SOBRE EL EMPLEO DE SUELOS COMO RELLENO BAJO CONTRAPISOS Y LOSAS FLOTANTES: DOS PATOLOGÍAS EN ESTUDIO

ABOUT THE USE OF SOILS AS BACKFILLING UNDER ROOFS AND FLATS: TWO STUDIED PHATOLOGY CASES

Orlandi, Sandra Graciela [(1)]; Manzanal, Diego Guillermo [(1) (2);] Espelet, María Alejandra [(1)(3)]; Ruiz, Alejandro [(3)]
[(1)]Facultad de Ingeniería, (UNPSJB)
[(2)] Instituto de Tecnología y Ciencias de la Ingeniería INTECIN (UBA-CONICET);
[(3)]Laboratorio de investigaciones en Suelos Hormigones y Asfaltos, UNSPJB

sandra.orlandi@gmail.com
UNPSJB, LISHA
Ruta Provincial N°1 S/N, Km 4.
Comodoro Rivadavia, Chubut
CP 9003
Argentina

RESUMEN

Las ciudades de Comodoro Rivadavia y Rada Tilly, distantes entre sí 20 km, presentan topografías irregulares y con suelos que pueden variar desde formaciones de arcilitas hasta formaciones de areniscas, ambas principalmente de origen marino. La irregularidad en la topografía obliga muchas veces a que, durante la etapa de diseño arquitectónico, se incorporen solados que requieren de la colocación de materiales de relleno seleccionados y/o tratados previamente para hacerlos aptos. El empleo de materiales granulares es la solución óptima. Pero la mala compactación del mismo puede acarrear problemas constructivos. El empleo de suelos expansivos sin tratar en lugar de materiales seleccionados puede acarrear patologías tan extremas como en el caso de rellenos granulares mal compactados.

En este artículo son desarrollados y analizados dos casos, destacándose que el uso de dichos materiales en condiciones controladas no hubiese dado como resultado construcciones con problemas estructurales.

Palabras clave: arcillas expansivas, material de relleno, compactación, patología

ABSTRACT

Comodoro Rivadavia City and Rada Tilly City have a distance of 20 km between them. They present irregular topographies and sometimes architectonical designs include constructions with floors and slabs with refilled materials under them. Soils in these cities can be since clay stones to sand stones both with marine origin.

Refilled materials can be granular materials or local soils but both need to be inspected during their use. Good granular soil can be used but if the control during the construction is bad, it could bring several problems with it. The use of expansive soils as refilling without an appropriate treatment is as dangerous as the use of a bad compacted selected granular refilling.

Then the use of refilling is a critical point in the beginning of the construction and the incorrect employment of them would end in falls in the building.

In this article, two historical cases are developed. One with refilling made with granular material and the other with an expansive clay. Both cases developed pathologies as a consequence of the refilling. And both ended in trials.

Key words: expansive clays, refilling, compacting, pathology

CASO I : ***Relleno compuesto por material granular***

INTRODUCCION A LAS PATOLOGÍAS PRESENTADAS

El caso en estudio involucra una construcción en tres plantas. Dos de las plantas se encontraban francamente construidas sobre terreno natural, el cual poseía un fuerte desnivel entre la superficie ocupada por la planta baja y el primer piso (ambos apoyados sobre terreno natural). En cuanto a los solados del primer piso alrededor del 50% cubierto con porcellanato en unidades de 1 m x 1 m apoyados sobre un contrapiso con una malla de 4,2 mm de diámetro de barra, no vinculada a la estructura perimetral. Debajo de este contrapiso, dada la fuerte pendiente del terreno natural, se optó desde el inicio, de acuerdo con las recomendaciones geotécnicas, por colocar un relleno compuesto por material granular proveniente de cantera.
Las patologías presentadas se muestran en las siguientes figuras.
En la **Figura 1** puede observarse la rotura presentada en un muro desprovisto de elementos estructurales como consecuencia del asiento del contrapiso sobre el que descargaba. Dicho muro únicamente constituía un elemento de separación de ambientes. No contribuía de ninguna manera a distribuir las cargas sino que por el contrario constituía una descarga adicional sobre el contrapiso.
En la **Figura 2** es posible observar la topografía con fuerte pendiente de los alrededores y más precisamente en el contrafrente de la vivienda.
En la **Figura 3**, obsérvese la deformación de las veredas perimetrales construidas sobre material de relleno en las que se ve acentuada la pendiente natural dada a las mismas.
La rotura del muro desprovisto de elementos estructurales puede observarse en la **Figura 4** desde otro ángulo, en tanto que la apertura de las juntas entre las paredes externas y las veredas, cuya pendiente se acentuó, son evidentes en la **Figura 5**.

Figura 1. Roturas en muro

Figura 2. Topografía del contra frente

Figura 3. Vereda perimetral

Figura 4. Desplazamiento en muro no estructural

El deterioro de la construcción no ocurrió en forma sostenida en el tiempo sino que en un corto lapso se desarrollaron las grietas, desniveles y desplazamientos. Inclusive en un sector donde el contrapiso no cedió, una conexión entre un afluente cloacal y una cámara de inspección sufrió un desplazamiento de 20 centímetros como consecuencia del asiento del material de relleno. De dicha falla no se cuenta con soporte fotográfico puesto que el propietario procedió al arreglo de la misma en forma inmediata por cuestiones de sanidad.

Muchas fueron las hipótesis desarrolladas por profesionales que tomaron contacto previo con la construcción, algunas de las cuales solamente mencionaremos sin desarrollar en detalle:

- Pérdida de estanqueidad en una piscina colindante a la vivienda y que pertenecía a la misma.
- Fallas en el sistema de fundación;
- Fallas estructurales.

Cada una de las hipótesis previas fue analizada y descartada previamente al estudio que condujo al presente artículo.

Figura 5. Desplazamiento y rotación en junta en vereda perimetral

ENSAYOS REALIZADOS

Del estudio de la patología, con el fin de obtener mayor información, se optó por la realización de roturas parciales en el contrapiso para muestrear el material de relleno. Del mismo, como ya mencionase con anticipación, no se tenían referencias ni existía evidencia de ensayos previos realizados. Se recorrió el área para detectar patologías similares o patologías comunes existentes. Se estudió el comportamiento de las estructuras de la vivienda en general buscando otras fallas y se documentaron todas aquellas relacionadas o no con la patología principal. Acotado el problema se programaron los primeros ensayos a realizar, pero aún así la secuencia a seguir quedó supeditada a las condiciones en que se encontrara el relleno una vez descubierto.

Al materializar un pequeño hueco que dejaba al descubierto un volumen de relleno se constató que el mismo no se encontraba en contacto directo con el contrapiso. Por el contrario existía un volumen vacío cuyo espesor era variable entre 8 cm y 10 cm. Se procedió al muestreo y clasificación (**Figura 6**). La hipótesis principal era, en consecuencia, que el material de relleno no cumplía con las condiciones de calidad. Partiendo de esa hipótesis, la solución sería retirarlo en su totalidad, humedecerlo y compactarlo en la medida que se lo coloca nuevamente. Por esta razón se procedió a levantar todo el contrapiso. Al romper el mismo se verificó que la armadura no correspondía a la de una platea rígida y que adicionalmente no había vinculada a las estructuras perimetrales existentes. Si se lo hubiese diseñado como platea rígida o con vínculos a las estructuras perimetrales el comportamiento hubiese sido completamente diferente y el tipo de fallas también. Durante todo el proceso, se documentó el procedimiento.

Una vez descubierto el relleno se procedió al muestreo del mismo para su clasificación en laboratorio y determinación in situ de la densidad por medio de la utilización del ensayo del cono de arena.

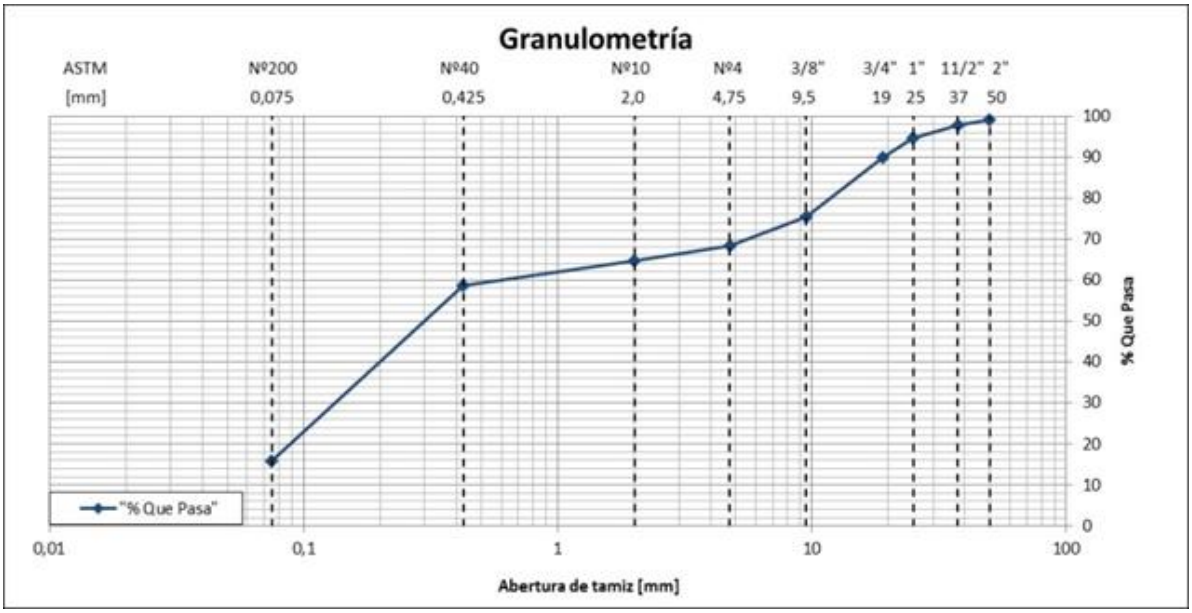

Figura 6. Granulometría de los primeros 30cm del relleno

Las primeras tres determinaciones del cono arrojaron como resultado que el material superficial clasificado como granular SM (Arena limosa con gravas) poseía una relación de entre el 67% y el 85% con respecto a la compactación determinada por medio del ensayo Proctor. Dicha variación tenía

sustento en el hecho de que en los primeros treinta centímetros se realizaron cinco grupos de muestreos y ensayos. La humedad se encontraba muy por debajo de la humedad óptima obtenida del posterior ensayo Proctor realizado en laboratorio para el mismo material.
Respecto a la granulometría del material de relleno era adecuada para su uso, a pesar del faltante en algunos tamices, como puede observarse en la curva presentada en la **Figura 7**. Muchas veces suele utilizarse como referencia las parábolas de Fuller y Thompson para determinar si una granulometría es adecuada, pero debe destacarse que dichas parábolas fueron diseñadas y propuestas para verificar la aptitud de agregados para ser utilizados en la dosificación de hormigón.

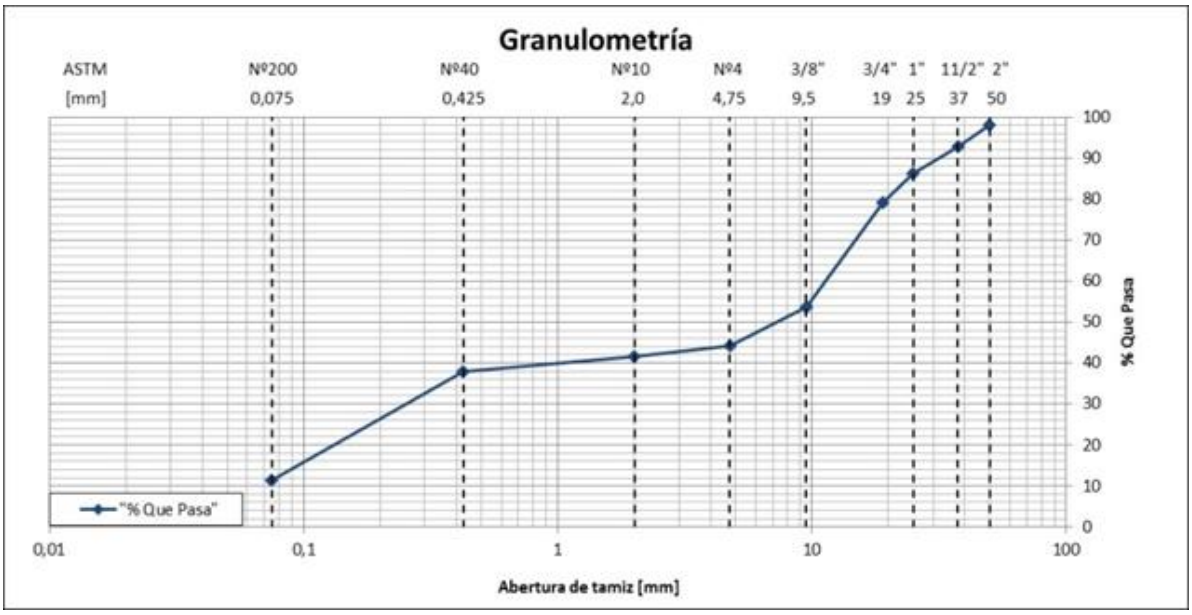

Figura 7. Granulometría a 3,5m de profundidad de relleno

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DE RELLENO

El material muestreado y clasificado en el espesor superior de 30cm correspondía a una arena limosa con fracción fina no plástica SM-ML. A mayor profundidad (3,5m) el material muestreado correspondía a una grava mal graduada con limos GP-GM. En ambos casos la fracción fina no presentaba plasticidad.
Si se analizan las propiedades de ambos materiales puede observarse que, a pesar de algún comentario que se pudiese realizar sobre la curvatura de la curva granulométrica, el material encontrado era útil para el fin concebido. Pero la falta de compactación, fundamental para el correcto comportamiento de un material de relleno, hizo del mismo uno no apto para soportar las cargas transmitidas por el contrapiso y el solado.
Ya sea por la escasa densidad del relleno o por su inapropiado contenido de humedad el mismo no se encontraba compactado en condiciones óptimas. Fueron determinadas densidades in situ hasta la cota 3,20m, en la cual recién se alcanzó el 95%, recomendado como mínimo, de la densidad seca máxima. En el espesor de suelo constituido desde la superficie hasta los 3,20m todos los ensayos de densidad in situ arrojaron valores por debajo de los de diseño tomando como parámetro de comparación el material denominado como “1”. Para la cota 3,20 se utilizó el material “2” como parámetro puesto que a esa profundidad se observó un cambio en las condiciones del material encontrado y se procedió a

clasificarlo según **Figura 7**. En la **Tabla 8** se encuentran las relaciones de densidad seca máxima y la real y las humedades correspondientes.

Densidad Nº	Fecha	Humedad [%]	Humedad optima [%]	Densidad [KN/m3]	Densidad Proctor corregida[ton/m3]	Compactación [%]
1 0,30m	01/07/2014	3,6	10,5	15,0038	20,3546	74(1)
2 0,30m	01/07/2014	4	---	13,328	19,992	67(1)
3 0,30m	01/07/2014	1,7	---	15,19	19,992	76(1)
4 0,30m	01/07/2014	1,4	---	15,327	20,531	75(1)
5 0,30m	01/07/2014	1,6	---	17,611	20,629	85(1)
6 0,60m	16/07/2014	11,2	---	14,671	20,07	73(1)
7 0,90m	16/07/2014	10,6	---	13,142	20,11	65(1)
8 0,90m	16/07/2014	10,1	---	13,308	19,992	67(1)
9 1,60m	25/07/2014	11,7	---	13,103	19,992	66(1)
10 1,60m	25/07/2014	10,5	---	13,769	20,119	68(1)
11 0,95m	25/07/2014	7,5	---	13,504	20,315	66(1)
12	31/07/2014	7,3	8	20,217	21,197	95(2)

Tabla 8. Comparación entre densidades y humedades in situ vs densidad y humedad surgidas de Ensayo Proctor.

Muestra 1: Material de relleno. Prof. 0,30m (M. 227/14).
De acuerdo al tipo de suelo, y a la energía de compactación que iba a ser utilizada para compactar en obra, el ensayo utilizado fue: Proctor Nº V.
Densidad Máxima Seca: 2.040 kg/m3
Humedad Óptima: 10,5 %

Muestra 13: Material de relleno. Prof. 3,20m (M. 252/14).
De acuerdo al tipo de suelo, y a la energía de compactación que iba a ser utilizada para compactar en obra, el ensayo utilizado fue: Proctor Nº V (10).Nº de capas: 5
Densidad Máxima Seca: 2.116 kg/m3
Humedad Óptima: 8,0 %

El siguiente corresponde a un croquis donde se muestra la disposición de los pozos en la sección de la planta en estudio (**Figura 9**)

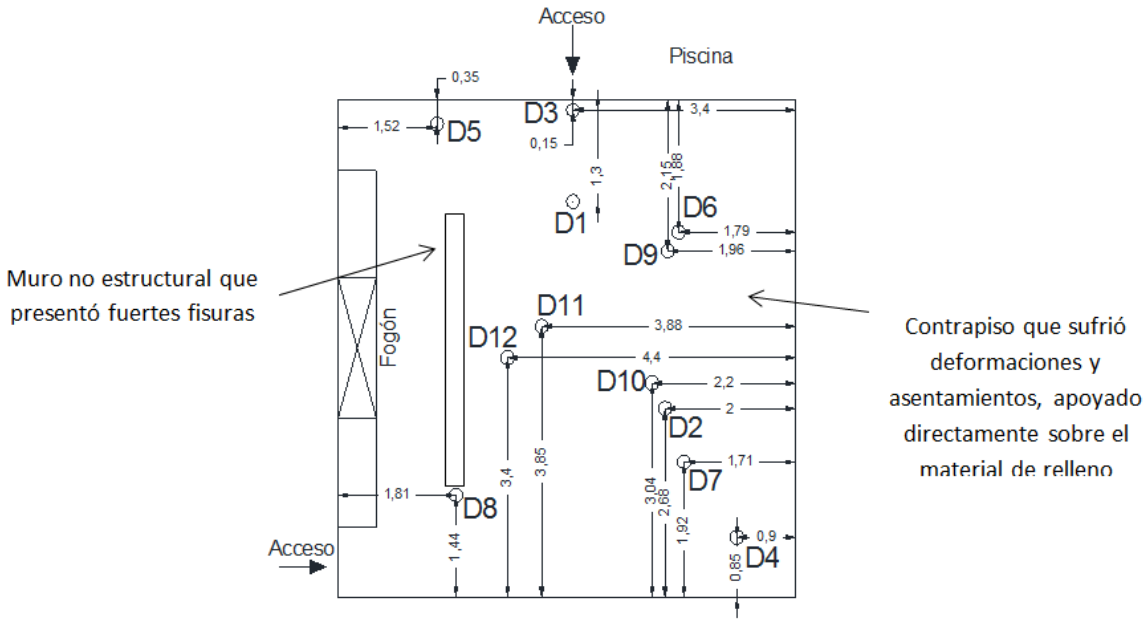

Figura 9. Croquis de ubicación de los ensayos in situ y muestreo para Proctor

FALLAS ESTRUCTURALES RELACIONADAS

Entre las fallas estructurales que se presentaron se encuentran:

- Deformación del contrapiso;
- Rotura de elementos del solado (algunos elementos de porcellanato);
- Asentamiento de muro que descargaba sobre el contrapiso deformado;
- Desarrollo de fallas y apertura de las mismas, en algunos de los muros perimetrales y en la zona de contacto directo con el contrapiso.
- Deformación de veredas perimetrales construidas sobre relleno.
- Desplazamiento y pérdida de continuidad en la unión entre una tubería perteneciente al desagüe cloacal y una cámara de inspección.

Algunas de las mismas han sido señaladas en la Figura 9.

Durante la etapa previa a la extracción del material de relleno para su posterior colocación con el compactado de diseño una de las principales dudas que surgió fue la razón del asentamiento de todo el conjunto ocurrido mucho tiempo después de terminada la construcción.

Durante la etapa de investigación y recopilación de información no pudo determinarse si los asientos fueron de tipo progresivo o instantáneo. Dado que el material de relleno es de tipo granular, los asientos fueron de tipo instantáneo, en una o varios escalones y como consecuencia de una o varias cargas de tipo dinámico.

El origen de dichas cargas pudo deberse al tránsito de vehículos de gran porte en las inmediaciones de la vivienda (puesto que se trata de un barrio en franco proceso de expansión), a la vibración transmitida al terreno en la etapa constructiva de construcciones vecinas, a la compactación del material utilizado para la construcción de pavimentos en la zona, etc. Ninguna de las hipótesis es verificable, debido a que la vivienda se encontraba en una urbanización en pleno desarrollo, habiendo cambiado casi completamente dicha condición al día de la fecha.

En la correcta interpretación de las pruebas utilizando como fundamento el conocimiento y la experiencia se apoya el verdadero arte del análisis de las patologías.

CASO II: ***Relleno compuesto por material no seleccionado***

INTRODUCCION A LAS PATOLOGÍAS PRESENTADAS

En esta construcción, cuya patología presentó sus primeros indicios ocho años atrás y que además tomó un mayor tiempo para su desarrollo, el origen de las mismas provocó daños generalizados en toda la construcción. A diferencia de la patología anterior los daños fueron también estructurales pero el material de relleno es sobre quien se centra la atención.
Se trata de una vivienda en dos plantas, construida en un terreno con topografía irregular, construcción fundada sobre pilotes cortos colados in situ, con descargas a nivel de cimentación muy diferentes en módulo, como consecuencia de tener un diseño arquitectónico irregular.
Realizado el estudio geotécnico se determinó la presencia de arcillas potencialmente activas, a las que en la etapa previa no se caracterizó en cuanto a su potencial. Estudios de investigación posteriores realizados en un terreno descubierto lindero, llevaron a la cualificación y cuantificación de la arcilla.
Dada la reacción que se conoce pueden presentar las mencionadas arcillas, el geotecnista incluyó en el informe una serie de recomendaciones constructivas todas ellas coherentes y consecuentes con el Código de Edificación Municipal.
Una de las recomendaciones incluía la materialización de un volumen vacío debajo de los contrapisos y vigas de cimentación presentes en planta baja, que podía bien encontrarse vinculado a las estructuras vecinas o trabajar en forma independiente, tratándose entonces no de un contrapiso sino de una losa. Para ello dicha losa debía encontrarse diseñada, calculada y armada para soportar cualquiera de los estados de cargas mencionados.
Los daños en la construcción y las causas de los mismos son algunos de los siguientes, pero destacamos que en el presente artículo solamente haremos énfasis en el tratamiento del material de relleno.
Muchos de los muros perpendiculares a uno de los ejes medianeros presentaban fisuras como las que pueden observarse en la **Figura 10** y **Figura 11**.
En el transcurso de un año ocurrieron roturas en pisos y deformaciones generalizadas en marcos de puertas en ambas plantas. Los pisos en la planta baja sufrieron deformaciones tipo “abombamiento”, coincidentes con lo que se intuía era la expansión del material de relleno.

Figura 10

Figura 11

ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Como consecuencia de las patologías desarrolladas se decidió levantar parte de los contrapisos para determinar las características del material de relleno. Cabe destacar que en el estudio de suelos original se recomendaba la colocación de piedra bola debajo de los contrapisos y en reemplazo del terreno original, en un espesor no menor a 40cm. También se recomendaba la materialización de un volumen vacío debajo de las vigas de fundación.

Las mesadas que se encontraban empotradas a muros que presentaron deformación perdieron la horizontalidad e incluso se rompieron, **Figura 12** y **Figura 13**.

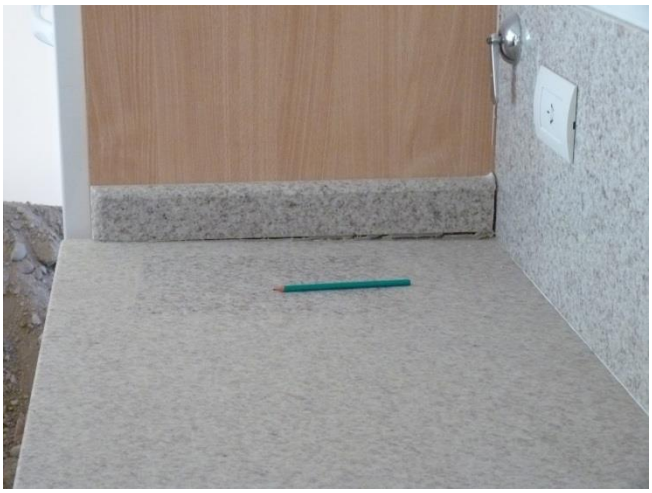

Figura 12

Figura 13

Una vez realizadas las calicatas lo que pudo observarse es que el relleno no coincidía con las recomendaciones dadas por el geotecnista. Tanto en la **Figura 14** como en la **Figura 15** puede observarse el material de relleno (obsérvese el corte limpio típico de arcillas con humedad cercana al límite plástico) así como los elementos estructurales colocados debajo de las vigas portamuros con el fin de materializar el volumen vacío. Los bloques en "U" además de estar colocados en la dirección incorrecta no cumplían con la función para la que fueron colocados: materializar un volumen vacío debajo de las vigas de fundación. Puede observarse en las fotografías que las oquedades se encuentran llenas de material.

Sobre el material de relleno se realizaron ensayos de clasificación e identificación del material. Además, a posteriori y como parte de un proyecto de investigación, se realizó una calicata de 3,5m de profundidad en un terreno lindante. Para las muestras tomadas en dicha calicata se realizaron ensayos enfocados a identificar el tipo de arcilla sobre la que se encuentra cimentada la construcción. Entre otros: límites de Atterberg, humedad natural, pasante # 200, granulometría, ensayo de azul de metileno, ensayos de presión de hinchamiento; ensayo de presión de succión; porcentaje de hinchamiento (se utilizó un ensayo diseñado especialmente para este proyecto pero que cumple con una relación entre las dimensiones de las probetas necesaria para minimizar el efecto de las condiciones de frontera); ensayos de presión de succión, etc.

Figura 14

Figura 15

De la identificación del material de relleno surgieron los resultados presentados en las **Tablas 17 a 24**. El material de relleno se trataba de un material granular con fracción fina de características arcillosas. La fracción fina posee un alto porcentaje de índice plástico. En la **Figura 16** los números corresponden a la ubicación de las calicatas en la planta baja. Las letras F corresponden a zonas afectadas. Así por ejemplo en F_{21} se encuentra apoyada la mesada de la **Figura 13**. En F_{12} y F_{16} está situada la viga cuya falla se presenta en la **Figura 26**. En F_{18} está situado un contrapiso deformado con afloramiento de sales. En F_{25} y F_{26} se encuentran sendas puertas cuyos marcos se deformaron presentando fisuras por la inexistencia de dinteles. En F10 se encuentra apoyada la mesada de la **Figura 12**.

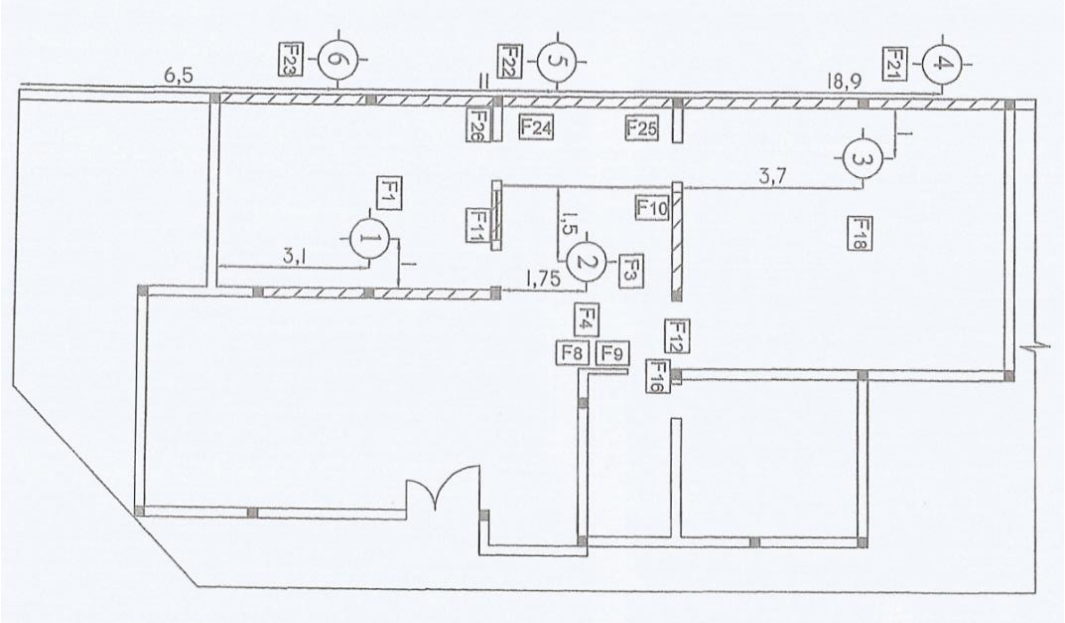

Figura 16

En cada calicata se realizaron ensayos de clasificación del material. También se tomaron muestras del material encontrado dentro de los elementos en U. El objetivo fue identificar su potencial de expansión.

Prof [m]	SUCS	GRANULOMETRIA (% PASA TAMIZ)									γ	Observaciones			
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200		ω_n	LL	LP	IP
0,00-0,20	GP	100	91	78	68	49	38	32	25	2	-	2,4	-	-	-
0,20-0,87	SC	100	97	94	91	80	71	64	56	32	-	14,5	27,1	17,4	9,7
0,87-1,00	GC-GM	100	96	89	85	68	57	51	45	16	-	7,4	21,9	15,6	6,3

Tabla 17. Muestra obtenida de la Calicata 1

Prof [m]	SUCS	GRANULOMETRIA (% PASA TAMIZ)									γ	Observaciones			
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200		ω_n	LL	LP	IP
0,00-1,17	SC-SM	100	97	97	95	89	80	75	66	19	-	7,5	19,3	14,8	4,5
1,17-1,5	CH	100	100	100	100	100	100	100	100	99	-	36,5	103,6	41,8	61,8

Tabla 18. Muestra obtenida de la Calicata 2

Prof [m]	SUCS	GRANULOMETRIA (% PASA TAMIZ)									γ	Observaciones			
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200		ω_n	LL	LP	IP
0,00-0,20	GP	100	91	78	68	49	38	32	25	2	-	4,1	-	-	-
0,20-1,02	SC	100	97	95	92	81	72	66	57	26	-	11,6	24,7	16,2	8,5
1,02-1,50	SC-SM	100	100	96	92	82	71	67	60	15	-	9,8	22,6	16,8	5,8

Tabla 19. Muestra obtenida de la Calicata 3

Prof [m]	SUCS	GRANULOMETRIA (% PASA TAMIZ)									γ	Observaciones			
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200		ω_n	LL	LP	IP
0,75	GP-SC	100	95	87	80	62	46	42	42	35	11	6,5	25,2	19	6,2

Tabla 20. Muestra obtenida de la Calicata 4

Prof [m]	SUCS	GRANULOMETRIA (% PASA TAMIZ)									γ	Observaciones			
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200		ω_n	LL	LP	IP
0,68	CL	100	100	100	98	92	85	84	81	57	-	11,6	38,8	21,3	17,5

Tabla 21. Muestra obtenida de la Calicata 5

Prof [m]	SUCS	GRANULOMETRIA (% PASA TAMIZ)									γ	Observaciones			
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200		ω_n	LL	LP	IP
0,75	SC	100	96	93	89	78	67	65	59	22	-	8,3	26,1	16,9	9,2

Tabla 22. Muestra obtenida de la Calicata 6

Prof [m]	SUCS	GRANULOMETRIA (% PASA TAMIZ)									γ	Observaciones			
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200		ω_n	LL	LP	IP
(*)	SC	100	100	100	100	94	89	85	78	48	-	23,9	30,8	22,6	8,2

(*): MATERIAL EXTRAÍDO DEL INTERIOR DE LOS BLOQUES "U" BAJO VIGA FISURADA

Tabla 23. Muestra obtenida debajo de viga fisurada en el interior de bloques “U”

Prof [m]	SUCS	GRANULOMETRIA (% PASA TAMIZ)									γ	Observaciones			
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200		ω_n	LL	LP	IP
(*)	MH	100	100	100	100	100	95	86	78	69	-	39,4	66,3	40	26,3

(*): MATERIAL EXTRAÍDO DEL INTERIOR DE LOS BLOQUES "U" BAJO VIGA VOLADIZO

Tabla 24. Muestra obtenida debajo de viga en voladizo en el interior de bloques “U”

Cuando en la **Figura 23** nos referimos a “viga fisurada” la misma corresponde a una viga que, contrariamente a lo esperado, falló por flexión, pero con una deformación provocada por tracción en la zona superior, **Figura 25**. Dicha viga fue calculada con cargas actuando desde arriba hacia abajo (acción de la gravedad) en tanto que los suelos en proceso de expansión aplican su carga en todas

aquellas direcciones en las que encuentren menos restricción. En este caso, las arcillas encontraron menor resistencia en sentido vertical con dirección franca hacia arriba (F_{12} y F_{16} en **Figura 16**)

Figura 25. Viga que falló por flexión inversa para la que fue diseñada

La falla en dicha viga coincide con una zona de relleno de material cercano a la calicata 2. En dicha zona ocurrió la rotura, en las primeras facies de desarrollo de la patología, en una tubería de agua potable. Allí se produjo la inundación de una excavación realizada por el constructor con el fin de detectar el origen de las patologías. Dicha excavación fue abandonada por el constructor con que en cierta forma se produjo una suerte de ciclo de secado y humedecimiento, los cuales propician la activación y posterior reacción aún más severa de las arcillas. La no materialización de una ménsula prevista en el diseño y en línea con dicha viga, todo bajo la acción de un suelo expansivo, fueron el detonante de las fallas.

Analizando los resultados de los ensayos realizados a las muestras de las calicatas puede concluirse lo siguiente. Todas las muestras poseen una fracción fina en cantidades significativas. Todas las muestras analizadas en laboratorio arrojaron como resultado fracciones arcillosas, superficies específicas, límites de Atterberg, presiones de hinchamiento, porcentajes de expansión libre tales que permitieron identificar a las arcillas como de potencial de expansión muy alto.

En general el material de relleno se encontraba muy lejos de ser el material de relleno recomendado y se trataba de una mezcla de suelo natural con material granular de origen desconocido no seleccionado (en varias de las calicatas se detectaron desechos de origen humano). La humedad en la calicata 2, que es la que poseía suelos de características más activas, se encontraba cercana al límite plástico, a diferencia de las otras calicatas. Pero a diferencia de las demás calicatas la número 2 es la que poseía relleno de características más parecidas al terreno natural. Debe destacarse que la acción de humedecimiento y secado a la que fue sometido el material en dicha zona afecta de forma negativa a los suelos expansivos mismos que si además se encuentran amasados reaccionan más rápidamente. Todo ello los torna más inestables en presencia de agua.

Además, contradiciendo las recomendaciones del estudio geotécnico original, el volumen vacío debajo de las vigas de cimentación (materializado por los bloques en U) se encontraba totalmente lleno. El relleno consistía de un material compuesto principalmente de material fino con alto potencial de expansión y con humedad cercana al límite plástico. Como los bloques en U habían sido utilizados como encofrado de fondo de viga, los mismos trabajaron en forma monolítica con las vigas de fundación haciendo imposible el análisis de tensiones que produjeron la falla del conjunto.

Puede observarse que el material de relleno no es bajo ningún punto de vista un material apto para su utilización.

En el caso en estudio, el agua necesaria para activar la arcilla fue provista por varias fuentes. El diseño arquitectónico no cumplió con la premisa bajo la cual toda fundación en contacto con arcillas

expansivas debe cumplir: alejar el agua de las mismas. Terrenos absorbentes y desagües pluviales se encontraban desagotando en la zona de influencia de las cimentaciones.
Como mencionamos anteriormente, posterior al estudio de la patología de la vivienda, se extrajeron muestras de una calicata practicada en un terreno lindero a la construcción en cuestión (**Figura 26**). Algunos de los resultados son los que a continuación se describen.
El material fue identificado como una arena limosa o arena arcillosa con contenido de carbonatos, fuertemente fisurada, preconsolidada, misma que al ser extraída en bloques o damas, como consecuencia de la pérdida de confinamiento, presentaba rápidamente fisuramiento y pérdida de humedad (**Figura 27**). La toma de muestras inalteradas en volúmenes necesarios para la realización de ensayos en laboratorio (tales como el de consolidación o triaxial) fue una labor imposible. Mientras se trataba de realizar baños de parafina, con el fin de preservar la humedad de las muestras, las mismas se fisuraban.
Es así que la mayor parte de los ensayos relacionados con la expansividad de las arcillas presentes en el suelo fueron realizados sobre muestras remoldeadas.

Figura 26. Calicata en terreno colindante.

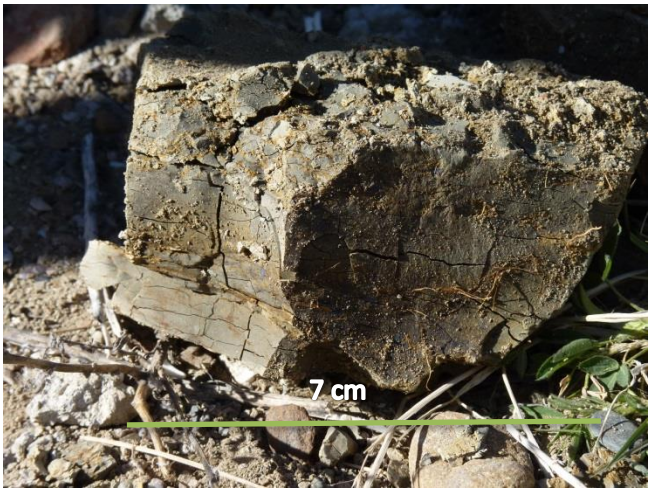

Figura 27. Fisuras y pérdida de humedad.

Las principales características determinadas para el suelo natural arrojaron los siguientes resultados.

Propiedad de la arcilla	Valor	Unidad
Límite líquido	1,05	[%]
Límite plástico	0,40	[%]
Límite de contracción	0,22	[%]
Índice de liquidez	-0.092	[ ]
Fracción pasante #200	0,54	[%]
Actividad de la arcilla	1.35	[ ]
Sup. Específica de la fracción arcillosa	228,15	m^2/gr
Gravedad específica relativa	2,70	[ ]
Peso específico húmedo relativo	1,86	[ ]

De los resultados presentados, surge que el suelo puede ser clasificado como una arcilla principalmente montmorrillonítica con muy alto potencial de expansión. De los ensayos de expansión realizados se obtuvieron valores de hasta un 60% sobre muestras remoldeadas y porcentajes menores en muestras inalteradas. Se reprodujeron muestras a distintas densidades, con capas de arena fina intercaladas en el espesor de la muestra, con papel de filtro intercalado, y el resultado fue igualmente reactivo en todos los casos. Adicionalmente se realizaron ensayos en máquina de corte, de presión de expansión en ciclo de consolidación y expansión controlada, presión de hinchamiento en ensayo Lambe e hinchamiento libre en anillos sumergidos drenando por ambas caras.
Todos los ensayos permitieron concluir que la falla fue debida, en algunos sectores, a la colocación de un material potencialmente activo, dentro de una mezcla cuya función era principalmente relleno.
La presencia de agua activó la arcilla remoldeada, produciéndose en consecuencia presiones de hinchamiento y variaciones de volumen para los cuales la estructura no estaba diseñada. En cuanto a los valores desarrollados de presiones de hinchamiento no se obtuvieron resultados concluyentes, puesto que se trabajó con diferentes densidades para un abanico de densidades. Pero si es claro que las muestras que peor reaccionaron fueron las que poseían densidades más cercanas a la densidad natural y aquellas con humedades menores.

CONCLUSIONES PARA AMBOS CASOS

De la observación detallada de los dos casos anteriores podemos concluir lo siguiente:

- Basándonos en la experiencia de los autores, entre las patologías más comunes que se encuentran en la zona, las generadas por arcillas expansivas son las más comunes. A su vez son las más costosas en cuanto al abordaje en su remediación. Son menos frecuentes las patologías que involucran materiales granulares, por lo menos en obras civiles de pequeña envergadura. Estudios realizados a posteriori sobre arcillas locales condujeron a porcentajes de expansión libre mayores al 67% con presiones de hinchamiento mayores a 294 KPa encontrándonos actualmente en franco proceso de estudio y caracterización de las mismas.
- El desconocimiento del tratamiento que cada uno de los materiales de relleno presentados necesita para su estabilización condujo al desarrollo de ambas patologías.
- Materiales de relleno sin inspección durante la etapa constructiva o que no cumplieron con las especificaciones de diseño resultaron en patologías tan o más importantes a las que surgirían de un deficiente diseño estructural.
- En ambos casos los elementos estructurales en contacto con los materiales de relleno podrían bien haber sido diseñados para trabajar en forma independiente del resto de la estructura o por el contrario para trabajar en forma conjunta. Ambas consideraciones requieren criterios de diseño estructural completamente diferentes no tenidos en cuenta en la etapa de cálculo estructural.
- Por ello es que tanto el diseño estructural, la interpretación del estudio geotécnico, el buen manejo del Código de Edificación Municipal e inspección en obra, constituyen en conjunto las bases de un correcto proyecto y ejecución en obra con el fin de lograr un objetivo común: una larga vida útil de la construcción transcurrida en condiciones óptimas.
- Por último, la revisión del Código de Edificación Municipal debería considerarse una rutina. De este modo toda experiencia profesional que se desarrolle en la zona de aplicación del mismo sería utilizada para mejorar la calidad de las construcciones y en neutralizar los daños en las mismas. El Código de Edificación Municipal resulta obsoleto cuando no se incorporan avances tecnológicos o nuevas experiencias en el área de aplicación de los mismos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AASHTO M145-66
SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

ABDULJAUWAD, S. N., AL-SULAIMANI, G. J., 1993
Determination of swell Potential of Al-Qatif Clay
Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and Material, Vol.16, núm.4, pp469-484.

ASTM D 5298-10
Ensayo de presión de succión osmótica y matricial, método del papel de filtro.

BRAJA, M. DAS, 2012
Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 7ma edición
Editorial Cengage Learning. ISBN-13: 7978-607481747-8 / ISBN-10: 60748147-2.

CÓDIGO DE EDIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE COMODORO RIVADAVIA, 1999
Corresponde a Ordenanza Nº 6874/99.

GIACOSA R., PAREDES J., NILLNI A., LEDESMA M., COLOMBO F., 2004
Fallas normales de alto ángulo en el Neógeno del margen Atlántico de la Cuenca del Golfo San Jorge (46ºS-67º 30´O, Patagonia Argentina.
Boletín Geológico y Minero, 115 (3): 537-550; ISSN: 0366-0176.

MIURA O. R., ESPELET, M. A., 2011
Informe LISHA N° 016/11, Solicitante: Eduardo Corna.

MIURA O., ESPELET M. A., 2011
Informe LISHA N°061/11 Solicitante: Eduardo Corna.

NORMA IRAM 10501/2007
Geotecnia. Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad.

NORMA IRAM 10507/1986
Mecánica de suelos. Método de determinación de la granulometría mediante tamizado por vía húmeda.

NORMA IRAM 10509/1982
Mecánica de suelos. Clasificación de suelos, con propósitos ingenieriles.

NORMA IRAM 10511/1972
Mecánica de suelos. Métodos de ensayo de compactación en laboratorio.

NORMA IRAM 10512/1977
Mecánica de suelos. Métodos de análisis granulométrico.

NORMA IRAM 10519/1970
Mecánica de suelos. Método de laboratorio para la determinación de humedad.

NORMA IRAM 10526/1975
Mecánica de suelos. Método del volumenómetro para la determinación de la densidad in situ.

NORMA IRAM 1594/1994
Agregados. Determinación de arcilla. Método del azul de metileno.

ORLANDI S., 2013
Informe Técnico Peritaje Juicio Corna Fajardo Cortés, Comodoro Rivadavia.

ORLANDI S., ESPELET, M. A., 2014
Informe LISHA Nº 393/14 Solicitantes: Gutierrez/Knez. Comodoro Rivadavia.

ORLANDI S., ESPELET, M. A. 2014
Informe LISHA Nº 398/14 Solicitantes: Gutierrez/Knez. Comodoro Rivadavia.

ORLANDI S., ESPELET, M. A., 2014

Informe LISHA Complemento Nº 501/14 Solicitantes: Gutierrez/Knez. Comodoro Rivadavia.
PACHO, MANUEL (EIFA), 2004
Informe Geotécnico Estudio de Ingeniería Florentino Ameghino. Vivienda Deop.
PAREDES J, 2002
Asociaciones de facies y correlación de las sedimentitas de la Formación Chenque (Oligoceno-Mioceno) en los alrededores de Comodoro Rivadavia, Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina
Asociación Argentina de Sedimentología, Revista (2002), vol. 9 nº 1: 53-64., ISSN 0328 1159.
TREVISÁN, SILVANO JORGE, 1988
Métodos Edométricos para estimar la presión de hinchamiento en suelos activos, descripción comparativa de las trayectorias de esfuerzo.
X CAMSIG- La Plata, 1988
VN-E1 65 (ASTM D422)
Tamizado de suelos por vía húmeda.
VN-E2 65 (ASTM D4318)
Límite Líquido.
VN-E3 65(ASTM D4318)
Límite plástico e índice de plasticidad.
VN-E5-93
Compactación de suelos. AASHTO T-99/Tipo I ó IV de DNV (ASTM D698), Proctor modificado: AASHTO T-180/Tipo II ó V de DNV (ASTM D1557).
VN-E7-65
Análisis mecánico de materiales granulares.
VN-E8-66
Control de compactación por el método de la arena. ASTM D2167, AASHTO T-205.
VN-E26, ASTM D2216
Determinación del contenido de humedad de agregados pétreos.