

VALIDACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA CONVENIENCIA DE IMPLEMENTACIÓN DE BARRERAS IMPERMEABLES PERIMETRALES ALTERNATIVAS, EN VIVIENDAS SOCIALES

Eje 2: Tecnología para la construcción sustentable

Capdevila Julio Alfredo¹

Zanni Enrique Santiago²

¹ Fac. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, U.N.C., Argentina, jcapdevila@unc.edu.ar

² Fac. de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, U.N.C., Argentina, arzanni@gmail.com

RESUMEN

Una gran parte del área central de la República Argentina, está cubierta por un manto de suelos loésicos colapsables, de espesor variable según la localización. Los mismos están formados por partículas de limo unidas por puentes de arcilla, susceptibles de sufrir procesos de colapso por humedecimiento bajo carga. Este comportamiento ocasiona que las estructuras apoyadas sobre ellos resulten lesionadas si se incrementa el contenido de humedad del suelo de fundación, por ingreso de agua en la zona afectada por el bulbo de presiones. Entre las medidas que intentan prevenir dicho efecto, se encuentran los canales sanitarios, desagües pluviales, aumento en la profundidad de implantación y las veredas perimetrales. Éstas últimas permiten alejar el agua de lluvia de zonas próximas a las fundaciones. Respecto del diseño tecnológico de las veredas perimetrales, no existe en la literatura alguna referencia al comportamiento de este tipo de estructuras, como tampoco hay detalles respecto de materiales que sean aptos para su construcción ni de las dimensiones apropiadas para su ejecución. Asimismo, hay en nuestro medio una arraigada tradición a ejecutar fundaciones superficiales lineales, materializadas mediante cimientos por empatamiento de hormigón ciclópeo o plantillas corridas de hormigón armado. Las mismas traen aparejada una alta vulnerabilidad al colapso por asientos diferenciales ante la infiltración de agua. Este trabajo evalúa la conveniencia de implementar distintas alternativas de barreras perimetrales y analizar la eficiencia de las mismas en relación a la modificación del frente de humedecimiento bajo fundación superficial. Asimismo, se analizan y discuten los costos de reparación de la vivienda ante un eventual colapso del suelo. La propuesta se valida mediante la comparación del costo de construcción de las barreras alternativas respecto de la tradicional, a la cual se agrega el costo de rehabilitación de una vivienda tipo, de 2 dormitorios.

PALABRAS CLAVE: SUELOS COLAPSABLES - BARRERAS PERIMETRALES - COSTOS



1. INTRODUCCIÓN

Todas las construcciones manifiestan, en mayor o menor medida, algún grado de fisuración. En algunos casos se presentan de manera evidente y producen inseguridad e inquietud y en otras no son visibles a simple vista. Las fracturas según su nivel de actividad, pueden ser estáticas, es decir que no se modifican con el tiempo, o bien dinámicas, cambiando sus características permanentemente. En general, y especialmente en construcciones livianas, el 90% de las grietas y fisuras están provocadas por movimientos de los estratos de apoyo (Bernal, 2008). Estos movimientos producen lesiones patológicas que pueden ser directas, cuando tienen su origen en los elementos soportes de las construcciones (no son observables porque están bajo tierra), o bien indirectas si los síntomas se manifiestan en las paredes o elementos estructurales del edificio y son provocadas por los movimientos del sistema suelo-fundación. Es poco probable que ocurran lesiones directas sobre la estructura de fundación, ya que generalmente los diseños y dimensionados de las fundaciones se realizan con un criterio conservador. En cambio, es altamente probable que el suelo sufra movimientos o procesos aleatorios que impliquen cierta inestabilidad en su estructura interna, provocando que el sistema suelo-fundación-estructura genere lesiones y fallas en los distintos elementos del edificio (Bernal, 2008).

El suelo de la ciudad de Córdoba

Los suelos loésicos ocupan gran parte de la provincia de Córdoba, y en particular una importante superficie de la ciudad de Córdoba. La característica fundamental del loess es su propensión a sufrir grandes cambios volumétricos cuando el mismo se encuentra en presencia de agua. Este proceso se denomina colapso y no hace falta alcanzar la saturación completa del suelo para que el mismo tenga lugar. Los procesos involucrados en el proceso de colapso del suelo han sido ampliamente estudiados en la literatura tanto para los loess argentinos (Reginatto y Ferrero, 1973; Redolfi, 1982; Rocca et. al, 1992; Rinaldi et. al, 2007), como para otros depósitos del mundo (Dudley, 1970; Barden et. al, 1973). En general se considera que el efecto de la saturación del suelo provoca una disminución de las tensiones capilares de atracción (succión matricial) entre partículas de los puentes de arcillas, lo cual conlleva a un debilitamiento de la estructura y el cierre de los poros del suelo. Las consecuencias que sufren las construcciones apoyadas sobre suelos colapsables están originadas, en la mayoría de los casos, por efecto de modificaciones en el comportamiento microestructural del suelo ante la aparición de una fuente de ingreso de agua. La interacción del suelo con el agua provoca el debilitamiento de la estructura original del suelo produciendo importantes asentamientos en construcciones, erosión superficial y tubificada. En la literatura existen una serie de recomendaciones a tener en cuenta al momento de construir sobre suelos con propensión a sufrir procesos de colapso por humedecimiento bajo carga que deberán ser evaluadas mediante modelación numérica a partir de la utilización de software específico (Aitchinson, 1973; Evstatiev, 1988; Redolfi, 2007). En la provincia de Córdoba, este fenómeno ocasiona lesiones indirectas y graves pérdidas económicas debido a daños en las construcciones, especialmente de grupos sociales más débiles. Es por ello que resulta relevante estudiar las alternativas de solución, desde un punto de vista ingenieril, para evitar la aparición de dichos daños en las fundaciones superficiales.



2. DESARROLLO

Las barreras perimetrales impermeables

Una de las principales medidas preventivas para impedir el ingreso de agua de lluvia bajo una fundación superficial evitando el humedecimiento del suelo de apoyo y el consecuente colapso, en presencia de limos potencialmente colapsables, resulta la “vereda perimetral”. En este trabajo se reemplazará el término “vereda” por el nombre de barrera perimetral impermeable. A continuación, se describen brevemente cada una de las alternativas de barreras perimetrales propuestas.

- Vereda perimetral de hormigón: Constituyen la barrera perimetral impermeable más utilizada para alejar el agua de lluvia de las fundaciones superficiales. Consisten en un contrapiso de hormigón de 8cm de espesor y 40cm de ancho, quedando la misma incorporada visualmente al edificio.

- Barrera compactada de suelo-bentonita: Se trata de una barrera de suelo compactado a partir de la utilización de suelos loésicos locales del centro de la República Argentina, con la incorporación de bentonita, capaz de reducir el valor de permeabilidad de la mezcla debido a su característica de expansividad y baja conductividad hidráulica (Francisca y Glatstein, 2010; Malusis et. al, 2009).

- Barrera perimetral de polietileno de alta densidad (PEAD): Consiste en una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE, de sus siglas en inglés High-Density Polyethylene). La normativa internacional referente a la ejecución de barreras para enterramientos sanitarios limita el espesor mínimo que debe adoptar esta geomembrana para cumplir con su función (Rowe et. al, 2010). En este trabajo se utilizará la misma a los fines de evitar el paso de agua de lluvia generando una superficie de escurrimiento ligeramente enterrada, con lo cual las solicitaciones a las que estará expuesta son leves adoptando un espesor de 1.5mm. Entre los inconvenientes que presentan estas membranas se destaca el envejecimiento o degradación con el tiempo, resultando los modos más frecuentes la oxidación, la afectación por radiación ultravioleta (UV) y la degradación térmica.

- Barrera perimetral de policloruro de vinilo (PVC): Se propone la inclusión de una geomembrana de PVC de 1mm de espesor. Las mismas se caracterizan principalmente por su alta flexibilidad biaxial que le permite acomodarse a la superficie de apoyo incluso en asentamientos diferenciales importantes, y por mantener sus propiedades constantes en un amplio rango de temperaturas. Además, poseen una baja permeabilidad, relevante para su utilización en este trabajo.

Modelación numérica de las barreras

Capdevila et al. (2013) realizaron la modelación numérica de las barreras perimetrales propuestas en este trabajo a partir de su implementación en el software de elementos finitos SEEP/W. Para ello se modeló la vereda de hormigón a nivel superficial, mientras que las otras tres barreras se enterraron 0.20m respecto del nivel de terreno natural. Esta herramienta informática permitió concluir que las barreras perimetrales dispuestas subsuperficialmente (suelo-bentonita, geomembrana de HDPE y PVC) generan un aumento del recorrido del flujo de agua infiltrada por lluvias, aumentando la eficiencia de las mismas, respecto de la barrera dispuesta al ras del terreno natural (vereda de H^o). En este trabajo se validarán los resultados obtenidos en la modelación numérica, mediante la implementación de las distintas barreras en un modelo físico a escala natural.



El modelo físico y las barreras perimetrales

La implementación de las barreras perimetrales impermeables se realizó a partir de la ejecución de un modelo físico a escala natural de un cimiento de tipo “común”. Este sistema de sustentación es de tipo superficial y, generalmente, utilizado en viviendas económicas. Sobre el cimiento se construyeron 3 hiladas de mampostería de bloques cerámicos, tal como se indica en el esquema de la Fig. 1.a y se puede observar en las fotografías de la Fig. 2. El cimiento se realizó con hormigón simple de baja resistencia, con un dosaje aproximado de 1:3:3 (cemento:arena:piedra) y con dimensiones de 0.40m de ancho y 0.40m de altura, con 5m de longitud y a una profundidad de desplante de 0.80m. A continuación, se ejecutaron 3 hiladas de mampostería de bloques cerámicos de tipo portantes asentados con un mortero a la cal. El sistema cimiento-muro se dividió en cinco tramos de 1m de largo, sobre los cuales se dispusieron las distintas alternativas de barreras perimetrales, reservando el primer tramo sin ningún tipo de cobertura (ver Fig.1.b).

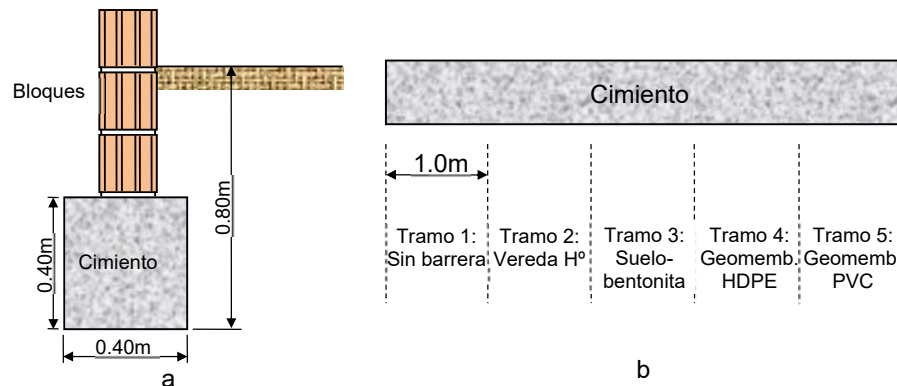


Fig. 1- Esquema del modelo físico realizado. a) Corte transversal. b) Planta.

Simultáneamente con la ejecución del muro de bloques cerámicos se fueron ejecutando, según los tramos de 1m de longitud (ver Fig. 1.b), las distintas barreras perimetrales impermeables propuestas. A continuación, se detalla el procedimiento constructivo de cada una de éstas. La primera barrera ejecutada, en el Tramo 2, es la vereda perimetral de hormigón simple de 1m de largo, 0.40m de ancho y 0.10m de espesor a nivel del terreno natural con una dosificación de 1:3:3 (cemento:arena:piedra) en volumen. Para ello se excavó la zona, se compactó el terreno natural mediante pisón manual, a continuación, se vertió hormigón hasta cubrir 0.05m de espesor, se dispuso un film de polietileno de 200mm de espesor y 0.30m de ancho dentro de la masa de hormigón fresco, que se extendió hasta una de las juntas horizontales del muro de mampostería quedando aprisionado dentro del mismo, de manera de garantizar la estanqueidad de la junta vereda-muro (ver Fig. 3.a). Por último, se completó el vertido de hormigón hasta completar el espesor de diseño (ver Fig. 3.b).



Fig. 2- Fotografías del modelo físico realizado. a) Ejecución del cemento “común”. b) Colocación de los mampuestos

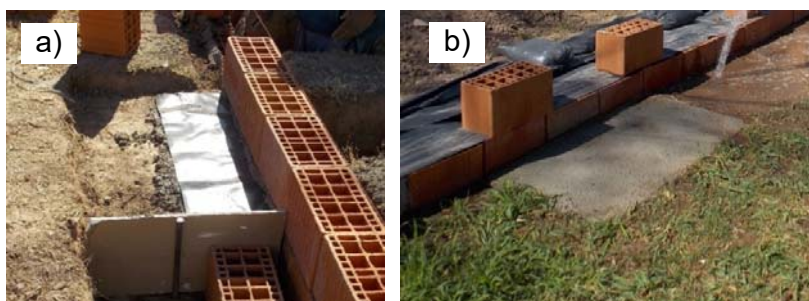


Fig. 3- a) Colocación film de polietileno para estanqueidad en junta vereda-muro. b) Vereda de hormigón ejecutada.

En el Tramo 3 se construyó la barrera de suelo-bentonita compactada con 0.40m de ancho, 0.10m de espesor y a una profundidad de 0.20m (ver Fig. 4.a). Para su ejecución se utilizó el limo loessico obtenido de la excavación del sistema de sustentación del modelo, que luego fue mezclado con un 3% de bentonita en peso (Capdevila et. al, 2013), para su posterior compactación con un pisón manual. Previamente a su ejecución se compactó el suelo de apoyo para minimizar asentamientos. En los Tramos 4 y 5 se ejecutaron las barreras perimetrales materializadas con geomembrana de HDPE y PVC respectivamente. La metodología de ejecución resultó similar, compactando el sustrato de apoyo de las mismas y disponiendo de las geomembranas insertas dentro de la mampostería para garantizar el correcto funcionamiento de la junta con el muro. El ancho de ambas barreras se adoptó en 0.40m y se dispusieron a 0.20m de profundidad, procediendo luego a rellenar con suelo el espacio hasta alcanzar el nivel de terreno natural. En la Fig. 4.b y 4.c se puede observar la ejecución de las barreras mencionadas. En la Fig. 5 se muestra el modelo a escala natural finalizado con los cuatro tipos de barreras materializados. Se observa a la izquierda del muro, la cobertura del terreno natural realizada con film de polietileno de 200 μ m de manera de evitar el ingreso de agua de lluvias al terreno de fundación de manera no controlada.

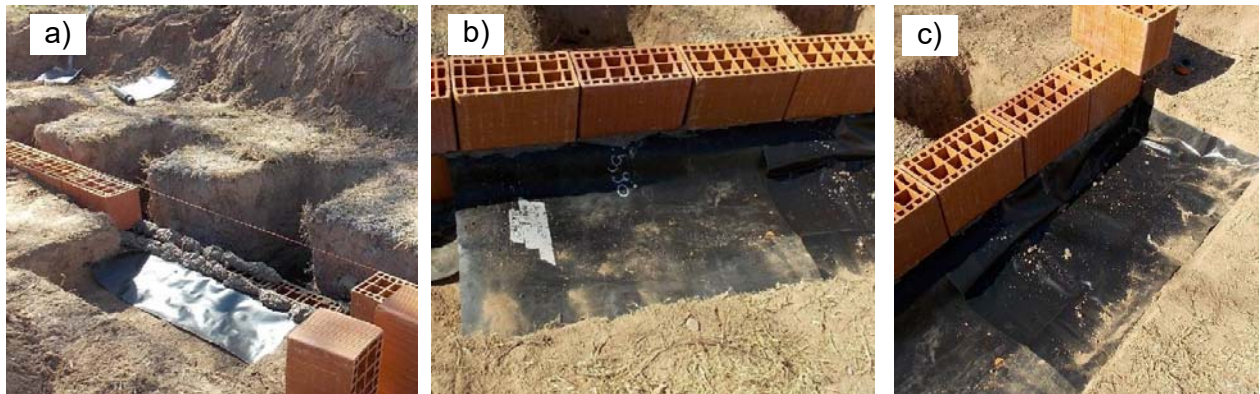


Fig. 4- a) Barrera de suelo-bentonita con film de polietileno para garantizar la estanqueidad de la junta barrera/muro. b) Barrera con geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) inserta dentro del muro y a 0.20m de profundidad. c) Barrera con geomembrana de policloruro de vinilo (PVC) inserta dentro del muro y a 0.20m de profundidad.



Fig. 5- Modelo físico a escala natural con la disposición de barreras y cobertura del terreno natural en la parte posterior del muro de bloques cerámicos.

Procedimiento de ensayo

El ensayo realizado sobre el modelo a escala natural consistió en humedecer la zona adyacente al modelo desde el muro de bloques hasta una distancia de 2m respecto del paramento del muro, en coincidencia con la modelación numérica de comparación (Capdevila et. al, 2013), abarcando los 5m de largo que ocupaba el modelo, tal como se muestra en la Figura 6. Para ello se procedió a definir la lluvia de diseño de manera de determinar el volumen de agua que se debía incorporar para llevar adelante el ensayo en condiciones similares a las que presentaría una fundación de este tipo en la ciudad de Córdoba. Según el registro pluviométrico entre los años 1981 y 1990 en la ciudad de Córdoba, el mes más lluvioso fue diciembre con 155mm precipitados (SMN, 1988). El registro pluviométrico adoptado, junto con la superficie a humedecer, prevén un volumen mensual de agua precipitado de 1500 litros, que fue distribuido, para la realización del ensayo, en 6 etapas, aportando 250 litros al suelo cada una. La distribución del agua aportada en 6 sesiones de regado, obedece a que estadísticamente ése es el número de precipitaciones mensuales en el período considerado. Las mismas fueron, aplicadas mediante una regadera tradicional, aleatoriamente durante un período de 30 días. Cabe aclarar que el ensayo se realizó durante el mes de agosto, en coincidencia con el período del año de menores precipitaciones, previendo el registro de las mismas, si ocurrían,



para considerarlas en el cómputo total, destacando que no se registraron lluvias durante el tiempo de ensayo.

Luego de 72hs de finalizada la incorporación del agua de ensayo, de manera de permitir la distribución uniforme del contenido de humedad, se procedió a retirar las barreras impermeables materializadas y excavar un pozo a cielo abierto en cada tramo ensayado. Mediante la utilización de un higrómetro electrónico de marca Spectrum modelo Fieldscout se realizaron las mediciones de humedad a las profundidades de 0.20m, 0.40m, 0,60m y 0.80m, registrando los valores encontrados. Este procedimiento se realizó en la zona próxima al cimiento, y también a 0.50m y a 1.00m en dirección perpendicular al paramento del muro.

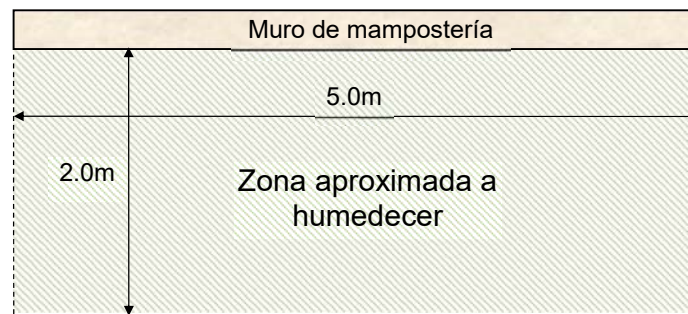


Fig. 6- Esquema de la zona a humedecer, adyacente al prototipo realizado.

Resultados obtenidos

Las mediciones de contenido de humedad realizadas mediante el sensor de humedad en suelos permitieron establecer una curva del frente de humedecimiento en función de la profundidad tanto al lado del muro y del cimiento como en las zonas próximas. En la Fig. 7 se grafica el perfil de humedades adyacente al muro/cimiento para las profundidades relevadas (0.20m, 0.40m, 0.60m y 0.80m) y según el tipo de barrera impermeable aplicada. También se incluye la variación de humedad en el tramo en donde no se dispuso barrera alguna. A partir de la observación de la Fig. 7 se destaca la eficiencia de las distintas barreras para evitar el ingreso de flujo de agua en zonas próximas a la fundación del muro, respecto de la ausencia de las mismas. Se manifiesta un efecto similar entre las barreras de suelo-bentonita, geomembrana de HDPE y geomembrana de PVC, mientras que la vereda de hormigón simple facilita ligeramente el ingreso de agua, verificando los resultados obtenidos en la modelación numérica (Capdevila et. al, 2013) que se muestra en la Fig. 8. Este comportamiento se podría fundamentar en la ubicación relativa de las barreras impermeables, teniendo en cuenta que la vereda de hormigón se dispuso sobre la superficie y el resto de las barreras a 0.20m de profundidad. En este sentido el agua que infiltra en el suelo sobre las barreras enterradas tiene mayor recorrido y a menor velocidad que en la vereda de hormigón, hasta alcanzar las zonas próximas a la fundación, siempre que se garantice la estanqueidad de la junta entre barreras y muro. La disposición subsuperficial las disimula, no afectando la estética de la edificación.

La conductividad hidráulica del material, utilizado en la barrera impermeable, no tiene relevancia para valores menores a 10⁻¹⁰ m/seg, pudiendo utilizarse aquel material que resulte más económico tanto en el costo de adquisición como de ejecución, destacando la importancia de la correcta ejecución de la junta entre la barrera y el muro. Para la barrera de suelo-bentonita compactada resulta necesario incorporar un film de polietileno que inserto dentro de la barrera se vincule al muro



por las juntas. En el caso de las geomembranas, se inserta en la junta del muro el extremo de las mismas.

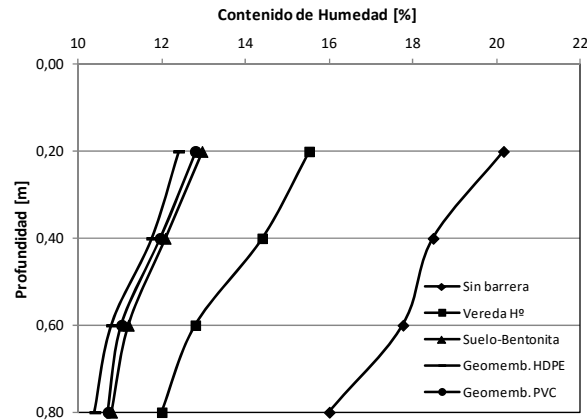


Fig. 7- Perfiles de humedad obtenidos bajo las distintas barreras en la zona adyacente al muro y al cimiento ejecutado.

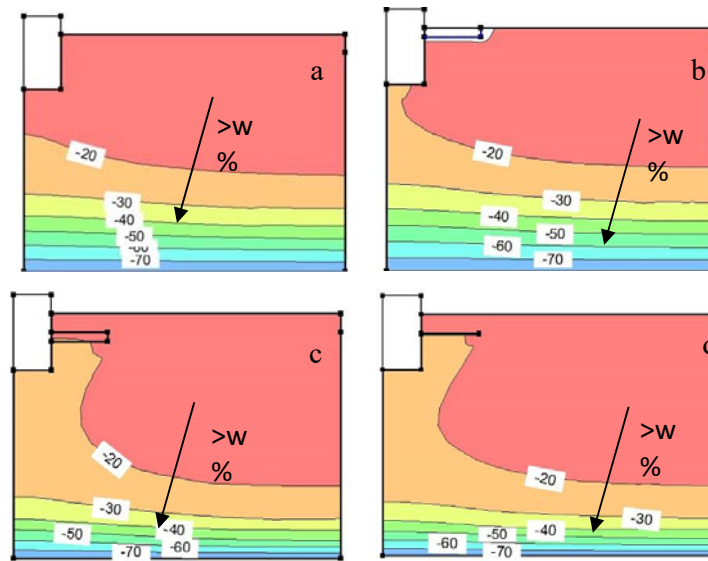


Fig. 8- Perfiles de avance de humedad obtenidos mediante modelación numérica en programa computacional SEEP/W. a) Sin barrera perimetral impermeable. b) Vereda de hormigón simple. c) Suelo-bentonita. d) Geomembrana de HDPE. Los valores indicados corresponden con la succión en kPa (Capdevila et. al, 2013)

En la Fig. 9 se presenta, para la barrera de suelo-bentonita, la variación en el contenido de humedad con la profundidad según la medición de la misma se efectúe en la zona del prototipo (0.00m), a 0.50m y a 1.00m de distancia del paramento del muro. Destacando que en las demás barreras la tendencia es la misma. El comportamiento encontrado resulta dentro de lo esperable para este ensayo.

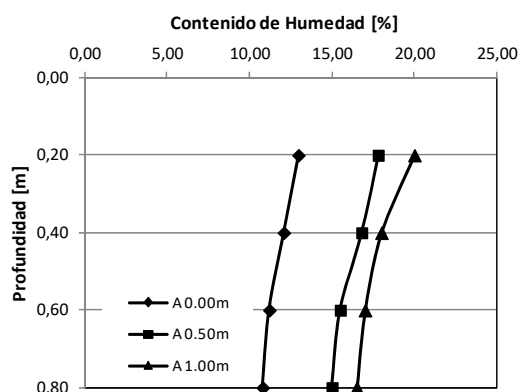


Fig. 9- Perfiles de humedad obtenidos bajo la barrera de suelo bentonita a 0.00m, 0.50m y 1.00m del paramento del prototipo.

Estadísticas de daños y comparación de costos de reparación respecto de costos de implementación de las barreras perimetrales impermeables

El colapso de este tipo de suelo, generalmente lleva asociados los siguientes daños (se mencionan sólo los más habituales):

- Deformación de vanos de aberturas, lo que ocasiona dificultades o impedimentos para su correcta apertura y cierre.
- Fracturación del sistema murario, con aparición de grietas y fisuras.
- Deformación del paquete de piso, con desnivel hacia los muros asentados.
- Eventualmente, rotura de losas, cuando los asientos diferenciales son muy importantes.
- Roturas, con pérdida de estanqueidad, de las instalaciones sanitarias enterradas, en los sectores que atraviesan muros afectados.

Tabla 1: Porcentajes de lesiones en viviendas con cimentaciones superficiales o semi-profundas (hasta 4,00 mts), asociados a problemas en el suelo de apoyo.

Causa de las lesiones	Porcentaje de viviendas afectadas
Heterogeneidad del suelo	20%
Insuficiente capacidad del estrato (ausencia de estudios)	10%
Suelos rellenados mal compactados	20%
Colapso de suelos colapsables por saturación	25%
Pérdida de confinamiento por excavaciones vecinas	15%
Varios	10%

Ante la falta de estadísticas debidamente documentadas por la Secretaría de Vivienda de la Provincia de Córdoba, acerca del porcentaje de viviendas dañadas por asientos diferenciales por fallas en el suelo de apoyo, en este trabajo se proponen porcentajes de viviendas dañadas, asociadas a problemas en la cimentación, en relación con las lesiones más frecuentes (ver Tabla 1) (Pizzi, 1986).

A partir de la Tabla 1 se puede concluir que el 60% de los daños que se producen en edificaciones obedecen a colapsos de suelos y fundaciones. Además, se deduce que de ese 60%, el 25% de los daños estructurales obedece a colapso de suelos por sobre-humectación de los mismos. Esto significa un 15% del total construido. Si se considera que durante el período 2003/2015, se



construyeron 450.000 viviendas con créditos sociales o hipotecarios del gobierno (PEN, 2016), haciendo una proyección nacional, esto significa que hay 67.500 viviendas dañadas por esa causa, lo que significaría un promedio anual de 5.625 viviendas que requieren reparación. Una vivienda económica consta de una superficie promedio de 100 m² aproximadamente, y puede suponerse (ante la falta de estadísticas), que el porcentaje de afectación de cada unidad alcance un 20% de su superficie (10m de fachada e igual medida de contrafachada, para una casa entre medianeras), pueden estimarse como necesarias las reparaciones mínimas consignadas en la Tabla 2. En la Tabla 3 se presenta el costo estimado para la ejecución de diversas alternativas de barreras perimetrales impermeables, como opción para evitar asentamientos diferenciales y los daños asociados, en la vivienda económica de 100m² de superficie, estimando un perímetro de 20m lineales libres.

Tabla 2: Costo tentativo de reparaciones para vivienda de 100 m², afectada en el 20% de su superficie.

COSTO ESTIMADO DE REPARACIONES					
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	\$ UNITARIO	\$ TOTAL	OBSERVACIONES
Demolición pisos y contrapisos	m ²	8,00	284,00	2.272,00	
Excav. p/cabezales pilotes	m ³	2,00	275,00	550,00	
Ejecución micropilotes hincados	ud	8,00	18000,00	144.000,00	Prof = 10 mts
Ejecución cabezales de H°A°	ud	8,00	5138,00	41.104,00	0,5 m ³ de H°A° por cabezal
Carga de contenedores	ud	2,00	3542,00	7.084,00	
Reparación Capa aisl.horizontal	ml	20,00	240,00	4.800,00	Inyecc. químicas
Costura grietas c/ llaves H°A°	ml	15,00	640,00	9.600,00	
Reposición Contrapisos	m ²	20,00	526,00	10.520,00	
Reposición Carpeta	m ²	20,00	331,00	6.620,00	
Reposición Pisos	m ²	20,00	1067,00	21.340,00	
Reposición revoque grueso y fino	m ²	7,50	482,00	3.615,00	Reparación costuras. Promedio ext. / int.
Carpintería. Extracc., ajuste y coloc.	gl	1,00	6000,00	6.000,00	
Pintura al látex interior-exterior	m ²	100,00	134,00	13.400,00	Paños reparados se pintan completos
Limpieza gral de obra	gl	1,00	1000,00	1.000,00	
SUB-TOTAL				270.905,00	
Honorarios profesionales	%	0,10	270905,00	27.090,50	
TOTAL				297.995,50	
Los precios NO incluyen el VA					
Los precios unitarios incluyen materiales, mano de obra, gastos generales y beneficios					
Fuente: Revista ARQUITEXTOS n° 161 (abril / 2018)					

A partir de los resultados presentados en la Tabla 2 y Tabla 3 resulta evidente la diferencia de costos existentes entre la opción de prevenir el daño en las viviendas a partir de la incorporación de un elemento simple, como una barrera perimetral, frente al erogación que implica un daño general asociado a asentamientos diferenciales.



Tabla 3: Costo de ejecución de diversas alternativas de veredas perimetrales impermeables

COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE BARRERAS				
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	\$ UNITARIO	\$ TOTAL
1- VEREDA PERIMETRAL	ml	20,00		
Excavación a=50 cm, prof=20 cm	m3	2,00	275,00	550,00
Contrapiso	m2	10,00	526,00	5260,00
Piso losetas H°	m2	10,00	508,00	5080,00
TOTAL 1				\$ 10.890,00
2- SUELO-BENTONITA	ml	20,00		
Excavación a=50 cm, prof=20 cm	m3	2,00	275,00	550,00
Babeta chapa galvanizada	ml	20,00	130,00	2600,00
Relleno c/suelo bentonita	m3	2,00	240,00	480,00
TOTAL 2				\$ 3.630,00
3- FILM POLIETILENO 200 μ	ml	20,00		
Excavación a=50 cm, prof=20 cm	m3	2,00	275,00	550,00
Film polietileno	m2	16,00	23,00	368,00
Babeta chapa galvanizada	ml	20,00	130,00	2600,00
Relleno tierra	m3	2,00	180,00	360,00
TOTAL 3				\$ 3.878,00
4- GEOMEMBRANA PVC	ml	20,00		
Excavación a=50 cm, prof=20 cm	m3	2,00	275,00	550,00
Geomembrana PVC	m2	16,00	260,00	4160,00
Babeta chapa galvanizada	ml	20,00	130,00	2600,00
Relleno tierra	m3	2,00	180,00	360,00
TOTAL 4				\$ 7.670,00

Los precios NO incluyen el IVA

Los precios incluyen materiales, M.O., gastos generales y beneficios

Fuente: Revista ARQUITEXTOS n° 161 (Abril / 2018)

3. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo permiten obtener las siguientes conclusiones:

1. En presencia de un cimientó superficial y limos potencialmente colapsables por humedecimiento, resulta necesaria la incorporación de una barrera perimetral impermeable que disminuya la presencia de agua pluvial bajo el cimientó.
2. Las humedades registradas a nivel de desplante de la fundación del prototipo ejecutado con barreras impermeables, no afectan la estabilidad de los suelos loésico colapsables, garantizando el buen funcionamiento del cimientó.
3. Se verifican los resultados de la modelación numérica de las barreras impermeables propuestas previamente realizada, con los obtenidos en el modelo a escala natural realizado.
4. La ejecución de la vinculación, entre las barreras propuestas y el muro del prototipo, resultó adecuada para garantizar la estanqueidad de la junta.
5. Las barreras materializadas con suelo-bentonita, geomembrana de HDPE y PVC manifiestan eficiencias similares, resultando la vereda de hormigón ligeramente menos eficiente.
6. Los costos de implementación de las barreras alternativas resultan del orden del 2% respecto del costo de reparación de una vivienda tipo, ascendiendo al 3% para el caso de la vereda perimetral clásica.



7. Resulta más económico para el estado y los particulares proponer herramientas de prevención de daños que reparar los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aitchinson G. (1973). *Structurally unstable soils. State of the arts*. Proceedings of the 8^o International Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering. Moscú, URSS. Vol 3. pp. 161 - 190.
- Barden L., Mc Gown A. y Collins K. (1973). *The collapse mechanism in partially saturated soils*. Engineering Geology (7). pp. 49-60.
- Bernal J. (2008). Zapatas. *Hormigón armado*. Edición 2005. Editorial Nobuko. Idioma español.
- Capdevila J.A., Zanni E.S., Ríos Contreras R. y Goio M.G. (2013). *Implementación de barreras perimetrales para evitar el ingreso de agua bajo fundaciones superficiales en suelos colapsables*. Memorias 1^o Congreso ALCONPAT Argentina 2013. Mendoza, Argentina.
- Dudley J.H. (1970). *Review of collapsing soils*. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 6. N° 3. pp. 925-947.
- Evstatiev D. (1988). *Loess improvement methods*. Engineering Geology. N° 25. pp. 341 - 366.
- Francisca F.M. y Glatstein D.A. (2010). *Long term hydraulic conductivity of compacted soils permeated with landfill leachate*. Applied Clay Science. (49). pp. 187-193
- Malusis M.A., Barben E.J. y Evans J.C. (2009). *Hydraulic conductivity and compressibility of soil-bentonite backfill amended with activated carbon*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 135. N°5.
- Pizzi C. (1986). *Mantenimiento de los edificios*. CEPCO Ediciones. Córdoba, Argentina.
- Poder Ejecutivo Nacional (2016). *Memoria y Balance de gobierno*. Período 2003-2015. Ediciones Artepólítica. Buenos Aires, Argentina.
- Redolfi E.R. (1982). *Determinación rápida de la presión de fluencia en suelos loésicos*. Boletín de Información de Laboratorio de Carreteras y Geotecnia. Madrid. N° 51. pp. 3-8.
- Redolfi E.R. (2007). *Suelos Colapsables*. Informe del Área de Geotecnia de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Reginatto A.R. y Ferrero J.C. (1973). *Collapse potential of soils and soil-water chemistry*. Proceedings of Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Moscow.
- Rinaldi V.A., Rocca R.J. y Zeballos M.E. (2007). *Geotechnical characterization and behaviour of argentinean collapsible loess*. Characterization and Engineering Properties of Natural Soils. Tan, Phoon, Hight & Leroueil (eds). Taylor & Francis Group, London.
- Rocca R.J., Redolfi E.R. y Reginatto A.R. (1992). *Determination of collapse potential of soils*. 7th International Conference on Expansive Soils. Dallas. Texas. pp. 73-77.



Rowe R.K., Islam M.Z. y Hsuan Y.G. (2010). *Effects of thickness on the aging of HDPE geomembranes*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 136. N°2.

Servicio Meteorológico Nacional (1998). *Estadísticas Climatológicas 1981-1990*, Serie B N° 37 de la Estación Sinóptica Aeropuerto Córdoba N° OMM 87344. Publicación B1 N° 3 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).