

Título:

**MURO DE SUELO REFORZADO CON GEOGRILLAS Y ANCLAJES  
CON CARA VISTA DE BLOQUES PREMOLDEADOS DE HORMIGÓN  
HOTEL LLAO LLAO – BARILOCHE – RÍO NEGRO**

**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*

**Resumen:**

La técnica de suelo reforzado en la construcción de taludes ha tenido un extenso desarrollo en los últimos tiempos esencialmente debido al hecho de materializar estructuras seguras y confiables aún en condiciones extremas de sismicidad, acompañadas por una notable sencillez constructiva y flexibilidad de diseño. Estas ventajas se ven potenciadas por el hecho de admitir la utilización de suelos que para otros métodos tradicionales resultarían inadecuados y por la óptima adecuación con el medio ambiente circundante que puede obtenerse.

En los últimos tiempos su aplicación ha tomado impulso en nuestro país, fundamentalmente en aquellos lugares donde las alternativas tradicionales, ya sea por razones técnicas, económicas y/o estéticas, no resultan viables. Dentro de estos casos se incluye la reciente estabilización de barrancas ejecutada para la ampliación del hotel Llao Llao en la localidad de Bariloche, Pcia. de Río Negro.

La diversidad de la estatigrafía del lugar sumada al hecho de tratarse de una zona sísmicamente activa, derivó en la conveniencia de utilización de una solución con anclajes inyectados para las zonas donde predominaba la roca fracturada, y de suelo reforzado con geogrillas de poliéster de alto módulo de rigidez donde el suelo natural era de origen coluvial.

En ambos casos se optó por una cara vista constituida por bloques de hormigón premoldeados Terrae, diseñados especialmente para este tipo de obras, los cuales se instalan manualmente sin necesidad de mortero de vinculación, con la economía en equipo y tiempos de obra que esto representa.

La solución se completará con un talud de transición vegetalizado con el aporte de biomantas, desde el coronamiento del muro hasta el nivel superior de la barranca, procediéndose a su refuerzo con geogrillas en los casos donde su pendiente así lo requiriese.

Como en todos los casos de suelo reforzado se prestó particular atención al sistema de drenaje, a fin de impedir sobrepresiones hidrostáticas derivadas de la presencia de gran cantidad de vertientes aleatorias, constituidos por tubos ranurados de PVC y geotextiles no tejidos de filamentos continuos de poliéster.

## **Abstract:**

The soil reinforcement in the construction of slopes has had lately an extensive development essentially due to permit to materialize safe and reliable structures still under extreme conditions of seismicity, with a remarkable simplicity of its construction and a great flexibility design. These advantages are improved by the fact that these structures allow the use of soils which could not be admitted by other traditional methods keeping an optimal environment friendship.

Recently its application has taken impulse in our country, fundamentally in those places where the traditional alternatives, for technical, economic and/or aesthetic reasons, are not viable. Within these cases the recent slope stabilization executed closely to the hotel Llao Llao in Bariloche, Province of Río Negro, Argentina, stands out as a very interesting work.

The diversity of the soils presented in this place added to the fact that the zone has seismic activity, derived in the convenience of a mix solution constituted by injected anchorages for the zones where the fractured rock are predominant, and soil reinforced with high modulus polyester geogrids where the natural ground was coluvio deposits.

In both cases the face was constituted by precast concrete blocks Terrae, designed specially for this type of works, which are installed manually without mortaring with the economy in equipment and times that this fact represents.

The solution will be completed with a green transition slope from the top of the wall to the upper level of the slope, which was reinforced with polyester geogrids if the geometry and existing soils made it necessary and be covered with biodegradable blankets.

A very important complement to prevent hydrostatic overpressures was the drainage system which was materialized, with grooved tubes of PVC and nonwoven polyester geotextiles.

**Palabras clave:** Suelo reforzado; geogrillas; bloques; geomantas.

## **Desarrollo:**

### **1. Ubicación y Antecedentes**

El Llao Llao es un hotel históricamente representativo de una de las zonas turísticamente más reconocidas a nivel internacional del sur argentino, como es Bariloche y sus lagos. El lujoso hotel, construido en 1938 por el Arq. Alejandro Bustillo con la finalidad de fomentar el turismo de alto nivel económico en el flamante Parque Nacional Nahuel Huapi, fue renovado totalmente en 1993 respetando el proyecto original de su creador.

El hotel de estilo canadiense cuenta con una ubicación excepcional. Emplazado en la provincia argentina de Río Negro, a 1600 km de Buenos Aires y 35 km de la ciudad de Bariloche, sobre una pequeña colina entre los lagos Nahuel Huapi y Moreno, y enmarcado por los Cerros López, Capilla y Tronador, ha sido y es actualmente uno de los lugares turísticos más reconocidos del sur argentino.

En el año 2005, el actual concesionario IRSA S.A. decidió realizar una ampliación de las instalaciones del hotel con 42 nuevas habitaciones, las cuales quedarían emplazadas con vista al Lago Moreno y al Cerro Tronador, previéndose un tiempo de ejecución total de 24 meses.

Para la materialización de la ampliación resultó imprescindible realizar un desmonte de la ladera del cerro donde se preveía la implantación, buscándose la materialización de pendientes marcadas en la ladera final. La dificultad del problema a encarar básicamente se debió a las características variables de los suelos a sostener, compuestos por roca fracturada y suelo coluvial que representaba un riesgo cierto de desmoronamiento del talud así obtenido.

Por la particularidad y dificultad que la solución acarrea, IRSA encargó la evaluación técnica de las diferentes alternativas a los Ings. Oscar Vardé, Jorge Bonifazi y Gustavo Mosquera, todos de vasta trayectoria en nuestro medio.

La ejecución de la obra fue realizada por la firma Caputo S.A. como Contratista Principal, estando a cargo de Coripa S.A., en su carácter de Subcontratista, la responsabilidad del Proyecto Ejecutivo y la supervisión de la ejecución del muro.



**Fig. 1: Vista del hotel**

## **2. Descripción de la solución global adoptada**

Las condiciones de obra convertían en imprescindible la materialización de una estructura de contención, la cual debería cumplir con varias premisas:

- Su impacto ambiental debería minimizarse al máximo motivado en el emplazamiento del hotel en una zona declarada Parque Nacional.
- Adecuarse a la geometría variable en planta del talud natural.
- Limitar al mínimo el traslado de materiales a granel o grandes pesos.
- Permitir la coexistencia de diferentes metodologías de anclaje según resultara el suelo existente en el intradós del terreno (roca fragmentada o suelo coluvial).
- Constituir una solución lo suficientemente flexible para poder adecuarse a las posibles diferencias entre el proyecto original y el ejecutivo, especialmente cuando persistía la posibilidad de desmoronamientos localizados.
- Permitir un manejo adecuado de las vertientes y del agua superficial.
- Admitir deformaciones limitadas por tratarse de un área sísmicamente activa.

Las anteriores limitaciones condujeron a descartar algunas opciones típicas, tal como muros de hormigón y muros de gaviones.

La elección, basada fundamentalmente en su robustez, flexibilidad, sencillez constructiva y el permitir el uso de préstamos cercanos e inclusive en algunos casos del mismo material existente en el lugar producto de anteriores desmoronamientos, recayó en una solución de una estructura donde la contención del terreno en algunos casos se logró por medio de suelo reforzado con geogrillas y en el resto por medio de anclajes metálicos inyectados perforados en roca.

La solución de suelo reforzado se aplicó básicamente a las zonas donde se debería altear el terraplén, es decir donde predominaba el suelo de origen coluvial, mientras que los anclajes metálicos fueron diseñados para estabilizar la roca fracturada.

En cuanto a la cara vista, que no requería contar con carácter estructural, se utilizaron dos metodologías según las pendientes requeridas: bloques Terrae W para donde se pretendía un muro prácticamente vertical y superficie vegetalizada para taludes de transición entre el remate del muro y las pendientes naturales existentes en la barranca.

El muro varió su altura desde 5 hasta 10 m. En el caso de 10 m se previó una terraza intermedia a fin de permitir su vegetalización y mejorar el aspecto visual del conjunto.

Asimismo, debido a la gran variabilidad de la zona de obra, hubo áreas donde únicamente se realizó anclaje, otras donde sólo se utilizó suelo reforzado, y zonas mixtas donde coexistieron ambas alternativas.

De igual modo hubo lugares en donde el talud vegetalizado superior requirió un refuerzo con geogrillas debido a que la pendiente requerida superaba la inclinación natural máxima del suelo compactado de relleno.



**Fig. 2: Situación existente previa a la obra**

### 3. Taludes de suelo reforzado

La solución con suelo reforzado consistió en la interposición entre capas de suelo del nuevo terraplén, de refuerzos constituidos por geogrillas tejidas de poliéster **Fortrac**, de alto módulo de rigidez, fabricadas por Huesker Synthetic GmbH & Co de Alemania bajo normas ISO 9001. Este tipo de refuerzo es ampliamente utilizado en el mundo en obras de este tipo debido a su extremadamente baja deformación bajo carga constante (creep) y su elevado módulo de rigidez.

Sus características de robustez, flexibilidad, baja deformación, elevada resistencia química y óptima interacción con el suelo circundante, le brindan sensibles ventajas respecto de otros materiales usados como refuerzo, fundamentalmente respecto de las mallas y flejes de acero. Como antecedentes de su uso en la zona pueden citarse los muros de la Hostería El Faro en Villa La Angostura (ver bibliografía).

Para el cálculo se asumieron los siguientes parámetros drenados de los suelos involucrados:

<i>TIPO DE SUELO</i>	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	<b>c</b> t/m <sup>2</sup>	$\phi$ °
Relleno	2,00	0	40
Suelo a contener	1,60	0	30
Fundación rocosa	2,00	5	40

**Tabla 1 “Suelos adoptados”**

De igual modo, para el cálculo se tuvieron en cuenta los lineamientos del Reglamento INPRES-CIRSOC 103, estando la zona de obra emplazada dentro de la Zona 2 (Peligrosidad Sísmica Moderada) de dicho reglamento, y en lo que respecta al diseño de las grillas de refuerzo a las directivas para este tipo de obra emanadas del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU (USACE).

A continuación se describen las propiedades y características de las geogrillas **Fortrac** utilizadas:

<i>PROPIEDAD</i>		<i>UNID.</i>	<i>GEOGRILLA FORTRAC</i>		
			<b>150/5</b>	<b>260/5</b>	<b>600/5</b>
Módulo de rigidez (deformación 5%)		kN/m	150	260	600
Módulo de Rigidez limitado por fluencia (extrapolada a 120 años) (*)		kN/m	130	230	520
Resistencia nominal a la Tracción	Longitudinal	kN/m	20	35	80
	Transversal	kN/m	9	20	30
Elongación máxima nominal		%	12	12	12
Resistencia a la tracción longitudinal limitada por fluencia (extrapolada a 120 años) Temp. ≤ 30°C		kN/m	12	21	48

**Tabla 2: “Geogrillas utilizadas”**

(\*) Certificado por BBA (British Borrad of Agreement) – Roads and Bridges Certificate N° 01/R125.

En cuanto a la solución adoptada, la misma presenta un elevado nivel de seguridad fundamentalmente por la introducción de factores parciales que permitieron evaluar variables de significativo efecto para la estabilidad, durante una vida útil prolongada.

Acciones de diversos orígenes tales como: la metodología constructiva empleada para el alteo del terraplén, la compatibilidad entre las deformaciones refuerzo-estructura, la resistencia de la geogrilla a la acción del agua y a la agresividad del suelo, etc., pudieron ser de esta forma mensuradas.

A su vez, la seguridad de la estructura está garantizada por el conocimiento sobre el comportamiento a largo plazo de las geogrillas Fortrac utilizadas, que ha permitido por ejemplo, establecer valores residuales de sus propiedades mecánicas luego de lapsos extremadamente prolongados (120 años), los cuales por otra parte superan al de cualquier otro tipo de refuerzo (flejes metálicos, mallas metálicas, otros tipos de geogrillas sintéticas, etc.).

### **Zonas con anclajes metálicos**

En las zonas donde el terreno existente era de roca fracturada, se previó la colocación de anclajes inyectados a fin de poder estabilizar el macizo.

Los tensores estaban constituidos por barras de acero ADN420 de 20 mm de diámetro, instalados en forma de cuadrícula de 1,20 m de lado vertical y 1,50 m horizontal. La longitud mínima de inserción en roca fue de 6 m y las perforaciones se realizaron con una inclinación descendente de 15° respecto de la horizontal.

Posteriormente se procedió a la aplicación de una inyección a presión de mezcla cementicia.

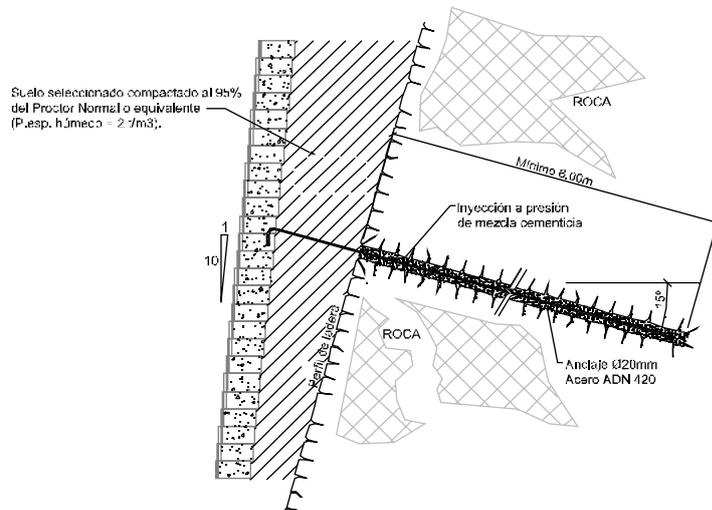


Fig. 3: Esquema anclaje metálico

#### 4. Solución de la cara vista del muro

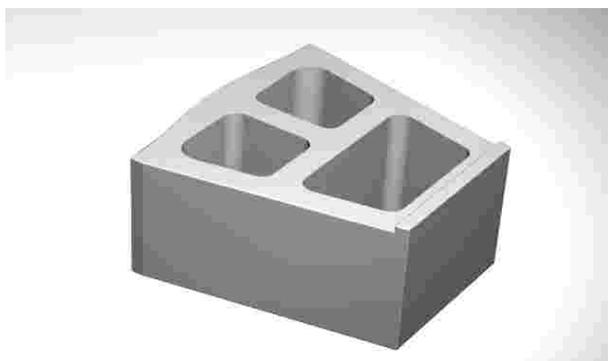
Para la cara vista del muro se previó la utilización de bloques Terrae W, desarrollados bajo licencia por la empresa Terrae Engenharia Geotécnica. Este tipo de bloque ampliamente probado en obras, presenta una sensible seguridad tanto por su estabilidad como por su baja susceptibilidad al vandalismo.

Los Terrae W son premoldeados especialmente diseñados para permitir un montaje mampuesto por trabazón, es decir sin requerimientos de mortero o elemento adicional vinculante. El bloque superior se traba en el inferior por medio de una pestaña saliente, la cual a su vez permite materializar una pendiente continua de (10 vertical: 1 horizontal). Ver Figura 4.

Se fabrican por medio de máquina bloquera y no cuentan con ninguna armadura metálica. Sus características principales son las siguientes:

- Altura: 20 cm
- Ancho: 40 cm
- Profundidad: 40 cm
- Peso por pieza: 29 kg
- Piezas por metro cuadrado: 13 unid/m<sup>2</sup>
- Volumen de vacíos: 12,2%

- Resistencia a la compresión: 6 MPa (IRAM 11561)



**Fig. 4: Bloques Terraefix W**

Su diseño especial permite materializar curvas cóncavas y convexas de radios de curvatura mínima de 1,50 m, lo cual resultó de gran utilidad en la obra debido a que permitió limitar movimiento de suelos y rellenos.

Asimismo vale destacar que gracias a su forma permiten una excelente trabazón de la grilla sin necesidad de incluir conectores u otro elemento adicional.

#### **5. Solución de la cara vista talud de transición de suelo reforzado**

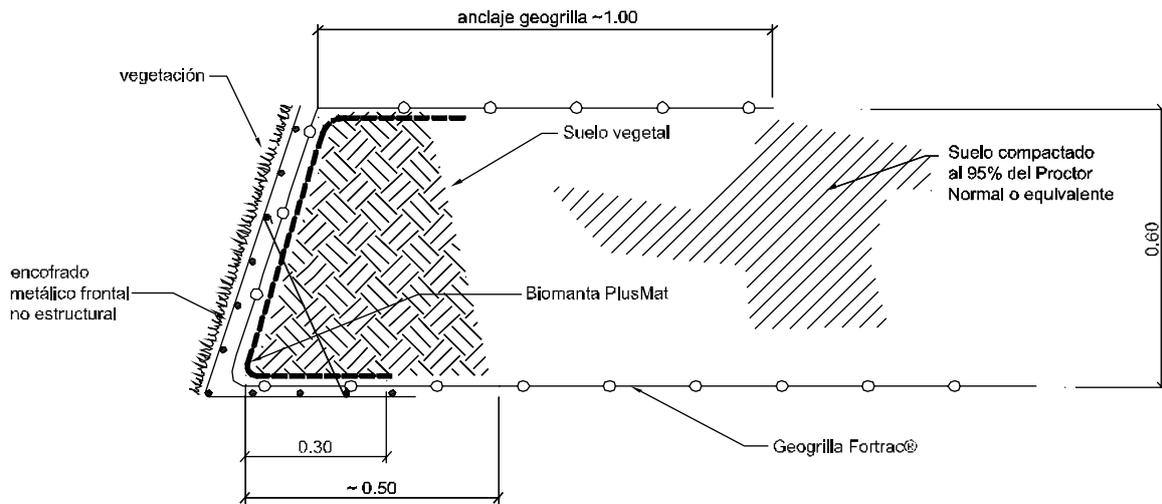
Para cuando la pendiente del talud de transición entre el muro y la barranca existente superara el ángulo de fricción interno del terreno de relleno ( $40^\circ$ ), se previó su refuerzo con geogrietas tal lo aclarado anteriormente.

En este caso la cara vista se materializó por medio de un encofrado metálico perdido constituido por una malla electrosoldada, la cual contaba con la pendiente prevista para el talud.

Asimismo y a fin de facilitar el crecimiento de la vegetación, se previó el relleno de los 50 cm extremos de la capa de relleno con suelo vegetal.

Entre el encofrado metálico y la cara vegetal se incorporó una Biomanta Plusmat tipo Fibrax 400BF, constituida por 100% fibras de coco entrelazadas por costura industrial con hilos degradables de polipropileno.

En la Fig. 5 se detalla un esquema de la solución adoptada:



**Fig. 5: Suelo reforzado con cara vista verde**

En las zonas donde el talud era lo suficientemente tendido para que no se requiriese refuerzo, la solución se limitó a la inclusión de la biomanta.

## 6. Metodología de Ejecución

A continuación se realiza una descripción de la metodología de ejecución seguida en cada caso:

### a. Muros de Suelo Reforzado con Geogrillas Fortrac y Bloques Terrae

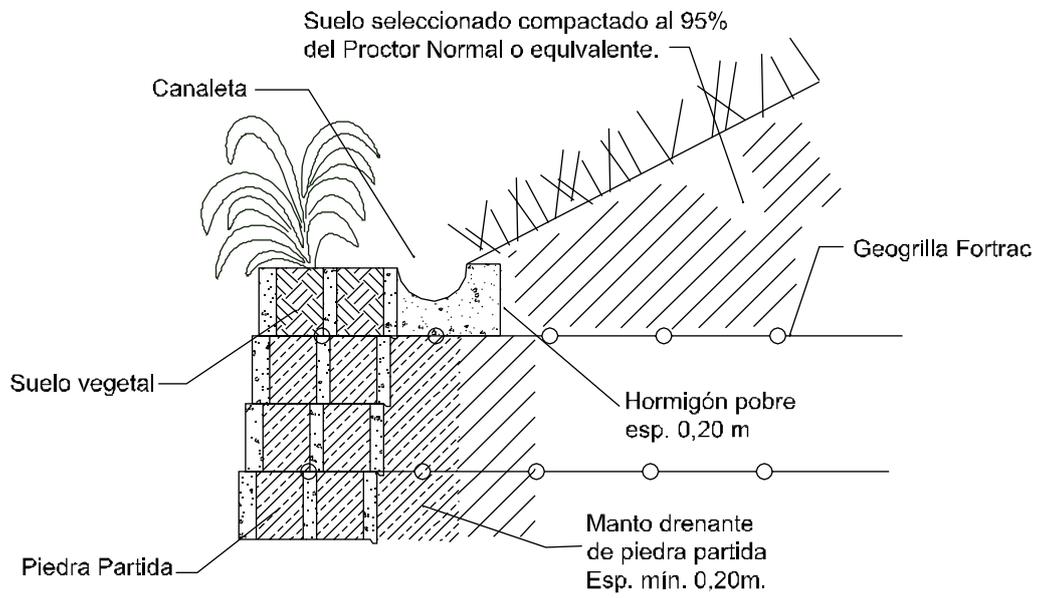
Habiéndose concluido la limpieza de la zona de emplazamiento se procedió a realizar la excavación de una zanja de empotramiento en la línea frontal del muro, ver Fig. 7.

A continuación se procedió a la colocación de la primera hilada de bloques Terrae prestando especial atención a su nivelación a fin de evitar errores de alineación en las hiladas superiores.

Los espacios internos de los bloques se rellenaron con material granular, así como el volumen restante de la zanja.

En correspondencia con el nivel donde se preveía la instalación de las capas de geogrilla, se extendió la misma cuidando que la dirección de mayor resistencia quede normal al borde del muro. La extensión se realizó de tal forma de evitar dobleces o arrugas.

Posteriormente se continuó con la instalación de bloques, repitiéndose cuando correspondía el tendido de las capas de geogrillas.



**Fig. 6: Detalle coronamiento muro superior**



**Fig. 7: Ejecución de Base de Asiento**



**Fig. 8: Extensión de la geogrilla Fortrac**

Adicionalmente se materializó una capa drenante inferior con piedra partida de una capa drenante inferior con piedra partida.

En todos los casos se evitó la compactación directa sobre los bloques a fin de no producir daños.

En correspondencia con la tercer hilada de suelo reforzado se instaló un sistema de drenaje constituido por un tubo ranurado de PVC TDR envuelto en geotextil. Ver Fig. 8.

En lo referente al material de relleno, su instalación y compactación no varió de un alteo.

Para la capa compactada se respetó una pendiente transversal hacia el trasdós de aproximadamente 4% a fin de que en caso de lluvia el agua se canalizara hacia el dren posterior.



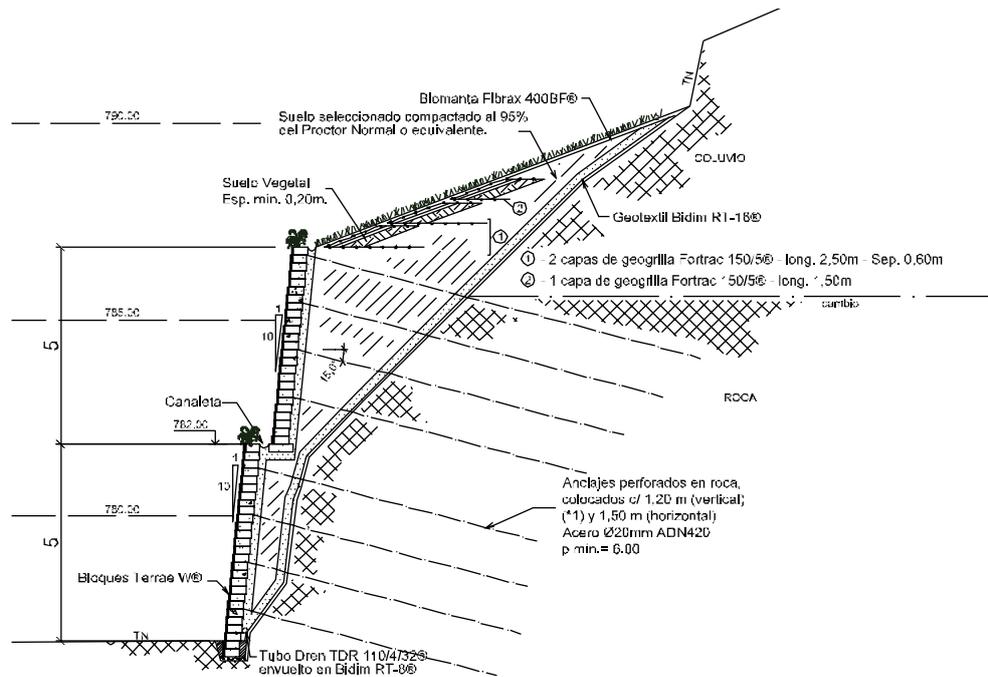
**Fig. 9: Colocación dren posterior**

La colocación del material de relleno se realizó hasta una distancia de cómo mínimo 20 cm del perfil actual de la barranca a fin de poder materializar el manto drenante vertical posterior de piedra partida 6-30, el cual se compactó de forma similar a la utilizada para el material de relleno.

Entre el suelo de relleno y el material drenante se colocó un filtro constituido por un geotextil no tejido Bidim RT-16, cuya finalidad es impedir la colmatación de éste último con los finos del suelo coluvial.

**b. Muros con Anclajes Inyectados**

En el caso de muros de bloques Terrae vinculados por medio de anclajes inyectados la secuencia constructiva es similar salvo la colocación de tensores y su anclaje en los muros según distribución y características establecidas en planos.



**Fig. 10: Corte tipo de muro anclado**

**Muros de Suelo Reforzado con Cara Vista Vegetalizada**

En el caso de los muros de suelo reforzado con cara vista vegetalizada se siguió el procedimiento descrito anteriormente para la solución del talud de transición de suelo reforzado.

**c. Colocación de Biomantas en Taludes Tendidos**

En los taludes donde no estaba prevista la materialización de suelo reforzado se procedió a la instalación de biomantas Plusmat tipo Fibrax 400 BF, desenrollando bandas previamente cortadas con la longitud necesaria, desde el coronamiento hacia el pie.

## 7. Vistas del muro concluido



**Fig. 11: Vista del muro. Nótese la adecuación a las condiciones del talud**



**Fig. 12: Vista del muro durante la etapa final de construcción**



**Fig. 13: Vista del muro. Nótese la poca distancia entre el muro y las construcciones de la ampliación del hotel.**

## **Conclusiones finales**

El actual desarrollo de la metodología de suelo reforzado, fundamentalmente con la aplicación de geosintéticos, permiten lograr soluciones a temas de contención que por las dificultades y limitantes existentes harían inviables otras soluciones de corte clásico.

Esto precisamente es lo que ha ocurrido en el caso del muro de contención del Llao Llao, donde no sólo el criterio paisajístico resultaba determinante, sino que se conjugaban variables tales como heterogeneidad manifiesta de suelos, presencia de vertientes y sismicidad, que requerían de métodos flexibles y adaptables a las condiciones de la obra.

La suma de geosintéticos específicos, tales como las geogrillas tejidas de poliéster de elevado módulo de rigidez, con variantes de caras vista tales como bloques premoldeados especiales y superficies vegetalizadas, han permitido obtener una solución versátil que permitió cumplir ampliamente con las exigencias estructurales de la obra, aprovechando la facilidad constructiva que estos productos y tecnología ofrecen.

## **8. Referencias Bibliográficas**

- 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.
- 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
- LESHCHINSKY, D., 1997. Design Procedure for Geosynthetic Reinforced Steep Slopes, U.S. Army Corps of Engineers, 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.
- RODRÍGUEZ, C.A., DAL FARRA, A., 2004, Taludes en Suelo Reforzado en Zona Sísmica - Hostería El Faro - Villa La Angostura – Neuquén, XVII Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Sinergia 2004, Córdoba, Argentina.
- 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.