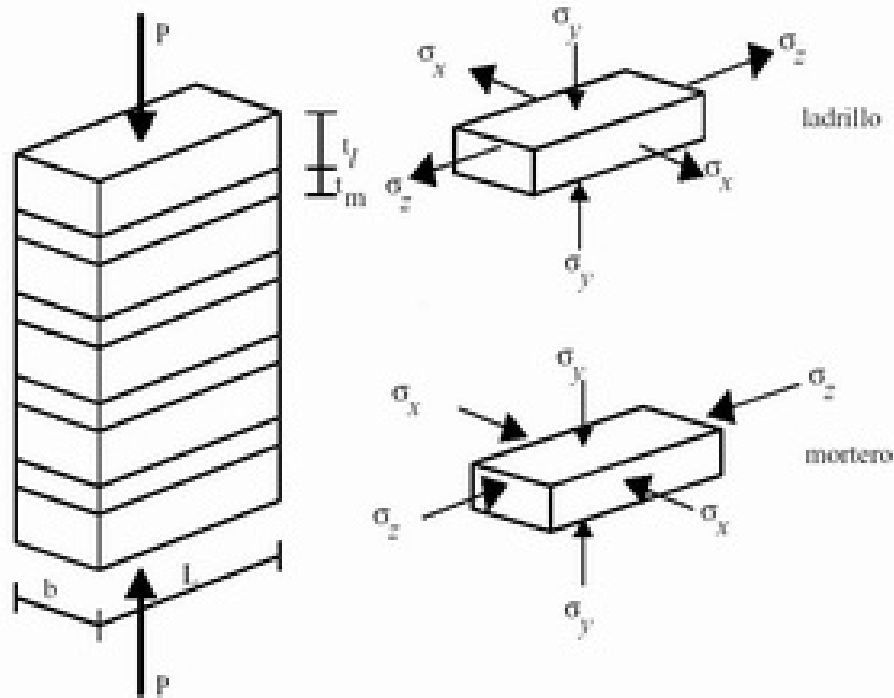
Los cabezales de la máquina de ensayo tenían una rótula que permitía la aplicación axial de la carga y entre la pila y los cabezales se usaron dos planchas de acero de 3/4" de espesor con un área mayor al de la sección de las pilas.

En la parte superior se colocó una celda de carga de 1000 KN marca: HBM, Código: 87747, Tipo de celda: C3H (celda solo para compresión) para registrar la magnitud de la carga en todo momento (Foto 3.7).

3.5 COMPORTAMIENTO TEÓRICO A COMPRESIÓN

El espécimen utilizado para determinar la resistencia a compresión de la albañilería, es un prisma de ladrillos pegados con mortero uno sobre otro.

El comportamiento y la forma de falla del prisma depende de la interacción ladrillo – mortero. El ladrillo y el mortero por ser materiales diferentes, ante un mismo esfuerzo de compresión se deforman lateralmente de manera distinta.



Por lo general, el ladrillo es menos deformable que el mortero y puesto que debe existir compatibilidad de desplazamientos, el ladrillo restringe las deformaciones laterales del mortero produciendo en el mortero esfuerzos de compresión en dirección transversal y el mortero produce en el ladrillo esfuerzos de tensión en dirección transversal. Son estos esfuerzos de tracción los que producen la fractura vertical del ladrillo.

3.6 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PILAS (ASTM C 1314-03b)

Se transportaron las pilas desde el lugar de construcción hacia el laboratorio evitando sacudidas, saltos y volteos, en donde se procedió a ubicar y pegar con soldimix los soportes de los LVDT.

Se limpiaron las caras superior e inferior de la máquina de ensayo y del espécimen. Se colocó el espécimen en la máquina de ensayo apoyándolo en la plancha inferior y se centró los ejes del espécimen con los ejes de la plancha de apoyo.

Se instrumentó la pila con los LVDT y se acercaron los cabezales hasta hacer contacto con la parte superior de la pila (Foto 3.10).



Foto 3.10

Pila instrumentada y colocada en la maquina de ensayo.

Se aplicó la carga hasta alcanzar la mitad de la carga máxima esperada a una velocidad de 50 KN/min, luego se retiraron los instrumentos de medición y se aplicó la carga remanente a una velocidad adecuada en no menos de 1 minuto ni más de 2 minutos.

Los resultados del ensayo aparecen en la tabla 3.2, mientras que la interpretación de resultados aparece en el capítulo 5.

TABLA 3.2

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PILAS

PILAS		Pu	
		KN	Kg
TÉCNICA A	P1	407.28	41517
	P2	388.95	39648
	P3	424.23	43245
	P4	389.34	39688
TÉCNICA B	P5	401.97	40976
	P6	373.00	38022
	P7	415.99	42405
	P8	428.43	43673
TÉCNICA C	P9	457.22	46608
	P10	477.95	48721
	P11	383.94	39138
	P12	416.82	42489

3.7 TIPOS DE FALLA

La falla mas común se produjo por tracción lateral manifestada a través de grietas verticales en los ladrillos.

A continuación se presentan los tipos de falla de las 12 pilas en el ensayo de compresión.

TÉCNICA A

En todas las pilas de esta serie (P1 a P4), la falla fue frágil y explosiva.

- P1: Falla explosiva con aplastamiento de las unidades superiores (Fotos 3.11 y 3.12).



Foto 3.11

Falla de la pila P1.



Foto 3.12

Pila P1, se observa todas las ranuras llenas de mortero.

- P2: Falla explosiva con una grieta vertical en toda la pila (Fotos 3.13 y 3.14).

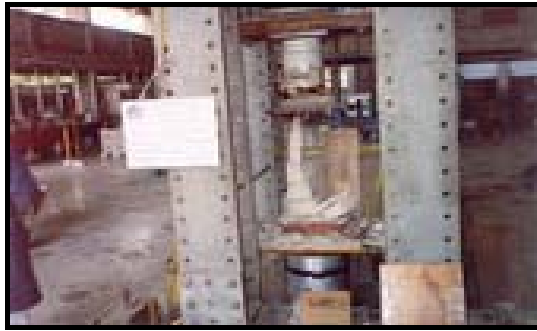


Foto 3.13

Falla de la pila P2.

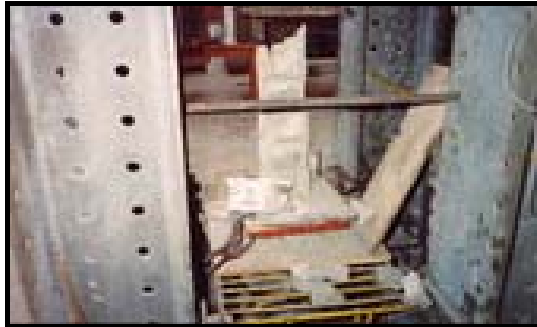


Foto 3.14

Falla de la pila P2 (vista lateral).

- P3: Falla explosiva con una grieta vertical en toda la pila (Foto 3.15).



Foto 3.15

Falla de la pila P3.

- P4: Falla explosiva con grietas verticales (Foto 3.16).



Foto 3.16

Falla de la pila P4.

TÉCNICA B

Las pilas de esta serie (P5 a P8) mostraron una falla menos frágil que las de la Técnica A y no se desmoronaron.

- P5: Falla por una grieta vertical (Foto 3.17).



Foto 3.17

Falla de la pila P5.

- P6: Falla por una grieta vertical y aplastamiento en unidades superiores (Fotos 3.18 y 3.19).



Foto 3.18

Falla de la pila P6.



Foto 3.19

Falla de la pila P6 (vista posterior).

- P7: Falla por grietas verticales (Foto 3.20).



Foto 3.20

Falla de la pila P7.

- P8: Falla por grieta vertical y aplastamiento en unidades superiores (Foto 3.21).

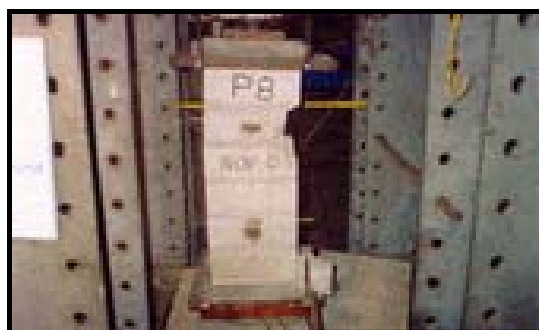


Foto 3.21

Falla de la pila P8.

TÉCNICA C

Las pilas de esta serie (P9 a P12) fallaron en algunas ocasiones en forma explosiva, mientras que otras no llegaron a desmoronarse.

- P9: Falla por grieta vertical (Foto 3.22).



Foto 3.22

Falla de la pila P9.

- P10: Falla explosiva con una grieta vertical (Foto 3.23).



Foto 3.23

Falla de la pila P10.

- P11: Falla explosiva con una grieta vertical (Foto 3.24).



Foto 3.24

Falla de la pila P11.

- P12: Falla por grietas verticales y aplastamiento de las unidades superiores (Foto 3.25).



Foto 3.25

Falla de la pila P12.

CAPÍTULO 4

MURETES

4.1 INTRODUCCIÓN

Igual que para el caso de las pilas, se usaron 3 técnicas de construcción, tomándose como patrón de comparación la técnica especificada por el fabricante de los ladrillos de concreto.

- Técnica A (Patrón)

Limpieza de los ladrillos para luego asentarlos en seco con mortero en proporción volumétrica 1:4 (cemento-arena). Esta técnica fue empleada como patrón de comparación.

- Técnica B

Similar a la técnica A para luego curar las juntas. El curado de las juntas se hizo con una brocha con agua después de 3 horas del asentado, durante 3 días.

- Técnica C

Similar a la técnica A, pero se usó un mortero con cal en proporción volumétrica 1 : 1/2 : 4 (cemento-cal-arena).

Se construyeron 12 muretes, divididos de acuerdo a la técnica de construcción en 3 grupos (A,B,C) y se tomó como patrón de comparación a la técnica A.

Tabla 4.1 - Identificación de especímenes.

TÉCNICA	MURETES	MORTERO
A (Patrón)	M1-M2-M3-M4	1:4
B	M5-M6-M7-M8	1:4
C	M9-M10-M11-M12	1:1/2:4

Cada grupo de 4 especímenes fue construido en una jornada de trabajo y fueron ensayados a los 28 días.

4.2. GEOMETRÍA

Cada murete estaba formado por 6 hiladas con 2.5 ladrillos por hilada.

Se usó una junta vertical y horizontal de 1 cm de espesor, lo que da un murete de 62 cm de ancho y 59 cm de alto.

Como se observa el murete no es cuadrado, por lo tanto, el capping tuvo que solucionar esta dificultad, lo que dió como resultado un murete cuadrado de 63 cm x 63 cm (Figura 4.1).

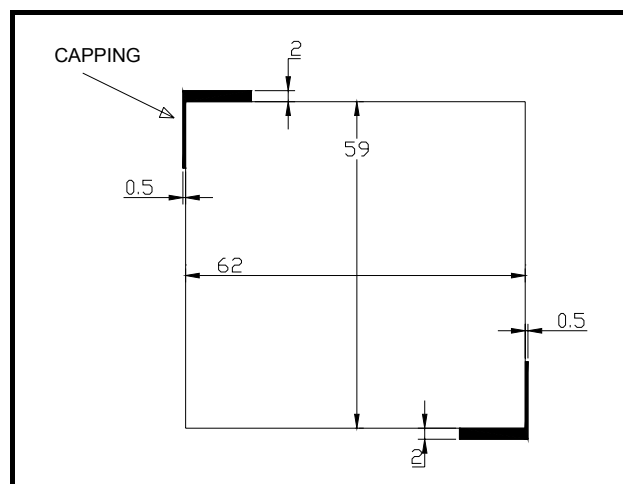


Figura 4.1 - Capping de muretes (todas las medidas están en centímetros)

En el Plano N°2 "Muretes" se muestra en detalle la geometría de los especímenes.

4.3 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN

La secuencia de construcción fue la siguiente:

- Se seleccionaron los ladrillos eliminando los que tenían esquinas defectuosas o rajaduras, luego se limpiaron con una escobilla (Foto 3.1).
- Se preparó suficiente mortero para usarse en 1 hora de trabajo, de acuerdo a la técnica de construcción. Sólo para la técnica de construcción C se usó mortero con cal.
- Para el asentado se colocó primero una capa de mortero que cubría toda la superficie de asiento (Foto 4.1) y luego se colocó el ladrillo.



Foto 4.1

El mortero cubre toda la superficie de asiento.

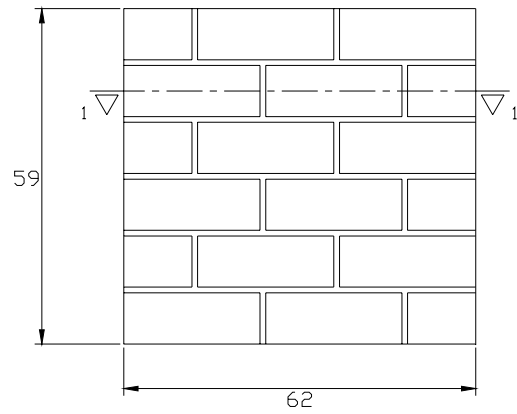
- Con la plomada se controló la verticalidad y con el escantillón la altura de cada hilada (Foto 4.2).



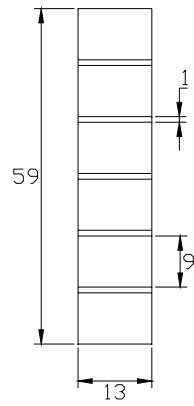
Foto 4.2

Control de la altura de las hiladas con el escantillón.

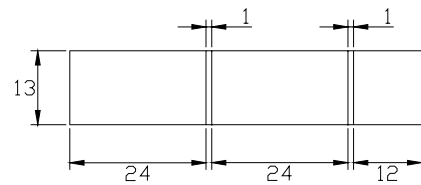
GEOMETRIA



FRONTAL

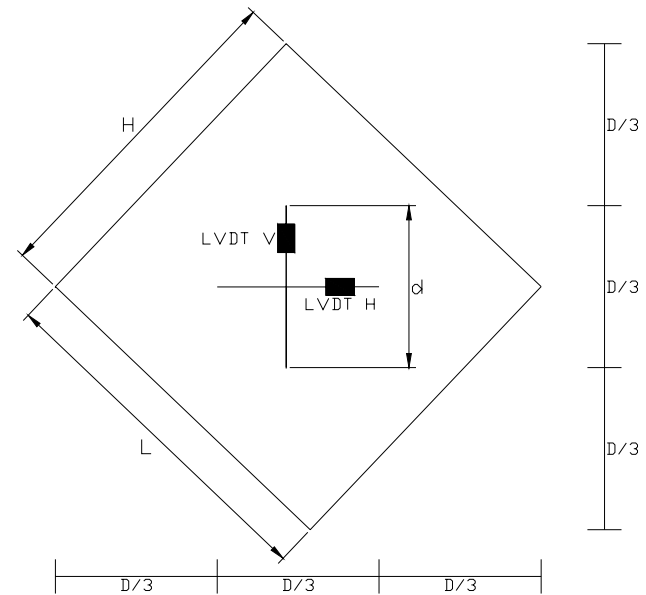


LATERAL



SECCION 1-1

INSTRUMENTACION



INSTRUMENTO	MAXIMA MEDICION
LVDT H - V	20 mm

MURETES

TESIS : ALVARO MORANTE PORTOCARRERO	ESCALA : 1/13
ASESOR : ING. ANGEL SAN BARTOLOME	FECHA : NOV 2006
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU - LABORATORIO DE ESTRUCTURAS	PLANO N° : 2

- Solo para la técnica de construcción B, se procedió a curar las juntas con una brocha con agua después de 3 horas del asentado y durante 3 días (Foto 4.3).



Foto 4.3

Curado de las juntas de un murete con una brocha con agua.

- Finalmente, antes del ensayo se les colocó en sus esquinas diametralmente opuestas un capping de yeso, para eliminar imperfecciones en las superficies de contacto con los cabezales de carga (Foto 4.4).



Foto 4.4

Colocación del capping a un murete.

4.4 TÉCNICA DE ENSAYO

Para obtener el módulo de corte (G_m) se colocaron 2 LVDT cada uno sobre una de las diagonales y ambos en la misma cara (Foto 4.5). Se usó la misma tarjeta de adquisición de datos y la misma computadora que para las pilas (Foto 3.8).



Foto 4.5

Instrumentación típica de un murete. Se observan: los 2 LVDT (horizontal y vertical), en la parte superior la celda de carga, en la parte inferior la gata hidráulica, a la izquierda las bombas y su operador.

Las lecturas se tomaron en milímetros para las deformaciones y en Kilo Newton para la carga.

En el Plano N°2 "Muretes" se presenta la ubicación de los LVDT.

Como marco de reacción se usaron perfiles metálicos, anclados al piso del laboratorio mediante pernos y una gata hidráulica marca: Lukas, capacidad de compresión: 630 KN, tipo: LZN 63/200-59 que era controlada desde el banco de bombas por un operador (Foto 4.5). El ingreso y salida de aceite a la gata se controló mediante una bomba manual marca: Lukas de 8 litros con capacidad de 450 bares (Foto 3.9).

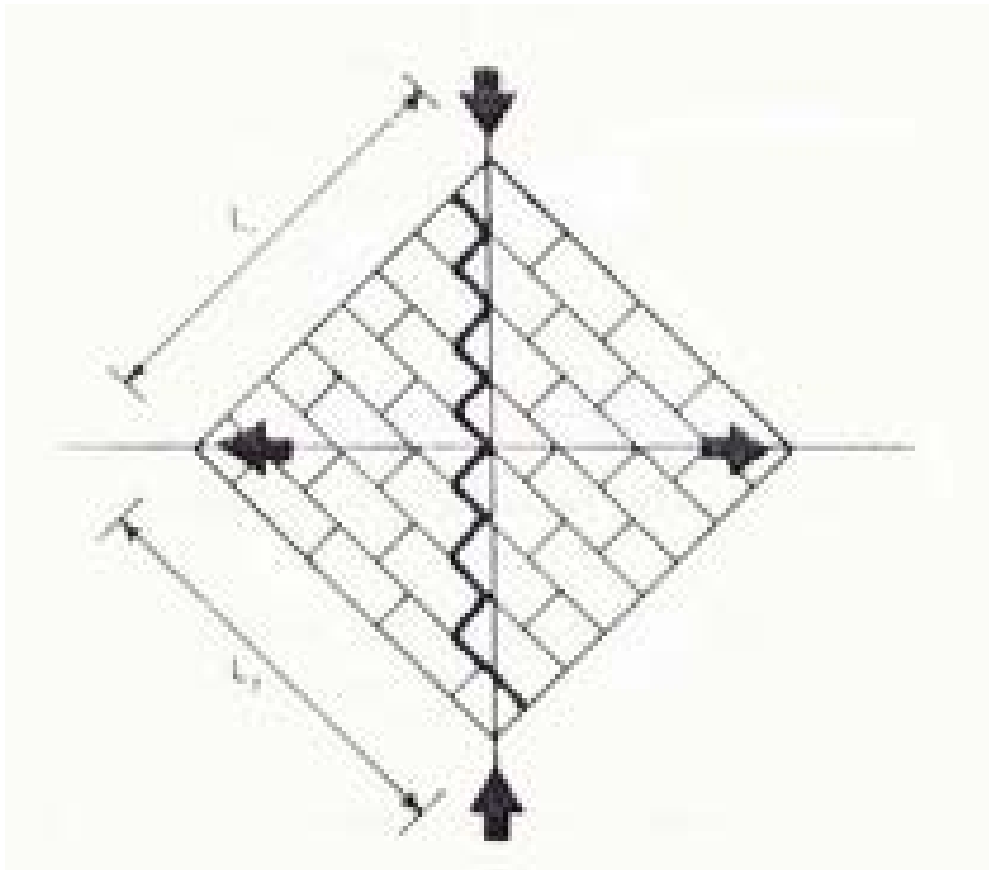
Los cabezales son ángulos metálicos de 3/4" de espesor provisto de una rótula para aplicar una carga concéntrica. En la parte superior se encuentra la celda de carga de 500 KN marca: HBM que registra la carga aplicada (Foto 4.5).

4.5 COMPORTAMIENTO TEÓRICO A COMPRESIÓN DIAGONAL

El ensayo que se utiliza para determinar la resistencia a compresión diagonal (resistencia al corte puro o resistencia a la tracción diagonal) de la albañilería es el de compresión diagonal.

Existen varias situaciones en las que un muro de albañilería puede estar sometido a compresión diagonal, por ejemplo acciones sísmicas y asentamientos diferenciales.

El espécimen utilizado para determinar la resistencia a compresión diagonal de la albañilería, es un murete de dimensiones cuadradas. El ensayo consiste en aplicar una carga de compresión diagonal al murete que produce esfuerzos de compresión en la diagonal vertical y al mismo tiempo produce esfuerzos de tracción en la diagonal perpendicular.



Como la resistencia a la tracción de la albañilería es menor que la resistencia a la compresión y aunque se trate de un ensayo de compresión diagonal, el modo de falla siempre es por tracción diagonal, pudiendo manifestarse en un tipo de falla escalonada cuando la adherencia mortero-ladrillo no es adecuada, o en una grieta que corta al ladrillo cuando la adherencia es óptima.

4.6 ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL (ASTM E 519-02)

Se transportaron los muretes desde el lugar de construcción hacia el laboratorio, evitando sacudidas, saltos y volteos, en donde se procedió a ubicar y pegar con soldimix los soportes de los LVDT.

Se centraron los cabezales de carga superior e inferior con respecto a las superficies superior e inferior de la máquina de ensayo.

Para el montaje de los muretes en la máquina de ensayo se utilizó un marco rotatorio llamado "mariposa" (Foto 4.6). El espécimen aplomado y centrado se apoyó contra el cabezal inferior. Luego se colocaron los LVDT (Foto 4.7).



Foto 4.6
Traslado de murete usando un marco rotatorio.



Foto 4.7
Murete instrumentado y colocado en la máquina de ensayo.

Se aplicó la carga de manera continua a una velocidad de 10 KN/min. Cuando el comportamiento del espécimen cargado indicó que la falla podría ocurrir repentinamente y dañar los instrumentos de medición, se retiraron los instrumentos y se aplicó la carga hasta alcanzar la carga máxima.

Los resultados del ensayo se muestran en la tabla 4.2, mientras que el análisis de resultados aparece en el capítulo 5.

TABLA 4.2

ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES

MURETES		Pu	
		KN	Kg
TÉCNICA A	M1	118.95	12125
	M2	145.06	14787
	M3	133.20	13578
	M4	150.13	15304
TÉCNICA B	M5	109.14	11125
	M6	129.47	13198
	M7	142.00	14475
	M8	143.45	14623
TÉCNICA C	M9	144.23	14702
	M10	142.19	14494
	M11	131.36	13390
	M12	143.85	14664

4.7 TIPOS DE FALLA

En muretes existen 3 tipos de falla:

- La grieta diagonal atraviesa los ladrillos, esto se produce cuando la resistencia a la tracción de los ladrillos es menor que la resistencia por adherencia del mortero con los ladrillos (adherencia mortero-ladrillo óptima).
- La grieta se produce en las juntas (falla escalonada), esto se produce cuando la resistencia de los ladrillos es mayor que la resistencia por adherencia del mortero con los ladrillos (adherencia mortero-ladrillo no adecuada).
- La grieta diagonal atraviesa los ladrillos y las juntas (falla mixta), se produce cuando la resistencia de los ladrillos es parecida a la resistencia por adherencia del mortero con los ladrillos (adherencia mortero-ladrillo intermedia).

A continuación se presentan los tipos de falla de los 12 muretes en el ensayo de compresión diagonal.

TÉCNICA A

Los muretes de esta serie (M1 a M4), tuvieron un tipo de falla mixta, aunque uno de ellos presentó una falla escalonada, por lo que en esta técnica la adherencia mortero-ladrillo calificó como intermedia.

- M1: Falla mixta, la grieta atraviesa la junta (parte superior) y los ladrillos (parte inferior) (Foto 4.8).



Foto 4.8

Falla del murete M1.

- M2: Falla escalonada, la grieta atraviesa las juntas (Foto 4.9).



Foto 4.9

Falla del murete M2.

- M3: Falla mixta (Foto 4.10).



Foto 4.10

Falla del murete M3.

- M4: Falla mixta (Fotos 4.11 y 4.12).



Foto 4.11

Falla del murete M4.



Foto 4.12

Falla del murete M4.

TÉCNICA B

Los muretes de esta serie (M5 a M8) tuvieron una falla mixta, por lo que al igual que en la técnica A, la adherencia mortero-ladrillo calificó como intermedia.

- M5: Falla mixta (Foto 4.13).



Foto 4.13

Falla del murete M5.

- M6: Falla mixta (Foto 4.14).



Foto 4.14

Falla del murete M6.

- M7: Falla mixta (Foto 4.15).

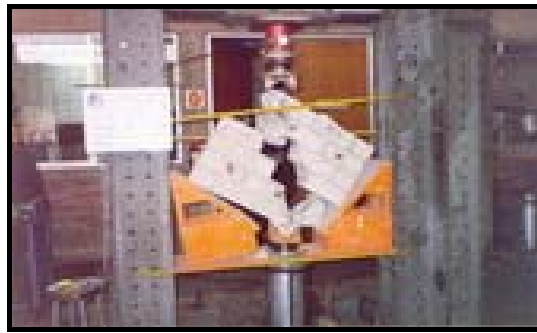


Foto 4.15

Falla del murete M7.

- M8: Falla mixta (Foto 4.16).



Foto 4.16

Falla del murete M8.

TÉCNICA C

Los muretes de esta serie (M9 a M12) tuvieron un tipo de falla mixta, aunque se notó una mayor cantidad de ladrillos cortados por la grieta diagonal, que los correspondientes a la técnica A y B. De este modo, la adherencia mortero-ladrillo calificó un tanto mas que intermedia sin llegar a ser óptima.

- M9: Falla mixta (Foto 4.17).



Foto 4.17

Falla del murete M9.

- M10: Falla mixta (Fotos 4.18 y 4.19).



Foto 4.18

Falla del murete M10.



Foto 4.19

Falla del murete M10.

- M11: Falla mixta (Foto 4.20).



Foto 4.20

Falla del murete M11.

- M12: Falla mixta (Foto 4.21).

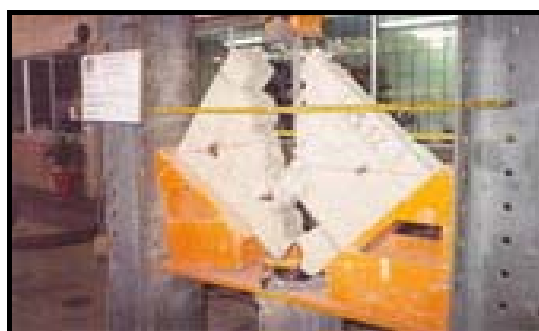


Foto 4.21

Falla del murete M12.

CAPÍTULO 5

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 PILAS

Se calculó la resistencia característica a compresión axial ($f'm$) y el módulo de elasticidad (E_m) con la información de la celda de carga y los LVDT.

5.1.1 Resistencia a compresión ($f'm$)

La resistencia a compresión de cada pila (f_m) se obtuvo dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la sección transversal.

$$f_m = \frac{P_u}{A}$$

Donde:

P_u = Carga de rotura en kg (tabla 3.2).

A = Área de la sección transversal.

f_m = Resistencia a la compresión en kg/cm^2 .

De acuerdo a lo que especifica la Norma E.070, el valor de " f_m " fue corregido por un factor de esbeltez (FCE).

La resistencia característica de cada técnica ($f'm$) se halló restando una desviación estándar al valor promedio de las 4 pilas ensayadas.

Los resultados aparecen en las tablas 5.1, 5.2, 5.3

5.1.2 Módulo de elasticidad (E_m)

Para el cálculo del módulo de elasticidad (E_m) se utilizó el programa Labview (Análisis de Pilas y Muretes), versión 6.1 de National Instruments, que utilizó los datos obtenidos del ensayo.

La deformación unitaria axial (ϵ) fue calculada dividiendo la lectura proporcionada por el LVDT entre la distancia existente entre las bases del LVDT. Puesto que existían 2 LVDT (Plano N° 1), se trabajó con la deformación unitaria promedio. Luego se graficó la curva f_m - ϵ (Figura 5.1) obteniéndose la pendiente en la zona lineal, la cual es el módulo de elasticidad (E_m).



Figura 5.1 - Gráfico f_m - ϵ para una de las pilas ensayadas.

Los resultados aparecen en las tablas 5.1, 5.2, 5.3

TABLA 5.1

CÁLCULO DE f_m , E_m EN PILAS DE LA TÉCNICA A

PILAS	H1 (cm)	H2 (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	B1 (cm)	B2 (cm)	d (cm)	
							Izq	Der
P1	59.0	59.0	24.0	24.0	13.0	13.0	29.7	31.2
P2	59.3	59.3	24.0	24.0	13.1	13.0	30.0	29.5
P3	59.4	59.4	24.0	24.0	13.0	13.0	29.6	30.1
P4	59.5	59.5	24.1	24.1	13.1	13.1	31.1	31.1

PILAS	PROMEDIO (cm)			ÁREA (cm ²)	Pu (kg)	H/B	FCE	f _m (kg/cm ²)	E _m (kg/cm ²)
	H	L	B						
P1	59.00	24.00	13.00	312.00	41517	4.54	0.982	130.67	122990
P2	59.30	24.00	13.05	313.20	39648	4.54	0.982	124.31	134820
P3	59.40	24.00	13.00	312.00	43245	4.57	0.983	136.25	120330
P4	59.50	24.10	13.10	315.71	39688	4.54	0.982	123.45	126470

f_m PROMEDIO = 128.67 Kg/cm²

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = 5.99 Kg/cm²

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = 4.7 %

f'_m CARACTERÍSTICA = 123 Kg/cm²

E_m PROMEDIO = 126153 Kg/cm²

TABLA 5.2

CÁLCULO DE f_m , E_m EN PILAS DE LA TÉCNICA B

PILAS	H1 (cm)	H2 (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	B1 (cm)	B2 (cm)	d (cm)	
							Izq	Der
P5	59.0	58.9	24.0	24.0	13.0	13.0	30.3	29.6
P6	58.9	59.0	24.0	24.0	13.2	13.1	30.9	30.5
P7	59.2	59.3	24.0	24.0	13.2	13.1	30.0	30.5
P8	59.3	59.2	24.0	24.0	13.0	13.0	30.4	30.0

PILAS	PROMEDIO (cm)			ÁREA (cm ²)	Pu (kg)	H/B	FCE	f _m (kg/cm ²)	E _m (kg/cm ²)
	H	L	B						
P5	58.95	24.00	13.00	312.00	40976	4.53	0.981	128.84	134290
P6	58.95	24.00	13.15	315.60	38022	4.48	0.979	117.95	124890
P7	59.25	24.00	13.15	315.60	42405	4.51	0.980	131.67	136240
P8	59.25	24.00	13.00	312.00	43673	4.56	0.982	137.46	140830

f_m PROMEDIO = 128.98 Kg/cm²

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = 8.18 Kg/cm²

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = 6.3 %

f'_m CARACTERÍSTICA = 121 Kg/cm²

E_m PROMEDIO = 134063 Kg/cm²

TABLA 5.3

CÁLCULO DE f_m , E_m EN PILAS DE LA TÉCNICA C

PILAS	H1 (cm)	H2 (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	B1 (cm)	B2 (cm)	d (cm)	
							Izq	Der
P9	59.2	59.2	24.1	24.1	13.1	13.1	30.4	30.0
P10	59.4	59.4	24.1	24.1	13.1	13.1	30.4	30.0
P11	59.7	59.5	24.1	24.1	13.1	13.1	29.1	29.2
P12	59.4	60.2	24.1	24.1	13.1	13.3	30.8	30.0

PILAS	PROMEDIO (cm)			ÁREA (cm ²)	Pu (kg)	H/B	FCE	f_m (kg/cm ²)	E_m (kg/cm ²)
	H	L	B						
P9	59.20	24.10	13.10	315.71	46608	4.52	0.981	144.82	133070
P10	59.40	24.10	13.10	315.71	48721	4.53	0.981	151.39	119840
P11	59.60	24.10	13.10	315.71	39138	4.55	0.982	121.74	134300
P12	59.80	24.10	13.20	318.12	42489	4.53	0.981	131.03	111990

f_m PROMEDIO = 137.24 Kg/cm²

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = 13.38 Kg/cm²

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = 9.7 %

f'_m CARACTERÍSTICA = 124 Kg/cm²

E_m PROMEDIO = 124800 Kg/cm²

5.1.3 Análisis de resultados

Para las pilas se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5.4, donde "f_m" representa la resistencia característica, "α" representa la resistencia normalizada a la técnica patrón, "CV" representa el coeficiente de variación en la resistencia de las pilas, "E_m" representa el módulo de elasticidad promedio, "β" representa el módulo de elasticidad normalizado a la técnica patrón y $k = E_m / f_m$.

Tabla 5.4 - Resultados del ensayo de compresión axial en pilas.

PILAS	f _m (Kg/cm ²)	α (%)	CV (%)	E _m (Kg/cm ²)	β (%)	k
Técnica A (Patrón)	123	100.00	4.7	126153	100.00	1026
Técnica B	121	98.37	6.3	134063	106.27	1108
Técnica C	124	100.81	9.7	124800	98.93	1006

En la tabla 5.4 y en la Figura 5.2 se observa que las diferencias de resistencia entre las 3 técnicas es mínima, por lo tanto, se puede decir que las tres técnicas dan la misma resistencia y que la cal ni el curado de las juntas con brocha ayudan a mejorar la resistencia a compresión, lo que era de esperarse ya que el objetivo de las técnicas era mejorar la adherencia mortero-ladrillo.

El coeficiente de variación (CV) indica que hay una mayor dispersión de resultados con respecto a la media en la técnica C, seguida de la B y finalmente la A.

En cuanto al módulo de elasticidad (Figura 5.3), también puede decirse que no existe mayor influencia de la técnica de construcción (A, B o C), puesto que sus diferencias están dentro de la dispersión de resultados obtenidos para cada técnica. De este modo, con fines de análisis estructural para la albañilería hecha con ladrillos de concreto se propone usar:

$$E_m = 120000 \text{ Kg/cm}^2 \approx 1000 f_m$$

Debe indicarse que en la Norma E.070, se especifica que para unidades de concreto se emplee $E_m = 700 \text{ f'm}$, valor que es distinto al hallado en este proyecto.

FIGURA 5.2

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PILAS

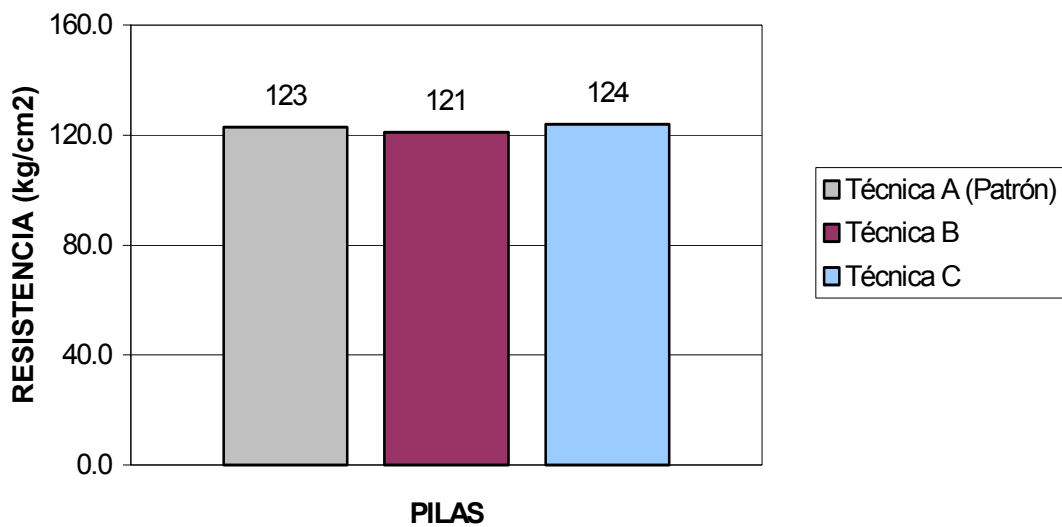
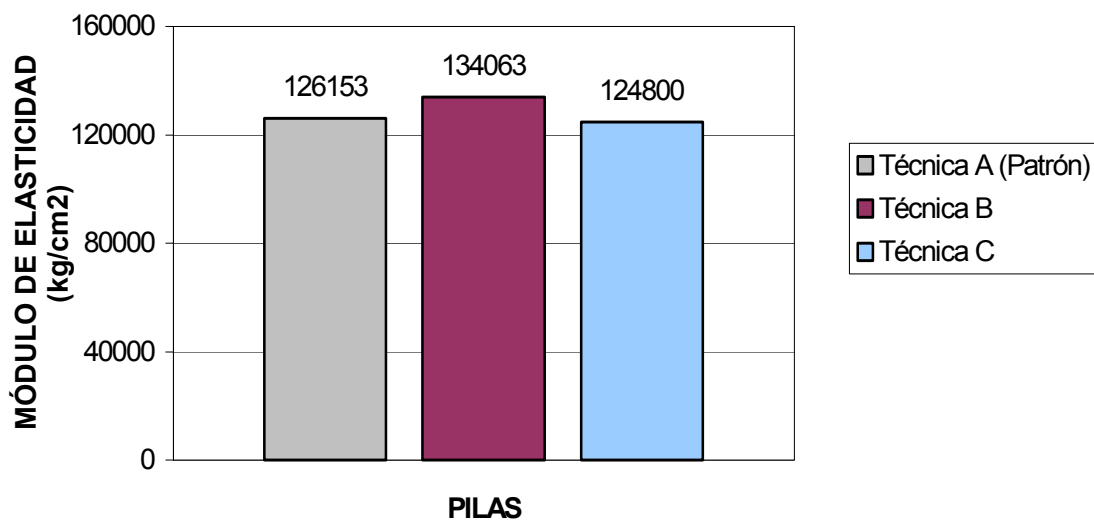


FIGURA 5.3

MÓDULO DE ELASTICIDAD DE PILAS



5.2 MURETES

Se calculó la resistencia característica a compresión diagonal ($v'm$) y el módulo de corte (Gm) con los datos de la celda de carga y LVDT.

5.2.1 Resistencia a compresión diagonal ($v'm$)

La resistencia a compresión diagonal de cada murete (vm) se obtuvo dividiendo la carga de rotura entre el área de la diagonal.

$$vm = \frac{Pu}{A_d}$$

Donde:

- P_u = Carga de rotura en kg (tabla 4.2).
- A_d = Área de la diagonal = $(L^2 + H^2)^{1/2} * t$.
- L, H = Lados del murete.
- t = Espesor del murete.
- vm = Resistencia a la compresión diagonal en kg/cm^2 .

La resistencia característica ($v'm$) de cada técnica se halló restando una desviación estándar al valor promedio de los 4 muretes ensayados.

Los resultados aparecen en las tablas 5.5, 5.6, 5.7

5.2.2 Módulo de corte (Gm)

Para el cálculo del módulo de corte (Gm) se utilizó el programa Labview (Análisis de Pilas y Muretes), versión 6.1 que utilizó los datos obtenidos del ensayo.

La deformación unitaria de cada diagonal (ε) fue calculada dividiendo la lectura de cada LVDT entre la distancia existente entre sus bases. Luego la distorsión angular (γ) fue determinada sumando en valor absoluto las deformaciones unitarias de las 2 diagonales $\gamma = |\varepsilon_1| + |\varepsilon_2|$.

Posteriormente, se trazó el gráfico $v_m - \gamma$ (Figura 5.4), cuya pendiente en la zona lineal proporcionó G_m .



Figura 5.4 - Gráfico $v_m - \gamma$ para uno de los muretes ensayados.

Los resultados aparecen en las tablas 5.5, 5.6, 5.7

TABLA 5.5

CÁLCULO DE v'm, Gm EN MURETES DE LA TÉCNICA A

MURETES	L1 (cm)	L2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	t (cm)	d (cm)	
						Vert	Horiz
M1	62.0	62.0	59.2	59.0	13.0	41.9	42.4
M2	62.4	62.4	59.3	59.3	13.2	41.6	41.6
M3	62.3	62.3	59.7	59.7	13.1	41.5	42.0
M4	62.1	62.1	59.9	59.7	13.1	41.7	42.0

MURETES	PROMEDIO (cm)		Ad (cm ²)	Pu (kg)	vm (kg/cm ²)	Gm (kg/cm ²)
	L	H				
M1	62.00	59.10	1113.52	12125	10.89	30139
M2	62.40	59.30	1136.29	14787	13.01	35285
M3	62.30	59.70	1130.35	13578	12.01	29030
M4	62.10	59.80	1129.37	15304	13.55	36067

vm PROMEDIO = 12.37 Kg/cm²

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = 1.17 Kg/cm²

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = 9.5 %

v'm CARACTERÍSTICA = 11.19 Kg/cm²

Gm PROMEDIO = 32630 Kg/cm²

TABLA 5.6

CÁLCULO DE v'm, Gm EN MURETES DE LA TÉCNICA B

MURETES	L1 (cm)	L2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	t (cm)	d (cm)	
						Vert	Horiz
M5	62.3	62.4	58.9	59.1	13.0	41.9	41.9
M6	61.8	61.9	59.2	59.2	13.0	41.2	41.6
M7	62.0	62.0	58.9	58.9	13.0	41.8	41.9
M8	62.0	62.0	59.1	59.3	13.0	41.8	42.3

MURETES	PROMEDIO (cm)		Ad (cm ²)	Pu (kg)	vm (kg/cm ²)	Gm (kg/cm ²)
	L	H				
M5	62.35	59.00	1115.92	11125	9.97	25385
M6	61.85	59.20	1113.01	13198	11.86	30949
M7	62.00	58.90	1111.73	14475	13.02	30219
M8	62.00	59.20	1114.41	14623	13.12	30807

vm PROMEDIO = 11.99 Kg/cm²

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = 1.47 Kg/cm²

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = 12.2 %

v'm CARACTERÍSTICA = 10.53 Kg/cm²

Gm PROMEDIO = 29340 Kg/cm²

TABLA 5.7

CÁLCULO DE v'm, Gm EN MURETES DE LA TÉCNICA C

MURETES	L1 (cm)	L2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	t (cm)	d (cm)	
						Vert	Horiz
M9	62.0	62.0	59.2	58.8	13.1	41.8	42.0
M10	61.9	61.8	59.4	59.3	13.1	41.7	42.3
M11	62.2	61.9	59.6	59.6	13.0	41.6	41.9
M12	62.1	62.0	59.3	59.3	13.1	42.0	42.4

MURETES	PROMEDIO (cm)		Ad (cm ²)	Pu (kg)	vm (kg/cm ²)	Gm (kg/cm ²)
	L	H				
M9	62.00	59.00	1121.18	14702	13.11	25596
M10	61.85	59.35	1122.93	14494	12.91	14035
M11	62.05	59.60	1118.48	13390	11.97	31189
M12	62.05	59.30	1124.37	14664	13.04	35082

vm PROMEDIO = **12.76 Kg/cm²**

DESVIACIÓN ESTANDAR (σ_{n-1}) = **0.53 Kg/cm²**

COEFICIENTE DE VARIACIÓN = **4.2 %**

v'm CARACTERÍSTICA = **12.23 Kg/cm²**

Gm PROMEDIO = **26476 Kg/cm²**

5.2.3 Análisis de resultados

Para los muretes se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5.8, donde "v'm" representa la resistencia característica, " α " representa la resistencia normalizada a la técnica A, "CV" representa el coeficiente de variación en la resistencia de los muretes, "Gm" representa el módulo de corte promedio y " β " representa el módulo de corte normalizado a la técnica A.

Tabla 5.8 - Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes.

MURETES	v'm (Kg/cm ²)	α (%)	CV (%)	Gm (Kg/cm ²)	β (%)
Técnica A (Patrón)	11.19	100.00	9.5	32630	100.00
Técnica B	10.53	94.10	12.2	29340	89.92
Técnica C	12.23	109.29	4.2	26476	81.14

En la tabla 5.8 y en la Figura 5.5 se aprecia un pequeño incremento (9%) de la resistencia característica a compresión diagonal cuando se añade cal al mortero (Técnica C) en comparación al caso en que se utilizó mortero sin cal (Técnica A), esta diferencia se atribuye a la menor dispersión de resultados obtenidos para la Técnica C (4.2%) en comparación con la hallada en la Técnica A (9.5%), ya que las resistencias vm promedio de ambas técnicas fueron muy similares (12.37 kg/cm² para la Técnica A y 12.76 kg/cm² para la Técnica C); es decir, la cal ayudó a reducir la dispersión de resultados, esto podría deberse a lo siguiente:

- La cal mejora la trabajabilidad del mortero, permitiendo que este se distribuya en mejor forma sobre la superficie de asentado del ladrillo.
- La cal mejora la retentividad del mortero, haciendo que éste retarde su endurecimiento (fraguado), lo cual facilita el asentado y la penetración del mortero en el ladrillo inmediato superior.

Con relación a la Técnica B, podría decirse que el curado de las juntas elevó la dispersión de resultados, haciendo que la resistencia característica $v'm$ sea menor que la hallada con las técnicas A y C, sin embargo, no se puede dar una conclusión definitiva por cuanto habría que ensayar una mayor cantidad de muretes ya que las resistencias individuales de algunos muretes de la técnica B superan a los valores mínimos de las técnicas A y C, tal como se observa en la tabla 5.9, donde las resistencias vm han sido agrupadas de mayor a menor.

Tabla 5.9 - Resistencias individuales a compresión diagonal agrupadas de mayor a menor.

vm TÉCNICA A (Kg/cm²)	vm TÉCNICA B (Kg/cm²)	vm TÉCNICA C (Kg/cm²)
13.55	13.12	13.11
13.01	13.02	13.04
12.01	11.86	12.91 (*)
10.89 (*)	9.97 (*)	11.97

() Si se descartasen estos valores, los resultados hubieran sido idénticos para las 3 técnicas.*

En cuanto al módulo de corte (G_m), se podría decir que no hubo mayor variación entre usar cualquiera de las 3 técnicas (Figura 5.6), ya que las diferencias obtenidas están dentro de los límites de dispersión propios de cada técnica, por lo que se podría trabajar con el módulo de corte promedio de las 3 técnicas:

$$G_m = 29500 \text{ Kg/cm}^2$$

Por otro lado, si se relacionasen los valores de E_m y G_m , se obtendría:

$$E_m = 120000 \text{ Kg/cm}^2 = 4.07 G_m \approx 4 G_m$$

Debiendo cumplirse que $E_m/G_m = 2(1+\nu)$, se obtendría $\nu = 1$, este resultado es incoherente ya que el módulo de poisson debería ser $\nu < 1/2$. En consecuencia, cabe la posibilidad que el valor de E_m sea demasiado alto.

Si se aceptase la formulación de la Norma E.070, para la albañilería con unidades de concreto, se obtendría:

$$E_m = 700 f'_m = 700 \times 120 = 84000 \text{ Kg/cm}^2 < 120000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\nu = 0.25$$

$$G_m = E_m / 2.5 = 84000 / 2.5 = 33600 \text{ Kg/cm}^2 > 29500 \text{ Kg/cm}^2$$

Los cuales parecen ser valores mas coherentes, ya que dan una diferencia de solo 14% entre el módulo de corte de la Norma E.070 y el módulo de corte obtenido experimentalmente en este proyecto.

FIGURA 5.5

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES

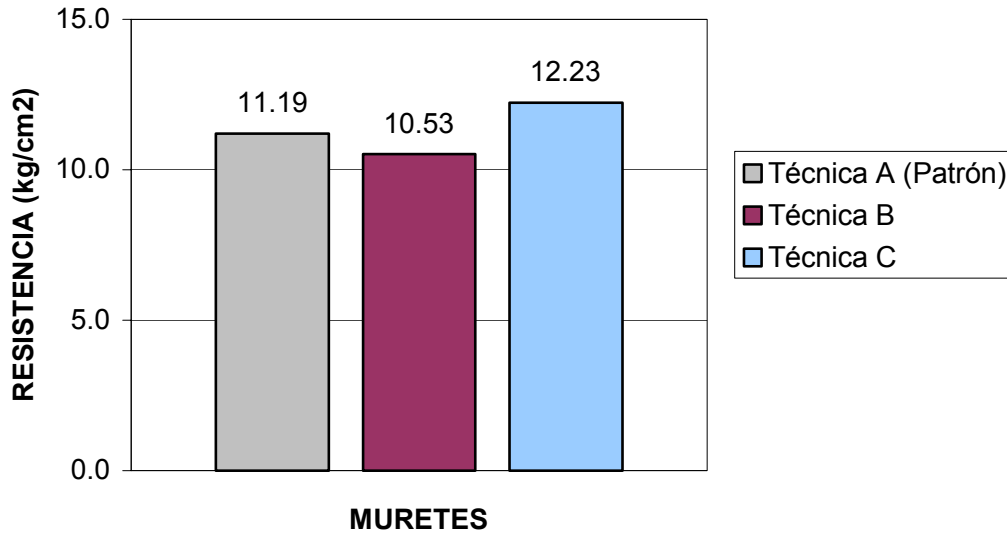
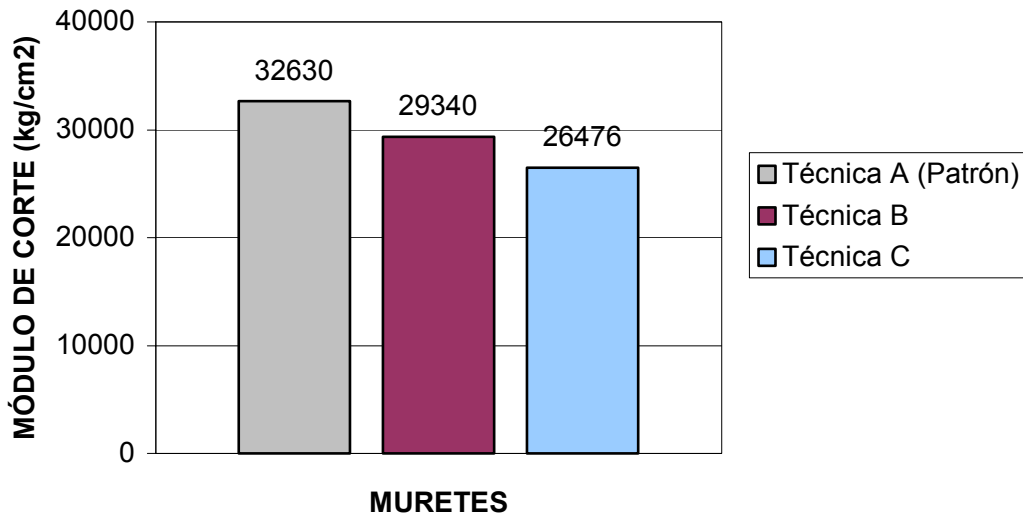


FIGURA 5.6

MÓDULO DE CORTE DE MURETES



CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizará el costo de construcción de un murete correspondiente a cada técnica de construcción. Para este análisis se usó el área de un murete (0.366 m^2) como unidad de medida y los siguientes precios de materiales y mano de obra:

01 bolsa de cemento (42.5 kg) marca andino S/. 18.50

01 m^3 de arena S/. 25.00

01 kg de cal S/. 0.40

01 ladrillo de concreto S/. 0.23

01 hora hombre de operario S/.11.41

01 hora hombre de oficial S/. 10.23

El volumen de mortero utilizado en cada murete es de 0.0054 m^3 .

La cuadrilla utilizada para la construcción de cada grupo de muretes fue de 01 operario y 01 oficial quienes en 4 horas construyeron 4 muretes (1.464 m^2). Para la técnica de construcción B además se usó 01 oficial para el curado de las juntas que en 20 minutos curaba 4 muretes (1.464 m^2) durante 3 días.

El costo de las herramientas se tomó como un porcentaje de la mano de obra (3%).

En el análisis de costos no se ha tomado en cuenta el costo de cortar los ladrillos por la mitad (mano de obra y maquinaria), ni tampoco el costo de la limpieza de los ladrillos, ya que son comunes para las 3 técnicas.

6.2 ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO

A continuación se presentan 3 tablas de análisis de costo unitario correspondiente a cada una de las 3 técnicas de construcción.

TABLA 6.1

ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO (TÉCNICA A)

PARTIDA : Murete de Ladrillo de Concreto (Técnica A).
 UNIDAD : 0.366 m² de murete.
 ESPECIFICACIONES : Murete de ladrillo de concreto, mortero cemento-arena 1:4

TAREA	CUADRILLA		RENDIMIENTO
	OPERARIO	OFICIAL	
CONSTRUCCIÓN	1	1	4 muretes (1.464 m ²) en 4 horas

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
LADRILLO	pieza	15	0.23	3.45
CEMENTO	bolsa	0.0381	18.50	0.70
ARENA	m ³	0.0043	25.00	0.11
				4.26

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
OPERARIO	hh	2.732	11.41	31.17
OFICIAL	hh	2.732	10.23	27.95
				59.12

HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
3% M.O.				1.77
				1.77

Total = 65.15 / 0.366 = 178.01

Total = 178.01 soles / m²

TABLA 6.2

ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO (TÉCNICA B)

PARTIDA : Murete de Ladrillo de Concreto (Técnica B).
 UNIDAD : 0.366 m² de murete.
 ESPECIFICACIONES : Murete de ladrillo de concreto, mortero cemento-arena 1:4, curado durante 3 días.

TAREA	CUADRILLA		RENDIMIENTO
	OPERARIO	OFICIAL	
CONSTRUCCIÓN	1	1	4 muretes (1.464 m ²) en 4 horas
CURADO	-	1	4 muretes (1.464 m ²) en 0.33 h

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
LADRILLO	pieza	15	0.23	3.45
CEMENTO	bolsa	0.0381	18.50	0.70
ARENA	m ³	0.0043	25.00	0.11

4.26

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
OPERARIO	hh	2.732	11.41	31.17
OFICIAL	hh	2.958	10.23	30.26

61.43

HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
3% M.O.				1.84

1.84

Total = 67.53 / 0.366 = 184.51

Total = 184.51 soles / m²

TABLA 6.3

ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO (TÉCNICA C)

PARTIDA : Murete de Ladrillo de Concreto (Técnica C).
 UNIDAD : 0.366 m² de murete.
 ESPECIFICACIONES : Murete de ladrillo de concreto, mortero cemento-cal-arena 1:1/2:4

TAREA	CUADRILLA		RENDIMIENTO
	OPERARIO	OFICIAL	
CONSTRUCCIÓN	1	1	4 muretes (1.464 m ²) en 4 horas

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
LADRILLO	pieza	15	0.23	3.45
CEMENTO	bolsa	0.0346	18.50	0.64
ARENA	m ³	0.0039	25.00	0.10
CAL	kg	0.3920	0.40	0.16

4.35

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
OPERARIO	hh	2.732	11.41	31.17
OFICIAL	hh	2.732	10.23	27.95

59.12

HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
3% M.O.				1.77

1.77

Total = 65.24 / 0.366 = 178.25

Total = 178.25 soles / m²

Si tomamos como patrón a la técnica A, tenemos lo siguiente:

TÉCNICA	COSTO (soles/m²)	COSTO (%)
A (Patrón)	178.01	100.00
B	184.51	103.65
C	178.25	100.13

Donde se observa que la Técnica de Construcción A es la mas económica, le sigue la Técnica de Construcción C y finalmente la Técnica de Construcción B.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

El propósito de esta tesis fue elevar la adherencia mortero-ladrillo de concreto mediante 3 técnicas de construcción sencillas y económicas: Técnica A (asentando las unidades secas con mortero 1:4, propuesta del fabricante de ladrillos), Técnica B (igual a la técnica A pero curando las juntas) y, Técnica C (igual a la técnica A pero agregando cal al mortero).

Las conclusiones que se indican a continuación, se ven limitadas por la poca cantidad de especímenes ensayados.

7.1 LADRILLO DE CONCRETO "KING KONCRETO"

- El ladrillo clasificó como sólido clase IV según la Norma E.070, con $f'b = 162 \text{ Kg/cm}^2$, apto para ser empleado en la construcción de muros portantes confinados.
- La succión del ladrillo fue óptima, encontrándose entre los límites de 10 y 20 $\text{gr}/200\text{cm}^2 \times \text{min}$, fijado por la norma E.070 como para no recibir ningún tratamiento antes de asentarlo, excepto su limpieza.
- El ladrillo presenta una cara de asentado lisa y la otra rugosa, observándose en los ensayos una menor adherencia entre la cara lisa y el mortero que la existente entre la cara rugosa y el mortero.
- El ladrillo presenta 5 ranuras, por donde penetró el mortero creando llaves de corte, que al final de cuenta fueron las que proporcionaron la mayor parte de la resistencia al corte en la albañilería.

7.2 MORTERO

- El mortero con cal de la Técnica C (1:1/2:4), tuvo una ligera mayor resistencia a compresión (5%) que el mortero sin cal usado en las Técnicas A y B; sin embargo, la cal proporcionó mayor trabajabilidad y retentividad a la mezcla.

7.3 PILA DE ALBAÑILERÍA

- La resistencia a compresión axial de la albañilería (f_m), no se vio afectada por la técnica de construcción empleada. Se propone utilizar para fines de diseño $f_m = 120 \text{ Kg/cm}^2$.
- En su mayor parte las pilas sujetas a compresión tuvieron una forma de falla frágil.

7.4 MURETE DE ALBAÑILERÍA

- La resistencia a corte promedio fue prácticamente independiente de la técnica de construcción utilizada; sin embargo, en la Técnica C (mortero con cal) se logró la menor dispersión de resultados, lo cual hizo que la resistencia característica ($v'm$) para la Técnica C sea 9% mayor que la correspondiente a la Técnica A, aunque esta observación no debe tomarse como definitiva, puesto que si tan solo se hubiese eliminado uno de los 4 resultados en cada técnica, entonces, todas ellas hubiesen proporcionado la misma resistencia característica.
- De acuerdo a la Norma E.070, para fines de diseño debe emplearse una resistencia característica a fuerza cortante $v'm \leq (f_m)^{1/2} = (120)^{1/2} \approx 11 \text{ Kg/cm}^2$, este resultado es menor que los valores hallados para la Técnica A (11.19 Kg/cm^2) y C (12.23 Kg/cm^2), por tanto, mandaría $v'm = 11 \text{ Kg/cm}^2$.

- La mayor parte de los muretes sujetos a compresión diagonal tuvieron una forma de falla mixta, con grietas que pasaban por las juntas y cortaban el ladrillo.

7.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_m) Y MÓDULO DE CORTE (G_m)

- Los valores de E_m hallados experimentalmente en las pilas salieron bastante elevados. Cuando estos valores fueron relacionados con G_m , hallado experimentalmente en los muretes, se obtuvo un módulo de Poisson incoherente ($\nu = 1$).
- Cuando se trabajó con la formulación de la Norma E.070 para unidades de concreto: $E_m = 700 f'm$ y $G_m = E_m/2.5$, se obtuvo un valor de G_m cercano al hallado experimentalmente en los muretes. De esta manera se propone para fines de análisis estructural, trabajar con los valores especificados por la Norma E.070, con cargo a revisarlos en el futuro en ensayos de muros a escala natural.

7.6 COSTO - BENEFICIO

- Tomando en consideración el ligero aumento de resistencia a compresión diagonal (9%) y el bajo incremento en el costo (0.13%), se concluye que la técnica de construcción mas adecuada es la Técnica C, le sigue la Técnica A y finalmente la Técnica B.

BIBLIOGRAFÍA

1. Construcciones de Albañilería. Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural.

Ángel San Bartolomé.

PUCP Fondo Editorial 2001.

2. Mejora de la Adherencia Bloque-Mortero.

Ángel San Bartolomé, César Romero, Juan Carlos Torres.

Revista Costos, Edición 112, Julio 2003.

3. Norma E.070 "Albañilería".

Reglamento Nacional de Construcción. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. SENCICO, 2006.

4. Mecánica de Materiales.

Ferdinand Beer, Russell Johnston.

McGraw-Hill, Segunda Edición.

5. Annual Book of ASTM Standards.

ANEXO

FABRICACIÓN DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO

MATERIALES

Para la fabricación de los ladrillos de concreto, se utilizan los siguientes materiales:

- Cemento sol tipo I.
- Piedra huso 89.
- Arena.
- Aditivo.
- Agua.



Foto A1
Arena.



Foto A2
Piedra huso 89.

PLANTA BLOQUES

La planta está compuesta de:

- Tolvas para agregados.
- Silo de cemento.
- Fajas transportadoras.
- Mezcladora.
- Vibrocompactadora.
- Cámaras de curado.
- Almacén.



Foto A3
Silo de cemento y tolvas de agregados.



Foto A4
Faja transportadora.

El personal necesario para operar la planta se divide en:

- Operadores de máquina.
- Ayudantes de acabado.
- Operadores de montacarga.
- Operadores de cargador frontal.
- Jefe de planta.
- Técnico de laboratorio.



Foto A5
Ayudantes de acabado.



Foto A6
Operador de montacarga.

PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación de los ladrillos es el siguiente:

- El cemento, agregados, agua y aditivo ingresan a la mezcladora.
- La mezcla se lleva a la máquina vibrocompactadora que llena el molde y produce los ladrillos.
- Los ladrillos son llevados a las cámaras de curado.
- A las 24 horas los ladrillos se retiran de las cámaras de curado, se embalan y se depositan en el almacén.