



ELABORACIÓN DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO CON BARROS DE EXCAVACIÓN PARA PILOTES

Mirta Sánchez¹, Hugo Begliardo, Silvia Casenave , Javier Schuck

Laboratorio de Ingeniería Civil
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela
Bv.Roca 989, Rafaela (SF), Argentina, Tel. (03492) 43702/432710
www.frra.utn.edu.ar (1) mirta.sanchez@frra.utn.edu.ar

Palabras claves: suelo cemento, RCD, barros de excavación

RESUMEN

En el centro oeste santafesino de la República Argentina, al igual que en otras regiones de la misma, el suelo es el recurso natural más abundante, sino el único, para ser utilizado como material de construcción. Tradicionalmente ha sido aprovechado para la confección de ladrillos cocidos comunes de elaboración artesanal, técnica ampliamente difundida en la región. Su utilización en condición cruda y estabilizada es resistida y hasta desconocida en las distintas esferas de la población, sea por razones de uso, costumbres constructivas o bien culturales.

Desde hace más dos décadas, el aprovechamiento conforme al uso tradicional ha presentado complicaciones en algunas zonas, debido al significativo ascenso de la capa freática hasta niveles cercanos a la superficie. Ese hecho, además, ha generado pérdida en la capacidad portante del terreno y cambios en las conductas tradicionales de cimentaciones de las construcciones, lo que implicó el paso de fundaciones superficiales a profundas mediante pilotes.

La técnica empleada en la ejecución de pozos para pilotes colados in situ involucra la inyección de agua, generando barros de excavación que constituyen un residuo de construcción y demolición (RCD) de estado inicial líquido, por lo cual no es aceptado en rellenos sanitarios, configurando un problema medioambiental resolver su disposición final.

Este trabajo presenta los avances de una línea de investigación iniciada en la UTN Facultad Regional Rafaela, abocada al aprovechamiento de dichos barros de suelos profundos para la elaboración de ladrillos (bloques) de suelo cemento (BSC) comprimidos, con el objeto de promover su uso en la ejecución de viviendas de interés social, comparándose los resultados de ensayos de laboratorio con los de ladrillos de igual composición elaborados con suelos superficiales, pertenecientes al horizonte "B".

Los resultados iniciales obtenidos demuestran las ventajas y advierten sobre los recaudos a tener cuando se utiliza este particular tipo de RCD.

1. INTRODUCCIÓN

Por razones de cambio climático, desde hace más de 20 años el nivel de la capa freática ha ascendido notoriamente en amplias zonas de la República Argentina, entre ellas en el centro oeste de la Provincia de Santa Fe, región llana de la cual la ciudad de Rafaela, donde se centra esta investigación, es cabecera. Al haber alcanzado niveles cercanos a la superficie, se ha visto modificada la capacidad portante de los suelos de fundación, predominantemente limo-arcillosos, lo cual llevó a cambiar el sistema tradicional de cimentaciones superficiales por profundas a base de pilotes o micropilotes en todo tipo de edificaciones, aún las de pequeño porte.

La técnica empleada en la ejecución de pozos para pilotes colados in situ involucra la inyección de agua, generando barros de excavación que constituyen un residuo de construcción y demolición (RCD) de estado inicial líquido, en el que el contenido de agua es del orden del 50 % del peso seco del suelo. Este tipo de residuo no es aceptado en rellenos sanitarios, fundamentalmente si se hallan contruidos en positivo, como se da en la ciudad

de Rafaela. Su disposición final constituye un problema medioambiental, perfilándose su agravamiento en el futuro cercano, puesto que se van agotando las pocas cavas existentes y su empleo en el alteo de terrenos da lugar a la incorporación de suelos salitrosos en sectores naturalmente ricos en humus.

En la Facultad Regional Rafaela de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN FRRa), desde el año 2005 se ha venido investigando en el aprovechamiento de dichos barros de suelos profundos para la elaboración de BSC altamente comprimidos (Begliardo, Casenave, Sanchez, 2006; Begliardo, Sánchez, Panigatti, 2006), siguiendo una técnica de racionalidad en su fabricación (Tomasini, Olivero, 2003; Tomasini, Olivero, Begliardo, 2004). En el presente trabajo se presentan los avances de una reciente línea de investigación iniciada en dicha Facultad, abocada al aprovechamiento de dichos barros, con el objeto de promover su uso en la ejecución de viviendas de interés social. Son objetivos del mismo:

- Comparar los resultados de ensayos de laboratorio sobre ladrillos confeccionados con mezclas de suelos profundos (hasta los 12 metros), provenientes del secado de los barros de excavación para pilotes de fundación, cuya naturaleza es predominantemente limosa, con los de suelos superficiales de naturaleza arcillosa, pertenecientes al horizonte "B" (desde los 0,40 m hasta 1,20 m de profundidad). Este último ha sido la cantera típica tradicionalmente empleada para proveerse de material para la elaboración de ladrillos cocidos.
- Revalorizar sus cualidades intrínsecas para su incorporación masiva en el mercado de la construcción y su aprovechamiento como material natural local, en el marco conceptual del desarrollo sostenible.

Para la elaboración de los ladrillos se ha empleado una prensa manual, tipo Mattone (figura 1), cedida según convenio por el CECOVl – Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda de la UTN. FRSanta Fe, cuyo formato de bloque es de 29,5 cm x 14 cm x 9,5 cm (largo x ancho x alto) y se ilustra en la figura 2.



Figura 1 – Prensa manual tamizados



Figura 2 – Bloques de suelo cemento comprimidos (BSC)

2. METODOLOGÍA

2.1 Etapas

El Proyecto de Investigación del que forma parte este trabajo se ha venido desarrollando en diferentes etapas, según el siguiente proceso metodológico:

- Ubicación del material de estudio y cuantificación del material disponible.
- Definición de las variables de estudio.
- Caracterización de los suelos a utilizar.
- Determinación del porcentaje de cemento que se utilizará para estabilizar el suelo.
- Análisis de los requisitos de ensayos.
- Investigación de ensayos en casos de estudio similares.

- Especificación de materiales a utilizar.
- Diseño de metodología para resguardo y almacenaje.
- Caracterización del material seleccionado y utilizado.
- Aplicación de técnicas de estabilización de suelo con aglomerantes como el cemento, modificador de las características del suelo, que posibilita la obtención de material de mejor calidad.

Para su realización se partió de trabajos realizados con anterioridad en la U.T.N. F.R.Ra (Tomasini et al., 2003, 2004; Begliardo et al., 2006), sistematizando el curado y obteniendo comportamientos físicos y mecánicos según las exigencias de las normas vigentes.

El procedimiento utilizado se inició con el secado al aire de los barro de excavación de pilotes, para su posterior trituración y tamizado (figuras 3 y 4). Luego continuó con la identificación de la unidad de análisis y la determinación de la muestra. Posteriormente, se identificaron las variables y su incidencia en las propiedades de los ladrillos SC, con el objetivo de optimizar las mezclas y los modos de ejecución. Se evaluaron los protocolos existentes de ensayos normalizados para materiales tradicionales y se determinaron los tipos de ensayos a realizar a los prototipos.

Para la recolección de datos se realizaron planillas y se codificaron las muestras para su mejor identificación.

A diferencia de lo que se considera suelo ideal¹ para la confección de los BSC, la investigación se ha orientado en hacerlo utilizando mayor proporción de suelos finos, tras el objetivo de tornar aprovechable en el mayor grado posible el suelo del lugar, por tratarse del recurso natural más abundante en la región.

La investigación en ejecución, además de analizar las variantes de ladrillos descriptas en el punto 2.2, fabricados con una prensa de accionamiento manual, incluye el análisis y comparación con otros ejemplares de ladrillos SC altamente comprimidos, elaborados con una prensa de accionamiento hidráulico, empleando los mismos tipos de suelos.



Figura 3 – Barros de excavación de pilotes



Figura 4 – Barro seco tamizado

2.2 Variables analizadas

Para el análisis de los bloques se consideraron las siguientes alternativas constructivas (tabla 1):

Tabla 1 – Tipos de BSC fabricados

Designación	Descripción
BSCs _{10%}	bloques comprimidos de suelo - cemento, utilizando suelo proveniente del horizonte "B" con la adición del 10% de cemento
BSCs _{8%}	bloques comprimidos de suelo - cemento utilizando suelo proveniente del horizonte B con la adición del 8% de cemento
BSCs _{6%}	bloques comprimidos de suelo - cemento utilizando suelo proveniente del horizonte B con la adición del 6% de cemento

BSCp _{10%}	bloques comprimidos de suelo - cemento utilizando suelo proveniente de los barros de excavación de los pilotes con la adición del 10% de cemento
BSCp _{8%}	bloques comprimidos de suelo - cemento utilizando suelo proveniente de los barros de excavación de los pilotes con la adición del 8% de cemento
BSCp _{6%}	bloques comprimidos de suelo - cemento utilizando suelo proveniente de los barros de excavación de los pilotes con la adición del 6% de cemento

2.3 Materiales

En tabla 2 se describen los materiales empleados en la confección de los ladrillos

Tabla 2 – Materiales empleados

Designación	Descripción
Suelo	De dos tipos: uno de extracción profunda (mezcla de cotas -2,00 a -12,00 m, bajo consistencia de lodo, y el otro superficial (horizonte “B”, cotas -0,40 a -1,20 m)
Cemento	Cemento Pórtland Normal, CPN 40
Arena	Designada comercialmente como “fina”, procedente del río Paraná. Fue llevada a estado seco al aire, preservándola del humedecimiento por condiciones atmosféricas (humedad, lluvia) y de la contaminación de elementos extraños o nocivos
Agua	Potable, proveniente de red de distribución pública, guardando las mismas exigencias que las demandadas para la elaboración de hormigones (Reglamento CIRSOC 201; Norma IRAM 1601)

2.4 Dosificaciones

En Tabla 3 se vuelcan las dosificaciones empleadas para la elaboración de los ladrillos.

Tabla 3 – Dosificaciones de los BSC*

Designación	Suelo	Arena	Cemento	Agua
BSCs _{10%}	60%	30%	10%	18%
BSCs _{8%}	70%	22%	8%	18%
BSCs _{6%}	80%	14%	6%	18%
BSCp _{10%}	60%	30%	10%	16%
BSCp _{8%}	70%	22%	8%	16%
BSCp _{6%}	80%	14%	6%	16%

* Porcentajes referidos al peso total del pastón

2.5 Curado

Se procedió al curado de los bloques protegiéndolos del sol y la lluvia, mediante la cobertura con un film de pvc (“agropol”), sometiéndolos diariamente a un riego de agua en forma de fina lluvia, durante 5 días, y acopiándolos en un ambiente cubierto y bien ventilado.

2.6 Número de especímenes

De cada tipo de suelo y por cada proporción de cemento se elaboran 10 prototipos de los cuales, dos de cada uno, luego de transcurrido las 24 horas, fueron sumergidos en agua limpia y ensayados a compresión a los 28 días.

2.7 Ensayos

En el laboratorio de Ingeniería Civil se realizaron los siguientes ensayos:

- identificación de suelos (Límites de Atterbeg y clasificación según Casagrande-S.U.C.S.)

- determinación cuantitativa del contenido de sulfatos inorgánicos (extracción con KH_2PO_4 y determinación de sulfato por Método Turbidimétrico con espectrofotómetro a 420 nm).
- determinación de resistencia del bloque a compresión simple.

3. RESULTADOS

En tabla 4 se resume la caracterización practicada sobre los suelos analizados.

Tabla 4 – Caracterización de los suelos

Determinaciones	Ensayos clasificación	Suelo superficial (horizonte "B")	Suelos profundos (barros de excavación)
Límite de Atterberg (%)	LL	21,5	32,3
	LP	12,8	24,1
	IP	8,7	8,2
Clasificación	SUCS	CL (arcilla inorgánica de baja plasticidad)	ML (Limos inorgánicos de mediana compresibilidad)
Sulfatos	Determinación de azufre inorgánico	No determinado	S = 119,2 mg S/100g suelo SO ₄ ⁼ 357,6 mg SO ₄ ⁼ /100 g de suelo

La resistencia de los bloques a compresión simple fue determinada empleando una prensa de accionamiento hidráulico, con velocidad controlada.

Si bien se ha detectado la presencia de sulfatos, su grado es moderado. En este trabajo sólo se presentan los resultados empleando cemento Portland normal (CPN 40), a fin de compararlos en el curso del desarrollo del proyecto íntegro de investigación, con los de especímenes elaborados con cemento Portland normal moderadamente resistente a los sulfatos (MRS).

En tabla 5 se muestra un cuadro resumen comparativo de los ensayos de compresión simple realizados con las distintas mezclas, describiendo el aspecto y comportamiento a la inmersión de las muestras estudiadas.

Tabla 5 – Aspecto de los especímenes estudiados y resistencias promedio a la compresión simple

Muestra	Aspectos en seco	Aspectos luego de la inmersión	Ensayos de compresión simple de especímenes sin inmersión (kgf/cm ²)			
			7 días	14 días	21 días	28 días
BSCs _{10%}	Terroso – compacto. Color marrón oscuro	Rugoso compacto No se disgrega	36,51	46,81	56,97	60,78
BSCs _{8%}	Rugoso semi-terroso - compacto, c/ microfisura. Color pardo oscuro	Muy rugoso compacto No se disgrega	30,40	37,57	43,70	48,56
BSCs _{6%}	Muy rugosos, con fisuras importantes. Color marrón oscuro	Con importantes fisuras No se disgrega	26,35	30,68	36,59	42,22
BSCp _{10%}	Muy compacto – aspecto liso uniforme Color pardo	Muy compacto No se disgrega	57,13	72,3	86,44	89,28
BSCp _{8%}	Compacto	Compacto. No se disgrega	37,54	46,56	55,65	56,50
BSCp _{6%}	Semi - compacto. Con micro-fisuras en la superficie	Las aristas no conservan su perfil marcado. No se disgrega	37,17	43,65	51,16	55,98

En las figuras que a continuación se muestran se pueden observar curvas comparativas con los resultados promedio de ensayos a la compresión sobre los ladrillos elaborados con suelos profundos, BSCp – figura 4, y suelos superficiales, BSCs, figura 5, curados en ambiente de laboratorio y ensayados todos a la edad de 7, 14, 21 y 28 días.

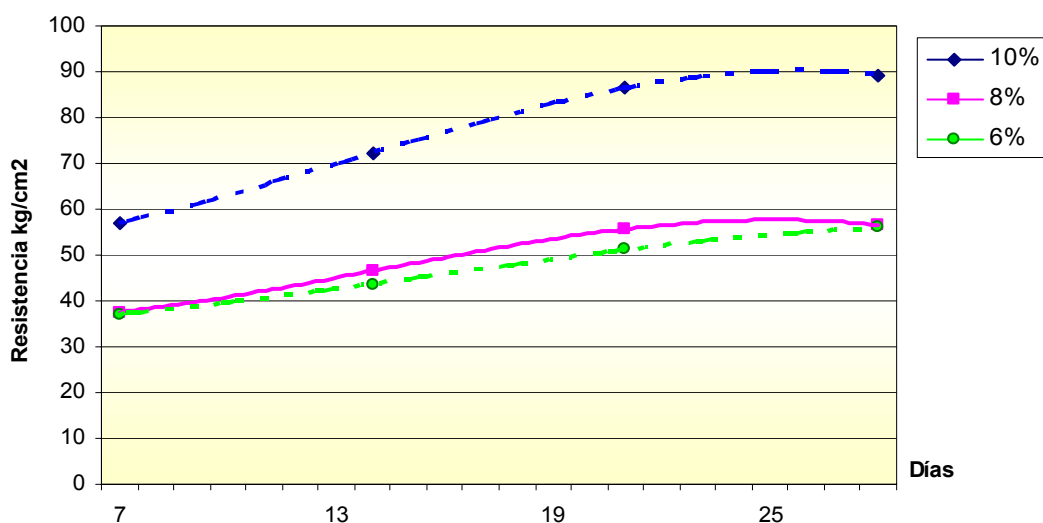


Figura 4 – Bloques BSCp: resistencia a la compresión simple

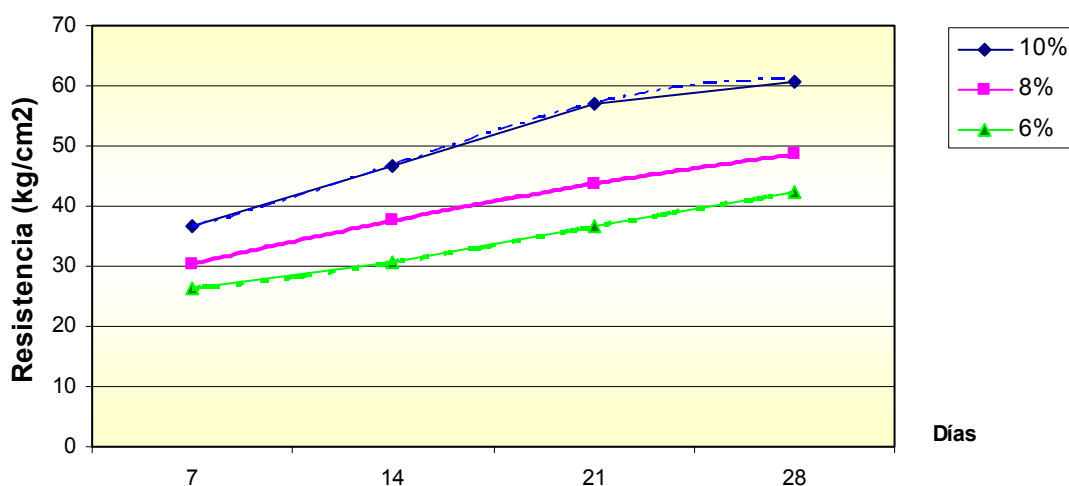


Figura 5 – Bloques BSCs: resistencia a la compresión simple

4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los ladrillos elaborados con mezclas de suelos limosos profundos, BSCp, han provisto resistencias a la compresión mayores que aquellos elaborados con suelos arcillosos superficiales, BSCs.

En todos los casos las resistencias han sido crecientes con la edad. No se aprecian diferencias sensibles entre las resistencias de los bloques BSCp conteniendo 6% y 8% de cemento. Sin embargo, la adición del 10% de cemento incrementó sus resistencias para todas las edades con respecto a la de aquellos, siendo a los 28 días tal aumento del orden del 59%. En relación a los BSCs, la diferencia por contenido de cemento y por edad es más marcada que en los anteriores, incrementándose a los 28 días las del 10% de cemento, en un promedio del 35% con respecto a las del 6% y 8%.

Las resistencias alcanzadas por los BSCp son comparables a las de ladrillos comunes cocidos, de fabricación artesanal.

Los ladrillos en estado seco, luego de su curado, presentan un incremento de longitud de aproximadamente el 1,72% en la dirección de la arista mayor (29,5 cm). Este valor es relativamente bajo, permitiendo prever un buen comportamiento de la mampostería.

Los especímenes sumergidos conservan su estructura al igual que los curados en ambiente de laboratorio (sin sumergir). A los 28 días su resistencia es sensiblemente mayor al comparar ladrillos con igual cuantía de cemento como se puede apreciar en la figura 6.

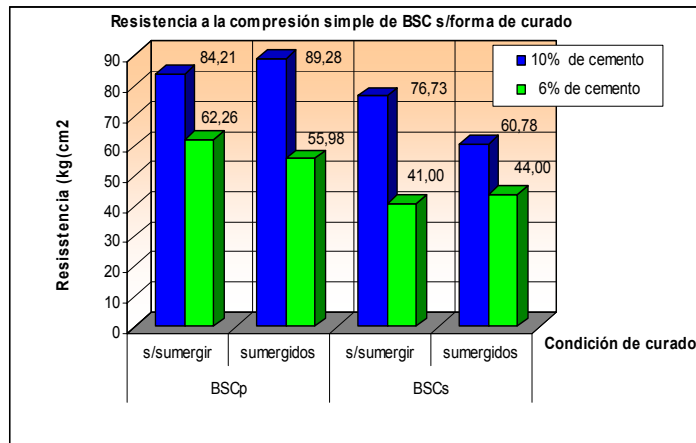


Figura 6 – Resistencia a la compresión simple de BSC s/ forma de curado

5. CONCLUSIONES

Los resultados presentan los avances sobre un proyecto de investigación de mayor envergadura, comparando ladrillos elaborados con dos tipos de suelos, aquellos provenientes de mezclas de suelos profundos de consistencia inicial líquida (lodos), y los de superficie, utilizados habitualmente en la región para la confección de ladrillos cocidos.

La caracterización física de los mismos permitió establecer diferencias entre ambos. Si bien se trata en todos los casos de suelos finos, la mezcla de suelos profundos provee un suelo limoso inorgánico de mediana compresibilidad, tipo ML según el S.U.C.S., en tanto que los superficiales son arcillosos de baja plasticidad (CL). Determinaciones químicas practicadas sobre los primeros revelaron la presencia de sulfato en grado moderado. Esta circunstancia torna aconsejable el empleo de cementos MRS. Sin embargo, en este trabajo se adelantan los resultados de bloques elaborados con cementos CPN, sin esta propiedad resistente a los ataques, para ser comparados a futuro, con la prosecución de la línea de investigación trazada, con aquellos empleando cementos MRS.

Los resultados iniciales revelan el excelente comportamiento, tanto resistente como de durabilidad bajo condiciones sumergidas, de todos los tipos y variantes de dosificación de los BSC elaborados.

Para dosificaciones del 8% y 10% de cemento, una variable a tener presente es el buen acabado superficial de los especímenes, pudiendo utilizarlos para la realización de mampostería de ladrillos con igual técnica que la mampostería tradicional de ladrillos a la vista con junta enrasada.

Particularmente interesante resulta el aprovechamiento de un residuo de construcción y demolición, como son considerados en la región de estudio los barros o lodos de excavación de pilotes. Este recurso configura una solución medioambiental que traslada sus beneficios a la faz económica y social, por cuanto al presente no tienen valor dinerario alguno y con ellos es posible construir ladrillos para atender la demanda de viviendas de interés social.

La aplicación de un método racional de fabricación o un sistema controlado de dosificación, permite elaborar ladrillos homogéneos tanto en aspecto como en resistencia. Este último factor da lugar a la posibilidad de disminuir el coeficiente de seguridad para determinar las

tensiones admisibles a la compresión, a valores por debajo del $\mu = 10$, habitualmente aplicado a los ladrillos comunes cocidos de elaboración artesanal.

La línea de investigación continuará con la elaboración de especímenes empleando cemento MRS para los bloques BSCp, con variación en la proporción de las componentes además de las condiciones de curado en busca de una propuesta reproducible en obra.

El aumento de la población de datos permitirá determinar valores característicos, útiles para elaborar normativas sobre este material.

BIBLIOGRAFIA

Begliardo, H.; Casenave, S.; Sanchez, M. (2006). *Aprovechamiento de barros de excavación para pilotes*. 4º Encuentro Proyecto Integrador PROCQMA, U.T.N. F.R.San Rafael, CD- Edic. LEMaC (UTN FRLP), Argentina.

Begliardo, H.; Sanchez, M.; Panigatti, M. (2006), *Ladrillos de suelo-cemento, elaborados con suelos superficiales y barros de excavación de pilotes*, V SIACOT – Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra; Vº SIACOT, Iº SAACT. CD. INCIUSA-CRICYT-U.N.Cuyo, Mendoza, Argentina.

Roseto, Omar, (1996). *Bloques con mezclas hipercomprimidas de suelo-cemento*. Revista Cemento Nº7, Instituto del Cemento Portland Argentino, Buenos Aires, Argentina.

Tomasini, Gabriel; Olivero, Fernando, (2003). *Diseño racional de ladrillos de suelo-cemento y análisis para su utilización en viviendas de interés social*. Proyecto Final de Grado, UTN FRRa, Rafaela (SF), Argentina.

Tomasini, G.; Olivero, F.; Begliardo, H., (2004). *Diseño racional de ladrillos de suelo-cemento y su aplicación en viviendas de interés social*, PROTERRA - Seminario-Taller de construcción con tierra - UNL-FADU; UTN-FRSF, Argentina.

NOTAS

1. El suelo ideal para la confección de ladrillos de suelo cemento es el de naturaleza arenosa, con una proporción de finos tal que le confiera cierta plasticidad para su moldeo en bloques. En ese sentido, una proporción adecuada sugerida por Roseto (1996) es: arcilla: 5-10%; limo: 10-20 %; arena: 60-80%.

2. La adición de cemento le incorpora esta propiedad de no disgregabilidad a los BSC, poniendo en evidencia la durabilidad de este material bajo las severas condiciones de inmersión. En el Laboratorio de Ingeniería Civil de la UTN FRRa se guardan muestras de especímenes sumergidos desde el mes de marzo de 2006, en perfecto estado de conservación.

AUTORES

Mirta Amalia Sanchez, ingeniera en construcciones, especialista en Metodología de la Investigación Científica y Técnica, Profesor Titular Ordinario de la cátedra Ingeniería Civil II en U.T.N. F.R.Ra, Investigadora SCYT, Directora del Proyecto de Investigación homologado por U.T.N. “*Ladrillos de suelo cemento elaborados con suelos superficiales y barros de excavación de pilotes*”.

Hugo Félix Begliardo, ingeniero civil, Profesor Asociado de la cátedra Análisis Estructural I y Jefe del Laboratorio de Ingeniería Civil en U.T.N. F.R.Ra, Co Director del Proyecto de Investigación homologado por U.T.N. “*Ladrillos de suelo cemento elaborados con suelos superficiales y barros de excavación de pilotes*”.

Silvia Noemí Casenave, ingeniera en construcciones, Especialista en Docencia Universitaria, Profesor Asociado de la cátedra Estructuras de Hormigón en U.T.N. F.R.Ra, Investigadora SCYT, integrante del Proyecto de Investigación homologado por U.T.N. “*Ladrillos de suelo cemento elaborados con suelos superficiales y barros de excavación de pilotes*”.

Javier Schuk, alumno de la carrera de Ingeniería Industrial en U.T.N, F.R.Ra, becario de investigación.