

Laboratorio de Ambiente
Humano y vivienda

INCIHUSA



CONICET

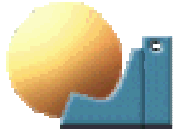
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MUROS PREFABRICADOS DE QUINCHA – INCIHUSA-CONICET-MENDOZA

Ing. Guadalupe Cuitiño Rosales

Ing. Alfredo Esteves

Dra. Noemí Graciela Maldonado

Mgst. Arq. Rodolfo Rotondaro



1.1. INTRODUCCIÓN.

Para evaluar un material desde el punto de vista ingenieril, es necesario realizar ensayos que representen las condiciones de trabajo real del mismo.

El objetivo, es definir de acuerdo a cómo se ha constituido el muro de quincha, los principales esfuerzos a los que está expuesto, y determinar las características de su comportamiento estructural.

Como el material en estudio, la quincha, es una técnica constructiva donde confluyen distintos materiales, se hace necesario evaluar su capacidad resistente como trabajo del conjunto de los materiales que la conforman. En este caso se aplican los requisitos de la norma IRAM 11.585, para paneles de muros o tabiques de edificios, por analogía, para el ensayo de choque blando y la resistencia a compresión por carga vertical; y para el ensayo de resistencia al corte, se utiliza el esquema de “viga en voladizo” (Michelini et al; 2000) en escala 1:1 (tamaño natural).

A continuación se muestran los ensayos realizados en 12 muros de quincha, y los datos obtenidos que se refieren a módulo de elasticidad y capacidad de carga, los cuales, pueden ser empleados en el diseño resistente de viviendas construidas con quincha. Para los ensayos mecánicos de los muros, se construyeron doce paneles a escala 1:1, de 1,20 m de ancho, 1,80 m de altura y 0,10 m de espesor. Se destinaron cuatro paneles para ser ensayados a choque blando, cuatro paneles al ensayo de carga vertical y cuatro paneles para el ensayo de carga horizontal.

1.2. CONSTRUCCIÓN DE PANELES DE ENSAYO

1.2.1. Descripción constructiva de los paneles.

El panel está conformado por un bastidor de madera, un esqueleto de cañas y el relleno de barro, y en algunos casos enmarcado por una estructura perimetral de rollizos.

El bastidor del panel se compone de listones en toda la periferia más una diagonal y dos listones horizontales intermedios generando un panel con seis paños (Figura 1). El material es madera de álamo cepillado de 2” x 4” (donde las 4” dan el espesor del panel). Esto conforma la estructura del panel de quincha. En cada unión entre listones se emplearon 3 clavos espiralados de 3” y se reforzaron las uniones con adhesivo vinílico. En el interior de cada paño se dispuso de un listón de ½” x 1½”, unido al bastidor por medio de clavos cajoneros de 2” y adhesivo vinílico, dicho listón sirve de soporte para clavar las cañas de Castilla, Figura 1-f.

Las cañas se deben disponer a una distancia de centro a centro de 0,08 m entre ellas, tanto en forma horizontal como vertical. Finalmente en la base de cada panel se dispuso de un rollizo canteado en dos caras, cuyo espesor resulta de 0,10 m de distancia entre cantos. Esto facilita el apoyo de los paneles a la máquina de los ensayos. El proceso de armado de los paneles se observa en la Figura 1.

En el caso de los paneles destinados a ser ensayados a carga horizontal, para que el ensayo tuviera coherencia con la realidad constructiva de los paneles, se dispuso en todo el perímetro de los paneles, rollizos de álamo canteados en dos caras opuestas, manteniendo la misma distancia de 0,10 m entre cantos. Los mismos fueron unidos al bastidor por medio de clavos espiralados de 4”, cada 0,05 m de distancia, y adhesivo vinílico. Para una mejor unión, se clavaron en forma inclinada, lo que otorga mayor resistencia al arrancamiento de los clavos durante el ensayo.

Una vez armada la estructura del panel, se lo recubrió en ambas caras con la mezcla de barro y paja. Se dejó que los paneles se secaran por el lapso de un mes y luego se pintaron con esmalte sintético blanco, para poder observar la aparición de fisuras o desprendimientos posibles durante la marcha de los ensayos. En la construcción de una vivienda no es aconsejable emplear esmalte sintético, debido a que no permite la difusión del vapor hacia el exterior de los muros de tierra (Minke; 2005).

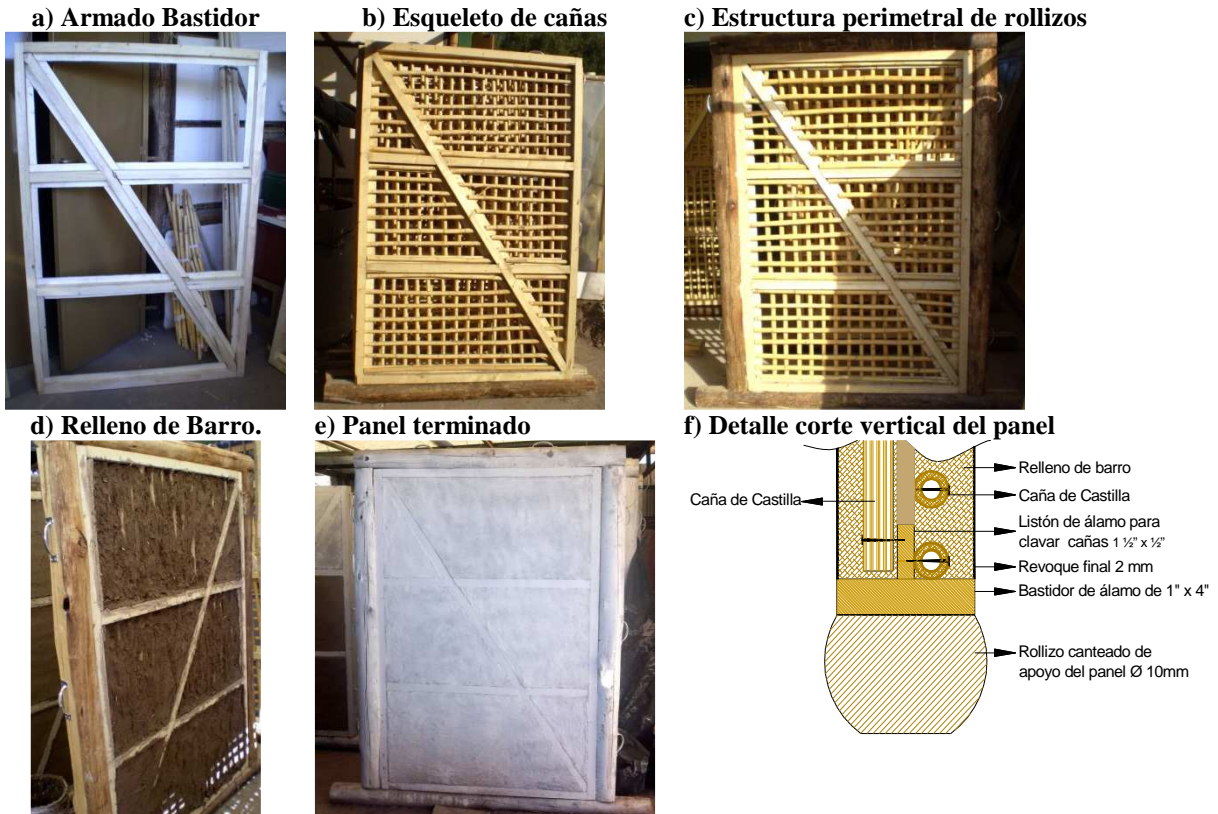
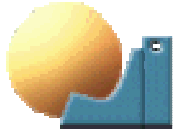


Figura 1: Secuencia de armado de los muros de quincha.

1.3. ENSAYO DE CHOQUE BLANDO.

1.3.1. Metodología de ensayo

Para realizar el análisis de los paneles de quincha al choque blando, se emplearon las Normas: IRAM 11.596 y la IRAM 11.585. De acuerdo a las indicaciones dadas en la Norma IRAM 11596, se empleó un saco de cuero conteniendo en su interior arena, totalizando un peso conjunto (saco + arena) de 30 kg (Figura 2). El mismo debe impactar en la zona que presente menor resistencia, por lo tanto, se realiza el impacto en uno de los paños centrales de la quincha y se mide la deformación en el centro geométrico del panel, el cual coincide con la diagonal (Figura 2). Durante el desarrollo del ensayo, el panel se sujetó tanto en la parte inferior como la superior del mismo para evitar desplazamientos, dejando la parte central libre para realizar el ensayo.

En los cuatro paneles se procedió a impactar con el saco de cuero en el paño de quincha indicado anteriormente, el saco se lo deja caer en forma pendular (caída libre) desde alturas crecientes de 0,45 m, 0,60 m y 1,20 m, y con la ayuda de un deflectómetro, ubicado sobre la diagonal correspondiente con el punto medio del panel, se miden las flechas instantáneas y permanentes que sufren los paneles, después de cada impacto. En la Figura 3, se puede observar el comportamiento general del panel, antes y después del último impacto de caída libre.

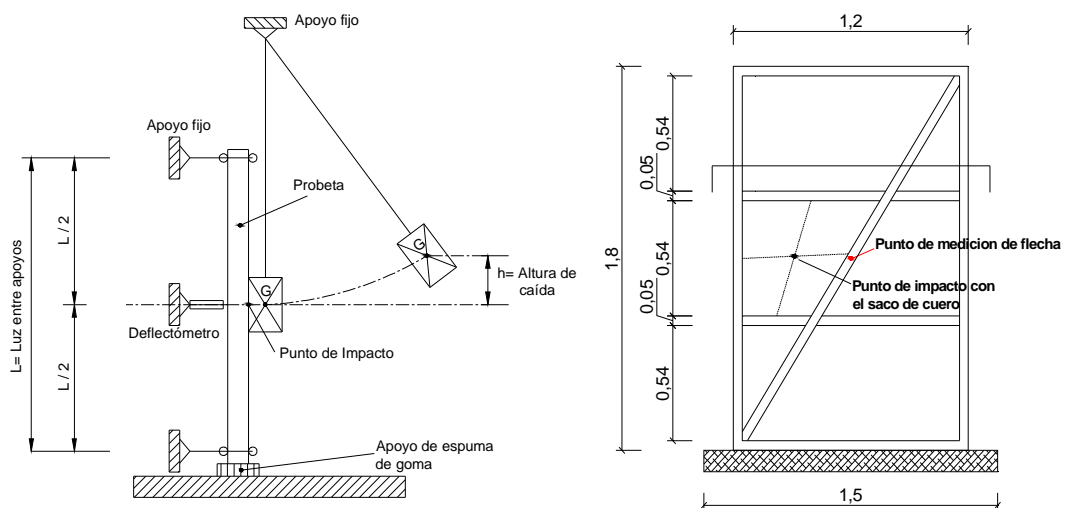


Figura 2: Esquema de ensayo de choque blando. G: Saco de cuero.

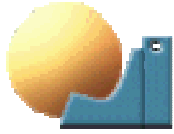


Figura 3: Secuencia de ensayo de choque blando en panel de quincha.

1.3.2. Resultados del ensayo.

A partir de los datos del ensayo con caída libre a diferentes alturas y la masa del saco de cuero de 30 kg, se puede determinar con la ayuda de la ecuación de energía potencial [Ec.1], la energía de impacto del saco de cuero contra el panel ensayado.

$$E = m * g * h \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

E: energía de impacto [J]

m: es la masa [kg]

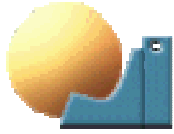
g: es la aceleración de la gravedad 9.81 [m/s²]

h: es la altura de caída [m]

En la Tabla 1 se presentan los datos obtenidos del ensayo de choque blando. Se indica para cada panel la altura de caída, la energía de impacto, la deformación (flecha) permanente e instantánea y las observaciones. Se puede apreciar la deformación sufrida por el panel al momento del impacto, los mismos se encuentran bajo la denominación de flecha permanente que es la que se mantiene en el panel una vez finalizado el ensayo. Por otro lado la flecha instantánea es la que se produce inmediatamente después de realizar el choque. Los datos obtenidos en las flechas permanentes de los paneles 3 y 4 (valores negativos), están relacionados al hecho de que los marcos de los paneles permanecieron con una deformación nula después de realizarse el ensayo de choque.

Tabla 1: Resultados del ensayo de choque blando en paneles de quincha.

Muestra	Impacto		Flecha [cm]		Observaciones
	Altura de caída [m]	Energía [J]	Permanente	Instantánea	
Panel 1	0,45	135	0,04	0,51	Sin deterioro.
	0,60	180	0,035	0,91	Microfisura horizontal.
	1,20	360	0,045	1,09	Pequeño desprendimiento de barro en marco y paño ensayado.
Panel 2	0,45	135	0,035	0,51	Sin deterioro.
	0,60	180	0,04	0,91	Microfisura horizontal.
	1,20	360	0,055	1,09	Pequeño desprendimiento de barro en marco y paño ensayado.
Panel 3	0,45	135	-0,025	0,52	Sin deterioro.
	0,60	180	-0,045	0,88	Sin deterioro.
	1,20	360	-0,055	1,24	Sin deterioro.
Panel 4	0,45	135	-0,01	0,35	Microfisura en unión barro-madera en el paño ensayado.
	0,60	180	-0,015	0,40	Desplazamiento del paño ensayado.
	1,20	360	-0,01	0,43	Desplazamiento importante del paño ensayado.



1.3.3. Análisis de los resultados.

Según la norma que respalda este ensayo, el criterio de aceptación de los paneles bajo la acción del choque blando se debe considerar satisfactorio cuando todas las probetas cumplan con las siguientes condiciones:

- a) Deformaciones permanentes: bajo un choque de 135 J, con una altura de caída de la bolsa igual a 0,45 m, se debe verificar que la flecha residual sea menor que el 0,20 % de la altura del muro ensayado, en este caso 3,60 mm y no mayor que 5 mm.
- b) Resistencia mecánica: Bajo un choque de 180 J, con una altura de caída de la bolsa igual a 0,60 m, el muro no debe sufrir ningún deterioro visible que ponga en riesgo a los habitantes del recinto. Bajo el choque de 360 J, con una altura de caída de 1,20 m, el muro no debe ser atravesado por la bolsa o ser deteriorado de manera tal que comprometa la seguridad de los ocupantes.

Las deformaciones permanentes sufridas en los paneles ensayados de quincha, fueron en todos los casos menores que los 3,60 mm, requeridos por la norma. Este dato resulta interesante al momento de analizar el comportamiento frente a las deformaciones, siendo importante destacar que a pesar de las microfisuras sufridas en los paños de quincha, donde se realizaron los ensayos de choque, el bastidor de álamo que conforma la pared, no sufrió deformaciones apreciables dando mayor seguridad en lo referente a los cerramientos de una vivienda.

Respecto de la resistencia mecánica, correspondiente a una energía de choque de 180 J y 360 J, la mayoría de los paneles no presentaron daños visibles que comprometieran la seguridad de los ocupantes, dado que en su mayoría fueron microfisuras superficiales, evitando ser atravesados por la bolsa de cuero que impactaba.

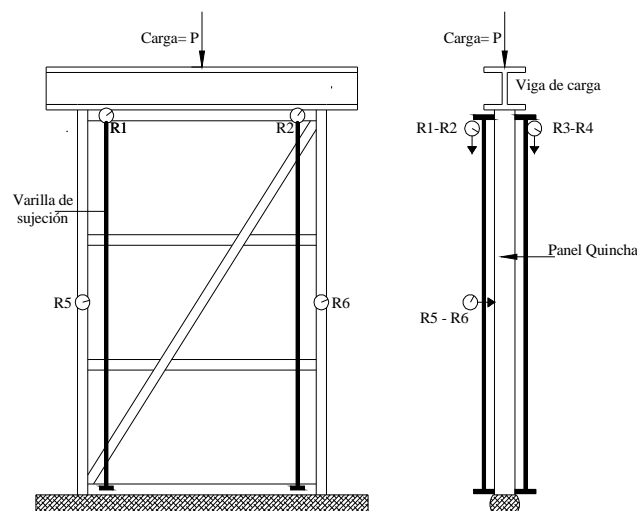
1.4. ENSAYO DE CARGA VERTICAL.

1.4.1. Metodología de ensayo.

Para los fines del ensayo, se sujetó al panel en su base a un muerto de hormigón por medio de perfiles anclados al bastidor del panel. Esto permite unir el bastidor al bloque de hormigón de la máquina. Una vez en su lugar, se colocan cuatro flexímetros, uno en cada vértice superior de panel y por ambos lados. Luego se disponen dos flexímetros en la mitad del panel para registrar la deformación transversal, Figura 4. Cabe destacar que los flexímetros son marca Mitutoyo de 50 mm de lectura máxima, con precisión de 0.01 mm y son de lectura directa.

La carga se materializó según lo especificado en norma IRAM 11.588, por intermedio de un elemento de transición metálico, que en este caso fue una viga de perfil doble Te (IPN 360), de esta forma se logra tener una carga distribuida a lo largo del panel, Figura 4. La carga de 91kg del perfil se tuvo en cuenta en la carga aplicada sobre el panel en cada etapa. En todos los casos ensayados se dio una precarga de 1000 kg más la carga del perfil, y a partir de ese punto se comenzaron a realizar las lecturas de los flexímetros.

De acuerdo a la Norma IRAM 11.588, los incrementos de la carga son elegidos de tal forma que se pueda obtener un número de lecturas adecuadas para poder trazar la curva de carga- deformación, en este caso se hicieron nueve ciclos de carga y descarga. Cumplidos los nueve ciclos se llegó a la mitad de la capacidad de carga de rotura del panel, en ese instante se retiraron los relojes, para evitar que se dañaran. Posteriormente se aumentó la carga hasta llegar a la rotura del panel.



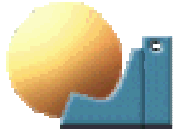


Figura 4: Esquema de ensayo de carga vertical de los paneles de quincha.

1.4.2. Resultados del ensayo.

1.4.2.1. Modo de falla de los muros de quincha.

En la Figura 5, se muestra en forma secuencial la respuesta de los paneles de quincha durante la carga hasta llegar a la rotura. El comportamiento de los muros durante la fase de carga y descarga fue en todos los casos similar, sin embargo se presentaron variaciones en la forma en que rompieron los distintos paneles.

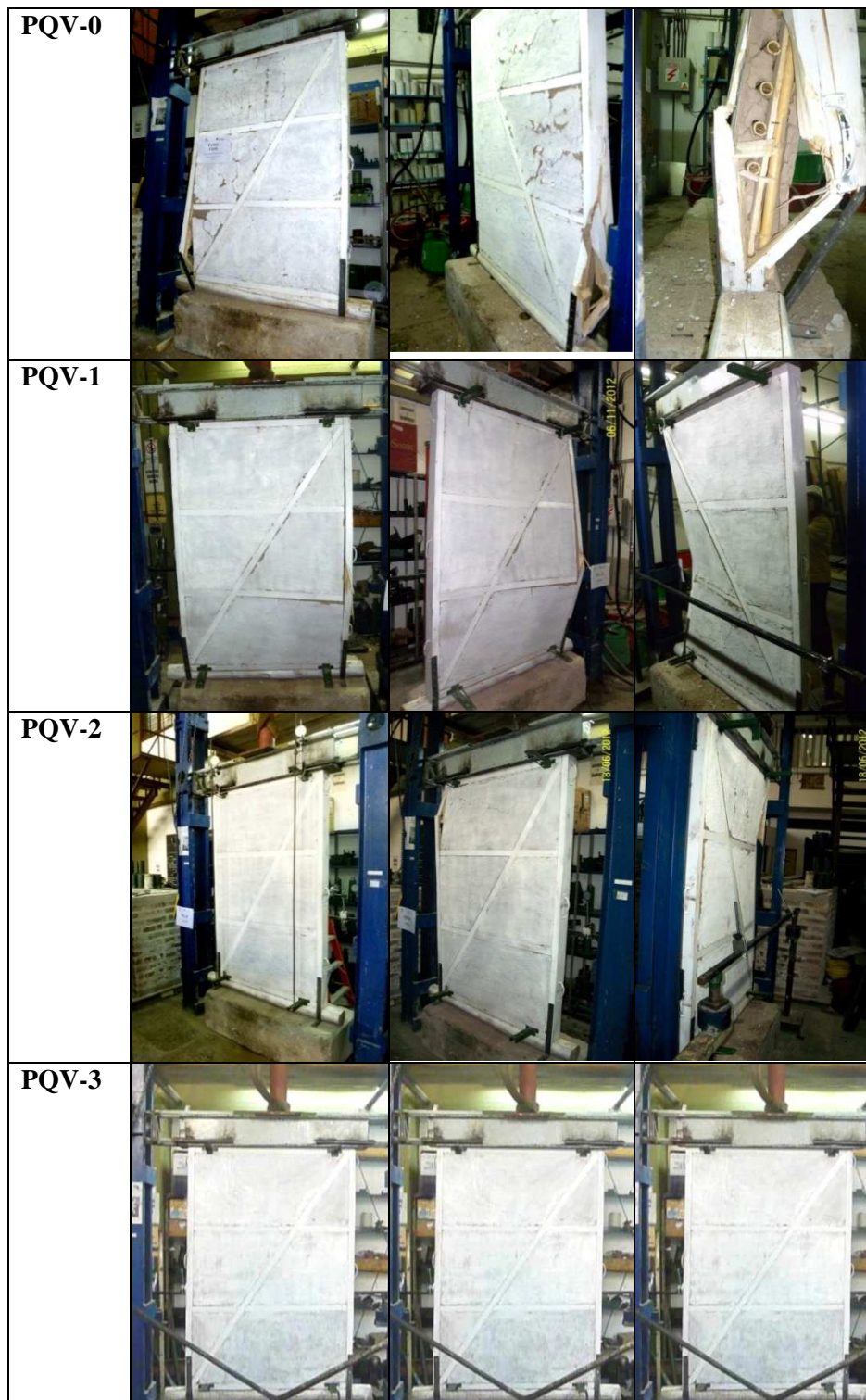
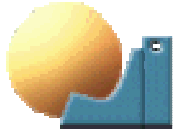


Figura 5: Secuencia de ensayos de paneles en quincha a carga vertical.

El panel testigo, **PQV-0**, mostró que para la carga máxima la falla se produjo en el puntal del apoyo izquierdo. Como se puede observar en la secuencia de falla de la Figura 5, en el muro se produce un desplazamiento hacia abajo de todo el triángulo ubicado encima de la diagonal, dejando sin ninguna fisura el área que se encuentra por debajo de la misma. La carga de rotura alcanzada fue de 25.591 kg, el sector donde se produjo la rotura de la madera del bastidor, se puede apreciar que a pesar de que la madera del bastidor se



rompió, las cañas dispuestas en el interior del panel no sufrieron ningún daño. Esto es evidencia de que la estructura de cañas resiste bien las cargas sin sufrir daños irreparables.

En el muro del ensayo **PQV-1**, el punto de rotura se produjo en área ubicada debajo de la diagonal. En este caso la carga de rotura fue de 22.091 kg, sin embargo la falla del panel fue afectada por un nudo existente en la madera del bastidor, un defecto muy común en las maderas. Durante los ciclos de carga – descarga, la deformación fue muy reducida, observándose acortamientos máximos de 3,79 mm para una carga de 10.000 kg.

En el panel **PQV-2**, la rotura se produjo en el área superior del panel, causando que se desplazara toda la zona ubicada por arriba de la diagonal, dejando intacto y sin ninguna fisura toda la zona debajo de la misma. La rotura fue producida a los 21.091 kg.

El último panel ensayado **PQV-3**, no falló por rotura, en este caso se dejó de cargar el panel en el momento en que la parte del muro dispuesto encima de la diagonal tuvo un desplazamiento que impidió que el gato hidráulico siguiera aportando carga. En este caso se obtuvo la falla por desplazamiento de los paños ubicados encima de la diagonal, a los 20.591 kg.

1.4.2.2. Capacidad de carga vertical.

De acuerdo a la Norma IRAM 11.585, se determinó la carga de rotura característica de los muros de quincha, Tabla 2, sometidos a la carga de compresión, hasta llegar a la rotura de los mismos. La carga de rotura se calcula por medio de la ecuación [Ec. 2]:

$$P_{kr} = P_{km} \times (1 - k \times \delta) \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde:

P_{kr} : Carga de rotura característica [kg].

P_{km} : Media aritmética de la carga de rotura [kg].

δ : Coeficiente de variación normal. $\delta = \frac{S}{P_{km}}$

S: Desviación Estándar [kg].

k: Coeficiente de dispersión, según Norma IRAM 11585 – Tabla II.

f'_{cqr} : Resistencia de rotura a compresión [kg/m^2] (ver tabla 2).

Tabla 2: Determinación de carga de rotura característica.

P_{km} [kg]	S [kg]	δ	k	Carga de rotura característica [kg]	f'_{cqr} [kg/m^2]
21.257	764	0,036	2,92	19.027	15,86

Se concluye que en la carga de rotura característica a la compresión que resisten los muros de quincha es de **19.027 kg** y la correspondiente resistencia de rotura de los muros de quincha a la compresión es de **15,86 kg/m^2** .

1.4.2.3. Módulo de elasticidad.

En muchos casos, el valor del módulo de elasticidad se determina a partir del ensayo de flexión, sin embargo, suele considerarse que las resistencias obtenidas de ensayos en compresión paralelas a las fibras constituyen el mejor índice de comportamiento mecánico de la madera (Fernández F, et al; 1986).

La determinación del módulo de elasticidad se lleva a cabo en el tramo elástico del ensayo de compresión. En la Figura 6, se observan las curvas resultantes del ensayo a compresión, y los puntos ubicados dentro del recuadro rojo son los empleados para determinar el módulo de elasticidad y en la Tabla 3, se muestran los módulos de elasticidad de cada panel ensayado, y el promedio de los tres, el mismo es calculado a partir de la ecuación [Ec. 3].

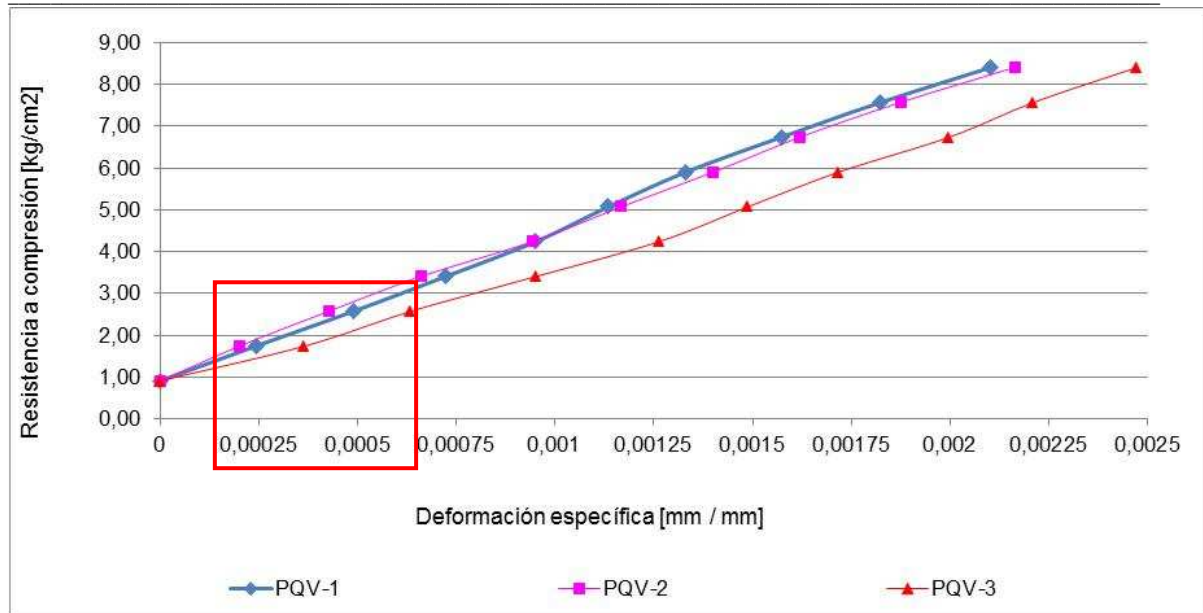
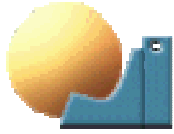


Figura 6: Curva resultante del ensayo a compresión en los paneles de quincha.

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\delta_2 - \delta_1} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Tabla 3: Determinación del módulo de elasticidad de los muros de quincha.

	1º Ciclo de carga		2º Ciclo de carga		E [kg/cm²]
	δ_1 [mm/mm]	σ_1 [kg/cm²]	δ_2 [mm/mm]	σ_2 [kg/cm²]	
PQV-1	0,00024	1,743	0,00049	2,576	3331
PQV-2	0,00020	1,743	0,00043	2,576	3623
PQV-3	0,00037	1,743	0,00064	2,576	3086
			Promedio		3348

Donde:

$\delta_{1,2}$: Deformación específica, es el cociente entre el acortamiento promedio de cada ciclo de carga respecto de la altura del panel, 1800 mm.

$\sigma_{1,2}$: Resistencia a compresión correspondiente al primer y segundo ciclo de carga.

E: Módulo de elasticidad longitudinal.

Se determina que el módulo de elasticidad longitudinal promedio del panel es de **3348 kg/cm²**.

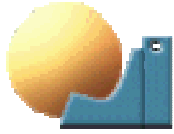
1.4.3. Análisis de los resultados.

Los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas de los paneles de quincha en forma experimental, son contrastados con los valores recomendados por las normativas para muros de ladrillo y de adobe, siendo estos representativos como materiales de mayor y menor resistencia, respectivamente. En la Tabla 4, se muestran los valores de módulo de elasticidad y de resistencia a la compresión para cada caso. Para el ladrillo se emplea la norma CIRSOC 501, empleada para el diseño de muros de mampostería. Para el adobe, se empleó la Norma Técnica de Edificación (NTE) E-080 utilizada en las construcciones con adobe en Perú y la norma de Nueva Zelanda NZS-4297.

Tabla 4: Resumen de propiedades mecánicas de muros de adobe, quincha y ladrillo.

	Adobe		Quincha	Ladrillo macizo
	E-080	NZS-4297		
Resistencia a la compresión [kg/cm²]	$f_c = 2,04$	$f_c = 5,10$ (3)	$f_{cqr} = 15,86$	$f'_m = 25,49$ (1) $f'_m = 17,85$ (2)
Módulo de elasticidad [kg/cm²]	$E_m = 1774$ (4)	$E_m = 300f_c$ (5) $E_m = 612$	$E_m = 3348$	$E_m = 850 f'_m$ (1) $E_m = 15.173$

(1) – (2) Resistencia a compresión de la mampostería con ladrillos cerámicos macizos. Resistencia elevada y normal, respectivamente. Tabla 6.3, norma CIRSOC 501. (3) Fuente: Morris, H; 2006. (4) Fuente: Tarque, Sabino; 2008. (5) $f_c = 2,04$ kg/cm². Resistencia a la compresión del adobe, norma E-080.



El comportamiento de los muros de quincha a la compresión, presenta valores intermedios entre los muros de ladrillos y los muros de adobe. Los valores obtenidos experimentalmente para la quincha, no han podido ser comparados con datos teóricos, debido a que es muy poca la información existente sobre este tema. Sin embargo, dado que la quincha tiene la ventaja de que con un menor espesor en su estructura, presentar mejor resistencia a la compresión, respecto del adobe. Si se analiza la respuesta elástica, se observa que tiene mayor capacidad de deformación que el adobe, esto es una ventaja lo que implica que puede absorber mayor carga antes de llegar a un comportamiento plástico.

1.5. ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL.

1.5.1. Metodología de ensayo.

Para el desarrollo del ensayo se emplearon los muros de quincha construidos con el enmarcado de rollizos canteados en dos caras opuestas dando como resultado un diámetro final de 0,010 m, Figura 7. La unión entre los rollizos se materializó mediante clavos con forma de T, fabricados con un hierro nervurado de construcción de 8 mm de diámetro y de aproximadamente 0,20 m de longitud. La aplicación de la carga estática se realizó en el extremo superior del muro, en una primera etapa se cargó al muro en la misma dirección de la diagonal del muro y en la segunda etapa se realizó en el sentido opuesto, tal como se puede observar en la Figura 8 y es denominado ensayo de viga en voladizo.



Figura 7: Panel de quincha para ensayo a carga horizontal.

El instrumental empleado para el análisis del comportamiento de los muros a carga horizontal consiste en: un dinamómetro a resortes marca AMSLER LE-01, un cilindro de carga marca CIFIC LE-35 (gato hidráulico), hasta 70 toneladas, adecuado para efectuar carga estática, seis flexímetros de lectura directa; Marca Mitutoyo de 50 mm, con precisión de 0.01 mm. El muro de quincha se prepara anclando la parte inferior a un muerto de hormigón, mediante el cual se simula el empotramiento al que estaría sometido en las condiciones reales. Se le aplica una fuerza horizontal paralela a la base en el extremo superior del muro, como se observa en la Figura 8, permitiendo una deformación en su propio plano. Se ensayaron cuatro paneles; en una primera instancia se ensayaron dos paneles en el sentido del refuerzo diagonal del muro, y en segunda instancia se repitió el mismo ensayo pero en este caso la carga fue aplicada en el sentido opuesto al refuerzo. Se registraron las fuerzas aplicadas para solicitar el muro y los desplazamientos correspondientes en cada intervalo de carga. La carga se aplicó en cuatro ciclos de carga y descarga, este proceso se repitió durante los cuatro ciclos hasta llegar a la carga de 1400 kg.

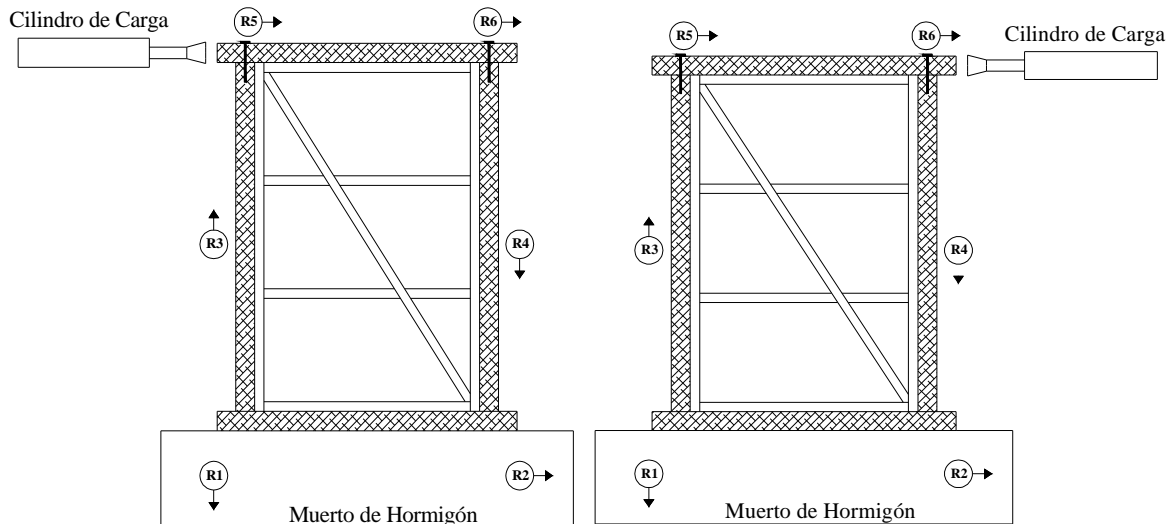
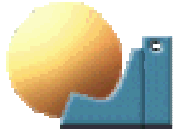
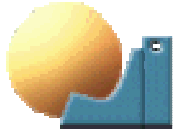


Figura 8: Esquema de aplicación de carga paneles con relojes comparadores. Izq.: PQH-1 y PQH-2. Der.: PQH-3 y PQH-4

En la Figuras 9, se muestra secuencialmente el comportamiento de los paneles de quincha durante los ciclos de carga y descarga. El ensayo realizado tanto en el sentido de la diagonal como en el sentido opuesto, presenta respuestas similares durante el desarrollo del mismo, siendo la variante más importante la carga de rotura obtenida en cada caso.

1.5.2. Resultados del ensayo: Modo de falla de los muros de quincha.

Fase de carga	Estado de carga máxima de cada fase	Descripción
Primer ciclo de carga.		En este primer ciclo de carga, se llevó el panel de carga nula hasta los 500 kg, con saltos de 100 kg y luego se lo descargó hasta los 200 kg. En este ciclo de carga no hubo presencia de fisuras.
Segundo ciclo de carga		En esta etapa se llevó al panel desde los 200 kg hasta los 1000 kg con saltos de 200 kg, y luego se lo descargó hasta los 200 kg iniciales. Durante la carga se pudo observar que hubo una pequeña separación entre los troncos en el borde superior de aplicación de la carga.
Tercer ciclo de carga		El tercer ciclo se llevó al panel de los 200 kg hasta los 1.400 kg, con una iteración de 400 kg, descargándolo nuevamente hasta los 200 kg. Se observó que la separación en la unión de los troncos (rollizos) en el vértice de aplicación de la carga aumentó, y además el barro comenzó a desprenderse de los bordes de la madera.
Cuarto ciclo de carga.		En el último ciclo de carga se llevó al panel de los 200 kg a los 1.000 kg, con un salto de 500 kg. En esta fase no se observaron cambios apreciables respecto del ciclo anterior, teniendo en cuenta que anteriormente se llevó al panel hasta los 1.400 kg. Después de este ciclo de carga, se realizó la extracción de los relojes y se cargó el panel hasta llegar a la carga de rotura.




<p>Carga de rotura.</p> <p>Izq.: Dirección diagonal</p> <p>Der.: Opuesta a la diagonal</p>		<p>La fisuración del panel se inició en el paño central y continuó por el vértice inferior del triángulo superior. La falla del panel fue gobernado por el levantamiento del rollizo horizontal donde se aplicó la carga, arrastrando la diagonal hacia arriba, fisurando el barro en los paños. La carga de rotura fue de 1560 kg y 1760 kg, para los paneles 1 y 2 respectivamente. La carga de rotura fue de 1.760 kg y 2180 kg, para los paneles 3 y 4 respectivamente.</p>
---	---	---

Figura 9: Secuencia del comportamiento de los muros a carga horizontal.

En los cuatro casos, la forma de falla de los muros fue debido al desplazamiento de la diagonal hacia arriba, con lo cual de a poco se fueron desprendiendo los refuerzos transversales, dando como consecuencia la rotura del barro de los paños, siendo los más afectados los ubicados debajo de la diagonal. Sin embargo después de producirse la descarga del muro la recuperación de la deformación del mismo, permite su restauración. Esto se logra extrayendo el barro fisurado de la capa superficial, agregarle agua y reutilizar el mismo para revocarlos nuevamente, ya que el esqueleto de cañas y el bastidor no sufrió daños irreparables.

Una mejora propuesta para los paneles consiste en optimizar las uniones entre los rollizos, originalmente se emplearon clavos armados con hierros de 8 mm de diámetro y 0,20 m de largo, Figura 10, se propone emplear tirafondos, varillas roscadas o planchuelas, otorgando mayor resistencia al arranque.



Figura 10: Clavos fabricados con hierros de construcción nervurado de 8 mm de diámetro y 20 cm de largo.

1.5.3. Capacidad de carga horizontal y Módulo de deformación por corte.

El análisis estructural de los muros de quincha es complejo de predecir, debido a que el comportamiento está determinado por la interacción entre el bastidor de madera de álamo, el entramado de cañas y el relleno de barro. Por esta razón se somete a los muros a una carga horizontal hasta llegar a la rotura del panel. El módulo de deformación por corte, se determinó como la pendiente entre dos puntos de la gráfica del esfuerzo cortante versus la distorsión angular, Figura 11, en la etapa elástica de cada muro de quincha, el cual se considera que es el primer ciclo de carga, debido a que no presenta fisuración.

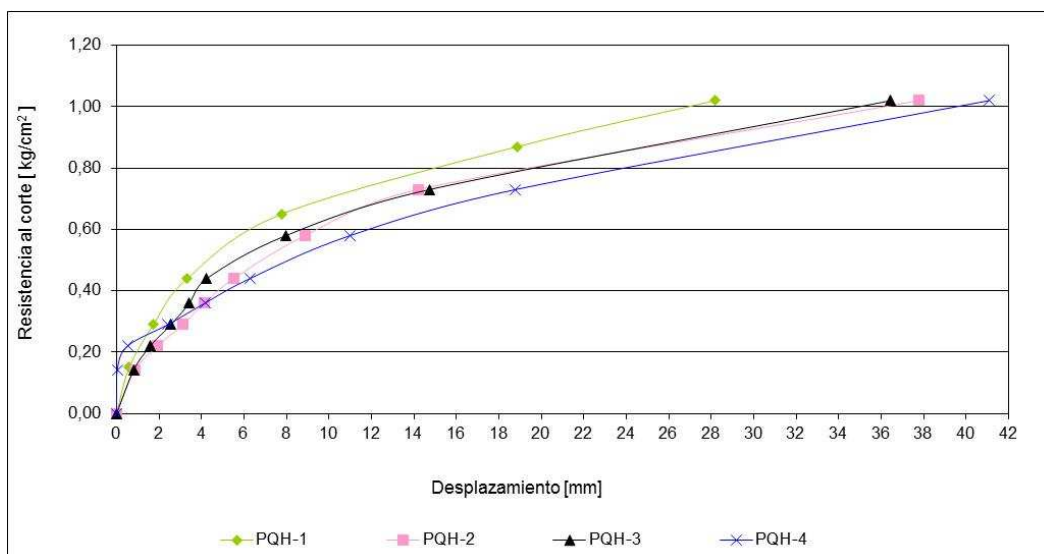
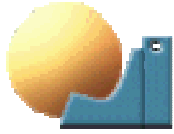


Figura 11: Esfuerzo de corte vs. Deflexiones para cada muro.



El esfuerzo de corte τ , se calculó como el cociente de la diferencia de la carga lateral y el área de corte, correspondiente al ancho total del muro (1,40 m), incluidos los rollizos, por el espesor del muro (0,10 m). En la Tabla 5 se muestran los valores de G obtenidos para cada muro, calculados con la ecuación [Ec. 6].

$$G = \frac{P_1 - P_2}{A * \gamma} \quad [\text{Ec. 6}]$$

Donde:

G: Módulo de corte del muro, [kg/cm²].

P: Carga aplicada en el extremo superior del muro en el instante 1 y 2, [kg].

A: Área de aplicación de la carga igual a 140 cm de ancho x 10 cm de espesor [cm²].

γ : Deformación angular del muro $\frac{\Delta_1 - \Delta_2}{H}$ [mm/mm].

Δ_{1-2} : Desplazamiento medido al nivel de aplicación de la carga lateral en el instante 1 y 2 [mm].

H: Altura a la que se aplica la carga [mm].

Tabla 5: Resumen de parámetros resistentes de los paneles.

Muro	L [cm]	b [cm]	H [mm]	1° carga		2° carga		γ [mm/mm]	τ [kg/cm ²]	G [kg/cm ²]	τ_m [kg/cm ²]	
				P ₁ [kg]	Δ_1 [mm]	P ₂ [kg]	Δ_2 [mm]					
PQC-1	140	10	1800	0	0,00	200	0,590	0,00033	0,15	445	1,28	
PQC-2	140	10	1800	0	0,00	200	0,840	0,00047	0,15	312	1,13	
PQC-3	140	10	1800	0	0,00	200	0,800	0,00044	0,15	329	1,59	
PQC-4	140	10	1800	200	0,025	300	0,525	0,00028	0,07	262	1,28	
										Promedio	337	1,33
										Desviación Estándar	±77	

Donde:

L: Largo del muro

b: Ancho del muro

H: Altura del muro

P₁ – P₂: Primera y segunda carga, respectivamente.

$\Delta_1 - \Delta_2$: Desplazamientos horizontales para la carga 1 y 2, respectivamente.

γ : Distorsión angular del muro.

τ : Tensión de corte del muro.

G: Módulo de corte.

S: Desviación estándar de G.

τ_m : Resistencia al corte.

1.5.4. Análisis de los resultados.

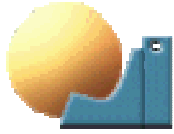
Con los datos obtenidos experimentalmente para la quincha, en la Tabla 6 se los compara los requeridos por la norma CIRSOC 103 parte III para la mampostería, y también se los compara con los correspondientes al adobe. En el caso de la mampostería, se considera el comportamiento de un muro de mampostería de 0,18 m sin confinamiento.

Tabla 6: Resumen de propiedades mecánicas al corte de muros de adobe, quincha y ladrillo.

	Adobe	Quincha	Ladrillo macizo
Resistencia al corte [kg/cm ²]	$\tau_m = 0,31$ (1)	$\tau_m = 1,33$	$\tau_m = 4,08$ (2) $\tau_m = 3,06$ (3)
Módulo de corte [kg/cm ²]	G _m = 306 (1)	G _m = 337	G _m = 0,3 E _m G _m = 4548

(1) Fuente: Yamin et al; 2003.

(2) – (3) Resistencia al corte de la mampostería con ladrillos cerámicos macizos. Resistencia elevada y normal, respectivamente. Tabla 10, norma CIRSOC 103 parte III.



Los muros de quincha presentan una mejor resistencia que los muros de adobe sin confinar, no así respecto de los muros de ladrillos. Sin embargo, debido a que los sectores de bajos recursos económicos tienden a construir sus viviendas con material de tierra, se recomienda el uso del entramado de caña en los muros para una mayor resistencia estructural. También se observa que respecto al módulo de corte, la quincha tiene un valor similar al del adobe, quedando en evidencia que los muros de quincha y principalmente el barro, no tienen resistencia a esfuerzos de corte como pueden tener a los esfuerzos de compresión, por esta razón se deben realizar mejoras constructivas que permitan aumentar la capacidad resistente a este esfuerzo.

2. Referencias.

- Fernández, Francisco; Echenique, Ramón. (1986). Estructuras de madera. Editorial Limusa. ISBN: 968-18-1510-6.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica. (2000). Proyecto de reglamento argentino para construcciones sismorresistentes INPRES-CIRSOC 103.
- Michelini, R; Maldonado, N. G; Olivencia, L. A; Pizarro, N. F. (2000). Análisis experimentales de la interacción de tabiques de hormigón armado con mampostería para diseño estructural sismorresistente. Memorias XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Formato electrónico. Sección 1.3.18 pp6.
- Minke, Gernot. (2005). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Universidad de Kassel – Alemania.
- Norma Técnica de edificación E.080. (2000). Adobe. Lima – Perú.
- Norma IRAM 11.585. (1991). Paneles para muros y tabiques en edificios. IRAM. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11.588. (1972). Muros ciegos de edificios. Método de ensayo de compresión. IRAM. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11.595. (1973). Paneles prefabricados para muros de edificios. Método de ensayo de resistencia al impacto de bola de acero. IRAM. Buenos Aires.
- Norma IRAM 11.596. (2007). Método de ensayo de impacto sobre probeta vertical. IRAM. Buenos Aires.
- Norma CIRSOC 501. (2007). Reglamento argentino de estructuras de mampostería. Editado: Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- Standards New Zealand 4297. 1998. Engineering design of earth buildings. Standards Council.