

CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES DE TIERRA CRUDA
SISTEMA CONSTRUCTIVO "LAMAS"**Rafael F. Mellace (1); Carlos F. Alderete (2) ; Lucía E. Arias (2)**

- (1) Arquitecto, profesor Titular FAU-UNT, director LEME y GTT, investigador ANPCYT y CIUNT, rfmellace@herrera.unt.edu.ar
(2) Ingeniero, docente FAU-UNT, integrante GTT, investigador ANPCYT y CIUNT

RESUMEN

En el presente trabajo se resumen los primeros resultados de un proyecto de innovación tecnológica que, en el dominio de la Arquitectura de Tierra Cruda, el Grupo Tierra Tucumán (GTT) realiza en el campo experimental del Laboratorio de Materiales y Elementos de Edificios de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. La definición de pautas de diseño y la evolución de técnicas constructivas de bajo costo, de aplicación en viviendas de interés social desarrolladas en trabajos previos, se incorporan en la construcción del Centro Regional de Investigaciones de Tierra Cruda (CRITiC). El informe refiere en esta primera parte los fundamentos y características técnicas del sistema constructivo LAMAS, propuesto para la resolución de cerramientos verticales estructurales en construcciones de tierra; su forma de producción y las propiedades físicas y mecánicas de sus componentes básicos: el bloque articulado de tierra-cemento comprimida (BaTc).

INTRODUCCION

En el marco de los Proyectos PICT 99 N° 13-6873 y CIUNT 26-210 financiados por la Agencia Nacional Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT) y el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán respectivamente, se propone como una contribución al fortalecimiento de la infraestructura científica y tecnológica de la UNT, la construcción de un prototipo arquitectónico y tecnológico en el que se apliquen y verifiquen las pautas de diseño y las innovaciones desarrolladas, combinando el uso de materiales naturales locales y técnicas tradicionales con materiales y técnicas urbano-industriales.

El edificio, futura sede del Centro Regional de Investigaciones sobre Arquitectura de Tierra Cruda (CRITiC), esta integrado por cuatro cuerpos independientes en los que se utiliza la tierra cruda como material primordial y se aplican técnicas tradicionales y evolucionadas correspondientes a los tres principales sistemas constructivos, a saber:

- Sistema monolítico: tapial;
- Sistema de mampostería: adobes mejorados y bloques comprimidos estabilizados;
- Sistema mixto: quincha y entortado.



Figuras 1 y 2: CRIATiC Vistas del conjunto. Maqueta GTT-LEME. 2001

Desde el punto de vista funcional los cuatro cuerpos definen en una superficie total aproximada de 300 m², las áreas de administración (dirección), de experimentación y producción (laboratorio-taller), de docencia (aula-taller) y de servicios, que se articulan a través de un patio central cubierto donde se prevé realizar las exposiciones de los trabajos que se ejecutan en el campo del diseño arquitectónico, de la producción y transferencia de tecnologías alternativas, tanto en la FAU como en los centros y organismos integrantes de la Red

PROTierra (argentina) y del Programa de Cooperación Iberoamericana CYTED-HABITED, con las que el Proyecto mantiene directas vinculaciones.

En el siguiente trabajo, se presenta el diseño y análisis estructural sismorresistente del sistema constructivo “LAMAS” – Parte I (Mampostería de Bloques Comprimidos de Tierra-cemento), basado en la aplicación de componentes articulados, sin mortero de asiento.

SISTEMA CONSTRUCTIVO “LAMAS”

I. Resumen

El sistema propone una innovación tecnológica orientada al mejoramiento de la construcción de viviendas de interés social. Su estudio experimental se centra, en una primera etapa, en la resolución de los cerramientos verticales estructurales – muros portantes – con mamposterías de bloques articulados de tierra cruda (BaTc).

El BaTc permite, por su diseño, ser incorporado al muro prescindiendo del tradicional mortero inter juntas, conformando un aparejo de hiladas discontinuas que mejora notablemente el comportamiento estructural-sismorresistente del sistema. Por otra parte reduce, en relación al sistema convencional, la cantidad de material y mano de obra requerida y por ende el costo de producción, mejorando el rendimiento en obra al minimizar las operaciones y tiempos de producción (nivelación, aplomado, rejuntado etc.). Complementariamente, al no requerir la intervención de operarios calificados, tanto para la fabricación del componente básico como para la ejecución de la mampostería, el sistema resulta particularmente apto para su aplicación en programas de autoconstrucción, favoreciendo la generación de empleo.

II. Fundamentos del sistema

En general un sistema tradicional de mampostería o fábrica (F. Cassinello. 1966), se integra con dos componentes básicos: los mampuestos dispuestos en hiladas horizontales y el mortero de asiento que asegura, por una parte, la distribución regular de las cargas y proporciona, por otra, la adherencia necesaria entre aquellos, confiriéndole al sistema la unidad constructiva que le posibilite un comportamiento monolítico.

Normalmente la forma de los mampuestos y su disposición ordenada definen en la mampostería aparejos caracterizados por la existencia de juntas horizontales continuas, que constituyen planos potenciales de falla entre hiladas sucesivas ante cargas que, sean estáticas o dinámicas, contenidas en su plano o perpendiculares a él, generan solicitaciones de compresión simple, flexo compresión, pandeo, flexión o corte; consecuentemente, las cualidades mecánicas del mortero deben asegurar la debida adherencia en la interfase mortero-mampuesto para absorber tales solicitaciones. Sin embargo, debido a su débil o nula resistencia a tracción y a la escasa ductilidad resultante del sistema, en caso de cargas dinámicas (v.g. viento, sismo, etc.) generalmente el muro se agrieta por efecto de compresión diagonal; para evitarlo, en la práctica se recurre a uso de mampostería armada o confinada por columnas y vigas de encadenado (IRAM 11556).

Tomando como antecedente conclusiones y recomendaciones de investigaciones previas (Gallegos H. 1989; Sánchez Mora, R. 1999; Minke, G. 2001), el sistema LAMAS basado en el uso de bloques de encastrés mecánicos, propone una alternativa que permite mejorar el comportamiento estructural de mamposterías sin mortero de asiento en zonas sísmicas como el NOA, reduciendo significativamente los tiempos y costos de producción de los elementos constructivos.

III. Descripción del sistema – componentes

III.1 MATERIALES UTILIZADOS

a) Tierra

A los efectos de su estudio y aplicación en la arquitectura, se define tierra al material inorgánico y desmenuzable proveniente de la desintegración de las rocas que constituyen el suelo natural. No obstante su mismo origen, deliberadamente se utiliza el término tierra para diferenciarlo de suelo o roca considerados más genéricamente por la ingeniería civil (sea como base de sustentación de edificios o como agregado natural en la elaboración de hormigones), o de suelo empleado por la geología para definir la parte de la corteza terrestre constituida por materia vegetal (Terzaghi, K. y Peck, R. 1948).

La materia prima utilizada es, por lo tanto, toda tierra no vegetal que pudiera ser extraída del propio lugar en que se realice la construcción, estabilizada con cemento portland o cal. Si bien todas son potencialmente aptas para la

fabricación del BaTc, algunas poseen mejores cualidades que otras, por lo que deben ser cuidadosamente estudiadas para determinar según el tipo, el estabilizante más adecuado y las dosificaciones más convenientes en cada caso.

Atento a la variedad y complejidad con que la tierra se presenta en la naturaleza, resulta fundamental su identificación y clasificación, para lo cual se adoptan los procedimientos desarrollados por la Mecánica de Suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

b) Estabilizantes

Conforme al tipo y propiedades particulares de las tierras disponibles, los agentes estabilizantes utilizados varían entre el cemento pórtland normal y la cal aérea (óxido o hidróxido de calcio).

c) Mezcla tierra-cemento; tierra-cal

Las mezclas de tierra-cemento o tierra-cal según corresponda, se dosifican en volúmenes aparentes y se preparan con un contenido óptimo de agua determinado mediante ensayos de densidad-humedad (Próctor). En cada caso se verifican en laboratorio con probetas cilíndricas de 10 x 20 cm y métodos normalizados, los índices de resistencia a compresión axial y a tracción por compresión diametral; de absorción de agua y desgaste por abrasión.

III.2 COMPONENTE BÁSICO BATC

El componente básico del sistema lo constituye un bloque comprimido de tierra estabilizada que se incorpora al muro directamente en seco, sin mortero de asiento. La estabilidad del conjunto se logra mediante encastres horizontales y verticales que, a modo de articulaciones “macho-hembra”, vinculan a unos con otros en una misma hilada y en entre hiladas sucesivas, asegurando la inmovilidad y homogeneidad de la mampostería.

La modulación de los bloques permite la resolución de esquinas, encuentros y cruces de muros, sin necesidad de realizar cortes en las piezas. De igual forma, posibilita la inclusión de contrafuertes como refuerzo estructural lo que, eventualmente, permitiría prescindir de encadenados verticales en el diseño sismorresistente de la mampostería.

El sistema prevé el uso de dos tipos básicos de bloques (BaTc-I y BaTc-II) con los que se cubren todas las posibilidades de traba y terminaciones en extremos de muros. Las formas y dimensiones de cada tipo, se indican en las Figuras 3 y 4.

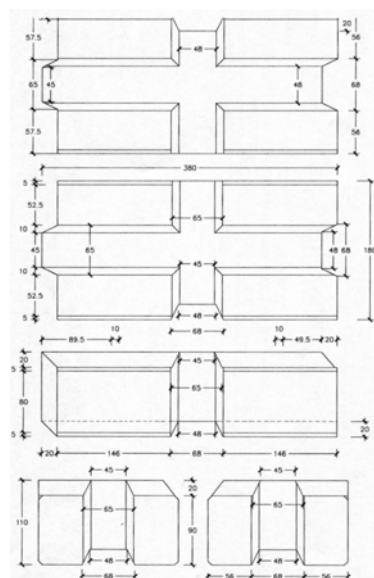


Figura 3: Bloque Articulado BaTc-I.

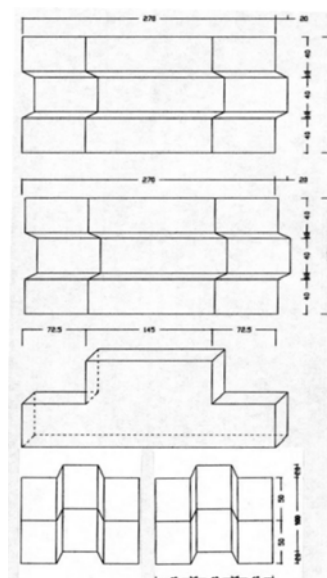


Figura 4: Bloque Articulado BaTc-II.

IV. Características constructivo-estructural del sistema

IV.1 SISTEMA TRADICIONAL

Según lo dicho en II, el sistema de mampostería tradicional consiste en un conjunto esencialmente heterogéneo y anisótropo constituido por materiales de características muy diferenciadas: mampuestos y mortero de asiento o de “pega”.

Desde el punto de vista constructivo, el comportamiento solidario ante la acción de cargas externas se logra con una correcta yuxtaposición de sus componentes en sucesivas hiladas superpuestas; ello exige cierta destreza para ejecutar variadas y cuidadosas operaciones durante el proceso de ejecución, como ser: nivelado y aplomado; control de horizontalidad y regularidad de las juntas; control de la humedad del mampuesto y una apropiada presión sobre el mortero de asiento para asegurar su adherencia, etc.

Para el análisis estructural, según el tipo y la forma en que actúan en un muro de mampostería, las cargas externas se distinguen en:

- Cargas Estáticas (peso propio, sobrecargas de servicio, accidentales, etc.);
- Cargas Dinámicas (viento, sismo, etc.).

Las primeras solicitan al sistema muro a esfuerzos coplanares de compresión simple (siempre que no existan excentricidades en su aplicación); por lo tanto, su resistencia dependerá de la resistencia de los mampuestos y – fundamentalmente – del mortero de asiento.

Las segundas producen además, esfuerzos combinados de corte, flexión, y tracción que deben ser absorbidos por las tensiones de adherencia generadas en la interfase mortero-mampuestos. En este caso, la escasa resistencia al corte y tracción del mortero favorece la formación de grietas en las juntas por efecto de compresión diagonal, comprometiendo el monolitismo y la resistencia final del conjunto.

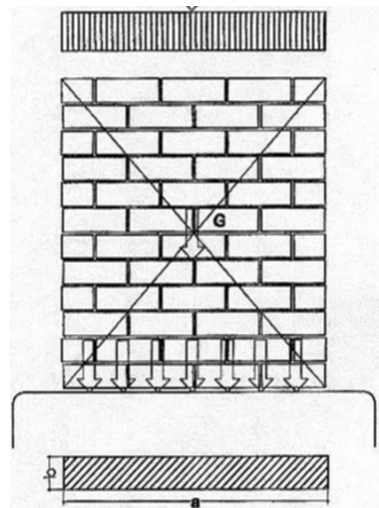


Figura 5: Mampostería tradicional: cargas estáticas ($p+g$) solicitan al muro a esfuerzos de compresión simples.

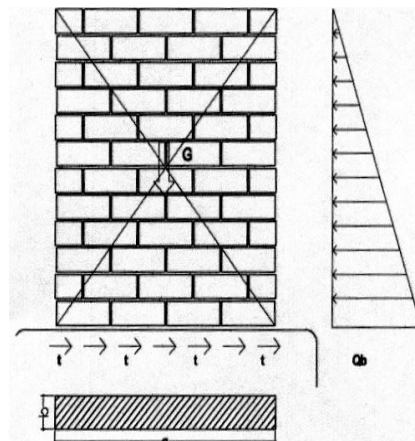


Figura 6: Cargas dinámicas (sismo, viento) generan esfuerzos de corte (Qb) en la mampostería con máximo valoren la base del muro.

IV.2 SISTEMA LAMAS

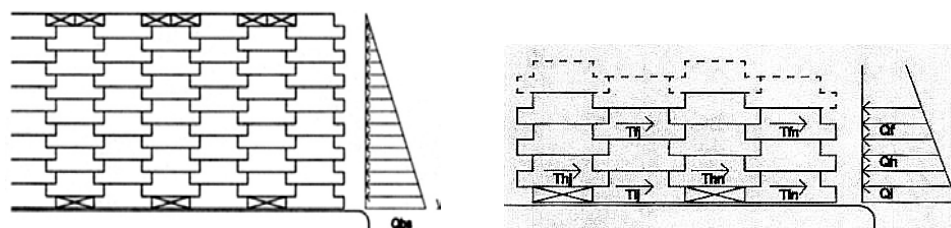
La innovación del sistema consiste, según lo expresado en III.2, en resolver la mampostería o fábrica usando un solo componente (BaTc) que se incorpora al muro directamente en seco, sin mortero de asiento. El sistema permite:

En el aspecto constructivo

- Máxima utilización de un material natural local en la producción del componente;
- Simple proceso de fabricación al pie de obra, con reducción de costos de transporte;
- Simplificación de operaciones y reducción de tiempos de obra;
- Mejores condiciones de trabajo;
- Empleo de mano de obra no especializada.

Desde el punto de vista estructural

- Mejor distribución de las cargas gravitatorias transmitidas hacia la cimentación del muro, con menor concentración de tensiones;
- Mayor homogeneidad del muro por eliminación del mortero y por la discontinuidad de las juntas horizontales (planos potenciales de falla por esfuerzos de corte);
- Mayor resistencia final del muro frente a sollicitaciones por cargas dinámicas;
- Reducción sustancial del riesgo de agrietamientos o fisuraciones por efectos sísmicos.



Figuras 7 y 8: Sistema "LAMAS". Juntas horizontales discontinuas; reducción de planos potenciales de falla por esfuerzos de corte.

V. Producción del sistema

V.1 ESTUDIOS FÍSICO-MECÁNICOS DE LA MATERIA PRIMA

Mediante ensayos normalizados se determinan las características físicas y eventualmente químicas del material disponible, en función de las cuales se establecen las dosificaciones apropiadas de las mezclas tierra-estabilizante a emplear y la humedad óptima de compactación. Se verifican las propiedades mecánicas (compresión, tracción por compresión diametral, corte) sobre probetas normales y sobre los componentes básicos (BaTc); finalmente se evalúan y registran los resultados para su posterior confrontación con los obtenidos en ensayos de pilares y muretes experimentales.

V.2 PRODUCCIÓN DEL COMPONENTE CONSTRUCTIVO (BATC)

Realizadas las operaciones previas de trituración y tamizado de la tierra para obtener partículas de hasta 4 mm de diámetro sin alterar su composición, se procede al mezclado en seco con el estabilizante adoptado hasta lograr la máxima homogeneidad. Finalmente se agrega el agua por aspersión y se remezcla el material uniformemente.

Para la producción de los bloques articulados se emplea una prensa mecánica simple, liviana y fácilmente transportable, que no consume energía ni produce residuos contaminantes. Diseñada a partir de la máquina CINVA-RAM (Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento-Bogotá, Colombia), es accionada manualmente por un solo operario, comprimiendo la mezcla con una presión dinámica de 2,20 cm². El bloque obtenido resulta resistente a sollicitaciones de compresión, corte, impacto y desgaste por abrasión; estable ante la acción del agua; de baja absorción (17 % máximo: 24 h inmersión en agua fría s/ IRAM 12536) y buen comportamiento térmico, apto para cualquier tipo de clima (Alderete, C; Arias, E. 2001).

V.3 CONSTRUCCIÓN DEL MURO

a) Cimentación

La cimentación del muro se resuelve empleando cualquiera de las técnicas constructivas tradicionales; no obstante por su simpleza y rapidez, generalmente se opta por cimientos corridos de hormigón ciclópeo o simple, con un contenido de 200 kg/m³ de cemento. Las dimensiones – ancho y profundidad – se determinan en función de las características resistentes del terreno.

b) Aislación hidrófuga

A los efectos de evitar el contacto directo con aguas superficiales, la construcción del muro se inicia a partir de un sobrecimiento de hormigón simple de 0,30 m de altura y 300 kg/m³ de cemento. La primera hilada de bloques se asienta sobre un lecho de mortero cementicio (1:3 + aditivo hidrófugo), que permite rectificar posibles deficiencias en el nivelado del sobrecimiento, asegurando la horizontalidad de las hiladas subsiguientes; simultáneamente, actúa como barrera hidrófuga para controlar el ascenso del agua por capilaridad – para mayor seguridad puede adicionársele un fieltro asfáltico o una membrana de polietileno de 200 micras.

c) Mampostería de elevación

A partir de la primera hilada los bloques se colocan en seco, sin mortero, debiéndose solamente tener cuidado en intercalar en cada caso la pieza correspondiente para lograr las adecuadas trabas en los encuentros y terminaciones de muros. Los encastres “macho-hembra” horizontales y verticales con que se vinculan los bloques aseguran, además de la estabilidad estructural, la necesaria estanqueidad de las juntas impidiendo toda posibilidad de paso de agua o aire exterior. A los fines de su adecuado comportamiento sismorresistente, todos los muros se vinculan a la altura de dinteles con un encadenado de arriostre horizontal o “viga collar” de hormigón armado, de ancho igual a los muros y altura equivalente a una hilada, que distribuye uniformemente las cargas del techo, evita el posible desplazamiento lateral de los muros y asegura el trabajo solidario del conjunto. En el sentido vertical, el arriostramiento se logra mediante contrafuertes que, integrados a la mampostería, transmiten las fuerzas de corte a la cimentación.

VI. Propiedades físico-mecánicas de los componentes

A los efectos de verificar las propiedades físicas y mecánicas de los componentes básicos del sistema, se efectúan diversos ensayos de laboratorio sobre bloques elaborados con dos tipos diferentes de tierra estabilizadas con idéntica dosificación de cemento Pórtland y mezcladas con diferentes contenidos de humedad.

Se indican a continuación los materiales y métodos empleados para el análisis y los resultados obtenidos con el BaTc-II.

VI.1 MATERIALES UTILIZADOS

a) Tierra: Identificación de los dos tipos de tierra utilizados (Ti-I y Ti-II)

TABLA I – Identificación de tierras Ti-I y Ti-II: ensayos normalizados.

EXAMEN	Muestra A “Ti – I ”		Muestra B “Ti – II ”	
MASSA UNITARIA IRAM N° 1520	1,06 kgf/dm ³		0,98 kgf/dm ³	
GRANULOMETRÍA IRAM N°s 10507/12	V. Húmeda	Mf = 0,43	V. Húmeda	Mf = 0,26
SEDIMENTOMETRÍA IRAM n° 10515	Arena = 42%		Arena = 70%	
	Limo = 30%		Limo = 28%	
	Arcilla = 28%		Arcilla = 0,2%	
LIMITES ATTERBERG IRAM n°s 10501/2	Limite Líquido	LL = 29,4%	Limite Líquido	LL = 45,0%
	Limite Plástico	LP = 16,0%	Limite Plástico	LP = 29,4%
	Índice Plasticidad	IP = 13,4%	Índice Plasticidad	IP = 15,6%
PRUEBA DE ALCOK RETRACCIÓN	Molde ABCP (40x85x600) mm	21 mm = 3,5 % n° grietas = 3	Molde ABCP (40x85x600) mm	8 mm = 1,2% n° grietas = 0
	Molde C - RAM (40x40x600) mm	20 mm = 3,2% n° grietas = 2	Molde C - RAM (40x40x600) mm	8 mm = 1,2% n° grietas = 0
COMPACTACION NORMAL (Próctor) IRAM N° 10511	Massa unit. máx. = 1,550 kgf/dm ³		Massa unit. máx. = 1,600 kgf/dm ³	
	Humedad óptima = 21%		Humedad óptima = 22%	

De acuerdo a la Carta de Plasticidad para la Clasificación de Suelos Finos (Norma IRAM 1509), las muestras analizadas corresponden: Muestra A-Ti-I = CL (arcilla de baja plasticidad). Muestra B-Ti-II = ML (limo de baja plasticidad).

b) Cemento:

Tipo CPN: Cemento Pórtland Norma – Categoría: CP 30 (30-50 MPa Resist. Compr. 28 días) (IRAM 50000:2000). Marca: Loma Negra – Procedencia: Olavaria, Bs. As.

VI.2 ELABORACIÓN DE PROBETAS Y BLOQUES

Tomando como base experiencias previas se prepararon probetas y bloques (BaTc-II) de ensayo con una mezcla de relación en volúmenes aparentes 1:10, a los efectos de obtener resistencias características superiores a 50 cm².

A fin de verificar la incidencia del contenido de humedad de la mezcla en la resistencia final del BaTc, se dosificó ambos tipos de tierra con el 16% y 22% y se moldearon los bloques en una prensa manual Cinva-Ram modificada, con una tasa de compresión de 2,50 cm². Posteriormente se los mantuvo cubiertos con una carpa de polietileno negro de 200 μ durante los primeros 7 días y luego se los colocó en una cámara de curado en un ambiente de 20°C de temperatura y 80% de humedad, durante 21 días subsiguientes.

Durante el período de curado se observó en el 80% de los casos que, independientemente del contenido de humedad de la mezcla, los bloques fabricados con tierra Ti-I (30% arcilla) presentaron pequeñas fisuras superficiales en las caras laterales, coincidentes con el cambio de su altura. No se observaron similares efectos en los bloques fabricados con tierra Ti-II, (0,2% arcilla). Consecuentemente se deduce que las fisuras superficiales son producidas por efecto de la retracción de secado, independientemente de la forma del bloque y del curado realizado.

A fin de determinar eventuales variaciones en los valores obtenidos en los ensayos mecánicos, causadas por la variación de formas y dimensiones de las piezas, se tallaron y ensayaron dos probetas prismáticas de 5 x 5 x 14 cm. de cada bloque; los resultados comparados, se consignan VI.3.3.

VI.3 ENSAYOS MECÁNICOS: PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

3.1 Probetas

Las probetas prismáticas (5x5x14) cm se ensayaron a los 28 días, sometiéndolas a carga última de rotura por esfuerzos de compresión simple y de corte, empleándose para ello una prensa mecánica Marca CIFIC de doble accionamiento, con manija de radio variable, de 7 ton. de capacidad y aros dinamométricos de 1.000 y 3.000 kg. Los resultados obtenidos se indican a continuación.

TABLA II – Resistencias Promedio de Compresión y Corte en Probetas de (5x5x14) cm.

TIERRA TIPO	HUMEDAD MEZCLA	PROBETA Nº	RESIST. A COMPRESIÓN (cm ²)		RESIST. AL CORTE (cm ²)	
Ti -I	H = 16 %	TI - 1	47.30	49.40	4.10	1.90
		TI - 2	46.20		4.70	
		TI - 3	51.20		3.40	
		TI - 4	53.30		4.20	
		TI - 5	49.10		5.10	
	H = 22 %	TI - 1.1	60.12	57.60	5.60	2.20
		TI - 2.2	64.60		6.00	
		TI - 3.3	59.40		4.20	
		TI - 4.4	53.20		4.20	
		TI - 5.5	50.70		4.60	
Ti -II	H = 26 %	TII - 1	26.10	28.2	1.70	4.30
		TII - 2	25.70		1.50	
		TII - 3	30.40		2.20	
		TII - 4	31.20		2.40	
		TII - 5	27.60		1.70	
	H = 22 %	TII - 1.1	28.20	31.10	2.30	4.90
		TII - 2.2	33.50		2.40	
		TII - 3.3	32.90		1.90	
		TII - 4.4	28.40		2.00	
		TII - 5.5	32.50		2.40	



Figura 9: Ensayo de compresión sobre probetas (5x5x14) cm.

Figura 10: Rotura por compresión en probetas (5x5x14) cm.



Figura 11: Ensayo de corte sobre probetas (5x5x14) cm.

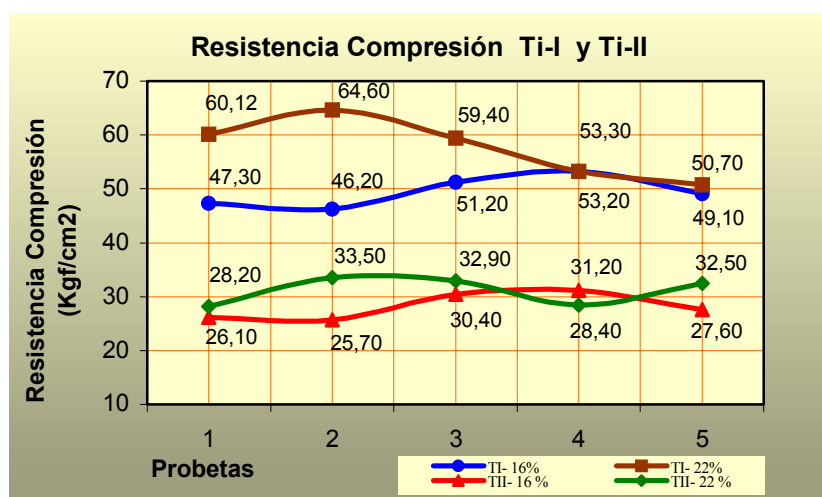


Figura 12: Resistencia a Compresión en probetas 5x5x14 cm – Tierras Ti-I (30% arcilla) y Ti-II (0,2% arcilla).

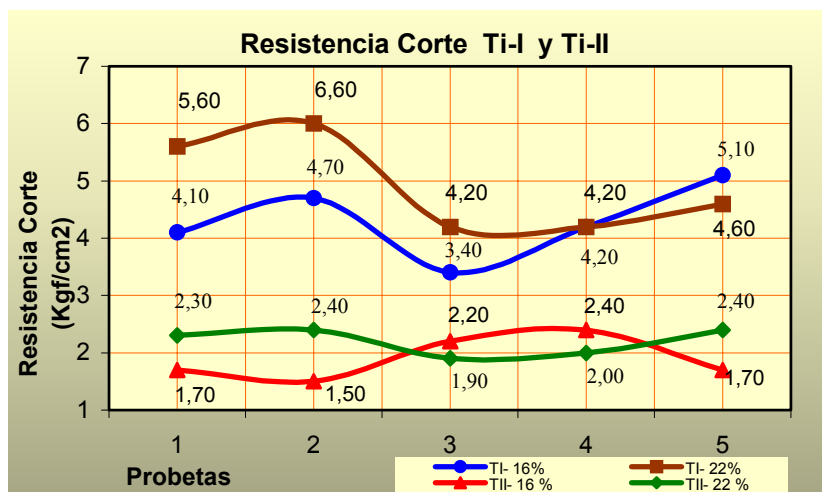


Figura 13: Resistencia al corte en probetas (5x5x14) cm – Tierras Ti-I (30% arcilla) y Ti-II (0,2% arcilla).

De los ensayos realizados con probetas de (5x5x14) cm. se desprenden las siguientes observaciones:

- A idénticas condiciones de elaboración y curado, de edades y procedimientos de ensayo, los valores promedio de resistencia a compresión y corte resultan ser función de las características físicas de los tipos de tierra y de la cantidad de agua de mezclado utilizada en la preparación de las probetas.
- Para carga última de compresión, la tierra Ti-I (30% de arcilla) alcanzó resistencias entre un 75% y 85% mayores que la tierra Ti-II (0,20% de arcilla).
- Para carga última de corte, la tierra Ti-I, alcanzó resistencias entre un 200% a 225% mayores que la tierra Ti-II.

- Independientemente del tipo de tierra, las mezclas humectadas con un 22% de agua alcanzan resistencias superiores entre un 10% y 17% a las humectadas con 16%.

3.2 Bloques BaTc-II

Los bloques se ensayaron a los 28 días, sometiénolos a carga última de rotura por esfuerzos de compresión simple y de corte, empleándose para ello una prensa Marca CIFIC, de 100 Ton de capacidad y accionamiento manual, con bomba hidráulica de dos pistones. Los resultados obtenidos se indican en Tabla III y Figuras n^{os} 17 y 18.

TABLA III – Resistencias promedio a compresión y corte en probetas de (5x5x14) cm.

TIERRA TIPO	HUMEDAD MEZCLA	SERIE N°	RESIST. A COMPRESIÓN (cm ²)		RESIST. AL CORTE (cm ²)	
Ti -I	H = 16 %	B I - 1	77.60	81.20	5.24	50.30
		B I - 2	80.10		5.02	
		B I - 3	85.90		5.64	
	H = 22 %	B I - 1.1	96.80	93.60	5.80	6.10
		B I - 2.2	91.10		6.21	
		B I - 3.3	92.70		6.10	
Ti -II	H = 16 %	B II - 1	42.30	44.60	1.95	2.40
		B II - 2	45.10		2.70	
		B II - 3	46.40		2.55	
	H = 22 %	B II - 1.1	48.20	50.10	2.73	2.80
		B II - 2.2	52.10		3.02	
		B II - 3.3	50.00		2.65	



Figuras 14 -15 y 16: Ensayo de Corte Bloques articulados BaTc-II: Orientación de la fractura en cuerpo central.

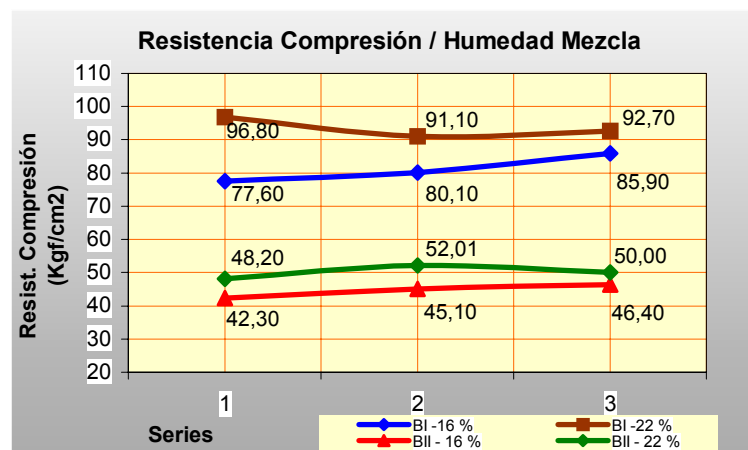


Figura 17: Variación de la resistencia a compresión en función del porcentaje de agua en la mezcla tierra-cemento.

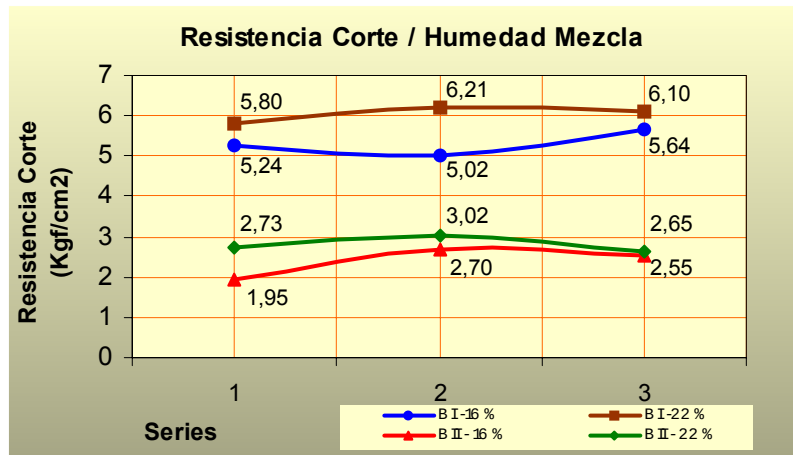


Figura 18: Variación de la resistencia al corte en función del porcentaje de agua en la mezcla tierra-cemento.

De los ensayos mecánicos realizados sobre los bloques BaTc-II se desprenden las siguientes observaciones:

Orientación y forma de rotura:

- En los ensayos de compresión, las primeras fisuras -prácticamente paralelas a las caras laterales – comienzan a manifestarse cuando las cargas alcanzan entre el 60% y 70 % del valor último de rotura. El colapso, con desprendimiento del material de las paredes, se produce con preaviso en forma progresiva y sin ruidos.
- En los ensayos de corte, la orientación de la fractura varía en función de la compresión transversal que se ejerce sobre las piezas: Cuando el par de bloques se vincula con una ligazón simple (una sola vuelta de cinta) las fisuras se inician en A y avanzan hacia el interior en un ángulo de 45° hasta llegar a B, (Figura 19-A y 19-B). Cuando la ligazón es más fuerte (doble encintado), el ángulo de fisuración se reduce hasta llegar a 0° y el plano de fractura se orienta paralelo a la dirección de aplicación de carga. Ocasionalmente la dirección de las fisuras coincide con las producidas durante el secado de los bloques (Figura 19-C).
- Normalmente las fisuras se producen cuando las cargas alcanzan entre el 60% y 70 % del valor último de rotura.
- La rotura sobreviene en forma brusca-instantánea. Los valores en este caso se incrementaron levemente (10% aproximadamente) respecto al anterior. Esto se manifestó de idéntica manera para los dos tipos de tierras utilizadas.

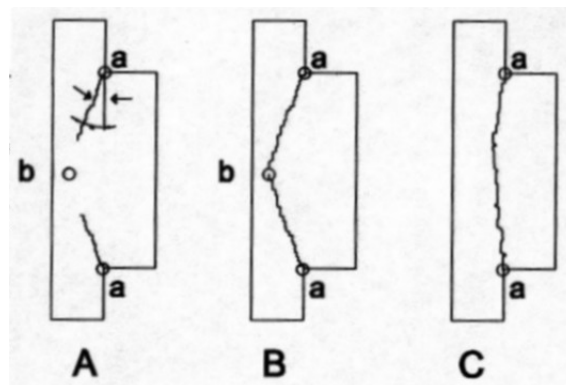


Figura 19: Bloques articulados BaTc-II: Orientación de a fractura por esfuerzo de corte.

Incidencia de formas y dimensiones:

- Los resultados consignados corresponden a tensiones últimas promedio a rotura a compresión y corte sobre probetas y mampuestos.
- Se observan discrepancias entre los valores obtenidos en los ensayos sobre probetas prismáticas y sobre bloques, sin embargo, tales discrepancias no resultan aleatorias, sino más bien, responden a una relación que se manifiesta prácticamente constante en los distintos casos (Ver VI.3.3).

3.3 Relación Forma y dimensiones de las probetas

TABLA IV – Resistencias a Compresión y Corte en probetas de (5x5x14) cm y bloques BaTc-II en función de los tipos de tierra y diferentes dosificaciones del agua de mezclado.

TIERRA	ELEMENTO	AGUA DE MEZCLADO	σ (cm ²)	τ (cm ²)
Ti – I	Probeta	16 %	49,40	4,30
	Bloque	16 %	80,20	5,30
	Probeta	22 %	57,60	4,90
	Bloque	22 %	93,60	6,10
Ti -II	Probeta	16 %	28,20	1,90
	Bloque	16 %	44,60	2,40
	Probeta	22 %	31,10	2,20
	Bloque	22 %	50,10	2,80

A los efectos de verificar la incidencia de formas y dimensiones de las probetas prismáticas y bloques enteros utilizados en los estudios de compresión y corte y determinar alguna relación que vincule los valores de resistencia obtenidos, se ensayaron series de cinco probetas y cinco bloques para cada tipo de tierra y contenido de humedad de las mezclas. Los resultados se sintetizan en Tabla IV y grafican en Figuras 20 y 21.

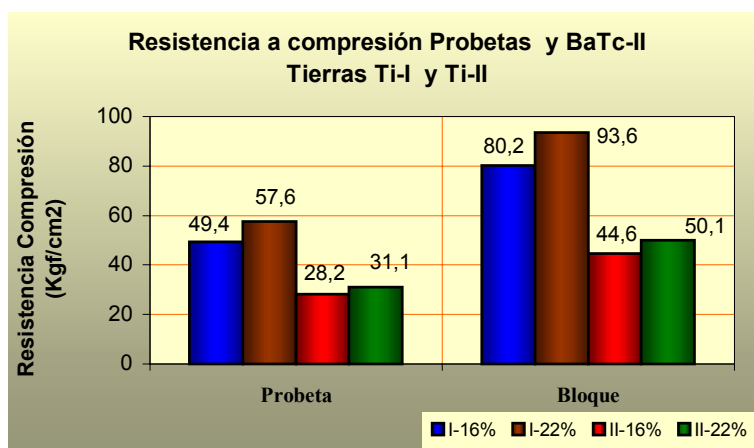


Figura 20: Relación entre las Resistencias a Compresión obtenidas en probetas (5x5x14) cm y bloques BaTc-II en función de los tipos de tierra Ti-I (30% arcilla) y Ti-II (0,20 % arcilla) y de las diferentes dosificaciones del agua de mezclado.

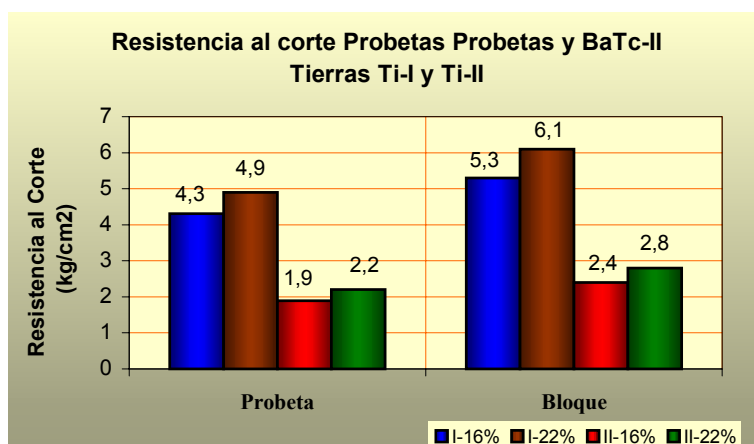


Figura 21: Relación entre las resistencias al corte obtenidas en probetas de (5x5x14) cm y bloques BaTc-II en función de los tipos de tierra Ti-I (30% arcilla) y Ti-II (0,20% arcilla) y de las diferentes dosificaciones del agua de mezclado.

En los ensayos de compresión los bloques acusaron, con relación a las probetas, un incremento en los valores de resistencia del 60%, registrado para ambos tipos de tierra, y dosificación agua-mezcla; en consecuencia podría estimarse la resistencia a rotura por compresión de los bloques a partir de los valores obtenidos en ensayos de probetas (5x5x4) cm, afectados por un coeficiente $\alpha=1,60$.

Es decir: $\sigma'_b = \alpha \times \sigma'_p$

Donde: σ'_b : resistencia a rotura por compresión del bloque
 σ'_p : resistencia promedio a rotura por compresión de probetas
 α : factor de correlación por compresión = 1,60

En los ensayos de corte se manifiesta el mismo comportamiento, pero la variación promedio registrada es del 25%; por lo tanto, el factor de correlación en este caso sería $\beta=1,25$.

Es decir: $\tau'_b = \beta \times \tau'_p$

Donde: τ'_b : resistencia a rotura por corte del bloque
 τ'_p : resistencia promedio a rotura por corte de la probeta
 β : factor de correlación por corte = 1,25

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La resistencia a rotura por tensiones de compresión simple y de corte depende principalmente del tipo de tierra utilizada y de la dosificación de la mezcla (tierra-cemento), entre otros factores.
2. La relación agua-mezcla empleada al momento de moldeo, incide directamente en la resistencia de los bloques ante de solicitaciones de compresión simple y de corte; el tema debería estudiarse más detalladamente, ya que no sólo interesa a este tipo de bloques sino a todos en general.
3. Los ensayos realizados sobre probetas prismáticas, sugieren la posibilidad de incrementar la resistencia de los bloques con el agregado de fibras en porcentajes adecuados, confiriéndole al material la posibilidad de absorber esfuerzos de tracción, lo que contribuiría a reducir su fragilidad modificando la forma brusca de rotura. Esto se corroboraría con los resultados obtenidos en ensayos de tracción por compresión diametral sobre probetas cilíndricas de 10 x 20 cm (Tortonesi, A. 2002).
4. La resistencia al corte de los bloques y el tipo de aparejo que define su diseño, permite asegurar que las mamposterías conformadas por el BaTc-II desarrollan mayor capacidad para absorber las fuerzas de corte en el plano del muro, que las mamposterías tradicionales con mezclas de asiento, ya que el sistema de trabas posibilita responder a tales solicitaciones sobre la base de las propiedades mecánicas del bloque independientemente de las tensiones de adherencia en la interfase mortero-mampuestos.
5. En tal sentido, los resultados obtenidos inducen a predecir, por cada metro de longitud, una resistencia a rotura por corte de 3 a 6 veces superior a la de una mampostería con juntas de asiento del mismo material; consecuentemente para idénticas solicitaciones, podría lograrse una significativa reducción de costos al disminuir la proporción de cemento necesaria para la producción de los bloques.
6. Lo dicho en el párrafo anterior deberá verificarse respecto a la resistencia a compresión obtenida en ensayos de muretes, para contrastar con los resultados de otros investigadores (Gallegos, 1989) que observaron, para este caso, cierta reducción con relación a la mampostería tradicional.
7. En todo caso, el rango de variación de costos dependerá de un pormenorizado estudio de las variables intervinientes -tipo de tierra, dosificación tierra-cemento, relación agua-mezcla, etc. – analizadas en este trabajo.
8. De los resultados experimentales obtenidos a la fecha, se puede concluir que el sistema propuesto ofrece, tanto por su rapidez y simplicidad de ejecución, economía de insumos y mano de obra, como calidad estructural y confort ambiental, excelentes condiciones para su implementación en programas de viviendas de interés social.



Fotografías: Laboratorio de Materiales y Elementos de Edificios (LEME) y Grupo Tierra Tucumán (GTT) - FAU - UNT. 2001-2002.

AGRADECIMIENTOS

- ✚ Al Sr. Rubén Navarro, por su generosa y eficaz colaboración en la ejecución de los ensayos físicos y mecánicos en el Laboratorio de Materiales y Edificios (LEME-FAU-UNT).
- ✚ A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT) y al Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT) por el apoyo financiero que posibilita la ejecución de los proyectos de investigación y la publicación de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

CYTED-HABITED – Red Temática Habiterra. “Sistematización del uso de la tierra en viviendas de interés social”. Lima, Perú. 1993 - Salvador, Bahía, Brasil. 1993.

GALLEGOS, Héctor. “Albañilería Estructural”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial. 2ª Edición corregida y aumentada. 1989.

MELLACE, Rafael; Rotondaro, Rodolfo. “Ensayos de Suelos: Proyecto de Componentes Constructivos de Tierra Cruda – Altiplano de Jujuy, Argentina”. Publicaciones LEME, Serie: Componentes Constructivos de la Envolvente. FAU-UNT, Tucumán. 1995.

REGULAMENTO INPRES-CIRSOC 103: Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes. Parte III Construcciones de Mampostería. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. 1991.

MELLACE, Rafael; ALDERETE, Carlos. “Ensayos físico-mecánicos de suelo y componentes constructivos de Tierra Cruda”. Publicaciones LEME, Serie: Componentes Constructivos de la Envolvente. FAU-UNT, Tucumán. 1996.

SÁNCHEZ MORA, Raúl; “Machimbloque de Tierra Comprimida Estabilizada”. I^{er} Concurso Estatal de Tecnologías para la Vivienda. México D.F. 1999.

ALDERETE, Carlos; ARIAS, Lucía. “Comportamiento Térmico de Muros de Bloques Comprimidos de Suelo-cemento”. Publicaciones LEME, Serie: Componentes Constructivos de la Envolvente. FAU-UNT, Tucumán. 2001.

MINKE, Gernot. “Manual de Construcción para Viviendas Antisísmicas de Tierra”. Forschungslabor für Experimentelles Bauen. Universidad de Kassel, Alemania. 2001.

TORTONESE, Augusto. “Influencia de la Incorporación de Fibras Vegetales en Componentes Constructivos de Tierra Cruda”. Informe Proyecto de Investigación PICT 13-6873: Beca de iniciación ANPCYT. (LEME - FAU - UNT). 2001. Inédito.