

## COMPONENTES CONFINADOS DE SUELO CEMENTO UTILIZANDO BARROS DE EXCAVACIÓN PARA PILOTES COMO MATERIAL DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA (MBRC).

M.A. Sánchez, H.F. Begliardo , S.N. Casenave , M. Denardi , J. Schuck  
Laboratorio de Ingeniería Civil Universidad Tecnológica Nacional FRRa  
Acuña N° 49 – Rafaela, Provincia de Santa Fe - Argentina

Tel: (03492) 432702 - [mirta.sanchez@frra.utn.edu.ar](mailto:mirta.sanchez@frra.utn.edu.ar), [msanchp@yahoo.com.ar](mailto:msanchp@yahoo.com.ar)

**Tema 2:** Innovación en los componentes constructivos

**Palabras claves:** Especímenes confinados, relleno fluido, barros de excavación.

### RESUMEN

En el centro santafesino, al igual que en otras regiones de la República Argentina, el suelo es el recurso natural más abundante, sino el único para ser utilizado como material de construcción. Tradicionalmente el suelo es aprovechado para la confección de ladrillos cocidos comunes de elaboración artesanal, técnica ampliamente difundida en la región.

El sistema de fundación empleado para la construcción de viviendas y edificios de pequeño porte, tradicionalmente era la zapata corrida de mampostería o bien las bases aisladas. Con motivo del ascenso del nivel freático, disminuyó la capacidad portante de los suelos por lo que, desde hace más de 20 años, se utiliza mayoritariamente la fundación con pilotes excavados y colados in situ. La ejecución de estos involucra la inyección de agua, generando barros de excavación que constituyen un residuo de construcción y demolición (RCD) de estado inicial líquido cuyo 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 trata de construcciones en positivo, como se da en la ciudad de Rafaela, generando un gran problema la localización de su disposición final.

Este tipo de material constituye un insumo fundamental para el desarrollo de nuevos negocios relacionados con el aprovechamiento de un RCD. Este recurso configura una solución medioambiental que traslada sus beneficios a la faz económica y social, por cuanto al presente no tienen valor monetario alguno y con ellos es posible construir ladrillos para atender la demanda de viviendas de interés social.

En recientes jornadas realizadas en el Centro Comercial e Industrial de la Ciudad de Rafaela (CCIR), entidad que agrupa a comerciantes e industriales de la región, con motivo del lanzamiento de la Bolsa de Subproductos de la Región Central de Santa Fe, se mostraron algunos procesos de reutilización de residuos como materia prima de otros procesos. Este cambio de enfoque y de caracterización, trocando el término “residuos” por “Subproductos” o materia prima para otro proceso, es precisamente lo que busca impulsar dicha Bolsa de Subproductos. Este puede ser el caso de componentes de construcción confinados de suelo cemento (ladrillos, baldosas, adoquines, entre otros), utilizando barros de excavación para pilotes, como material de baja resistencia controlada (MBRC).

Como antecedente de la utilización de este tipo de suelos podemos citar el trabajo de investigación “LADRILLOS DE SUELO CEMENTO COMPRIMIDOS ELABORADOS CON SUELOS SUPERFICIALES Y BARROS DE EXCAVACIÓN PARA PILOTES. (Mirta Sánchez – Hugo Begliardo – Silvia Casenave – Javier Schuk ). En él se trabajó sobre la base de comparar los ladrillos elaborados con suelos profundos de consistencia inicial líquida (lodos), y los elaborados con suelos 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). Además mediante determinaciones químicas practicadas sobre los dos tipos de suelos revelaron la presencia de sulfato en grado moderado, circunstancia ésta que torna aconsejable el empleo de cementos MRS. Los resultados

revelan el excelente comportamiento, tanto de resistencia como de durabilidad bajo condiciones sumergidas, en todos los tipos y variantes de dosificación de los BSC elaborados.

En la presente investigación se trabajó con especímenes confinados de suelo cemento, utilizando barros de excavación de pilotes, constituyendo con ellos una mezcla con una relación suelo-cemento-agua similar al conocido como relleno fluido. Este material también es conocido como relleno de densidad controlada, lechada de suelo cemento, grout de suelo-cemento, o la terminología empleada por el Comité 229 del ACI como Material de Baja Resistencia Controlada (MBRC). Es un material autocompactante, con una consistencia fluida, utilizado como material de relleno, como alternativa al relleno granular compacto. El relleno fluido no es concreto (hormigón) ni es utilizado para reemplazar el concreto. En términos de su fluidez, el asentamiento (revenimiento), tal como se mide para el concreto, es generalmente superior a 20 cm. Es un material que puede ser colocado con un esfuerzo mínimo en fuerza de trabajo, equipos y tiempo ya que no requiere compactación ni vibrado ni golpes. Endurece como un material fuerte con un asentamiento mínimo alcanzando resistencias a compresión de 8.3 MPa. El MBRC no necesita ser curado como el concreto, pero debe ser protegido de la evaporación brusca y congelación hasta que haya endurecido

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1- ÁMBITO DE ESTUDIO:**

#### **2.1. Característica de la zona:**

##### **2.1.1. Ubicación:**

Desde hace aproximadamente 20 años técnicamente el sistema de fundaciones. 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, donde 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 construcciones en positivo, como se da en la ciudad de Rafaela, cabecera de la región.

## **1. OBJETIVOS**

Los objetivos del presente trabajo son:

### **1.1.- Generales:**

- Evaluar las propiedades físico-mecánica de especímenes (probetas cilíndricas, ladrillos, probetas cúbicas y baldosas) confinados de mezclas de suelo-cemento plástico (LCSCP) elaborados con suelos profundos cuya naturaleza es predominantemente limosa proveniente de los barros de excavación para pilotes, pertenecientes en forma mayoritaria a la formación pampa, y comparar dichos resultados con los Ladrillos de suelo – cemento comprimidos (LSCC) elaborados con el mismo tipo de suelo.

### **1.2.- Específicos:**

- Lograr un diseño racional de componentes constructivos elaboradas con suelos profundos en estado plástico con calidad controlada.  
- Formalizar un aporte concreto sobre las ventajas del uso de un material compuesto con pocos antecedentes en la región orientado a su aplicación en vivienda de interés social.

## **2- ÁMBITO DE ESTUDIO:**

### **2.1. Ubicación: Características de la zona**

El procedimiento empleado en la ejecución de pozos para pilotes colados in situ involucra la inyección de agua, generando barros de excavación constituyéndose en un residuo de construcción y demolición (RCD) de estado inicial líquido, cuyo contenido de agua es del orden del 50 % del peso seco del suelo. La naturaleza de este material hace que se constituya en insumo fundamental para el desarrollo de nuevos negocios relacionados con el aprovechamiento de un residuo de construcción y demolición, como son considerados en la región de estudio los barros 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 monetario alguno y con ellos es posible construir componente para atender la demanda de viviendas de interés social.

En las recientes jornadas realizadas en el CCIR para el lanzamiento de la Bolsa de Subproductos de la Región Central de Santa Fe, se mostraron algunos procesos de reutilización de residuos como materia prima de otros procesos. Este cambio de enfoque, reemplaza la caracterización de “residuo” por “Subproducto” o materia prima para otro proceso, es lo que busca impulsar la bolsa de subproductos, que operativamente intentará conectar quien tiene el “subproducto” con aquel que desee usarlo como materia prima para su proceso o desarrollar uno nuevo. Este puede ser el caso de especímenes como ser ladrillos, baldosas, entre otros, utilizando estos barros de excavación, como material de baja resistencia controlada (MBRC).

### 3.- METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló según el siguiente proceso metodológico:

- Ubicación del material de estudio y cuantificación del material disponible.
- Definición de las variables de estudio. Identificación de la unidad de análisis tomando como patrón los bloques realizados con barros de excavación estabilizados con cemento.
- Caracterización del material seleccionado y utilizado.
- 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.
- Diseño de metodología para resguardo y almacenaje.
- Confección de planillas para la recolección de datos con codificación de las muestras para su mejor identificación.
- Aplicación de técnicas de estabilización de suelo con aglomerantes como el cemento, modificador de las características del suelo, obteniendo un material de mejor calidad. (Estas técnicas se vienen investigado y desarrollado en el mundo obteniéndose buenos resultados en los bloques de tierra comprimida).
- Análisis de distintas proporciones de cemento-tierra, la relación limo-arena presente en la tierra y la relación cemento-suelo-agua. A partir de esta etapa se adoptó las dosificaciones más apropiadas para la propuesta.

### 4.- IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS Y DE LAS VARIABLES

Las muestras se identificaron según proporción en peso y tipo de componentes (cemento, agregado fino, hormigón reciclado y agua). En dicho análisis se consideraron las siguientes especificaciones:

- |   |
|---|
| <p>→ <math>M_1</math> : suelo + arena + cemento + hormigón reciclado+ agua.</p> <p>→ <math>M_2</math> : suelo + arena fina + cemento+agua</p> |
|---|

Posteriormente se determinaron las variables y su incidencia en las propiedades de los especímenes con el objetivo de optimizar las mezclas y los modos de ejecución.

Para la determinación de las dosificaciones utilizadas en los diferentes prototipos se trabajó con los siguientes criterios:

- Para los especímenes  $M_1$  se tomó el peso del cemento con relación al peso seco de la suma de (suelo+arena+reciclado),
- Para el caso de los prototipos  $M_2$  se consideró el peso del cemento (suelo+arena).
- La propuesta se ha orientado a lograr especímenes tales como ladrillos y baldosas 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, sin costo y que no cuenta con una deposición final aceptada.

En la Tabla 1 se muestran las proporciones utilizadas:

**Tabla 1- Dosificaciones de los prototipos**

MATERIALES	M1 <sup>8</sup>	M1 <sup>10</sup>	M2 <sup>8</sup>	M2 <sup>10</sup>
<b>Cemento CPN40</b>	8	10	8	10
<b>Suelo</b>	<b>33,65</b>	<b>32,24</b>	<b>33,65</b>	<b>32,24</b>
<b>Arena Silícea</b>	<b>29,88</b>	<b>28,63</b>	<b>59,76</b>	<b>59,76</b>
<b>AR 25</b>	<b>29,88</b>	<b>28,63</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>% real de cemento en relac. al peso seco de (suelo+arena+AR)</b>	<b>7,04</b>	<b>11,73</b>	-----	-----
<b>% real de cemento en relac. al peso seco de (suelo+arena)</b>	-----	-----	<b>7,04</b>	<b>11,73</b>
<b>% real de cemento en relac. al peso seco del total de la mezcla</b>	<b>6,58</b>	<b>10,50</b>	<b>6,58</b>	<b>10,50</b>

#### 4.1.- MATERIALES UTILIZADOS:

Se partió de trabajos realizados anteriormente en el Laboratorio de Ingeniería Civil<sup>(9),(10)</sup> de la Facultad Regional Rafaela de la UTN sistematizando el curado y los ensayos, obteniendo comportamientos físicos y mecánicos según las exigencias de la normativa vigente.



**4.1.1- Suelo:** Se procedió a secar los barros de excavación profundas para pilotes (mezclas de cota -2,00 m a -13,00m), siendo posteriormente triturados y tamizados. Se caracterizaron dichos barros identificando las variables y su incidencia en las propiedades de los especímenes, con el objetivo de lograr la mejor estabilización y los modos de ejecución.

**Tabla 2 . Caracterización de lo suelos**

Determinaciones	Ensayos clasificación	Suelos profundos (barros de excavación)
<b>Límite de Atterberg</b>	LL	32,29
	LP	24,10
	IP	8,20
<b>Clasificación</b>	SUCS	<b>ML</b> ( Limos inorgánicos de mediana compresibilidad)
<b>Sulfatos</b>	Determinación de azufre inorgánico	S = 119,2 mg S/100g suelo SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> 357,6 mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /100 g de suelo

**4.1.2.- Arena:** Se aportó como agregado natural arena silíceo mediana del río Paraná (Santa Fe) la que fue acopiada en estado seco preservándola del humedecimiento debido a condiciones atmosféricas y de la contaminación con material orgánico.

**4.1.3.- Reciclado:** De la trituración del hormigón recogido se obtuvieron tres tamaños de agregados, designados en función de su tamaño máximo (T.M.) AR 37,5; AR 25,4 y AR 9,5 caracterización realizada en el Laboratorio de Ingeniería Civil<sup>11</sup>. Se utilizó agregado fino proveniente de hormigón triturado, utilizado como reciclado en la mezcla el tipo AR 9,5.

**4.1.4.- Cemento:** Se utilizó cemento portland CPN 40 al que no se le incorporó aditivos de ninguna índole.

**4.1.5.- Agua:** Se utilizó agua potable guardando las mismas exigencias que las demandadas para la elaboración de hormigones (Reglamento CIRSOC 201; Norma IRAM 1601). La cantidad de

<sup>9</sup> - SÁNCHEZ S, BEGLIARDO H., CASENAVE S., M. FORNERO, SCHUK J. LSCC elaborados con barros de excavación para pilotes 10 PANIGATTI, M. C, BEGLIARDO, H; GRIFFA, C.-"Relevamiento de residuos en la ciudad de Rafaela y Departamento Castellanos-Santa Fe", 4º Encuentro PROCQMA, San Rafael (Mza), 2006.

<sup>11</sup> Reciclado de hormigones sin preselección en origen, Autores: Tonda, Marcelo; Begliardo, Hugo; Panigatti, María Cecilia,

agua que se utilizó se definió en base a la trabajabilidad deseada de la mezcla, la que correspondió esencialmente al de una masa fluido-viscosa, por lo que el porcentaje en peso de la mezcla varió de un 20% a un 27%.

**4.1.6.- Cemento:** Se utilizó cemento Portland MRS, trabajándose con el 8% y 10% de cemento en peso de suelo seco.

## 5.- CURADO:

Para asegurar un fraguado eficiente, se protegieron los especímenes del sol y la lluvia cubriéndolos con un nylon de 4 micrones, sometiéndolos a un riego de agua en forma de fina lluvia durante 7 días en la cámara húmeda del laboratorio. Todas las muestras de prueba fueron almacenadas en un cuarto de curado, extrayéndose a media que se realizaban los ensayos. (Foto 1).



## 6.- ELABORACIÓN DE LOS PROTOTIPOS:

### 6.1.- DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA:

Para la ejecución de la investigación se realizaron 3 pastones para cada dosificación por lo que se confeccionaron 54 prototipos teniendo un total de 216 especímenes en sus diferentes variantes (ladrillos, probetas cilíndricas, probetas cúbicas, y baldosas).

**Tabla 3.** Prototipos

Tipo	M1 (8%)	M1 (10%)	M2 (8%)	M2(10%)	TOTAL
Probetas Cilíndricas	15	15	15	15	60
Baldosas	15	15	15	15	60
Probetas cúbicas	9	9	9	9	36
Ladrillos	15	15	15	15	60
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>216</b>

## 7.- ENSAYOS:

Se evaluaron los protocolos existentes de ensayos normalizados para materiales tradicionales y se determinaron los siguientes ensayos según se detallan en la Tabla 4

**Tabla 4.** Tipo de ensayo s/ tipo de probeta

Prototipo	Ensayos	Tiempo
Probetas Cilíndricas	Compresión	7, 14 y 28 días
	Tracción por compresión diametral	28 días
Baldosas	Flexión	28 días
Probetas cúbicas	Compresión	7, 14 y 28 días
Ladrillos	Compresión	7, 14 y 28 días
	Flexión	28 días
	Adherencia	28 días

### 7.1.

#### Descripción de los ensayos:

En el laboratorio de Ingeniería Civil se hicieron los siguientes ensayos: Identificación de suelos (Límites de Atterberg y clasificación según Casagrande S.U.C.S.).

Identificación de los suelos en trabajo de campo.

Determinación cuantitativa del contenido de sulfatos inorgánicos (extracción con  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y determinación de sulfato por Método Turbidimétrico con espectrofotómetro a 420 nm).

Caracterización física del agregado natural y reciclado<sup>12</sup>: Tanto los agregados naturales como el reciclado fueron sometidos a ensayos para su caracterización registrándose sus valores en la Tabla 5 y Tabla 6. En los agregados reciclados, dada su porosidad en relación a las arenas se halló la evolución de la absorción en el tiempo, factor que ha sido de utilidad para regular la consistencia y tiempo de amasado de los pastones para la realización de los especímenes. Por lo expuesto se consideró que el tiempo de 10 minutos es un buen criterio de amasado de los pastones.

**Tabla 5.** Caracterización física del agregado natural y reciclado

Designación	T.M (mm)	M.F	Absorción		
			5 minut.	10 minut	25 hs.
AN (Arena)	--	2,54	--	--	0,18%
AR 37,5	37,5	7,73	3,11%	3,66%	4,43%
AR 25	25,4	6,55	3,56%	4,37%	5,19
AR 9,5	9,5	3,9	--	--	8,46%

**Observaciones:**

AN: Arena

AR: Agregado reciclado

**Tabla 6:** Mortero adherido en el agregado reciclado

Designación	Mortero adherido (%)
AR 37,5	17,34
AR 25,4	41,83
AR 9,5	65,72

▪ Método de ensayo Estándar para Consistencia de Flujo en Materiales de Baja Resistencia Controlada (MBRC): Para determinar la consistencia de flujo del MBRC fresco se tomó como documento de referencia los Estándares de la norma ASTM (C 143 Método de Ensayo para Revenimiento del concreto de cemento Hidráulico). Este método es recomendable para mezclas que contienen solamente arena o bien agregados inferiores a 19;0 mm y aporta un procedimiento para determinar la fluidez de la mezcla. La consistencia de flujo, es una medida de la extensión de un predeterminado volumen de MBRC lograda mediante la remoción del cilindro de flujo dentro de un tiempo especificado. Debido a que el MBRC se extiende puede ocurrir segregación por lo que la medición se realiza sobre la mezcla cohesiva en la dirección de dos diámetros perpendiculares entre sí. Se procedió como lo describe la norma tomando como medida definitiva el promedio de ambas. Para mezclas fluidas sin requerimiento de vibración el diámetro promedio del círculo típico esta comprendido entre los 20 a 30 cm., tomando en el trabajo como valor de fluidez de los pastones un diámetro promedio comprendido entre los 20 y 22 cm.

Foto 2 . Consistencia de Flujo



**8.- PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN**

El procedimiento utilizado fue realizado siguiendo los siguientes pasos:

Como premisas de trabajo se consideró

- Para cada diseño de la mezcla (M1 Y M2) se elaboraron pastones según la Tabla 1 y determinándose la humedad de sus componentes.

<sup>12</sup> Idem (1)

- Para una mejor homogeneidad del producto se tomó como criterio colocar en la hormigonera primeramente la arena, luego el suelo y el cemento procediendo al mezclado en seco. Una vez lograda la homogeneidad se le adiciona el agua en la proporción establecida para un valor de fluidez comprendido entre 20 y 22 cm.
- Una vez incorporada el agua se deja en funcionamiento la hormigonera por 10 minutos, para posteriormente dejar descansar la mezcla por el término de 7 minutos, reanudando el mezclado por el término de 5 minutos. Antes de proceder al llenado de los moldes se determina el valor de fluidez del pastón.

Foto 3 - Proceso de fabricación



## 9. ENSAYOS Y RESULTADOS:

### 9.1. Probetas cilíndricas: M1c y M2 c

9.1.1.- **Compresión simple:** Los cilindros ensayados a compresión simple tienen las siguientes dimensiones 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.

Tabla 6 . Ensayos de compresión simple ( kg/cm<sup>2</sup>)

Muestra	7 días	14 días	28 días
M1 <sup>10</sup> c	14,32845	21,8242	33,944
M1 <sup>8</sup> c	10,39532	16,1936	20,769
M2 <sup>10</sup> c	12,6570	19,617	26,3668
M2 <sup>8</sup> c	9,864	12,3574	19,9770



Foto 2. E. Compresión

### 9.1.2.- Tracción por compresión diametral

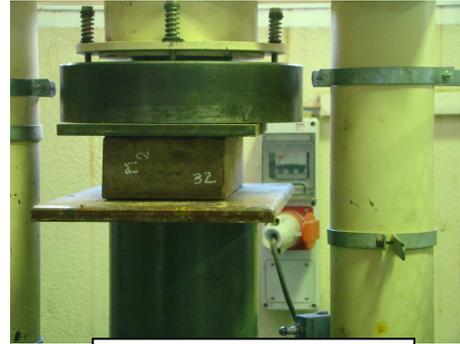


Muestra	Tracción p/compresión diametral (kg/cm <sup>2</sup> )
M1 <sup>10</sup> c	7,961
M1 <sup>8</sup> c	4,291
M2 <sup>10</sup> c	6,645
M2 <sup>8</sup> c	3,766

## 9.2. - LADRILLOS: M1<sub>L</sub> y M2<sub>L</sub>

Muestra	7 días	14 días	28 días
M1 <sup>10</sup> c	23,338	35,443	59,031
M1 <sup>8</sup> c	21,081	30,437	36,782

<b>M2<sup>10</sup> c</b>	20,384	32,241	52,812
<b>M2<sup>8</sup> c</b>	17,006	27,573	35,449



Compresión Simple

**9.2.1.- Compresión simple:**

**9.2.2.- Flexión**

**Flexión (kg/cm2)**

Muestra	Flexión (kg/cm2)
<b>M1<sup>10</sup> c</b>	<b>3,112</b>
<b>M1<sup>8</sup> c</b>	<b>3,024</b>
<b>M2<sup>10</sup> c</b>	<b>2,965</b>
<b>M2<sup>8</sup> c</b>	<b>1,679</b>



Ensavo de Flexión

**9.2.3.- Esfuerzo de adherencia por corte:**

Tabla 7 . Adherencia

Muestra	Resistencia (Kg/cm2)
<b>M1<sup>10</sup> c</b>	1,36
<b>M2<sup>10</sup> c</b>	1,063



**9.3- PRISMAS: M1 p y M2 p**

**9.3.1.- Compresión simple**

Tabla 8. Compresión simple

Muestra	7 días	14 días	28 días
<b>M1<sup>10</sup> c</b>	12,175	19,331	33,213
<b>M1<sup>8</sup> c</b>	14,673	18,853	19,972
<b>M2<sup>10</sup> c</b>	11,904	16,854	31,516
<b>M2<sup>8</sup> c</b>	10,702	13,311	19,451



Compresión Simple

#### 9.4. BALDOSAS M1 b y M2 p

Las baldosas fueron elaboradas sin capa de desgaste (Foto 3) con excepción de seis de ellas que se prepararon con capa de desgaste (Foto 4) elaborada en el mismo momento que se coló la capa de base. En tres de ellas en la mezcla de la capa de desgaste se colocó suelo zarandeado (Tamiz N° 100) según la siguiente proporción en volumen 1:1:2 (1: cemento; 2: arena; 1: suelo), adicionándole ferrite para darle coloración. Las baldosas realizadas con capa de desgaste luego de 48 de fabricación fueron sumergidas en agua para su curado durante 5 días.



Foto 3



Foto 4

#### 9.5. INMERSIÓN EN AGUA:

Se colocó en agua un trozo de cada uno de los prototipos ensayados (M1 Y M2) durante 20 días y posteriormente se dejan secar en ambiente de laboratorio.



#### 10 - CONCLUSIONES

- Aspectos generales de los resultados:

- Los resultados obtenidos, son considerados positivos para prototipos con mayor contenido de cemento.
- La presencia de sulfatos en suelos o en el agua torna aconsejable el empleo de un cemento resistente a ellos y además es aconsejable realizar la trazabilidad en el tiempo del aspecto de los especímenes sumergidos en agua y sin sumergir.
- Debido a la humedad registrada en el centro de las probetas ensayadas a los 28 días (aprox.20 %) es recomendable comenzar con los ensayos a los 28 días y no a los 7 días como fue propuesto en la investigación.
- Si bien las probetas presenta bordes bien definidos, un corte transversal realizado a las mismas deja ver una falta de homogeneidad en la estructura del prototipo. Esto se puede traducir en un borde de aproximadamente 5 mm de un color más claro que en el centro y cuya dureza es menor sin modificar su aspecto exterior de contornos firmes. Esto hace inferir la necesidad de reducir el agua de amasado o bien trabajar con aditivos del tipo fluidificantes.

- La adición de agregado reciclado (M1) a la mezcla de suelo cemento permite obtener un material que reúne las siguientes ventajas:

- Mínimo cambio volumétrico por pérdida de humedad en el orden del 1,06% en la dirección de la arista mayor (29,5). Inalterabilidad al sumergirlo en agua.
- Para un contenido del 10 % de cemento se logra una resistencia a la compresión a los 28 días del orden de 59,031 kg/cm<sup>2</sup> siendo similar o superior a la del ladrillo común de arcilla cocida (40 kg/cm<sup>2</sup>). Para una estabilización del orden del 8% (valor real del 6,58%) presentan menor resistencia, 52,812%, es decir es un 10,54% menor.
- Los especímenes cuyo contenido de agua fue menor utilizándose una regla para nivelar la superficie debido a que la fluidez no era suficiente para autonivelarse presentaron mayor resistencia a la compresión a los 28 días (Ej. M1 con 10% de cemento y 20% de agua: Ladrillos: 61,5 Kg/cm<sup>2</sup>; Cilindros: 33,3 kg/cm<sup>2</sup>, Prismas: 30,52 Kg/cm<sup>2</sup>) que aquellos cuyo contenido de agua era mayor y su autonivelación es automática luego de ser volcada la

- mezcla en el molde. (Resistencia a la compresión a los 28 días, M1 10% de cemento y 27% de agua : Ladrillo: 59,03 kg/cm<sup>2</sup>; Cilindros: 33,94 Kg/cm<sup>2</sup>; Prismas: 33,21 kg/cm<sup>2</sup>)
- Para los prototipos elaborados sin el agregado reciclado (M2 10%) presenta características diferenciadas con respecto a los que se les incorporó agregado reciclado, marcando las siguientes diferencias:
    - Al igual de los pastones del tipo M1 presentan sensiblemente mayor cambio volumétrico en el orden del 1,13% en la dirección de la arista mayor (29,5).
    - Inalterabilidad al sumergirlo en agua para prototipos con 10 % de cemento.
    - Poca estabilidad de las aristas en los especímenes M2 estabilizados con el 8% de cemento.
    - Para un contenido del 10 % de cemento se logra para los ladrillos una resistencia a la compresión a los 28 días del orden de 52,81 kg/cm<sup>2</sup> siendo similar o superior a la del ladrillo común de arcilla cocida (40 kg/cm<sup>2</sup>). Para una estabilización del orden del 8% (valor real del 6,58%) presentan menor resistencia, 35,45%, es decir es un 32,88% menor no recomendado para su elaboración.
    - Para aquellas probetas con menor contenido de agua presenta igual comportamiento que las probetas M1.
  - Los ensayos de adherencia realizados para los especímenes M1 y M2 presentan una línea de falla sobre la capa superficial de 5 mm mencionada anteriormente por lo que este aspecto es para considerar al momento de determinar el contenido de agua de los pastones. (Tabla 7)

Los resultados alcanzados presentan los avances sobre un proyecto de investigación de mayor envergadura a futuro utilizando aditivos que permitirán reducir el contenido de agua reduciendo las patologías mencionadas y mejorando la adherencia entre las piezas.

Para las baldosas se recomienda un curado igual que las baldosas denominadas "calcáreas", es decir, sumergirlas en agua luego de haber transcurrido 48hs de su elaboración. La capa de desgaste le aporta resistencia no obstante se recomienda colocarlos sobre una base firme.

Para dosificaciones del 10% de cemento con la incorporación de agregado reciclado, 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 rasada.

El aumento de la población de datos permitirá determinar valores característicos, útiles para elaborar normativas sobre este material y particularmente interesante resulta el aprovechamiento de dos residuos de construcción y demolición, como son considerados en la región los barros de excavación de pilotes y los RCD proveniente de las obras civiles. Este recurso configura una solución medioambiental que traslada sus beneficios a la faz económica y social, por cuanto al presente no tiene costo alguno y con ellos es posible construir ladrillos para atender la demanda de viviendas de interés social.

## 11.- BIBLIOGRAFIA

- PANIGATTI, M. C, BEGLIARDO, H; GRIFFA, C.-"Relevamiento de residuos en la ciudad de Rafaela y Departamento Castellanos- Santa Fe", 4° Encuentro PROCQMA, San Rafael (Mza), 2006.
- SÁNCHEZ S, BEGLIARDO H., CASENAVE S., M. FORNERO, SCHUK J. **LSCC ELABORADOS CON BARROS DE EXCAVACIÓN PARA PILOTES. 978-950-42-0101-4.**
- Revista del ISCYC (INSTITUTO Salvadoreño del Cemento y del Concreto) Año 10, Número 39. Diciembre 2005. ([www.iscyc.net](http://www.iscyc.net)). 32 p
- Comportamiento de Mezclas de Suelo – Cemento Fluido. Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano. Viceministerio de Obras Públicas, unidad de investigación y desarrollo vial. San salvados (Rep. de el Salvador).
- SÁNCHEZ, M.; BEGLIARDO, H.; CASENAVE, S; SCHUCK, J. "Elaboración de bloques de suelo cemento con barros de excavación para pilotes", 978-85-86036-41-5, 2008.
- CASTRO \_ ULLOA, F.O., JIMÉNEZ \_ DURÁN, P.O., POCASANGRE \_ ALVARADO, A.R., [2000]. "Estudio técnico económico para la fabricación de ladrillo de suelo-cemento y agregado de peso ligero, como posible sustituto del ladrillo de barro, para evitar el deterioro ambiental," Tesis, Universidad de El Salvador, San Salvador, 300p.
- TERZAGHI, Karl- PECK, Ralph B.. Mecánica de Suelos. El Ateneo. Argentina

- JIMÉNEZ SALAS, José A. . Mecánica de Suelos y sus Aplicaciones en la Tecnología. Dossal España.
- BOWLES, Joseph E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil McGraw-Hill Latino Americana S.A.
- OTTAZZI PASINO Gianfranco- MARTINS NEVES, Celia M.- Bargas Neumann, Julio- Ribas Hermelo, José-
- BERRETTA, Horacio - GATANI, Maria. Ladrillos de Suelo Cemento. Publicación del Centro Experimental de la Vivienda Económica. Córdoba, Argentina
- INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO. Construcción con Suelo Cemento. Publicación. Buenos Aires, Argentina, 1993.

## **12.- AUTORES**

Directora

- Sánchez, Mirta Amalia: Ing. En Construcciones, Especialista en Metodología de la Investigación Científica y Técnica, Profesor Titular Ordinario de la cátedra Ingeniería Civil II. Investigadora. Investigador UTN Categoría C.

[mirta.sanchez@frra.utn.edu.ar](mailto:mirta.sanchez@frra.utn.edu.ar); [msanchp@yahoo.com.ar](mailto:msanchp@yahoo.com.ar)

Codirector

- Begliardo, Hugo Félix, Ingeniero Civil, Profesor Asociado Ordinario de la cátedra Análisis Estructural I de la carrera de Ingeniería Civil. Director del Laboratorio de Ingeniería civil de la FRRa-UTN. Investigador UTN Categoría D.

[hfbegliardo@wilnet.com.ar](mailto:hfbegliardo@wilnet.com.ar); [hugo.begliardo@frra.utn.edu.ar](mailto:hugo.begliardo@frra.utn.edu.ar)

Investigador:

- Casenave, Silvia Noemí. Ingeniera en Construcciones. Especialista en Docencia Universitaria. Profesor Asociado de la cátedra Estructuras de Hormigón de la carrera de Ingeniería Civil. Investigadora. Investigador UTN Categoría C.

[silvia.casenave@frra.utn.edu.ar](mailto:silvia.casenave@frra.utn.edu.ar); [casil@arnet.com.ar](mailto:casil@arnet.com.ar)