

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO Y EJECUCIÓN DE REVESTIMIENTOS DE BLOQUES

Arq. Alberto Dal Farra, Ing. Carlos Alberto Rodríguez

Presidente y Gerente Técnico de Coripa S.A. respectivamente.
Coripa S.A. – Virrey del Pino 2458. Piso 3° - C1426EGR – Cap. Fed.
E-mail: info@coripa.com.ar – Web: <http://www.coripa.com.ar>

RESUMEN

La creciente utilización en nuestro país de revestimientos constituidos por bloques de hormigón como protecciones contra el oleaje y/o la corriente, conduce a la necesidad de clarificar conceptos sobre distintos criterios técnicos de uso habitual en nuestro medio, utilizados tanto para la selección, como en el cálculo y la ejecución de este tipo de protecciones. En el presente trabajo se abarcan diferentes aspectos del tema, buscando afianzar criterios que, además de enriquecer el debate teórico, resulten de utilidad a proyectistas, directores de obras y usuarios, que prevean el empleo de revestimientos de bloques en sus obras.

ABSTRACT

The increasing use in Argentina of revetments constituted by concrete blocks as protections against wave and/or current, leads to the necessity to clarify concepts about different technical criteria usually applied for the selection, calculation and execution of this type of protections. This paper includes different aspects from this subject, looking for enhancing criteria, which in addition to permit a theoretical debate, becomes useful to designers, work-directors and users, who pretend to use revetments of blocks in their works.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la creciente demanda de revestimientos antierosivos destinados a proteger tanto las márgenes naturales de ríos y lagunas, como canales y terraplenes de defensa contra inundaciones, impulsó la utilización de protecciones constituidas por bloques de hormigón.

Este tipo de solución, incluida dentro de las denominadas “pitched protection” por el CUR holandés, reemplazó al clásico enrocado (rip-rap) en aquellos lugares donde no existía piedra o los tamaños de la misma eran inadecuados, o donde su uso no resolvía requerimientos particulares del proyecto. En otros casos, suplantaron a las colchonetas de alambre, sea por razones económicas, la agresividad del medio (riesgo de corrosión y abrasión de los alambres), o su implantación en áreas urbanas.

Por estas u otras razones, tantos organismos públicos como proyectistas privados recurrieron a los revestimientos de bloques para resolver los problemas de erosión que se presentaban en sus obras. Esta demanda originó a su vez la respuesta de distintos proveedores a través de diversos modelos y sistemas de protección.

OBJETIVO

El empleo de revestimientos de bloques en distintos proyectos ha difundido tanto los fundamentos teóricos como la experiencia sobre sus posibilidades y límites.

Pese a ello, como no siempre se aplicaron metodologías de proyecto reconocidas y técnicas de ejecución adecuadas, parte de esa experiencia son aquellas obras donde se observa una elección inadecuada del revestimiento, su subdimensionado, la ausencia de filtro, o la escasa atención brindada a los aspectos geotécnicos.

Como consideramos necesario afianzar los criterios para una correcta selección, diseño, y ejecución de estas protecciones, así como desterrar los prejuicios o “mitos” que provocan las situaciones negativas apuntadas, la finalidad básica del presente trabajo es aportar ideas y experiencias, que además de enriquecer el debate teórico, resulten de utilidad a proyectistas, directores de obras y usuarios, que prevean el empleo de revestimientos de bloques en sus obras.

Hemos obviado una presentación académica, deseando en cambio puntualizar ideas y resaltar contrastes sobre algunos criterios técnicos habitualmente empleados. En algunos casos, hemos enunciado recomendaciones o sugerencias, en otros se ha preferido dejar abiertas las conclusiones a un posterior intercambio de ideas que esta ponencia pueda generar.

Al sólo fin de ordenar la exposición hemos agrupado nuestros comentarios en tres capítulos: selección del revestimiento; cálculo de la protección y ejecución de la obra.

SELECCIÓN DEL REVESTIMIENTO

El primer desafío que suele presentársele al proyectista es la elección del tipo de revestimiento más adecuado para su obra. El problema de encontrar el revestimiento que mejor resista las acciones dinámicas del oleaje o de la corriente que motivan su intervención, suele estar ligado por una parte al desempeño específico de cada bloque y por la otra a cómo se lo integra al conjunto de la obra. Las características del sitio de implantación suelen ser las condicionantes principales, aunque también suelen existir requerimientos complementarios propios de cada obra.

No propiciamos que se descarte a priori ningún tipo de bloque, ya que cada uno de ellos posee propiedades particulares, y por lo tanto desempeños más o menos satisfactorios según los requerimientos de cada proyecto. Aún el bloque menos calificado puede resultar útil para resolver determinados problemas.

La selección del revestimiento implica analizar el problema, sus soluciones alternativas y las consecuencias derivadas de su aplicación, lo que debe realizarse con una visión amplia, muchas veces de carácter interdisciplinario, que le permita al proyectista resolver acertadamente algunas de las siguientes cuestiones:

El revestimiento como sistema

Como en el caso de un enrocado, de colchonetas de piedra, o de cualquier otro tipo de revestimiento, entendemos que las características de los bloques no resultan suficientes para

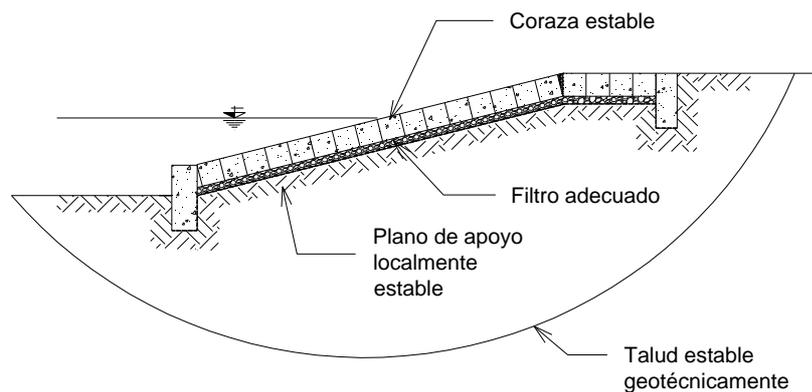


Figura 1: Componentes y propiedades básicas del “sistema revestimiento”

determinar el desempeño del mismo puesto que sólo materializan la coraza o cobertura que actúa como protección mecánica.

Su comportamiento estará determinado por la interacción de esta capa con la que constituya el filtro, y con el plano inmediato sobre el que se apoyan ambas.

Estos tres elementos conforman un sistema, por la interacción entre sus partes, que determinará la respuesta que se podrá esperar de un determinado revestimiento. Esto se ve reflejado en el tratamiento que le da el PIANC (1992) al tema, en el documento de su Grupo de Trabajo N° 21 “Guidelines for the Design and Construction of Flexible Revetments Incorporating Geotextiles in Marine Environment”.

¿Qué determina el desempeño de un revestimiento de bloques?

La estabilidad o comportamiento mecánico que se puede esperar de la cobertura, normalmente denominada “coraza”, cuando se materializa en bloques de hormigón, depende fundamentalmente del peso de las piezas, del grado de cooperación entre ellas, y del modo en que su diseño alivia los esfuerzos a los que están sometidas.

Así como en un enrocado lo decisivo es el peso de cada piedra, o en las colchonetas el grado de confinamiento del relleno por la malla de alambre, en los revestimientos de bloques se compensa la falta relativa de peso de las piezas, por el grado de interacción entre las mismas.

Antes de analizar los desempeños que presentan los diferentes tipos de bloques, es conveniente realizar algunas aclaraciones sobre sus denominaciones genéricas. Si nos guiamos por las Normas IRAM para bloques para pavimentos, se denominan “bloques articulados” (IRAM 11626) a aquellos colocados ensamblados y que transfieren carga a los adyacentes por la conformación de sus caras laterales, la que además impide que puedan ser desmontados individualmente. La denominación “bloques intertrabados” (IRAM 11656) queda reservada para aquellos colocados adosados y en los que la carga se transfiere por fricción de sus caras laterales a través del material granular con el que se llenan sus juntas. En éstos últimos, una pieza puede removerse individualmente, sin que la misma o las aledañas deban sufrir rotura, o deba desmontarse el conjunto para extraer el bloque en cuestión.

A partir de lo expuesto pueden analizarse los comportamientos de las distintas familias de bloques siguiendo los criterios del Ing. K.W. Pilarczyk expuestos en su reciente publicación “Design of Revetments” (2000).

Allí establece una clara diferenciación entre revestimientos de “loose blocks” (o “bloques sueltos”) en los cuales cada elemento puede ser retirado individualmente por una fuerza que exceda su peso y la fricción que desarrolla con los adyacentes; y revestimientos de “block mattresses” (o “mantas de bloques”) en los que las piezas están unidas entre sí de tal modo que se comportan solidariamente asemejándose a una manta.

Además, para retirar una pieza de éstos últimos debe vencerse su peso, eventualmente la fricción, y la resistencia del elemento vinculante (geotextil, cable o tendón, encastre o traba, etc.). Sería el caso de los bloques articulados, los bloques unidos por cables de acero, los bloques confinados, colchones de mortero inyectado, etc. Es decir que cuanto mayor es la interacción entre bloques linderos, mayor será la reserva de estabilidad del revestimiento frente a la posibilidad de movimiento de una de las piezas que lo componen. En la mayoría de los casos, este mejor desempeño implica una respuesta menos flexible de la protección.

Esta diferenciación se refleja en el “coeficiente de estabilidad F” que emplea Pilarczyk en su fórmula para el cálculo de estabilidad al oleaje de revestimientos de bloques. Los conceptos antes expuestos se han volcado en la Tabla 1, donde se indica la categorización y los coeficientes F indicativos según Pilarczyk para los revestimientos de bloques de uso habitual en nuestro medio.

Tabla 1: Coeficientes de estabilidad “F” indicativos para revestimientos de uso habitual

REVESTIMIENTOS DE BLOQUES DE USO HABITUAL	CATEGORIZACIÓN SEGÚN PILARCZYK	COEFICIENTES “F” INDICATIVOS
Bloques sueltos con relleno granular entre juntas	Loose blocks	5
Bloques vinculados por geotextil sin relleno granular entre juntas	Loose blocks	5
Bloques vinculados por geotextil con relleno granular entre juntas	Loose blocks	6
Bloques vinculados por tendones sintéticos	Loose blocks	6
Bloques confinados e intertrabados	Mattress	6
Bloques vinculados por cables	Mattress	7
Bloques articulados por encastre	Mattress	7

Asimismo, el parámetro F es función de la llamada “longitud de derrame”, la cual refleja los espesores y las permeabilidades del filtro y de la cobertura, es decir la capacidad del revestimiento de evacuar presiones hidrostáticas.

Cuanto mayor resulte la “longitud de derrame” mayor serán los esfuerzos de expulsión sobre el bloque y por ende los requerimientos necesarios para asegurar su estabilidad. Como ejemplo de lo anterior se tiene que una disminución del 30% de la longitud de derrame, a igualdad de otros parámetros, significa un incremento aproximado del 20% de la altura de ola significativa crítica (H_{scr}) que produce la inestabilidad de la protección.

Finalmente, puede decirse que el desempeño de un revestimiento de bloques expuesto al oleaje está dado por la resistencia a la extracción de cada una de sus piezas en la dirección normal al plano de la protección. En cambio, si el revestimiento estuviera sometido a corriente, los esfuerzos principales aparecerían en el propio plano de la protección.

¿Revestimientos estables sobre taludes inestables?

El manto de bloques de un revestimiento no suele cooperar en la **estabilidad geotécnica global** del talud, entendida ésta como la compatibilidad de las características del suelo – peso específico, cohesión, ángulo de fricción interna, etc. – con la pendiente del talud y las cargas a las que está sometido. Por lo tanto, ni la adecuada selección del tipo de bloque ni su dimensionado son relevantes frente a este problema. Aún más, en algunos casos, según como se ubique la protección respecto del círculo de deslizamiento, el revestimiento elegido puede actuar como un elemento desestabilizante con el riesgo que esto representa.

La falta de **estabilidad geotécnica localizada** se manifiesta como deformaciones o pérdidas del suelo que conforma el plano de apoyo. Dentro de estos fenómenos se debe considerar la erosionabilidad del sustrato, ya que el riesgo de fallas geotécnicas localizadas varía sensiblemente según sea cohesivo o arenoso el plano donde se apoya el revestimiento. Estos problemas suelen agravarse cuando el sistema no posee un filtro adecuado a las características del suelo, permitiendo el escape de finos, y una permeabilidad suficiente que reduzca la longitud de derrame.

Por otra parte la pendiente del talud interviene en la estabilidad geotécnica global y localizada, y en la determinación del parámetro de rotura de la ola (λ_{op}), que expresa las características propias del oleaje.

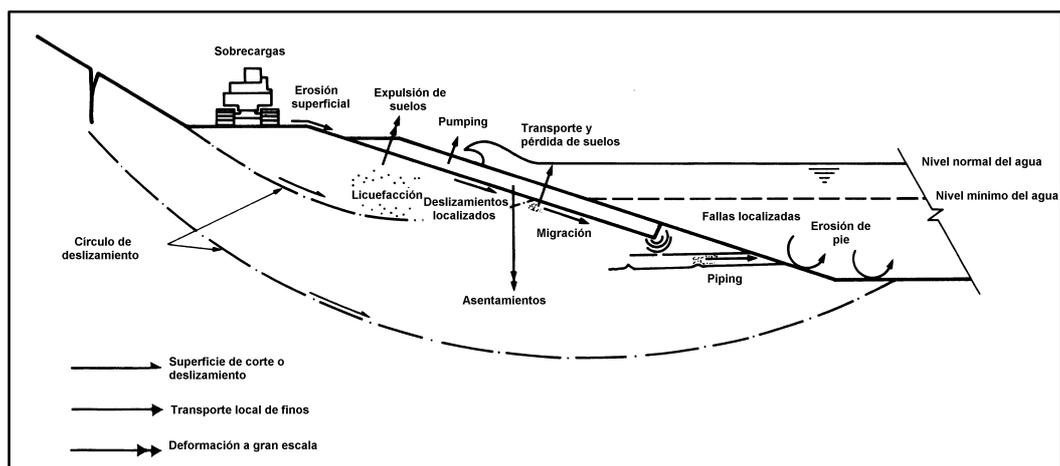


Figura 2: Fenómenos de inestabilidad geotécnica (del Boletín N°57 del Reporte del Grupo de Trabajo 4 del PIANC)

En algunos casos, la inestabilidad del talud provoca el colapso del revestimiento o la pérdida de su capacidad para desempeñarse como protección, manifestando limitaciones del diseño general de la obra más allá de la aptitud del tipo de bloque o de su dimensionado.



Figura 3: Inutilización de la protección por inestabilidad geotécnica del talud

En ellos la propiedad flexible del revestimiento suele destacarse como una virtud, pero en realidad sólo oculta una falla grave de diseño o construcción, ya que una protección carece de sentido cuando colapsó o se inutilizó el talud que protege.

¿Revestimientos estables o revestimientos flexibles?

Pensar en la flexibilidad de un revestimiento antes que en su estabilidad se ha transformado en un error conceptual al momento de seleccionar un revestimiento o sus características.

Diversas consideraciones explican pero no justifican la renuncia a lograr protecciones más resistentes con el fin de garantizar su flexibilidad. Resulta innegable que esta última propiedad es indispensable cuando el fenómeno erosivo no puede evitarse y el proyecto sólo prevé su control, tal el caso de protecciones de pie para erosiones localizadas.

En última instancia la flexibilidad de cualquier estructura es la que le permite absorber por deformación esfuerzos que de otra manera no podrían ser controlados y que podrían provocar su colapso o puesta fuera de servicio. Pero en muchos casos ese control y seguridad pueden obtenerse de modo más sencillo y económico con revestimientos más robustos aunque menos flexibles.

Cuando se prevea revestir canales, espaldones de presas, terraplenes de defensa, es decir taludes conformados y compactados, o cualquier otra obra proyectada y construida según las reglas del arte que garanticen su estabilidad geotécnica, debe privilegiarse la estabilidad frente a un grado innecesario de flexibilidad. Incluso puede afirmarse que un revestimiento flexible que no cuenta con la estabilidad necesaria aumentará el riesgo de colapso de la protección.

En todo caso, un cierto grado de movimiento entre los bloques puede ser necesario para garantizar un contacto continuo entre revestimiento y plano de apoyo, sea al momento de ejecutarlo, en cuyo caso deberíamos denominar adaptabilidad a esta propiedad, o para la eventualidad de pequeños asentamientos diferenciales del talud protegido.

También un cierto grado de flexibilidad puede ser necesario cuando la protección deba instalarse bajo el agua mediante mantas prefabricadas, fundamentalmente cuando no hay condiciones constructivas para el adecuado perfilado y compactado del talud.

Rigidización de revestimientos flexibles inestables

Cuando el principio anterior no es respetado, el problema de garantizar una mínima estabilidad lleva a adoptar soluciones paradójicas, como en el caso de los revestimientos altamente flexibles constituidos por bloques separados por juntas abiertas y vinculados exclusivamente por un geotextil tejido o por cables. Las consecuencias del subdimensionado de los bloques, que trataremos en el ítem siguiente, tienden a compensarse limitando el movimiento relativo de las piezas mediante el relleno de sus juntas con pedregullo limitando la flexibilidad del conjunto, propiedad por la cual se seleccionó el sistema frente a otras soluciones.

Aún empleando piedra partida y respetando las indicaciones del Ing. Pilarczyk en su libro “Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering” respecto al tamaño de las mismas para evitar su pérdida (“wash-out”), resulta habitual que la acción de la corriente o las olas desprenda el relleno, disminuyendo así la trabazón entre bloques, lo cual permite un mayor movimiento entre piezas que facilita a su vez una mayor expulsión de relleno en un proceso que concluye en algunas oportunidades con el colapso de la protección.

Para impedir que este fenómeno ocurra se recurre en algunas ocasiones al uso de hormigones porosos, sin duda más estables, pero que prácticamente eliminan la flexibilidad del sistema.



Figura 4: Revestimientos sobre talud conformado y estable

Una vez más, el grado de libertad restante puede determinar la pérdida de relleno, iniciando el círculo vicioso antes descripto.

En nuestra opinión, cuando realmente se requiere de una protección flexible se deben dimensionar adecuadamente los bloques, minimizando el aporte del relleno de las juntas salvo en los casos de ocurrencia esporádica del fenómeno hidráulico desestabilizante, y siempre que después del mismo pueda suponerse un adecuado mantenimiento que permita restituir la seguridad inicial a la obra, situación poco habitual tanto en obras públicas como privadas en nuestro medio.

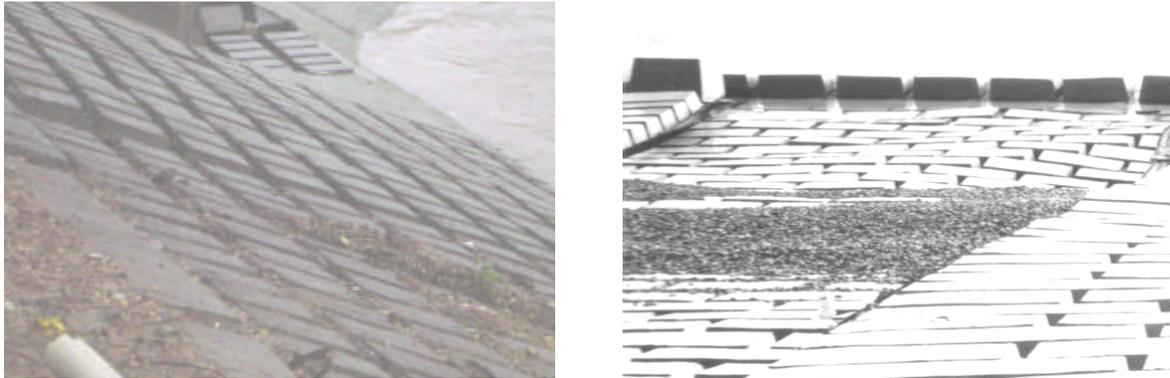


Figura 5: Pérdida de pedregullo de relleno de juntas por la acción hidráulica de la corriente y el oleaje

Rugosidad del revestimiento

Sólo cuando no se valora adecuadamente la importancia del grado de rugosidad de un revestimiento de bloques puede sostenerse que un mismo sistema resulta igualmente óptimo tanto para protecciones donde el oleaje es la acción dinámica principal, como donde lo es la corriente.

En efecto, un revestimiento de elevada rugosidad permite limitar sensiblemente el run-up y el run-down de la ola y por ende el desarrollo del revestimiento, la necesidad de muros rompeolas en la cresta del talud, o el refuerzo de su pie.

Por el contrario no ocurre lo mismo si la protección es contra la corriente, donde se requiere la menor rugosidad posible (es decir un bajo índice de Manning) para que la reducción de la resistencia al flujo permita, ahorrar sección de escurrimiento en el caso de canales, o disminuir la inestabilidad de la protección en el caso de defensas abiertas de terraplenes. En ambos casos, la menor rugosidad implica un menor índice de turbulencia, es decir una mejor respuesta hidráulica de la solución.

Véase al respecto los resultados del “Estudio Comparativo sobre el Cálculo Hidráulico de Protecciones Fluviales” del INA (2004), donde los valores de rugosidad relativa, expresados en centímetros de altura, varían según el tipo de protección: siendo el doble del diámetro nominal de la piedra para colchonetas de alambre, igual a la altura de los bloques cuando se

hallan vinculados por un geotextil tejido, y de sólo 3 cm para el caso de bloques intertrabados sin espacios abiertos.

Permeabilidad



Figura 6: Falla geotécnica local del plano de apoyo

Como expresamos en 1.2, la propiedad permeable de los revestimientos es muy importante cuando la acción desestabilizante es originada por el oleaje. Su influencia ha sido estudiada por diversos autores, entre ellos M. K. Breteler y A. Bezuijen, quienes han evaluado en conjunto la permeabilidad de la protección en sí y la del filtro, o si este no existiese, la del suelo a proteger por debajo de aquella.

De ambas depende directamente la longitud de derrame” y por ende el esfuerzo que tiende a levantar el bloque por acción de la ola. Por ello, sistemas muy permeables constituidos por bloques calados sobre filtros potentes permiten obtener estructuras livianas pero estables, en las que el menor peso estabilizante resulta suficiente dado los menores esfuerzos a los que el oleaje los somete.

En el caso en que estemos en presencia de corriente, la acción desestabilizante contra la protección se caracteriza por las tensiones de tracción paralelas al flujo y eventualmente por las condiciones de vorticidad. De lo anterior se desprende que la permeabilidad de la protección no resulta ser una propiedad relevante del sistema que se adopte.

Cualquiera resulte el caso, la permeabilidad del sistema debe ser como mínimo suficiente para aliviar las eventuales subpresiones de origen freático que puedan afectar al revestimiento, así como para evitar cualquier efecto de sifonaje derivado de las fuerzas de infiltración.

La materialización de la condición de permeabilidad de un revestimiento puede darse fundamentalmente por a) orificios, desde simples barbacanas hasta calados significativos de su volumen, o por b) las juntas entre sus bloques, desde las menos permeables correspondientes a sistemas de “juntas cerradas” hasta las que alcanzan una alta permeabilidad separando sus piezas y dando lugar a sistemas de “juntas abiertas”.

Pese a lo obvio, debe verificarse en todos los casos que las aberturas o juntas permitan la salida del agua pero retengan el material de filtro, y que esta condición no varíe ni en la etapa constructiva ni durante la vida útil.

Asimismo debe considerarse muy especialmente la posible pérdida parcial o total de permeabilidad de aquellos sistemas de bloques en los cuales para lograr su estabilidad se requiera el relleno de sus juntas con hormigón poroso o directamente con mortero.



Figura 7: Relleno de juntas con pedregullo y mortero de un revestimiento permeable



Figura 8: Toma de juntas con arena-cemento de un revestimiento de bloques intertrabados

Anclaje de bloques vinculados por geotextil: ¿pins o loops?

El debate sobre el empleo de anclas sintéticas (pins) o bucles (loops) para materializar la fijación de los bloques al geotextil que los vincula ha postergado el necesario análisis de otras consideraciones requeridas para la correcta selección de un revestimiento, y muy especialmente para su correcto dimensionado como expondremos en el capítulo referido a su diseño.

Creemos redundante explayarnos sobre el particular, ya que ambos modos se hallan incluidos en publicaciones recientes (como “Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering” (Holanda-2000) del Ing. Pilarczyk) y porque actualmente existen una diversidad

de obras realizadas con uno u otro sistema, en las cuales los problemas que pudiesen aparecer no se deben en ningún caso al medio elegido para el anclaje de los bloques.

Igualmente es necesario puntualizar que las especificaciones y el control de obra deben asegurar que las fijaciones que se empleen, cualquiera sea, brinden una resistencia al arrancamiento del bloque de cómo mínimo el doble de su peso (coeficiente de seguridad mayor o igual a 2) y posean propiedades funcionales y de durabilidad compatibles con la obra donde serán empleadas.

El riesgo que debe acotarse es la introducción de productos, como anclas de polímeros no estabilizados o de bajas resistencias mecánicas, o técnicas de fijación, como el uso de adhesivos, que no poseen la confiabilidad de los métodos actualmente en uso, ni un costo menor a aquellos, que compense su empleo.

Durabilidad, Vida Útil y Vandalismo

A nuestro entender la “durabilidad” de un revestimiento está dada por su capacidad de mantener, durante la vida útil de la obra, sus propiedades principales en un nivel compatible con el desempeño funcional que se espera del mismo frente a la acciones no antrópicas a las que estará sometido.

El proyectista determinará dicho nivel como resultado de afectar por un coeficiente de seguridad a los requerimientos funcionales mínimos necesarios para mantener la adecuada respuesta del revestimiento. Los materiales tendrán coeficientes de seguridad diferentes según los materiales que lo constituyen, la periodicidad de los fenómenos degradantes que los afecten, y la exposición de cada parte a los mismos.

En lo relacionado a la durabilidad de los geotextiles tejidos de polipropileno usados para vincular bloques creemos hoy superados los debates sobre los modos de su estabilización.

Consideramos que existe ya coincidencia general en requerir que los geosintéticos mantengan como mínimo el 50% de sus resistencias mecánicas iniciales (valor que por otra parte es el adoptado como resistencia residual para la mayoría de los materiales poliméricos) a lo largo de la vida útil de la obra, o dicho de otro modo, que el valor de los requerimientos funcionales determinados por cálculo sean mayorados por un coeficiente de seguridad de 2.

Tampoco se utilizan actualmente especificaciones de geotextiles de “vida útil superior a 100 años” atendiendo a la frase del Ing. K. W. Pilarczyk (2000) donde expresa que para los “no-creyentes”, entre los que se incluye, la vida útil garantizada de los geosintéticos puede ser 50 años, reservando para los “creyentes” asumir 100 años en los casos de materiales enterrados o aplicaciones bajo agua.

Quizás se debería poner más énfasis en la vida útil del conjunto de los materiales que componen un revestimiento y en su correcto dimensionado. Como mínimo, además de analizar la durabilidad esperada de los geosintéticos, debería considerarse la vida útil del hormigón, el cual suele estar sometido en muchos casos a ambientes poluidos o agresivos, respetándose las recomendaciones del CIRSOC 201 en tal sentido.



Figura 9: Bloques de hormigón deteriorados por el medio agresivo

De igual forma deberá reducirse el empleo de mallas o armaduras metálicas a las estructuras que indefectiblemente lo requieran, y en esos casos, respetar también las recomendaciones del citado reglamento para diámetros de armaduras y recubrimientos mínimos. Es decir la excelencia de los materiales empleados debe ser armónica para todo el sistema, ya que la falla del conjunto se producirá por el elemento más débil.

También debe analizarse la durabilidad del revestimiento como resultado de su desempeño, es decir por el desgaste que el mismo producirá sobre los materiales y la respuesta que los mismos puedan seguir brindando.

De todos modos, un rápido relevamiento de las fallas que han tenido lugar en las protecciones con bloques refleja que las mismas no pueden atribuirse a su insuficiente durabilidad, sino más bien a errores de proyecto o de ejecución. (Pianc- Report of Working Group 4 (1987))

Finalmente, como consideración adicional a la durabilidad del sistema, deben preverse las acciones antrópicas sobre el revestimiento, tanto las de carácter vandálico como las que surgen de un uso inadecuado del mismo. Las prevenciones suelen estar acotadas a limitar el acceso y el uso indebido de las obras, y a concientizar a la población sobre la importancia de las mismas y las consecuencias de su destrucción.

Si bien actualmente se reconoce que todos los sistemas habitualmente empleados en protecciones son susceptibles de sufrir vandalismo, algunos, como los revestimientos con juntas cerradas, lo dificultan más que otros. Según las circunstancias y las características de cada obra, el proyectista puede a lo sumo analizar el grado de afectación que las acciones antrópicas provocan sobre la seguridad y el funcionamiento de cada tipo de revestimiento en particular.



Figura 10: Estado actual de una obra de protección con bloques en el país realizada hace aprox. 20 años.

Impacto ambiental recíproco

Sobre la relación entre el medio ambiente y la obra de revestimiento creemos que debe realizarse una doble interpretación.

Por un lado, el análisis más habitual que estudia el modo que ésta afecta al ámbito particular donde se implanta: integración al paisaje adyacente, retención de sedimentos y residuos, creación de ambientes propicios al desarrollo de vectores, etc. Por otro, debe considerarse cómo las características ambientales del sitio afectan al revestimiento: agresividad de los suelos y el agua, posible acción del fuego, del soleamiento, o del congelamiento sobre los componentes de la protección, la estadía y descomposición de camalotales, acciones antrópicas previsibles en función de las pautas culturales de la población, etc.

Interpretamos que este impacto ambiental sobre la obra condiciona tanto su durabilidad como su desempeño.



Figura 11: Mitigación del impacto ambiental

CÁLCULO DEL REVESTIMIENTO

En este campo el proyectista suele enfrentarse a simplificaciones o conceptos falsos que finalmente se traducen en revestimientos inadecuados, con el consabido costo económico y social que representa su deterioro, o en sobrecostos innecesarios al momento de ejecutarse las obras.

Ratificando lo expuesto en el primer capítulo, el cálculo del revestimiento requiere la evaluación de cómo mínimo los siguientes factores: 1) la estabilidad geotécnica del talud o solera a revestir; 2) las características del filtro a emplear; y 3) la real estabilidad de la protección a las acciones hidráulicas externas. Los criterios para el diseño y cálculo de las condiciones de borde de la protección, tales como su extensión mínima al pie o el control del sobrepaso (“overtopping”) así como el anclaje del revestimiento, no serán considerados en el presente trabajo.

Inestabilidad geotécnica del talud

La necesaria estabilidad geotécnica del talud a proteger comprende tanto la inestabilidad global del terraplén en relación con las pendientes y los parámetros de los suelos involucrados, como la inestabilidad local derivada de la acción del oleaje sobre la superficie de apoyo de la protección.

Esta última comprende dos tipos de rotura: deslizamientos del suelo base por efecto del descenso de la ola (run-down) o deformaciones locales por impacto de la misma.

La primera ocurre por falta de peso de la protección y baja resistencia del suelo al arrastre. Este fenómeno se ve limitado cuando el suelo es cohesivo, presentándose en mayor grado cuando los suelos son friables (arenosos).

Las deformaciones originadas en el impacto de la ola, si son suaves, originan un perfil tipo S, pero pueden evolucionar a un perfil tipo Z cuando el asentamiento es importante respecto de la altura del bloque, provocando un descenso abrupto del perfil en el caso de bloques no vinculados. En algunos casos la coraza puede ser estable ante la acción de la ola, pero no así el talud, por lo que se puede hacer necesario incrementar el espesor del revestimiento o del filtro para lograr la estabilidad.

Desgraciadamente la verificación de la estabilidad geotécnica en una obra de defensa ha quedado en muchos casos relegada o desvinculada del estudio integral de la protección. Esto ocurre a pesar de contar con metodología simplificada para tal fin, como la ecuación de Benzuijen (1990), válida si la cobertura tiene una estructura de pie o anclaje superior y que se encuentra graficada en el CUR holandés.

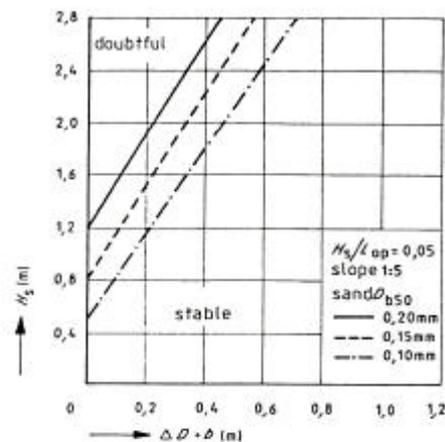


Figura 12: Tipo de gráfico de la fórmula de Benzuijen (1990)

Características del filtro geosintético

Es común aplicar erróneamente criterios de elección del filtro en casos de flujos estacionarios a obras donde se verifican acciones pulsantes o dinámicas, como las derivadas del oleaje y la corriente. Sobre las diferencias entre ambas situaciones véase nuestro trabajo presentado en el XXº Congreso Nacional del Agua (Mendoza-2005).

De acuerdo a diferentes investigadores, la formación del filtro natural sólo es posible con flujos del tipo estacionario o eventualmente no estacionario pero con gradientes hidráulicos muy bajos. Éste no resulta ser el caso de geotextiles bajo revestimientos expuestos a oleaje o corriente debido a que los mismos se encuentran sometidos a flujos cíclicos o pulsantes, donde inclusive pueden sufrir movimientos.

En efecto, en estos casos la formación del prefiltro se encuentra imposibilitada por lo que las partículas de suelo pueden seguir alcanzando la superficie del geotextil y atravesarlo, lo que se traduce en que la pérdida de finos del suelo resulte permanente, cuando con flujos laminares este proceso es transitorio.

Por tal motivo, los criterios de selección ante flujos dinámicos deben ser mucho más exigentes respecto de los estacionarios, siendo recomendable determinar las propiedades del geotextil según alguno de los métodos específicos indicados por reconocidos autores o instituciones. Destacamos entre ellos los de la Federal Highway Administration de los EEUU y los del Código de Uso de Filtros Geotextiles en Vías Navegables del BAW (Instituto Federal Alemán de Investigación e Ingeniería de Vías Navegables).

Errores habituales en el cálculo de la altura de los bloques

Diferentes razones han motivado el subdimensionado de los revestimientos en diversas obras realizadas o en proyecto. En algunos casos la escasa recurrencia de los fenómenos que expondrán a estas protecciones a situaciones límites puede desplazar en el tiempo la confirmación de esta observación, pero no por ello el proyectista puede dejar de analizar los errores más frecuentes que se observan:

Bloques tronco-piramidales como volúmenes de paralelepípedos: Uno de los parámetros que se incluyen en el cálculo de la estabilidad de una protección según los lineamientos de las conocidas fórmulas del Ing. K. W. Pilarczyk, es la “densidad superficial” de la protección, la cual da origen a la densidad unitaria relativa al agua de un bloque (“?”). Vale aclarar que Pilarczyk en su fórmula se refiere a bloques esencialmente paralelepípedos, es decir de caras paralelas.

Esta densidad no sólo depende del peso específico del material con que se ha fabricado el bloque, sino también, de su forma.

De allí que evidentemente no pueden tener la misma estabilidad elementos de diferente volumen aunque hayan sido realizados a partir del mismo material y posean bases de superficie similar.

En el caso de bloques vinculados por geotextil, la inclinación dada a sus paredes para facilitar su desmoldado debe ser tenida en cuenta para no afectar su estabilidad por una inadecuada interpretación de sus volúmenes. Como ejemplo, se muestran en la siguiente tabla las diferencias entre modelos de bloques usualmente utilizados en nuestro país, para una altura de 15 cm.

BLOQUE TRONCO-PIRAMIDAL DE 15 CM DE ALTURA	PÉRDIDA DE VOLUMEN RESPECTO A UN BLOQUE PARALELEPÍPEDO DE IGUAL BASE %
De base cuadrada de 40 cm de lado	10,33
De base rectangular de 23 cm ? 48 cm	18,15

Tabla 2: Diferencias de volumen entre bloques piramidales y paralelepípedos de 15 cm de altura.

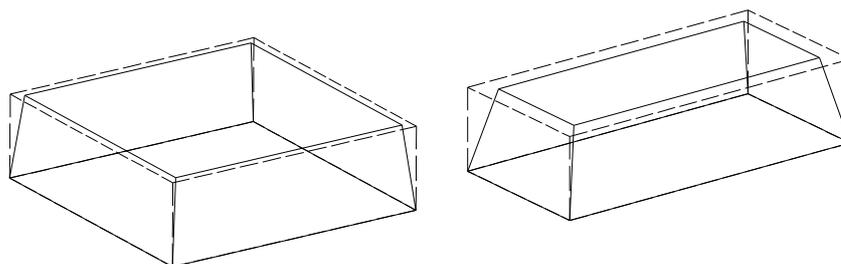


Figura 13: Diferencias de volumen entre bloques tronco-piramidales y paralelepípedos de igual altura.

Como puede apreciarse, la pérdida de volumen es un 76% mayor para los bloques rectangulares respecto a los de base cuadrada. Esta diferencia aumenta a medida que lo hace la altura de la pieza o la inclinación de las paredes.

A partir de lo anterior el cálculo del peso específico de la protección para la determinación de la “densidad relativa” a incluir en la fórmula de Pilarczyk, se deberá obtener a partir de la siguiente expresión:

$$P.\text{esp. cálculo} = \frac{P.\text{esp. bloque piramidal} \times \text{Vol. bloque piramidal}}{\text{Área de la base} \times \text{Altura del bloque}} \quad (1)$$

En caso de preverse el relleno del espacio entre bloques de forma de completar el volumen faltante, podría considerarse el aporte de su peso específico en el cálculo de la “densidad superficial” de la protección sólo si pudiera asegurarse que no será removido por la acción del oleaje o la corriente durante la vida útil de la obra, condición ésta de dudoso cumplimiento como hemos expuesto al tratar la flexibilidad de los revestimientos.

Peso específico adoptado para el hormigón: Un error muy común durante el proceso de cálculo consiste en asignarle un peso específico al hormigón de los bloques de difícil obtención para las condiciones constructivas habituales de obra. De allí que cuando se utilizan para el cálculo valores elevados de peso específico del hormigón sin armar resulte esencial la evaluación previa de su materialización en obra, y en caso de que lo fuera deberá especificarse claramente su dosificación (características de los agregados, relación agua-cemento, etc.), a fin de evitar que la protección resulte subdimensionada.

Datos hidráulicos inexactos o incompletos: En muchos casos el proyectista no cuenta con datos fidedignos sobre los fenómenos hidráulicos que deberá enfrentar en la obra. En otros los mismos no son completos. Un ejemplo típico de lo anterior es cuando sólo se considera la altura significativa de ola pero no su período. Las fórmulas usuales, por ejemplo Pilarczyk, son muy sensibles al respecto ya que para igual talud y altura de ola, pasar de un período de 2 á 4 segundos se traduce en un incremento del 60% del espesor del revestimiento.

Empleo inadecuado de resultados de ensayos de laboratorio: Algunas veces se utilizan resultados de ensayos físicos como antecedentes para el cálculo de una protección sin verificar previamente si las condiciones en que fueron realizados se ajustan a las condiciones reales de la obra ni las del proyecto donde se lo propone aplicar.

Las características de los ensayos y sus resultados deben ser adecuadamente interpretados por quien los debe utilizar para no emplear factores de eficiencia o coeficientes de cálculo que, cuando se los compara con los antecedentes locales o internacionales, resultan “milagrosos” ya que superan las curvas límite envolventes de estabilidad mundialmente reconocidas.

Asimismo una adecuada interpretación de los ensayos de modelos físicos debería considerar criterios internacionalmente aceptados sobre la determinación de lo que se interpreta como una falla en un revestimiento de bloques. Siguiendo las recomendaciones del Manual CUR (Holanda-1995) puede establecerse como estable aquella protección que:

- Bajo cargas extremas el bloque no manifieste movimiento para la altura de ola significativa (H_s), aceptando movimientos de hasta el 10 % de la altura del bloque para alturas de ola iguales a $H_2\%$ (con $H_2\% = 1,40 H_s$).
- Bajo cargas frecuentes no debe haber movimiento del bloque para alturas de ola comprendidas entre H_s y $H_2\%$.
- En cualquiera de los casos la deformación (asentamiento) del plano de apoyo no debe superar el 50 % del espesor del bloque.

De igual forma deben respetarse las condiciones de escala del modelo, muy especialmente cuando en los resultados interviene el modo que se materializa la fricción entre bloques intertrabados o la permeabilidad de los filtros o del plano de apoyo. De ese modo se evitan distorsiones en los resultados y mayor confiabilidad en el tipo y dimensión de bloque seleccionado.

De todos modos, en general es recomendable la utilización de coeficientes de mayoración (como mínimo de 1,1) para obtener coeficientes de cálculo a partir de los resultados de ensayo que suelen expresar los umbrales o curvas límites de estabilidad obtenidos.

Conclusiones obtenidas del estudio de casos: La determinación de factores de eficiencia o coeficientes de cálculo, o la simple especificación de determinados tipos o dimensiones de bloques a partir del estudio de obras en uso puede conducir a errores en la determinación de las características de un revestimiento.

Sin duda es innegable la importancia de las enseñanzas que pueden obtenerse de la observación y el análisis sobre el comportamiento de protecciones en uso, práctica habitual de los profesionales estadounidenses como bien lo demuestran las recomendaciones que surgen del Bureau of Reclamation. Pero para que ello sea posible suele oponerse a la complejidad y particularidad de cada caso, un necesario trabajo estadístico, un minucioso estudio de causas y efectos comunes, y aún dentro de cada obra la excepcionalidad de un fenómeno para poder establecer la real estabilidad de la protección al mismo.

Las analogías con obras locales o extranjeras deben ser cuidadosamente analizadas por el proyectista para no incurrir en el empleo de soluciones “milagrosas” como las mencionadas al tratar el empleo inadecuado de resultados de ensayos.

EJECUCIÓN DE LA OBRA

No deseábamos concluir este trabajo sin dejar planteado este capítulo por la importancia que revisten los desafíos que plantea la dirección ejecutiva y la inspección de obras de revestimientos en nuestro medio.

Problemas como la falta de compactación del plano de asiento, filtros inadecuados, o deficiencias en la fabricación y/o instalación de la protección, no sólo conducen a una disminución de los coeficientes de seguridad previstos en el diseño y cálculo, sino que pueden llevar al colapso de la protección en sí.

En algunos casos, el origen de estas fallas es el desconocimiento del proyectista de las características del entorno y las reales condiciones constructivas en la cuales se realizará la obra. Ello traslada a inspectores y directores la inmensa responsabilidad de adaptar el proyecto durante la propia ejecución de la obra, generalmente sin el tiempo ni los recursos necesarios para desarrollar eficazmente esta tarea adicional.

Tal como lo señaláramos en el último Congreso de IECA Latinoamérica (Lima – octubre 2004), factores tales como la inaccesibilidad al frente de obra, el perfilado y compactación de terraplenes sumergidos, las dificultades para la ejecución de filtros, los rellenos y obras de contención sobre suelos de bajo valor soporte, resultan habituales en trabajos de este tipo y

obligan a realizar en muchos casos ajustes en obra que deben contar con la colaboración del proyectista, el contratista y los profesionales a cargo de la supervisión de los trabajos.

Por eso proponíamos la elaboración de normas de ensayos y recomendaciones de buenas prácticas ajustadas a los problemas particulares existentes en la región, así como una mayor vinculación con laboratorios y cuerpos profesionales con capacidad para aplicarlas y controlarlas.



Figura 14: Instalación de revestimientos

CONCLUSIONES

Pese al carácter abierto que nos propusimos darle a este trabajo, creemos poder coincidir con la mayoría en la necesidad de aprovechar los recursos profesionales e institucionales existentes, tanto del ámbito privado como público, para desarrollar productos y técnicas específicos para obras de revestimientos. Muy particularmente en un país como el nuestro donde gran parte de su población y sus activos económicos se hallan expuestos a riesgos de origen hidráulico.

Nuestra propuesta es, a partir de la experiencia y conocimientos obtenidos en estos últimos años, avanzar en soluciones para este tipo de obras que garanticen confiabilidad en la selección, seguridad en el cálculo, sencillez constructiva, economía de recursos, y durabilidad acorde con las inversiones realizadas.

Para ello será necesario lograr un mayor espacio para la ingeniería, en todas sus ramas y niveles de intervención. Más conocimiento y respuesta por parte de los técnicos y mayor consideración por sus opiniones por parte de funcionarios, comitentes privados, empresas, y organizaciones sociales, debería ser el camino para aprovechar lo logrado y superar las limitaciones observadas en el campo de los revestimientos de bloques.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abramento, M; Rodríguez C.A. (2005). "Dimensionamiento de Geotextiles como Filtros en Obras Hidráulicas". *XXº Congreso Nacional del Agua*.

CUR (1995). “Design Manual for Pitched Slope Protection”, Edit. Balkena.

Dal Farra, A; Rodríguez C. A. (2003) “Consideraciones sobre Control de Erosión en la Llanura Platense”. *II Simposio Latinoamericano de Control de Erosión*.

Dal Farra, A; Rodríguez C. A. (2003) “Utilización de Geosintéticos en Defensa de Márgenes”. *1º Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. I.N.A.*

Grande, A. I.; Loschacoff, S; Castellano R. D.; Rodríguez C. A.; Berrilio D. (2005). “Estudio de Resistencia al Oleaje de Unidades Premoldeadas Betoncover y BetonPlan”. *XXº Congreso Nacional del Agua*.

Loschacoff, S. (2002). “Protecciones Costeras”. *Apuntes Curso Departamento Hidráulica de la F.I.U.B.A.*

PIANC (1987). “Guidelines for the Design and Construction of Flexible Revetments Incorporating Geotextiles in Marine Environment”. *Report of Working Group N° 4. Supplement to Bulletin 57*.

PIANC (1992). “Guidelines for the Design and Construction of Flexible Revetments Incorporating Geotextiles in Marine Environment”. *Report of Working Group N° 21. Supplement to Bulletin 78/79*.

Pilarczyk, K. W. (1998): “Dikes and Revetments”, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 2, pp. 125-136.

Pilarczyk, K. W. (2000). “Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering”, Edit. Balkena.

Pilarczyk, K. W. “Design of Revetments”. *Dutch Public Works Department (RWS)*.

U.S. Corps of Engineers. (1984). “Design of Coastal Revetments, Seawalls and Bulkheads”, *U.S.A*

U.S. Corps of Engineers. (1984). “Shore Protection Manual”, *U.S.A*