

MUROS DE SUELO REFORZADO CON CARA VISTA DE BLOQUES – COUNTRY NÁUTICO LA BAHÍA PUEBLO ESTHER – SANTA FE

Autores:

Carlos Alberto Rodríguez – Coripa S.A.
Alberto Dal Farra – Coripa S.A.
info@coripa.com.ar
Virrey del Pino 2458 – Piso 3°
C1426EGR – Buenos Aires - Argentina

Resumen:

La ejecución de macizos de suelo reforzado con geosintéticos suele ser habitual para resolver estructuras de contención en seco, si bien dicha técnica puede ser aplicada exitosamente también en obras de costa que resultarán finalmente sumergidas.

Como las caras vistas en obras de suelo reforzado no cumplen funciones estructurales, es posible resolverlas de diferentes modos, integrándolas al ambiente donde se ejecutan y según las condiciones económicas y constructivas de cada caso. Una de esas posibilidades es la utilización de bloques de hormigón diseñados específicamente para ello

Un buen ejemplo de lo anterior es la reciente ejecución del Cierre Norte de la dársena del Country Náutico “La Bahía”, sito en Pueblo Esther, al sur de Rosario, en la Provincia de Santa Fe. Allí se adoptó una solución de suelo reforzado con geogrids con un muro de bloques como cara vista. Las razones de la elección fueron la economía, plazo de ejecución y grado de terminación frente a otras alternativas tradicionales (estructura de hormigón armado, muro de gaviones, etc.).

El presente trabajo describe las consideraciones de proyecto, el diseño adoptado, los cálculos estructurales, y las secuencias constructivas de la obra.

Abstract:

The execution of slopes reinforced with geosintéticos is usually used to materialize earth reinforcement structures in dry conditions, although this technique can successful be applied also in shore structures that will be finally submerged.

As the faces seen in reinforced ground works do not act as structural, it is possible to solve them of different ways, integrating them to the environment where they are executed and according to the economic and constructive conditions of each case. One of those possibilities is the use of concrete blocks specifically designed for it.

A good example of the previous thing is the recent execution of the North Close of the internal dock of the Nautical Country "La Bahía", situated in Pueblo Esther, in the south of Rosario city, in the Province of Santa Fe. There an earth reinforcement with geogrids was adopted with a concrete blocks as face. The reasons of the election were the economy, implementation time and termination details in comparison with other traditional alternatives (concrete walls, gabions, etc.). The present work describes the project considerations, the adopted design, the structural calculations, and the constructive sequences of the work.

Palabras Clave: geogrilla, suelo reforzado, cara vista, bloques premoldeados.

Desarrollo:

1. Antecedentes

El crecimiento de las urbanizaciones cerradas, comúnmente denominadas “barrios privados” o “country”, se ha verificado tanto en los alrededores de Buenos Aires, como en las ciudades más populosas del interior del país.

Dentro de estos emprendimientos se destaca el Country Náutico “La Bahía”, situado sobre la margen derecha del río Paraná en la localidad de Pueblo Esther, a pocos kilómetros al sur de la ciudad de Rosario, en la Provincia de Santa Fe.

La Bahía brinda a sus propietarios no sólo las comodidades típicas de un barrio privado, sino que cuenta con una caleta sobre el río donde se instalarán diferentes comodidades y servicios náuticos (guardería de lanchas, dársena de amarras, varadero, estación de servicio, etc.).



Fig. 1 – Ubicación del country

2. La Caleta

Las condiciones del lugar de implantación y los servicios que se deseaban brindar determinaron que el diseño general de la caleta, en el que intervino la Oficina Técnica de CORIPA S.A., contemplara cierres laterales para la protección de la dársena de amarras, que servirían a su vez como superficies secas a cota no inundable para el desarrollo de las demás actividades náuticas.

La dársena de amarras, con capacidad para 149 embarcaciones de 8 a 25 m de eslora, se excavaría en los terrenos anegadizos al pie de la barranca. La cota final de fondo será de -0,55 IGM, 2 metros por debajo del nivel de la máxima bajante del siglo (1944). Los terraplenes de cierre se previeron a cota +9,95 IGM, es decir 1,5 m por sobre la máxima creciente del siglo (1992). En consecuencia, se alcanzará una altura total de 9 metros entre la solera de la dársena y el coronamiento de los cierres.

Respecto a los suelos existentes en el lugar, el Estudio elaborado por Incociv S.R.L., establecía que los suelos arcillosos excavados para obtener calado en el área de amarre y en el canal de acceso, no resultarían aptos para su utilización directa en la conformación de los terraplenes. Por tal motivo se decidió extraer los suelos del lugar para conformar luego los cierres laterales.

Los terraplenes bajo agua se ejecutaron con arena de río aportada por refulado desde barcos, y con suelos arcillosos seleccionados compactados, extraídos de la rampa de acceso y del aterrazamiento de la propia barranca, se conformó la zona emergente de los cierres.

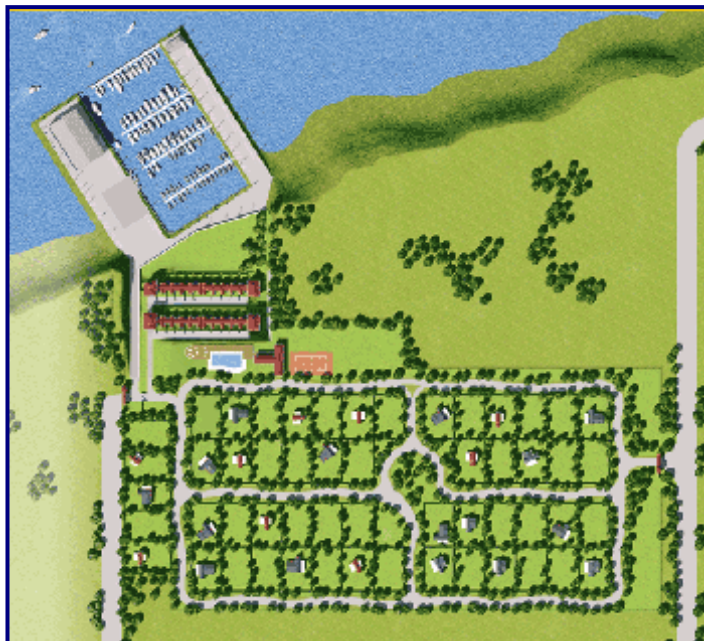


Fig. 2 – Ubicación de la caleta

Se realizó un primer terraplén perimetral que permitió ejecutar los trabajos en seco, encarándose luego por etapas, la obra definitiva de los cierres y sus respectivos bordes internos sobre la dársena. Cada cierre se proyectó independientemente, respetándose las características de sus respectivas zonas de emplazamiento y la mayor conveniencia constructiva para resolver cada caso:

- **Cierre Sur:** Se realizó un muro de hormigón armado de 6 metros de altura en forma de L, fundado a 8 m por debajo del coronamiento de la obra sobre un estrato de arcilla compacta. El relleno del intradós del muro se realizó con suelo seleccionado extraído de la propia barranca, hasta alcanzar una cota 2 metros por encima del coronamiento del muro. Desde allí hasta la cota superior del terraplén se continuó con un talud de suelo vegetal a 45° sembrado con césped.
- **Cierre Oeste:** En este caso, dada la excelente calidad del suelo toscoso de la barranca, se construyó un muro de hormigón armado de 3,5 m de altura, cuya parte superior alcanza la misma cota que el muro Sur. El relleno hasta la cota del coronamiento de la obra se realizó en forma idéntica al caso del cierre Sur.
- **Cierre Este:** En este caso se diseñó un pórtico rompeolas de 125 metros de longitud compuesto por pilotes de hormigón armado, fundados a 9 m por debajo del terreno natural, salvo en la desembocadura donde la fundación alcanzó los 10,5 m, y una separación de 3 m entre sí, y vigas de hormigón armado de sección doble T de 3,5 m de altura que sostendrán tablonés de madera dura para completar el cierre.

- **Cierre Norte:** En este caso la solución empleada consistió en la ejecución de un muro de suelo reforzado mediante la interposición de refuerzos horizontales planos de geogrillas tejidas de filamentos de poliéster revestidas con PVC, relleno posterior de arena refulada, y una cara vista constituida por bloques premoldeados de hormigón sin armar Terrae.

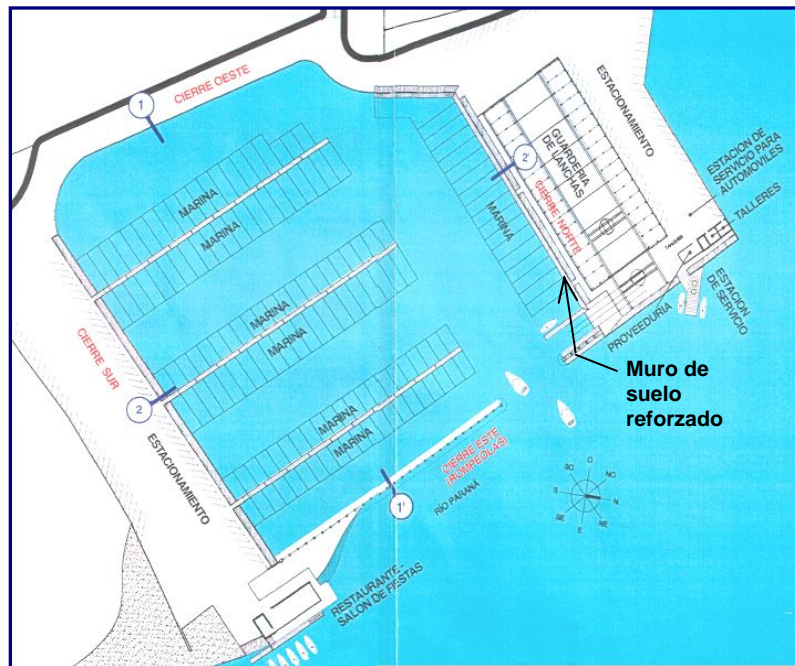


Fig. 3 – Planta de la caleta

3. El Cierre Norte – Solución de suelo reforzado con geogrillas sintéticas y cara vista de bloques premoldeados de hormigón.

Esta técnica permite tanto materializar estructuras de contención flexibles a partir de una metodología sencilla de ejecución, como emplear suelos que otros métodos desecharían. Por ello se pudo realizar el relleno con arena del río Paraná obtenida por refulado, con la consiguiente disminución de costos que esto representaba.

Como en las estructuras de contención de suelo reforzado la cara vista no presenta relevancia estructural, su elección puede basarse tanto en cuestiones estéticas o de integración al ambiente donde se ejecutan, como en razones económicas o de índole constructiva. En este caso en particular la elección se inclinó por una cara vista constituida por bloques de hormigón premoldeados Terrae tipo W.

La opción de bloques premoldeados más refuerzos de geogrillas, ampliamente difundida a nivel mundial, permite materializar muros prácticamente verticales (pendiente 10:1 – vertical/horizontal), y que resultan aptos para quedar en contacto permanente con agua por no presentar ningún componente susceptible de sufrir corrosión.

Previo a la adopción de esta solución se habían analizado otras variantes, como ser: estructuras de hormigón armado similares a las empleadas en los cierres Sur y Oeste, muro de gravedad en gaviones, e incluso una solución de muro alivianado de gaviones atirantado con mallas metálicas.

La opción adoptada (refuerzo con grillas sintéticas y muro no estructural de bloques) se fundó en diversas razones: a) menor plazo de obra, b) menor costo, c) mayor seguridad a largo plazo, d) mejor terminación, y e) facilidad constructiva.

3.a. Características de los bloques premoldeados

Los bloques Terraes son elementos premoldeados de hormigón sin armadura, especialmente diseñados para ser utilizados como cara vista de muros de suelo reforzado.

Si bien estos bloques se fabrican y se emplean bajo las recomendaciones y especificaciones técnicas indicadas por quien los desarrolló y detenta su patente, sus características generales pueden encuadrarse dentro de los parámetros que establece la norma IRAM 115613.

En la Tabla 1 y en la Fig. 4 se describen las principales características de los bloques elegidos:

Tabla 1: Características de los bloques premoldeados

Características Técnicas		Unidades Bloque Terraes W	
Cantidad de piezas por m ² de cara vista		Nº/m ²	13
Peso unitario		kg	29
Dimensiones	Alto		20
	Ancho	cm	40
	Largo		40
Resistencia a la compresión		MPa	6,0

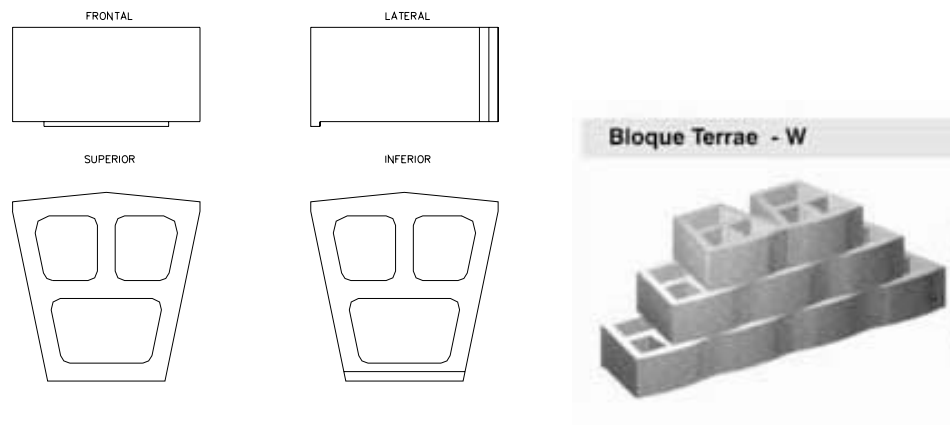


Fig. 4 – Planta, corte y vista de los bloques premoldeados

Su colocación se realiza manualmente, en seco y sin mortero. La trabazón entre piezas aledañas se logra por forma gracias a una pestaña ubicada en la zona posterior del bloque.

Tal como puede apreciarse en la Fig. 3, la pieza presenta varias áreas abiertas, las cuales una vez rellenas con piedra partida permiten materializar un manto drenante continuo vertical en toda la altura del muro.

Por otra parte la trabazón con la piedra y la pestaña aseguran la vinculación entre la geogrilla resistente con la estructura frontal de bloques.

3.b. Características de las geogrietas utilizadas como refuerzo

Para la materialización de los refuerzos se previó la utilización de geogrietas tejidas de poliéster recubiertas por un coating de PVC, fabricadas en Alemania bajo normas ISO 9001.

Este tipo de material es ampliamente utilizado a nivel mundial para obras de este tipo, especialmente debido a la baja susceptibilidad a la deformación bajo carga constante (fluencia) que le confiere el poliéster, polímero constituyente de sus fibras.

En la Tabla 2 se detallan las principales propiedades técnicas de la geogrieta utilizada:

PROPIEDAD	Fortrac T5520
Abertura de malla (mm × mm)	20 × 20
Resistencia nominal a Tracción en kN/m	Longitudinal 35
	Transversal 20
Elongación máxima nominal en %	12
Módulo de Rigidez para una deformación del 5% (extrapolado a 120 años) – en kN/m	230
Resistencia a la tracción limitada por fluencia (extrapolada a 120 años) – en kN/m	21

Tabla 2: Características de los bloques premoldeados

3.c. Cálculo y diseño del muro de suelo reforzado

El proyecto y cálculo fue realizado por la Oficina Técnica de Coripa S.A. con el apoyo técnico de la filial brasileña de la empresa proveedora de las geogrietas, Huesker Synthetics GmbH de Alemania. El mismo se realizó a partir de la aplicación del software específico ForTerrae, el cual enfoca el dimensionamiento en dos etapas diferentes:

1. Dimensionamiento externo de la estructura en suelo reforzado: Basado fundamentalmente en un análisis de equilibrio al deslizamiento y al volcamiento, basado en las tensiones en la base del muro, en la definición de la geometría del muro, en la presencia del nivel de agua, en las sobrecargas a que estará sometido, y finalmente en los parámetros del suelo a ser contenido y los del suelo reforzado propiamente dicho.
2. Dimensionamiento interno de los refuerzos: Realizado a partir del método de Ehrlich y Mitchel (1999), que tiene en cuenta los efectos de rigidez del suelo y del refuerzo, conjuntamente con la influencia de la compactación.

El cálculo se realizó para la condición más exigida, es decir con máxima bajante, aunque no se previeron sobrecargas hidrostáticas por diferencia de niveles de agua entre el intradós y el extradós del muro debido a las condiciones extremadamente drenantes de la obra.

La resistencia útil de las geogrietas fue estimada de acuerdo con la certificación BBA N° 01/R125 del año 2001, para un período de servicio de 60 años.

De acuerdo a esta certificación se aplicaron a la resistencia a tracción nominal, los siguientes factores de reducción a fin de obtener la resistencia de cálculo:

1. Por fluencia para un proyecto de 60 años = 1,64
2. Por daños mecánicos (suelo arenoso) = 1,05
3. Por daños químicos y ambientales = 1,03

Por lo tanto el factor definitivo es:

$$\mu = 1,64 \times 1,05 \times 1,03 = 1,774$$

Por lo cual la resistencia longitudinal de cálculo de la geogrilla fue:

$$\text{Resistencia longitudinal de cálculo} = 35/1,774 = 19,73 \text{ kN/m}$$

Los datos de los suelos involucrados son los siguientes:

En cuanto al suelo de relleno se utilizó arena refulada, estimándose para el cálculo sus parámetros de corte drenados en:

- $c = 0$;
- $\phi = 34^\circ$
- $\gamma = 2,1 \text{ t/m}^3$

A continuación se detallan los datos de geométricos y sobrecargas utilizados en el cálculo, ver Fig. 5:

- Sobrecarga (q) = 5 kN/m²
- Altura libre del muro (H_l) = 5,4 m
- Altura total reforzada (H) = 5,8 m
- Longitud del muro = 35 m
- Ancho de la base de suelo reforzado (B) = 4,2 m
- Ángulo del muro con la horizontal (β) = 85°
- Nivel freático en el terreno existente = 4,6 m
- Ángulo de rozamiento suelo/muro (ϕ_1) = 17°
- Ángulo de rozamiento suelo/base de muro (ϕ_b) = 30°
- Compactación de la cara vista: tipo manual.

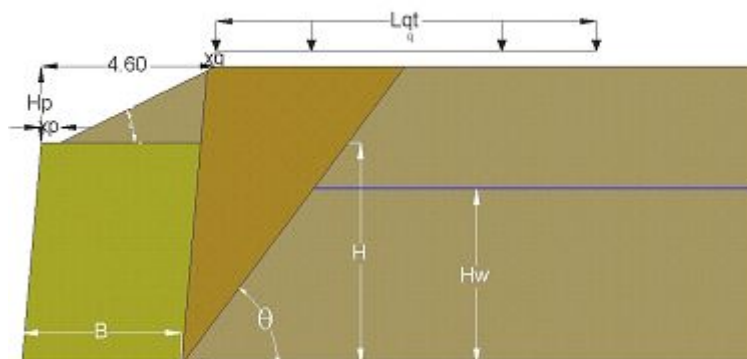


Fig. 5 – Esquema de cálculo del muro

El cálculo dio como resultado la interposición de 10 capas de geogrillas según se expresa en la Tabla N°3:

Altura (m)	Geogrilla	Sv (m)	T (kN)	FS	DEc (%)	DEto (%)	DElp (%)	σ_{CI} (kN/m ²)	σ_z (kN/m ²)	Kr
0.4	Fortrac T 5520	0.4	15.13	1.3	2.25	5.82	6.58	60	154.98	0.24
0.8	Fortrac T 5520	0.4	13.79	1.43	2.25	5.3	6	60	141.31	0.24
1.2	Fortrac T 5520	0.4	12.55	1.57	2.25	4.83	5.46	60	128.57	0.24
1.6	Fortrac T 5520	0.6	17	1.16	3.36	6.54	7.39	60	116.63	0.24
2.2	Fortrac T 5520	0.6	14.57	1.35	3.36	5.61	6.34	60	99.96	0.24
2.8	Fortrac T 5520	0.6	12.37	1.59	3.38	4.76	5.38	60	84.5	0.24
3.4	Fortrac T 5520	0.6	10.25	1.93	3.38	3.94	4.46	60	69.99	0.24
4	Fortrac T 5520	0.6	8.77	2.25	3.38	3.37	3.81	60	56.21	0.26
4.6	Fortrac T 5520	0.6	8.74	2.26	3.38	3.36	3.8	60	42.97	0.34
5.2	Fortrac T 5520	0.6	8.74	2.26	3.38	3.36	3.8	60	30.09	0.48

Tabla 3: Resultados del cálculo

Referencias:

Altura: Posición de la geogrilla a partir da base del muro

Geogrilla: Geogrilla utilizada

Sv: Separación entre geogrillas

T: Tracción en el refuerzo

FS: Factor de seguridad localizado en el refuerzo

DEc: Deformación específica máxima en la compactación

DEto: Deformación específica máxima acumulada al final de la construcción

DElp: Deformación específica máxima acumulada a largo plazo

DTtc: Desplazamiento horizontal de la cara en la compactación

DTto: Desplazamiento horizontal acumulado de la cara en el final de la construcción

DTlp: Desplazamiento horizontal acumulado de la cara a largo plazo

DTtc/H: Desplazamiento horizontal de la cara en la compactación respecto de la altura total del muro

DTto/H: Desplazamiento horizontal acumulado de la cara en el final de la construcción respecto de la altura total del muro

DTlp/H: Desplazamiento horizontal acumulado de la cara a largo plazo respecto de la altura total del muro

σ_{ZCI} : Tensión vertical máxima equivalente derivada de la compactación

σ_z : Tensión vertical no final da construcción.

Kr: Coeficiente de empuje residual no final da construcción

En cuanto a los factores de seguridad obtenidos fueron los siguientes:

- Factor de Seguridad Interno Mínimo = 1,10
- Factor de Seguridad Interno Global = 1,62

Esquemáticamente la solución fue la siguiente:

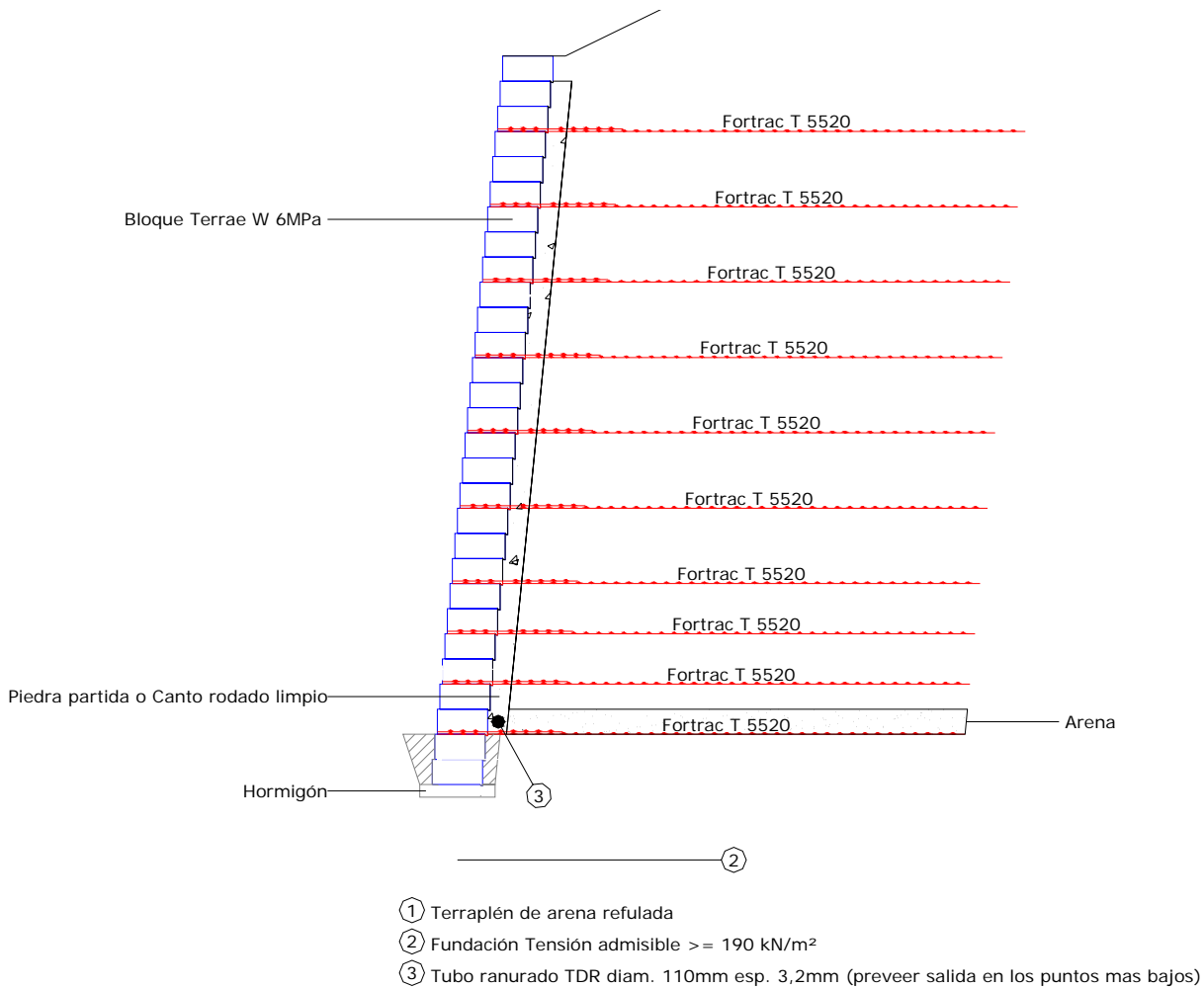


Fig. 6 – Esquema de solución

En esta primera etapa, ya que el muro total alcanzará los 70 m, se instalaron:

- 1.638 m² de geogrilla
- 2.457 bloques premoldeados de cara vista

3.d. **Fotos del período constructivo**



Fig. 7 – Vista general del cierre



Fig. 8 – Fundación del muro



Fig. 9 – Geogrillas y Relleno con Arena Refulada



Fig. 10 – Inicio de la Elevación del Muro



Fig. 11 – Vista General de la Caleta

4. Conclusiones

La aplicación de la técnica de suelo reforzado consistente en la interposición de refuerzos sintéticos, en este caso geogrietas de poliéster con un recubrimiento protector de PVC, resulta posible aún en condiciones de estructuras sumergidas gracias a la solución de cara vista con bloques de hormigón premoldeados.

De esta forma, se obtienen estructuras de contención de sencillez constructiva, flexibles, de elevada capacidad de evacuar subpresiones hidrostáticas, y arquitectónicamente adecuadas, utilizando materiales de relleno que en otros casos se desecharían o requerirían un tratamiento adicional.

5. Trabajos Citados en el Texto

BATHURST, R. J., ALLEN, T., WALTERS, D., 2004. Reinforcement loads in geosynthetic walls and the case for a new working stress design method. In: 3th European Conference on Geosynthetics (Eurogeo 3), Munich, Alemania.

BS 8006., 1995. Code of practice for strengthened / reinforced soils and other fills. British Standard, Reino Unido.

CIRIA, Special Publication 123, 1996, Soil Reinforcement with Geotextiles, Reino Unido.

EHRlich, M., MITCHELL, J. K., 1994. Working stress design method for reinforced soil walls.

EHRlich, M., MITCHELL, J. K., 1999. Análise de Muros e Taludes de Solos Reforçados”, Geossintéticos’99. Río de Janeiro. Brasil.

- JONES C. J. F. P., 1996, Earth Reinforcement and Soil Structures, Reino Unido.
- KOERNER, R. M., 1998. Designing with geosynthetics. 4ª Edición, Prentice Hall, New Jersey, USA
- LOTHSPEICH, S. E., THORNTON, J. S., 2000. Comparison of Different Long Term Reduction Factors for Geosynthetic Reinforcing Materials. In: 2th European Conference on Geosynthetics, Bologna, Italia.
- PALMEIRA, E. M., 1999. Aspectos relacionados à interação solos-geossintéticos. In: III Simposio Brasileiro De Geosintéticos y I Simposio Sudamericano de Geosintéticos, Río de Janeiro, Brasil.
- SILVA, A. E. F., MONTEZ, F. T., 2003. Aterros Reforçados: Parâmetros de Projeto Relevantes da Geogrelha. In: IV Simposio Brasileiro de Geosintéticos, Porto Alegre, Brasil.