

## MUROS DE ESCOLLERA EN URBANIZACIONES

<sup>1</sup>Jaramillo-Morilla, A.; <sup>1</sup>Mascort-Albea, E.J; <sup>1</sup>Díaz-Pichardo, A.; <sup>1</sup>Bernabe-Reyes, C.;

<sup>1</sup>Villicaña-Cupa, M.A.; <sup>1</sup>Contreras-Marín, E.; <sup>1</sup>Díaz-Calderón, G.

<sup>1</sup>Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno, Universidad de Sevilla E.T.S.

Arquitectura, Avd. Reina Mercedes, nº2, 41012-Sevilla

e-mail: jarami@us.es, emascort@us.es, adpfic18000@hotmail.com,

ciprianobernabereyes@gmail.com, elangelcaido\_162@hotmail.com,

elizabethcontrerasmarin@gmail.com, tapilu99@hotmail.com.

### RESUMEN

Los desniveles y pendientes del terreno nos obligan a intervenir mediante estructuras de contención, rígidas o flexibles. Las estructuras de contención suelen ser en su mayor parte de hormigón armado o tablestacas metálicas. Desde hace algún tiempo se está imponiendo la utilización de escolleras de piedra como estructuras de contención y estabilización permanentes en urbanizaciones. Este tipo de estructuras ya habían sido usadas con éxito en taludes de carreteras y espigones de puerto. Al trasladarse a las urbanizaciones se ha menospreciado algunos aspectos, tanto de diseño y cálculo, no teniendo en cuenta las acciones sísmicas en zonas de riesgo como Motril, o eliminando componentes esenciales como filtros y drenajes. El presente documento analiza los trabajos de intervención realizados en dos obras siniestradas en Motril y Almería (España), donde se utilizaron las escolleras, uno de ellos incluso reincidente. La Guía para el diseño y construcción de escolleras en obras de carreteras del Ministerio de Fomento de 1998, revisada en 2006, [3] es un valioso documento pero precisa de un decálogo de instrucciones precisas para su uso en obras de urbanización, en general de menor volumen, y con mayor número de encuentros de superficies. La tridimensionalidad suele ser un factor importante a tener en cuenta.

Keywords: escolleras, acción sísmica, empujes del terreno.

## **1.- Introducción**

Para salvar pendientes y desniveles en el terreno cuando se requiere hacer una construcción es necesario implementar un método de contención, Los muros de escollera son una buena opción en estos casos siempre y cuando estos se realicen correctamente contando con estudios previos del terreno donde se va a colocar y realizando un correcto diseño y proceso constructivo del mismo.

Estos tipos de muros tienen ciertas ventajas sobre un muro de contención de otro tipo, por ejemplo, la facilidad para drenar el agua del terreno que está conteniendo, buena adaptabilidad a pequeños movimientos diferenciales del terreno sin sufrir daños estructurales y sobre todo una buena integración con el medio ambiente, ya que están contruidos con materiales naturales. Sin embargo el omitir pequeños detalles básicos en su diseño y construcción puede llevar a problemas de estabilidad como los que se revisaran en este trabajo.

## **2.- Antecedentes del problema**

El presente trabajo se escribe con la finalidad de explicar las causas de los problemas que se presentaron en dos obras de muros de escollera contruidos en Motril y en Almería España. Además se proponen varias soluciones para cada caso en particular, tratando así de erradicar el problema.

### **2.1.- Casos en Estudio**

El primer caso que se va analizar es una urbanización en Motril España, en donde se utilizaron muros de escolleras en diferentes sitios y con diferentes propósitos, se trata de la construcción de dos edificios en los cuales se aprovechó el desnivel del terreno para construir una planta de sótano que sirva como estacionamiento vehicular, construyendo en la pared de este desnivel del terreno un muro de escollera para brindar estabilidad y contención del terreno. También se construyeron muros de escollera a todo lo largo de un canal de desagüe el cual tiene la finalidad de estabilizar la paredes de dicho canal y evitar la erosión del terreno por el flujo del agua. Los daños que se produjeron están descritos en el informe de Jaramillo [1 y 2] El segundo caso en estudio es una construcción unifamiliar en la parcela N° 52 de la Envía Golf ubicada en Almería España (Jaramillo, 2003 y 2011) [4 y 5] Dicha parcela originalmente contaba con una superficie de 1383 m<sup>2</sup> esto de acuerdo a un levantamiento topográfico realizado en Enero de 1994, esta superficie fue incrementada por la urbanizadora en más de 2.3 veces su medida original a costa de ocupar linderos y zonas libres de urbanización en pendiente natural, para llevar a cabo dicho incremento se cortó la loma existente en el terreno y se explanó con el material resultante del corte produciéndose taludes de más de 10 metros de altura, en los cuales se construyó un muro de escollera con la finalidad de brindar soporte y estabilidad al terreno, pero cabe mencionar que este muro no cantaba con los requisitos mínimos de estabilidad y geometría necesarios y aunado el material detrás del muro se encontraba saturado debido a fugas en el sistema de abastecimiento y al sistema de riego de la parcela, por lo cual se presentó el problema de deslizamiento del talud.

## **3.- Metodología de Diseño**

Para que un muro de escollera cumpla con su propósito que es el de brindar estabilidad y soporte a un talud o desnivel en el terreno debe ser considerado y diseñado como un muro de contención de gravedad y para esto debe de cumplir con varias condiciones como son: Geométricas, Físicas, Mecánicas y de durabilidad. Para tal fin contamos con el documento "Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera", última versión de 2009 [3], el cual

proporciona una serie de recomendaciones de diseño, métodos constructivos y correcta elección de los materiales a utilizar. Tal como se menciona en el título de dicho documento, estas recomendaciones se crearon para la utilización de escolleras en obras carreteras, sin embargo estas se pueden trasladar a la construcción de escolleras en urbanizaciones, pero es importante no olvidarse de los aspectos importantes de seguridad y diseño.

### 3.1.- Condiciones Geométricas.

Las condiciones geométricas básicas recomendables consisten en colocar sucesivamente hiladas horizontales que presenten razones de pendiente en torno a 3H/1V, de forma que presenten caras de contacto suficientemente regulares como para permitir un correcto apoyo de la hilada superior. Resulta igualmente recomendable que cada hilada se constituya con un mínimo de 2 piezas en su espesor y que la dimensión mínima de su base no sea inferior a los 2,00 m.

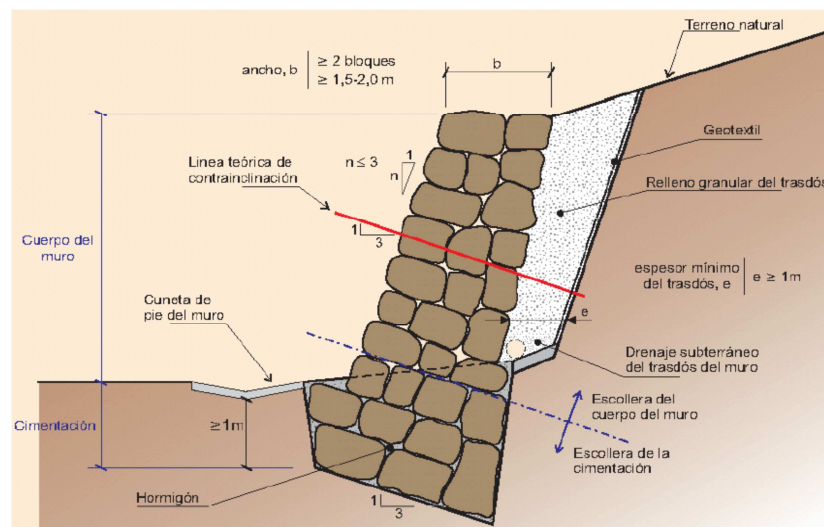


Fig 1 “Esquema de muro de escollera”. Fuente: “Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera” Ministerio de Fomento.

### 3.2.- Características Físicas y Mecánicas

En función a la granulometría de las piezas podremos diferenciar:

- Escollera gruesa HMB<sub>1000/3000</sub>, constituida por piezas cuya masa oscila entre los 1000 y los 3000 kg., especialmente recomendada para las escolleras “colocadas” descritas.
- Escollera gruesa HMB<sub>300/1000</sub>, con masas que están entre los 300 y los 1000 kg., recomendables para escolleras de altura reducida o bien como material de relleno para las escolleras constituidas por piezas del grupo anterior.

La forma más adecuada de los bloques es la prismática, con superficies ásperas, evitando expresamente las superficies lisas o las formas redondeadas. En la “Guía para el Proyecto y la Ejecución de Muros de Escollera en Obras de Carretera” de 2009, se establece una limitación formal para el uso de las piezas en función a su condición prismática, estableciendo el porcentaje máximo de piezas que pueden mantener una relación  $(L/E > 3) \leq 15\%$  siendo:

- L dimensión máxima de un bloque de escollera.
- E dimensión mínima de un bloque de escollera.

En base a la necesaria colaboración de la fricción entre piezas, los bloques deberán presentar planos rugosos, con caras de fractura y aristas vivas, limitando el porcentaje de superficies redondeadas  $RO \leq 5\%$  siendo RO proporción de superficies rotas o trituradas según ensayo UNE EN 13383-1.

El peso específico de los materiales influirá especialmente en el comportamiento de la escollera, por lo que resulta recomendable que no sea inferior a  $2500 \text{ kg/m}^3$ , presentando una resistencia media en ensayo a compresión simple superior a 80 MPa, con un porcentaje superior al 60% de piezas que ofrezcan un valor por encima de los 60 MPa.

La resistencia a la fragmentación se comprobará mediante el Ensayo de Los Ángeles (UNE EN 1097-2), arrojando valores de  $LA < 35$ .

### 3.3.- Método de Diseño

El diseño de un muro de escollera deberá responder a la comprobación de los principales criterios de fallo que corresponderán a:

- Deslizamiento
- Hundimiento
- Estabilidad global
- Estabilidad local

Como ya se mencionó anteriormente los muros de escollera se comportan como un muro de gravedad, por lo tanto la comprobación de los tres primeros modos de fallo expuestos se calcula de la misma manera que estos. Por tal motivo en este estudio solo se explicara el modo de fallo de estabilidad local.

Por modo de fallo a estabilidad local identificamos un método de rotura por el que se moviliza una parte del terreno de relleno contenida en un plano de rotura que corta el alzado del muro, provocando que una parte del mismo (superior) se desplace sobre otra que queda inmóvil (inferior). Utilizando la metodología de Mohr-Coulomb y considerando un material de cohesión ( $c=0$ ) podremos realizar un buen acercamiento a las condiciones de trabajo reales. Y de esta manera el único parámetro resistente en el que nos deberemos enfocar es el rozamiento entre los elementos.

Si recordamos la recomendación de colocar las piezas con una contrainclinación de 3H:1V con respecto a la horizontal, podremos asegurar que para que se produzca la rotura a una determinada altura es necesario que las fuerzas a soportar superen a las fuerzas de rozamiento que se generan sobre el plano inclinado ascendente sobre el que se apoyan. Un sistema de determinar el factor de seguridad podría establecerse en base a la relación que existe entre la superficie de rotura que corta al muro y el ángulo de contrainclinación de las hiladas dispuestas. De esta manera toda superficie de rotura que tuviera un ángulo de salida distinto al de los bloques determinaría la rotura de los mismos. Por tanto, será necesario analizar cuantas líneas de rotura se estimen para garantizar que el muro de escollera adopte los ángulos de ejecución derivados.

Resultará por tanto imprescindible determinar el ángulo de rozamiento interno de la escollera ( $\varphi$ ), teniendo en cuenta que en su evaluación pueden influir determinados factores que permiten establecer:

$$\varphi = \varphi_b + \Delta\varphi_e - \Delta\varphi_n \quad (1)$$

En donde:

$\varphi_b$  valor del ángulo de rozamiento básico del material, y que en base a la resistencia a compresión aconsejada (media superior a  $q_u > 80$  MPa) permite establecer un rango de  $42^\circ < \varphi < 38^\circ$ .

$\Delta\varphi_e$  incremento de valor que se puede determinar por efecto favorable que provoca una ejecución correcta del muro, que permita una buena fricción entre las piezas. Para que pueda ser considerada será preciso que el paramento vertical sea más inclinado que 1H:3V, que las hiladas mantengan una contrainclinación media de 3H:1V, que el espesor medio en coronación no sea inferior a 2,00 m. y que la sección transversal disponga al menos de 2 piezas. En estas condiciones se podrá determinar  $1\% < \Delta\varphi_e < 3\%$ .

$\Delta\varphi_n$  disminución del valor del ángulo de rozamiento en función de la tensión normal, que se podrá estimar en base a:

$$\Delta\varphi_n = \varphi_n \cdot \log_{10} (\sigma_n / P_a) \geq 0$$

Siendo:

$\varphi_n$  coeficiente que se expresa en grados sexagesimales, de manera que  $\varphi_n \geq 7$ .

$\sigma_n$  tensión máxima normal a que se encuentra sometida la sección.

$P_a$  presión atmosférica que se puede estimar en referencia a  $P_a = 0,1$  Mpa.

Los valores de  $\varphi_b$  y  $\Delta\varphi_e$  podrán deducirse de la tabla adjunta:

TIPO DE ROCA	$\varphi_b$ (°)	$\Delta\varphi_e$ (°)
Granito muy sano	40-41	1-2
Gneis	41-42	1-2
Cuarcita	39-40	1-2
Basalto	40-41	1-3
Riolita, andesita	41-42	1-3
Sienita, granodiorita y diotita	39-40	1-3
Conglomerados y brechas bien cerradas	39-41	1-2
Arenisca muy cementada	38-39	1-2

Tabla 1 Evaluación del ángulo de rozamiento básico y del incremento por efecto favorable de la ejecución

Obteniendo valores para escolleras compactadas de acuerdo a las condiciones de ejecución expuestas que se pueden expresar en base a las recomendaciones de la tabla adjunta:

TIPO DE ROCA	$\varphi_{min}$ (°)	$\varphi_{med}$ (°)	$\varphi_{max}$ (°)
Granito	37	41	45
Gneis	40	43	45
Cuarcita	36	39	42
Basalto	37	41	45
Riolita, andesita	39	42	46
Sienita, granodiorita y diotita	38	42	46
Dolomías y calizas muy sanas	38	40	43
Arenisca	33	37	42

Tabla 2. Rango de ángulos de rozamiento interno de la escollera según el material

#### 4.- Levantamiento y Registro de daños

En la urbanización de Motril España, la construcción de la escollera estaba en varias zonas, (bajo los edificios, en zona sin construcción y en el canal) por lo tanto los problemas que se presentaron fueron diversos y a continuación se mencionan.

- Aparición de fisuras en el firme y en el hormigón que marcan una línea de descenso del terreno paralela a la línea de escollera,
- Diferencias de nivel entre las diferentes partes del pavimento.
- En la parte superior del trasdós de la escollera se observa la aparición de fisuras paralelas a la línea de escollera.
- Rotura de las piedras por falta de condiciones de planeidad suficiente. No existe plano de apoyo de las piedras, lo que provoca la aparición de apoyos puntuales lo que conlleva la aparición de tensiones elevadas y falta de estabilidad.
- Desplazamiento de las piedras.
- Caída de piedras en el canal.
- Lavado del terreno entre las piedras que ha provocado la aparición de huecos importantes en diferentes zonas de la urbanización (socavones), llegando a producir hoyos bajo el carril bici.
- Inversión de la pendiente en el carril bici y en el acerado, provocando la acumulación de agua en forma de charcos.

Todos los daños observados se encuentran en una zona de 2 a 4 metros atrás de la escollera y a todo lo largo de la misma, por lo tanto es evidente que el problema radica en el deficiente diseño de la escollera.



Fig 2 “Fracturación de piedras por esfuerzos excesivos” y Fig 3 “Hundimiento”.



Fig 4 “Asentamiento y cambio de pendiente” y Fig 5 “Caída de rocas en la escollera del canal”

Como ya se mencionó anteriormente, en la construcción de Vía Golf en Almería España, se aumentó la parcela N° 52 de un poco más de 1300 m<sup>2</sup> a más de 3000 m<sup>2</sup> generando en el nuevo perímetro de la parcela un fuerte desnivel de más de 10 metros y con una pendiente casi vertical, en donde se construyó un muro de escollera, el cual por sus deficientes características de estabilidad no se puede considerar como tal, ya que solo es un muro de recubrimiento (tipo piel de escollera) el cual tiene un valor muy bajo o prácticamente nulo de resistencia a los empujes y desplazamientos del terreno.



Fig 6 “Muro de escollera deficiente” y Fig 7 “Movimiento del terreno y deslizamiento del muro”.



Fig 8 “Deslizamiento del terreno” y Fig 9 “Deslizamiento del terreno”.

## **5.- Soluciones planteadas**

### **5.1.- Caso 1**

Como medidas correctoras proponemos tres soluciones por zonas.

- Para la zona de escollera bajo los edificios comerciales ya construidos proponemos la realización de un muro de hormigón para revestir la escollera, apoyando el revestimiento de 30 cm de espesor y mallazo de 16 a 20 en ambas caras al forjado y cimentación.
- Para la zona de escollera donde no está previsto edificio, la colocación de anclajes.
- Para la zona de escollera en la zona libre de edificio actualmente, pero donde está previsto construir, recomendamos la realización del revestimiento tipo de hormigón armado de 30 cm y mallazo de 16 a 20, vigilando los movimientos del muro mediante topógrafos. De esta forma podemos controlar si el revestimiento, haciendo trabajar la escollera en su conjunto es suficiente o no. En caso de movimiento en los próximos 6 meses, anclar el muro hasta la construcción del edificio, donde se apoyará a la estructura.
- Para la zona del canal, proponemos dos soluciones:
  - Entubarlo mediante una sección mínima equivalente para las avenidas. Según comentarios realizados por la propiedad, podría ser una sección de tubo de 1 m<sup>2</sup> que se recubriría de tierra, terraplenando la superficie con una ligera pendiente, dado el desnivel variable actual entre las dos orillas del canal.
  - Refuerzo con un muro en L en la orilla del carril bici y gunitado en la opuesta. El refuerzo que hemos calculado es algo inferior, de 25 cm de espesor, y redondo de 16 y de 12 al ser la altura menor, funcionar como un muro en L contra la orilla opuesta.

Además, sobre la zona del nuevo muro de hormigón, protegiendo la escollera, debe de colocarse una malla de protección para evitar la caída de material al aparcamiento.

Es importante mantener el drenaje a través de los nuevos muros de hormigón de protección.

Otras medidas correctoras son la inyección de la urbanización en los 4 metros tras la escollera. Los penetrómetros realizados en estos días detectan la falta de material (suelo) bajo el pavimento, por lo que pueden producirse hundimientos y socavones.



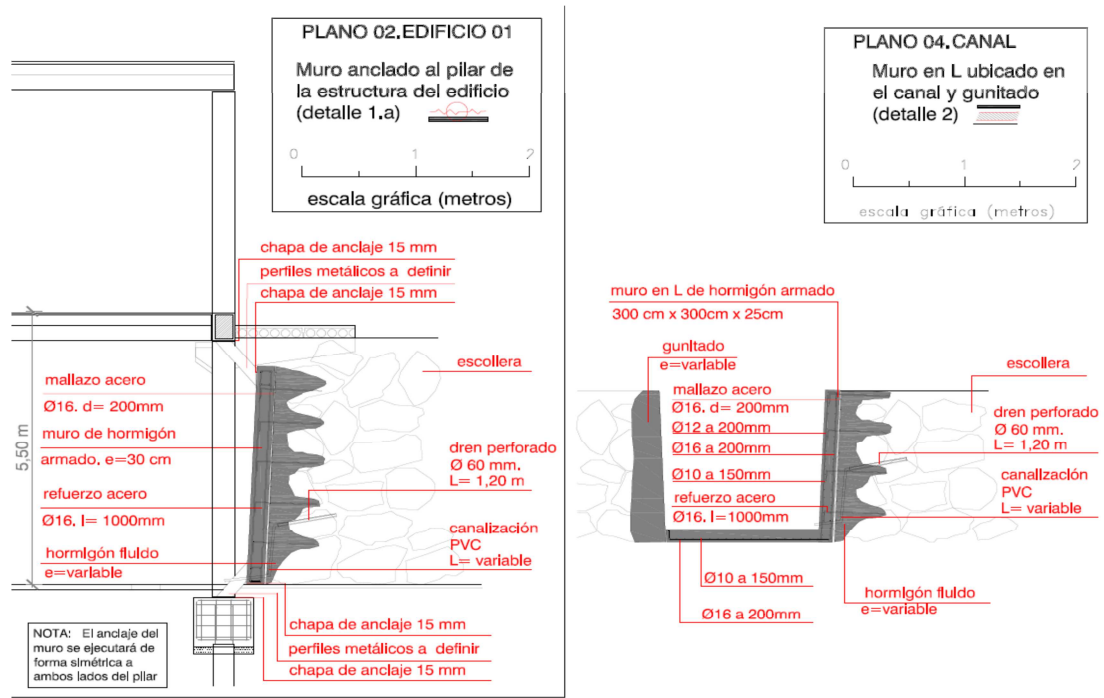


Fig 10 “Detalle del muro” y Fig 11 “Detalle del muro en canal junto a los edificios”.

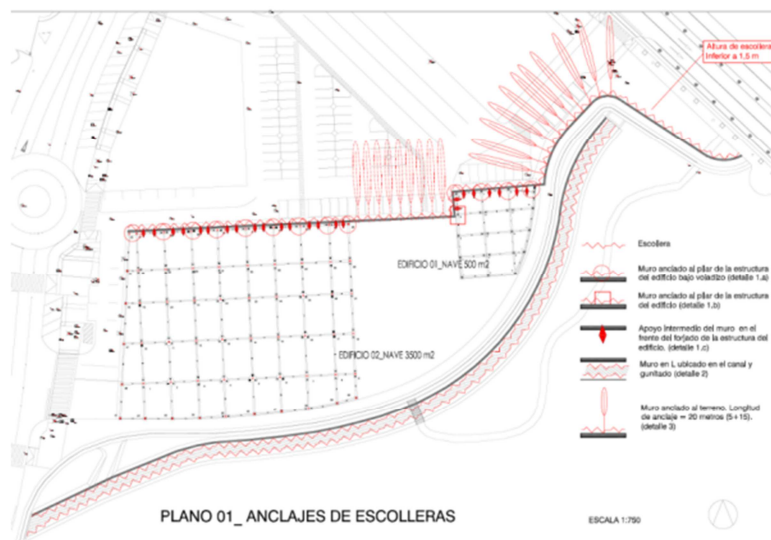


Fig 12 “Croquis de la zona en donde se propone el anclaje del muro”.

### 5.2.- Caso 2

Como primera medida es necesario eliminar el agua existente en el relleno bajo la parcela, para evitar nuevos deslizamientos. Recordemos que al eliminar el agua del terreno, mediante drenajes, en general, al disminuir la humedad del terreno, se aumenta la resistencia del terreno.

Por los informes existentes, están localizadas dos bolsas de agua, por lo que conviene drenarlas. El drenaje, por la situación de estas bolsas, debe hacerse

mediante drenes californianos: tuberías subhorizontales introducidas en el terreno, que permiten la salida del agua por gravedad.

Es necesario estudiar la legalidad de la ocupación y vallado por parte de los propietarios de la parcela original de algo más de 1.300 metros cuadrados, hasta obtener más de 3.000 m<sup>2</sup> entra edificación y jardines de uso exclusivo. Además, la loma completa cuenta con un sistema de riego procedente de la edificación.

Colocación de una estructura de escollera correctamente dimensionada como muro de gravedad. Puede realizarse dada la proximidad de material próximo, y la utilización (al menos, apariencia) de este tipo de soluciones en la zona.

La eliminación del relleno superior garantiza la estabilidad de la ladera, al disminuir la pendiente, y reduce la superficie de la parcela ocupada por jardines.

Las características de esta estructura sería:

- Espesor mínimo de 2-3 metros, y al menos de 0.25 a 0.4H, en función del cálculo concreto, para las distintas alturas.
- La pendiente del intradós (parte visible del muro) no debe ser superior a 2H-3V, o aproximadamente 50°-55°.
- Debe de contar con un sistema de drenaje (el mismo de drenes californianos puede servir).
- Se tendrá en cuenta en el dimensionado las posibles sobrecargas en coronación.
- La eliminación del recubrimiento y relleno actual deberá hacerse por batches por seguridad de los intervinientes en la obra.
- Podría plantearse la colocación de un geotextil y cultivo superior por razones estéticas.

El muro de escollera ha sido reparado parcialmente en las parcelas C2 y C3 (Jaramillo, 2011b) [2], pero la degradación del canal avanza peligrosamente.

## 6.- Conclusiones

Adelantamos un decálogo de diseño y construcción de escolleras para edificación:

- El diseño de un muro de escollera para edificación requiere un diseño más cuidado que para una carretera, ya que las edificaciones son más sensibles a los movimientos de las piezas.
- Las caras de las piezas de la escollera deben de ser siempre tratadas de forma que garanticen una superficie mínima de apoyo y transmisión de cargas, y al tener una superficie de apoyo, permite mantener la inclinación en el trasdós.
- Los espesores mínimos deben de respetarse siempre aunque las alturas en edificación sean sensiblemente inferiores a un talud de carreteras.
- Siempre debe de realizarse la comprobación de estabilidad del conjunto, más importante para estos casos que otras. Como mínimo debemos de exigir un coeficiente de seguridad de 1,8.
- Los fallos e inestabilidades locales es la segunda causa de daños. Pueden corregirse como ya hemos mencionado realizando un tratamiento adecuado de las superficies para que tengan un apoyo adecuado.
- En las comprobaciones debe de incluirse siempre la acción sísmica aunque sea una zona de baja aceleración según la norma sísmica. El método de

Mononobe-Okabe [6,7] especificado en la norma sísmica lo consideramos adecuado para este tipo de muros. En Andalucía, en Granada y en la costa de Huelva los esfuerzos predominantes proceden de la acción sísmica y no de las cargas gravitatorias.

- La reparación de este tipo de estructuras de contención pasa por la utilización de otros sistemas como micropilotes, inyecciones, etc, ya que el tamaño de la maquinaria que se utiliza para su ejecución no permite su introducción en edificios a reparar.
- Los edificios próximos pueden soportar parte de los empujes de los muros contribuyendo a su estabilización, al ser elementos fijos en las tres dimensiones. De un 5 a un 10% de la carga permanente puede estabilizar un muro de escollera.
- Es fundamental especificar los elementos de drenaje: material trasdós de escollera, dimensión de orificios y tuberías de evacuación, evitar zonas de acumulación, etc.
- Dadas las dimensiones de los elementos, durante la construcción, y en caso de reparación, debe de evitarse la cercanía de los trabajadores, por el peligro de derrumbe de grandes piezas. Al menos asegurar los elementos sueltos antes de toda actuación.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente el trabajo e interés a los doctores Wilfrido Martínez, Molina Elia Mercedes Alonso Guzmán, Profesores de la Fac. de Ing. Civil, y al doctor Carlos Alberto Hiriart Pardo de la Fac. de Arquitectura, todos de la UMSNH de Morelia de México, por haber tendido una puente entre Morelia y Sevilla, permitiendo y alentando el intercambio de los alumnos de master. Agradecer el apoyo de la Universidad de Sevilla, su VPPI ha ayudado a financiar las gestiones de este documento.

## REFERENCIAS

- [1] Jaramillo Morilla, Antonio, 2011a. "Informe sobre patologías de la urbanización de la UE-13 de Motril Granada". Informe sin publicar. Encargo Junta de Compensación.
- [2] Jaramillo Morilla, Antonio, 2011b. "Proyecto de reparación de muros de urbanización en parcelas C2 y C3 de la UE MOT 13 de Motril". Proyecto visado COA de Granada. Encargo Junta de Compensación.
- [3] Guía de escolleras, 2009. Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera. 3ª edición revisada 2009.
- [4] Jaramillo Morilla, Antonio 2012. "Informe sobre vivienda parcela 52, urbanización la Envía Golf en Vícar, Almería, Encargo ASEMAS. Informe sin publicar.
- [5] Jaramillo Morilla, Antonio 2001. "Informe sobre vivienda parcela 52, urbanización la Envía Golf en Vícar, Almería, Encargo ASEMAS. Informe sin publicar.
- [6] Mononobe N, Matsuo H., 1929. "On the determination of earth pressure during earthquakes. In Proc. Of the World Engineering Conf., Vol. 9, str. 176.
- [7] Okabe, S 1926. "General theory of earth pressure. Journal of the Japanese Society of civil Engineers". tokz, Japan 12 (1).