

"MALLINES": CARACTERIZACION GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA Y GEOTECNICA; METODOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN EL CAMINO LONGITUDINAL AUSTRAL PARA SOBREPASARLOS

ARTURO HAUSER Y.

Serv. Nac. Geol. y Miner., Casilla 10465, Santiago, Chile.

RESUMEN

La construcción de los primeros 420 km del Camino Longitudinal Austral uniendo la ciudad de Chaitén con Coihaique, en el extremo sur del país, obligó a desarrollar una variada gama de técnicas constructivas, para sobrepasar exitosamente una serie de terrenos geotécnicamente conflictivos. Particular atención se dio a los terrenos conocidos como "mallines": un tipo de suelos de amplia distribución regional, desarrollado sobre terrazas fluviales ("mallines fluviales") y pequeñas cuencas labradas por acción glacial ("mallines glaciales"). Especiales condiciones topográficas, climáticas, vegetacionales y geológicas allí imperantes, favorecen el desarrollo de suelos con alto contenido orgánico y elevada humedad; en virtud de ello, presentan alta compresibilidad y baja capacidad de soporte.

La construcción de caminos sobre estos terrenos obligó a desarrollar dos técnicas: a) aplicación de geotextiles y b) "envaralados", en base a crear una plataforma reticulada, de varas o troncos, sobre la cual se apoya el terraplén del camino.

El presente trabajo pretende caracterizar los "mallines" en términos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, junto con proporcionar una breve reseña de los dos métodos constructivos utilizados en el Camino Longitudinal Austral para sobrepasarlos.

ABSTRACT

The construction of the first 420 km of the Camino Longitudinal Austral, joining the cities of Chaitén and Coihaique, in the southern part of the country, obliged to develop a great number of construction techniques, in order to exceed successfully many terrains with unfavourable geotechnical conditions. Special attention was given to terrains known as "mallines": a type of soil with great regional distribution, developed over fluvial terraces ("fluvial mallines") and small basins due to glacial action ("glacial mallines").

The existence of special topographical, climatological, vegetational and geological conditions in these places, favoured the development of soils with high organic and water content; according to this, they have high compressibility and low bearing capacity.

Road construction in these terrains, obliged to put in practice two techniques: a) geotextile membranes and b) corduroy or plank roads, based on a platform made of reticulated logs of wood, over which road embankments are placed.

The study intends to characterize the "mallines" from a geological, geomorphological and geotechnical point of view, including a brief summary of both methods used in the Camino Longitudinal Austral to exceed them.

INTRODUCCION

La construcción de los 420 km del Camino Longitudinal Austral, entre Chaitén y Coihaique, comprometió una gran variedad de terrenos; cada uno de ellos ligados a especiales características topográficas, geológicas, de suelo, climáticas y vegetacionales (Fig. 1). Dentro de ellas, el que ofreció ma-

yores problemas constructivos correspondió a los llamados "mallines". Se trata de terrenos planos, de amplia extensión, con particular desarrollo sobre terrazas fluviales, muy pobre drenaje superficial y subterráneo, sobresaturados en agua, pantanosos y asociados a abundante vegetación frea-

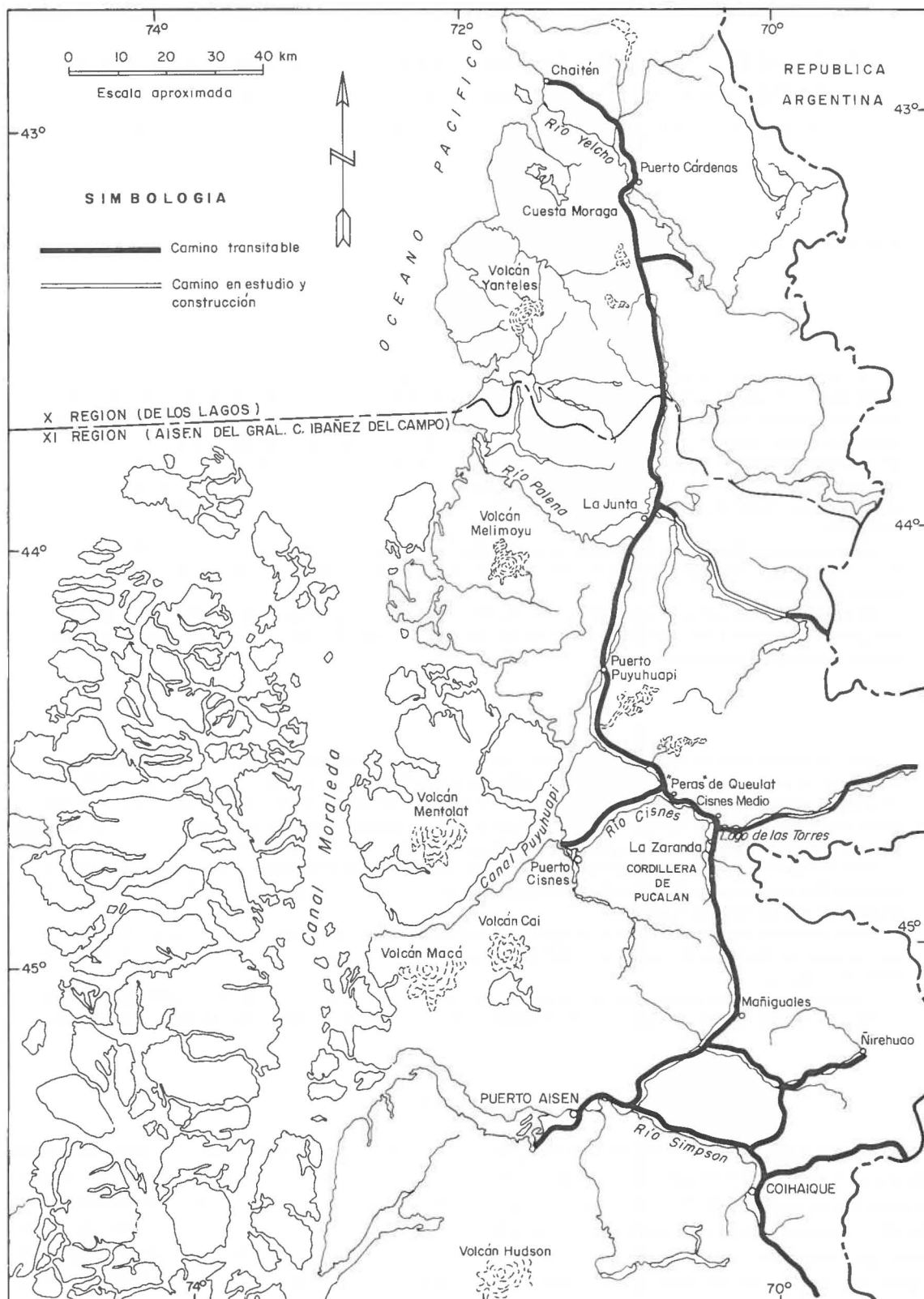


FIG. 1. Mapa de ubicación del área estudiada.

tófitas.

Terrenos como los descritos, en algunos sectores, cuando incorporan grandes cantidades de material orgánico, vegetal, poco descompuesto (con frecuencia más del 30% de la masa en peso) constituyen verdaderas turberas.

Geotécnicamente, los "mallines" poseen alta compresibilidad, elevado contenido de humedad natural, generalmente, baja capacidad de soporte, y están sobresaturados.

En las provincias de Valdivia, Osorno y Puerto Montt, suelos afines a los "mallines" ocupan amplias extensiones del Llano Central o Depresión Intermedia; se les conoce como "ñadis" y "hualves". Los primeros, temporalmente húmedos y los segundos, permanentemente húmedos. Importará señalar que, independiente de estas denominaciones, existen otras para los mismos tipos de suelos, referidas a la vegetación que contienen: "pitrales"-pitra; "tepuales"-tepú y "temontales"-temo. Desde el punto de vista agrícola, conforman terrenos poco aptos para el desarrollo de cultivos o crianza

de animales.

La presencia de terrenos tipo "mallín", cobra particular relevancia debido a que consideraciones ingenieriles, económicas y operacionales, aconsejan el trazado de caminos sobre terrazas fluviales. Con ello se compatibilizan satisfactorios desarrollos en planta, se minimizan los cortes en roca y suelo, se reducen los terraplenes y se dispone de abundantes y adecuados materiales de préstamo a atractivas distancias de transporte. Las bondades descritas se contraponen con los problemas geotécnicos que los terrenos tipo "mallín" imponen a las faenas constructivas. Ellas, si bien severas, han sido superadas por la vía de recurrir a técnicas del "envaralado" y a la utilización de membranas geotextiles.

En este trabajo, junto con proporcionar antecedentes geológicos, geomorfológicos y geotécnicos respecto de los "mallines", se describen brevemente las técnicas constructivas que se utilizaron en la construcción del Camino Longitudinal Austral, para superar este tipo de terrenos.

CONSIDERACIONES GEOMORFOLOGICAS

Los "mallines" aparecen restringidos, en su distribución territorial, a posiciones muy bien definidas en el paisaje patagónico, debido a la existencia de ciertos "ambientes geomorfológicos", propicios para su formación. El relieve patagónico refleja la acción de un modelado preferentemente glacial y fluvial; éste al rebajarlo de altura conforma un paisaje muy particular, con numerosos y amplios lagos y fiordos, profundos valles y prominentes cerros; participación secundaria en este modelado, tuvieron las acciones tectónicas y los fenómenos volcánicos.

En la zona que nos preocupa, los "mallines" se desarrollan especialmente en los flancos de los grandes valles fluviales (Cisnes, Palena, Yelcho Simpson, Ibáñez, Murta, etc.). Dichos valles, originalmente sometidos a intensos procesos erosivos de tipo glacial, durante el cuaternario inferior, albergaron, con posterioridad, a amplios cauces fluviales, en la medida que los hielos retrocedían gradualmente, para permanecer restringidos, en la actualidad, a las altas cumbres. Evidencia de la acción glacial en las laderas de los actuales valles, es la presencia de estrías, relieves aborregados y depósitos morrénicos.

La posterior acción fluvial se tradujo en la formación de extensas planicies aluviales, las que configuran terrazas adosadas a los actuales cauces. Los ríos ocupan lechos profundos y rectilíneos, en la zona andina, y someros y meándricos, hacia la zona litoral, donde la precipitación es superior a los 3.000 mm al año. Es en este último sector, donde los "mallines" alcanzan particular desarrollo ("mallines fluviales"); allí los ríos, en función de la baja pendiente de sus cursos, pobre encauzamiento, presencia de depósitos fácilmente erosionables y elevado régimen de precipitaciones, suelen experimentar periódicas crecidas, abandonando sus cauces (Fig. 2).

Las aguas sin control, invaden los terrenos ribereños, originándose pequeñas lagunas temporarias, que ocupan sectores levemente deprimidos. El deficiente drenaje superficial y subterráneo, favorece el desarrollo de una densa cobertura vegetal, con predominio de especies freatófitas, implantadas sobre suelos delgados del tipo "trumaos"*. La suma de estas condiciones origina ambientes propicios para la formación de "mallines", a través de mecanismos físico-químicos, que se describen más adelante. Participación secundaria en

* Suelos residuales limoarcillosos, evolucionados a partir de cenizas volcánicas.

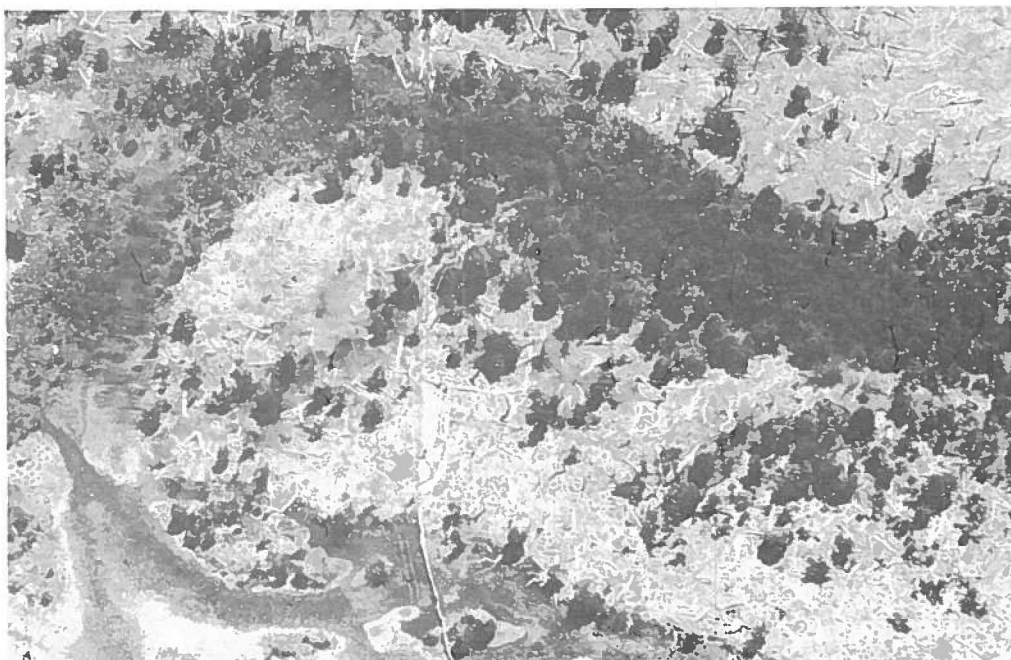


FIG. 2. "Mallín" desarrollado sobre terraza fluvial, ocupando cauce abandonado, en valle del río Murta. XI Región.

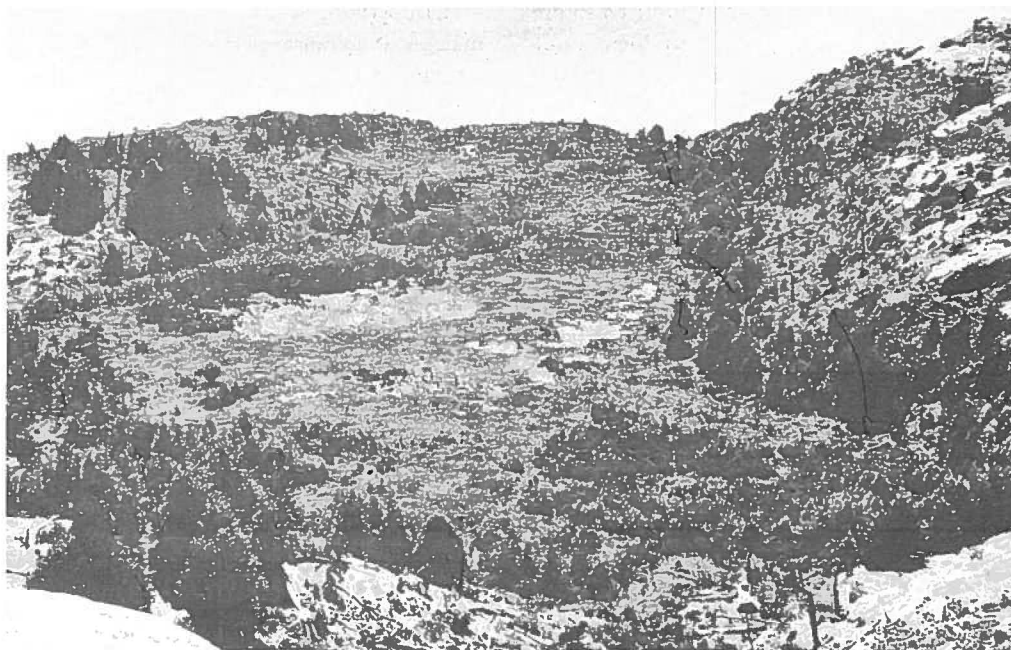


FIG. 3. "Mallín" desarrollado sobre pequeña depresión labrada en rocas del Basamento Metamórfico (esquistos, cherts y mármoles), en sector Capilla del Mármol, Lago General Carrera, XI Región.

la generación de los "mallines" corresponde a las quebradas laterales o tributarias de los grandes ríos. Las aguas de muchas de ellas, al experimentar crecidas de primavera, invaden extensas superficies de las terrazas fluviales. Dichas terrazas están formadas por gravas y arenas; un elevado porcentaje de los clastos corresponden a rocas graníticas, derivadas del Batolito Norpatagónico (Jurásico-Terciario) (Halpern y Fuenzalida, 1978). Los materiales fluviales son, por lo general, frescos, regularmente estratificados, con escasas intercalaciones finas y sueltas, siendo, por lo tanto, bastante permeables.

Una menor proporción de "mallines" se desarrolla sobre terrenos que difieren de los descritos precedentemente. Corresponden a aquéllos formados a partir de depresiones o cuencas labradas por ac-

ción glacial ("mallines glaciales; Fig. 3). Se ubican, por tanto, alejadas de los valles fluviales mayores. Importantes aportes terrígenos marginales, unidos a la existencia de altas precipitaciones locales y deficientes condiciones de drenaje superficial crean condiciones propicias para el desarrollo de abundantes plantas herbáceas, musgos y arbustos menores, hasta adquirir la forma de típicos "mallines".

Este tipo de "mallines", si bien son menores arealmente, respecto de los primeros, presentan mayores problemas de manejo en las faenas viales. La observación deriva de su aparente mayor contenido de materias orgánicas en descomposición. Ello, junto con incrementar su compresibilidad y restarle capacidad de soporte, limita su drenaje por la vía de fosos o desagües.

MECANISMOS GENETICOS

Los factores geomorfológicos, geológicos, topográficos, climáticos y vegetacionales, que participen en el desarrollo de los suelos o terrenos tipo "mallín", han sido descritos en los párrafos precedentes; cabe, por tanto, esbozar ahora algunas ideas respecto del o de los mecanismos físicoquímicos que conducen específicamente a su formación.

La cubierta superficial de suelos corresponde, en la zona, a materiales limoarcillosos, conocidos como "trumaos", los que alcanzan espesores normales medios de 1,2-1,5 m. Localmente, pueden ser mucho mayores cuando se presentan bajo la forma de suelos enterrados o paleosuelos, donde alcanzan espesores totales cercanos a los 10-12 m.

Los "trumaos" corresponden, genéticamente, a suelos residuales, evolucionados a partir de cenizas volcánicas, producto de emisiones explosivas, ligadas a los centros eruptivos locales (Hudson, Cai, Macá, Melimoyu; Fig. 1). Dichos materiales cineríticos alcanzaron una amplia distribución por la vía del aerotransporte. En general, cubren con espesores variables, a la mayoría de las unidades geológicas de roca y depósitos no consolidados, desde las Regiones IX a la XII del país.

Los horizontes superiores del suelo tipo "trumao" poseen las siguientes características: textura limoarcillosa, color pardo oscuro, estructura granular fuerte, en bloques subangulares; ligeramente plástico y adhesivo, saturado; friable, húmedo, variando de suelto a duro, seco; poseen una alta capacidad para retener agua.

Los siguientes datos tomados de Hauser (1975), proporcionan valores representativos de análisis granulométricos en suelos del tipo "trumao", en torno de la ciudad de Temuco, IX Región. Promedio de cuatro muestras:

No. de tamiz Tyler	Abertura en mm	%
35	0,500	1,5
60	0,250	2,1
120	0,125	4,0
200	0,074	6,5
Residuo	—	81,3

Del mismo autor se extraen los siguientes valores de análisis químicos:

Promedio de 4 muestras:

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %
41,2	23,7	11,4	0,6	0,24

En respuesta a la alta tasa de precipitación, que normalmente afecta a la zona costera de Chiloé y Aisén, los suelos de "trumao" experimentan profundas modificaciones, debido a la lixiviación o lavado de los óxidos de hierro y aluminio, contenidos en sus estratos superiores. En esos procesos tienen especial participación los llamados ácidos húmicos, liberados a partir de la descomposición de materia orgánica (elementos vegetales de toda

naturaleza: raíces, hojas, ramas, etc.). Como son particularmente agresivos, disuelven los óxidos de hierro y aluminio contenidos en los horizontes superiores, los cuales son arrastrados a niveles más profundos, donde se depositan actuando como agentes de cementación. Los óxidos de hierro re-depositados constituyen una costra amarillenta, conocida localmente como "fierrillo". El "fierrillo", formado por limonita porosa, se deposita en una capa de unos pocos centímetros hasta medio metro de espesor, que alcanza su mayor desarrollo inmediatamente bajo la interfase suelo-depósito aluvial (gravas y arenas fluviales). Al cementar firmemente a los clastos, da lugar a la formación de un horizonte muy denso e impermeable, tipo conglomerado o arenisca (dependiendo de la naturaleza granulométrica del substrato basal). Debido a estos procesos, las capas superiores, lixiviadas, se enriquecen relativamente en sílice, adquiriendo un carácter ácido. Como consecuencia de ello, algunos suelos de la región austral, son poco atractivos desde el punto de vista agrícola, ya que poseen un déficit importante de sustancias minerales, necesarias para el crecimiento de las plantas (calcio, magnesio), que también han sido transportados por lixiviación a capas más profundas. La presencia del "fierrillo", al limitar la infiltración del agua hacia los estratos basales del suelo, crea un ambiente propicio para el desarrollo de una amplia gama de especies vegetales. Entre ellas destaca el tepú (*Tepualia stipularis*) de la familia de las mirtáceas; especie que otorga a las aguas una característica tonalidad parda clara, muy típica de las aguas de "mallines", probablemente atribuible al tanino, compuesto orgánico presente en sus raíces. Esta situación, junto a otras características físico-químicas de estas aguas, limitan seriamente su uso potable.

Los "mallines" presentan gran afinidad con los suelos desarrollados en climas nórdicos húmedos, conocidos como "podzoles". Se trata de suelos cuyos horizontes superficiales, por acciones de disolución y lixiviación, acusan altos contenidos de sílice, mientras que los basales se enriquecen en hierro y alúmina, en forma de óxidos, que incluso actúan como agentes de cementación.

En la figura 4 se presenta un perfil representativo de la secuencia de depósitos, que normalmente conforma un corte en "mallines", desarrollado sobre terrenos fluviales (observaciones efectuadas en un pozo en las riberas del río Palena, próximo a la localidad de La Junta) (Fig. 1).

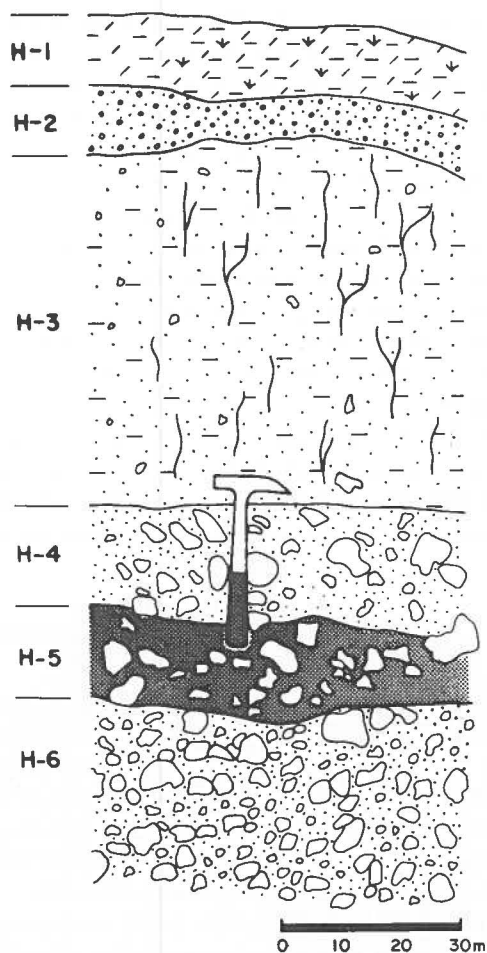


FIG. 4. Perfil generalizado por mallín desarrollado sobre depósitos fluviales.

Denominación	Espesor (cm)	Tipo de Depósito
H-1	10-12	Horizonte superior de suelo limoso, suelto, con abundante materia orgánica.
H-2	5-7	Lapilli color pardo claro, constituido por fragmentos o esquirlas de 1-2 cm de pómez, con pobre intemperización; en escasa matriz arenosa, cinerítica, suelta, permeable.
H-3	50-55	Suelo tipo "trumao"; limo arcilloso color castaño, suelto, pulverulento, compacto, muy bien estructurado, poroso, permeable.
H-4	18-20	Gravas arenosas; clastos preferentemente graníticos, inalterados, bien redondeados, con diámetro máximo de 5-7 cm; abundante matriz arenolimosa,

H-5	10-15	parda; pobre cementación. Horizonte de "fierrillo" (arenisca ferruginosa) pardo-amarillento, cementando a gravas arenosa; muy compacto, impermeable.	H-6	más de 100	Gravas arenosas; granos de tipo granítico, aspecto fresco, buen redondeamiento y tamaño máximo 7-10 cm; matriz arenosa.
-----	-------	--	-----	------------	---

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Desde el punto de vista geotécnico, los suelos del tipo "mallín" pueden ser englobados, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, en las categorías "Pt" y "O" (Juárez y Rico, 1973; Wilum y Starzewski, 1972).

Su compleja naturaleza impide establecer una separación rigurosa entre ambos. El símbolo "Pt", *sensu stricto*, corresponde a suelos del tipo turba, humus o suelos pantanosos; poseen alto contenido de materia orgánica, son esponjosos, fibrosos, livianos y absorbentes. El símbolo "O", en cambio, se aplica a suelos que, siendo de naturaleza orgánica, incorporan ciertas fracciones, tanto de limo como de arcilla.

Geotécnicamente, los terrenos, objeto de este trabajo, se caracterizan por poseer, a nivel superficial, un drenaje deficiente, elevado contenido de humedad natural, cercano a la saturación, y una cobertura vegetal anormalmente densa.

En función de estas características y con motivo de fuertes precipitaciones, tan frecuentes en la región austral, las zonas deprimidas, donde normalmente se desarrollan, suelen transformarse en verdaderas lagunas temporales.

Sus deficientes condiciones de drenaje son consecuencia directa de la granulometría, permeabilidad y suave pendiente de los sectores donde se desarrollan. Sus niveles freáticos se encuentran a escasa profundidad; ello determina una reducción en las presiones efectivas, con el consiguiente incremento de la compresibilidad, disminución de resistencia y capacidad de soporte. La compresibilidad varía de alta a muy alta; la posibilidad de fuertes asentamientos diferenciales es una característica de estos suelos. Esta, aparece asociada al irregular desarrollo vegetal en el "mallín". La velocidad de generación de los asentamientos es muy rápida. Puede señalarse, que un alto porcentaje de la deformación total se produce de un modo prácticamente simultáneo con la aplicación de la carga. Por el elevado contenido de materia orgánica de estos suelos, no resulta sorprendente que la compresibilidad sea muy alta.

Los suelos con alto contenido de materia orgánica, como los "mallines", cuando se cargan con el peso de una estructura o terraplén son extremadamente propensos a prolongar, durante mucho tiempo, los asentamientos, aun cuando no experimenten rotura franca entre el relleno y el terreno natural. Los asentamientos que pueden experimentar se deben sólo parcialmente a la consolidación; la descomposición de la materia orgánica, su compresibilidad y la deformación lateral plástica, juegan en el proceso, un rol importante. Como normalmente la superficie de un terreno del tipo "mallín" no ha estado nunca sometido a una sobrecarga, el depósito no tiene resistencia para sostener un terraplén de altura media (1,5-2,0 m). Sólo cuando el espesor del "mallín" no excede de 1,5-2,0 m, puede resultar atractivo, en términos económicos, eliminar el material geotécnicamente deficiente mediante excavación, a objeto de exponer el fondo o substrato firme. La excavabilidad o facilidad para ser excavados es alta, debido a que se trata de terrenos sueltos, blandos y porosos. Los materiales procedentes de las excavaciones en "mallines" no pueden ser utilizados para ejecución de rellenos o terraplenes, puesto que se trata de suelos que no se pueden compactar mecánicamente. Gracias al fuerte arraigamiento de las especies vegetales que se implantan en estos suelos, formando una cerrada trama de raíces, poseen una adecuada estabilidad en el tallado de zanjas o fosos.

Por todo lo expresado, el valor de estos suelos como elemento de fundación, sin tratamiento previo, es muy precario. Lo expuesto, es más que suficiente para poner de manifiesto que fundar sobre estos terrenos, sin estudios previos, constituye un riesgo muy grande; la razón del calificativo final adoptado se apoya en la severidad y cantidad de los problemas descritos. El denominador común de estos terrenos es la constante existencia de rigurosos problemas geotécnicos.

Finalmente, importará señalar que, sobre estos suelos húmedos, se implanta, normalmente, una

cubierta vegetal, natural, de arbustos bajos, de mala calidad. Los árboles crecen mal desarrollados, retorcidos, otorgándole un particular atractivo al paisaje, pero nulo o pobre valor económico.

Suelos pantanosos afines a nuestros "mallines" han sido materia de permanente preocupación por parte de especialistas en Mecánica de Suelos. La construcción de caminos, en terrenos de este tipo, exige la adopción previa de una serie de medidas correctivas, a objeto de mejorar su condición geotécnica. Las más utilizadas corresponden a las siguientes:

- Drenaje.
- Utilización de pilotes.
- Empleo de membranas geotextiles.
- Reemplazo parcial o total del material.
- Desplazamiento del terreno blando con explosivo.

MEDIDAS CORRECTIVAS Y METODOS CONSTRUCTIVOS

La amplia extensión ocupada por terrenos del tipo "mallín" en las X y XI Regiones, obligó a desarrollar, sobre ellos, extensos tramos del Camino Longitudinal Austral.

La única forma de materializar su construcción, fue a través de la utilización de algunas técnicas constructivas especiales: "envaralados" y membranas geotextiles.

ENVARALADOS

La existencia de extensas zonas de terrenos pantanosos, conocidos como "mallines", y la alta pluviosidad de la zona, forzó a los primitivos colonos de la región austral del país a desarrollar su ingenio y capacidad creativa. Con frecuencia ocurría que el desplazamiento de animales se transformaba en verdaderas odiseas, al enfrentar con sus arreos los "mallines". Los sectores en referencia fueron salvados, existosamente, recurriendo a los famosos "caminos envaralados" (Fig. 5). Corresponden a una simple calzada construida con trozos de árboles locales, cortados según largos de 1,80-2,20 m y colocados, adecuadamente, uno junto al otro, para conformar una verdadera plataforma falsa, que se apoya directamente sobre el "mallín". Previamente se procede a retirar parte de la vegetación mayor existente en el lugar (árboles y arbustos de gran tamaño, que interferían con el camino).

En relación con esta materia, importa señalar que el autor ha tenido oportunidad de ubicar restos de troncos (coigüe, ciprés, roble, mañío) incluidos en horizontes limoarcillosos con alto

Estabilización por adición de otro suelo, cemento o productos químicos.

Cada uno de los métodos expuestos posee, en función de las condiciones naturales del terreno, sus virtudes y limitaciones. En todo caso, ninguno de ellos opera adecuadamente cuando el espesor del terreno superficial, arcilloso, blando y de alta compresibilidad, excede de los 6 m de espesor.

Mejorías substanciales en la condición geotécnica de los "mallines", pueden obtenerse a través de la construcción de fosos o desagües. Con ello, se logra eliminar una fracción importante del agua almacenada, incrementando la capacidad de soporte y disminuyendo la compresibilidad. Sea cual fuere esta medida, en ningún caso, transforma a los "mallines" en terrenos aprovechables, desde el punto de vista geotécnico, si no se adoptan medidas correctivas adicionales.



FIG. 5. Antiguo "envaralado", inmediatamente al oeste del sector Piedra El Gato, Valle de Río Cisnes, XI Región.

contenido orgánico y de humedad, en depósitos morrénicos (Cuesta Moraga, Canal Puyuhuapi y otras localidades). Dichos restos evidencian escaso grado de alteración. Estos depósitos pueden ser correlacionados, preliminarmente, con aquéllos presentes en el extremo noreste de la Isla de Chiloé, englobados en la llamada Morrena Llanquihue, la más joven de dicho sector. Dataciones radiométricas con C^{14} , en base a sedimentos orgánicos, han dado edades que fluctúan entre 10.050 ± 205 y 13.065 ± 320 años (Heusser, 1977).

Una técnica parecida al "envaralado" se utiliza en Indonesia, para incrementar la capacidad de soporte de suelos geotécnicamente deficientes, conocida como "Cakar Ayam", se utilizó en la construcción del cabezal de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Intenacional de Yakarta (International Construction, Octubre, 1982). Consiste en la colocación de estacas de bambú, enterradas verticalmente, muy próximas una de otra; mejorando notablemente la capacidad de soporte de terrenos blandos y saturados.

Mención especial, por la forma como la técnica del "envaralado" fue empleada, merece el sector conocido como La Zaranda. Se ubica en el Camino Longitudinal Austral, 5 km al sur de la laguna de Las Torres, en la XI Región (Fig. 1).

Tradicionalmente, el sector constituyó el paso forzado para el tránsito (a caballo o a pié) de los colonos y del movimiento de animales entre el valle del río Cisnes y Puerto Aisén y Coihaique. El tránsito de animales significaba la pérdida de un importante número de ellos, virtualmente "tragados" por el "mallín". Se dice que en oportunidades, los colonos, para evitar pérdidas de ovejas en sus arreos, procedían a salvar el Paso La Zaranda, transportando sus animales en brazos, sobre un denso "envaralado" colocado en el lugar.

En el sector, la casi totalidad del piso del valle, está ocupado por la laguna La Zaranda, cuyo espejo de agua se sitúa a la cota 274 m s.n.m., aproximadamente.

La alternativa de paso siempre resultó en extremo penosa y de alto riesgo, considerando que, a lo largo de aproximadamente 70-80 m, la primitiva huella de pilchero*, con un ancho cercano a los 2,0 m, se enmarca entre un abrupto farellón rocoso, granítico, por el oeste, que remata en los

1.731 m s.n.m. en la Cordillera de Pucalán y un sector ribereño de Laguna La Zaranda, por el este. El borde en referencia está constituido por un terreno provisto de deficiente drenaje superficial y, por tanto, integrado por suelos con alto contenido de materia orgánica (restos de troncos, raíces, hojas) y densa vegetación freatófita; todo eso le otorga un carácter de verdadero "mallín" o pantano, con suelos de alta compresibilidad y baja capacidad de soporte.

Al momento de diseñar el trazado del Camino Austral, no hubo más alternativa que disponerlo sobre la antigua huella de "pilchero" existente, aun aceptando que ello iba a significar un serio problema constructivo.

La apertura del tramo se materializó por primera vez en 1978. En virtud de la extrema complejidad topográfica y geotécnica del lugar, la construcción del "envaralado" tuvo que enfrentarse recurriendo a modificaciones, respecto del método convencional. La situación descrita obligó a desplazar el eje del camino hacia el farellón rocoso a objeto de alejarlo del borde oeste de la laguna. Se contempló la ejecución de un gran corte en la roca, de tal suerte que la totalidad del material extraído, con un volumen cercano a los 12.000 m^3 , constituyera un verdadero enrocado ciclópeo, para conformar un apoyo estable al terraplén del camino. Sobre el enrocado se apoyó un "envaralado" doble, adoptando la forma de una verdadera trama reticulada; a fin de constituir una estructura resistente, capaz de soportar con holgura el peso del terraplén primero y del posterior tráfico por el lugar.

La primera mitad del volumen rocoso del corte, virtualmente desapareció en el "mallín". Una vez estabilizado éste, se procedió a colocar las capas basales del terraplén flotante. Construido el camino por el sector y en uso público desde Enero de 1982, éste no ha experimentado deformaciones molestas.

Respecto de la existencia de soluciones afines a nuestros "envaralados" para sobrepasar terrenos críticos (zonas pantanosas) en otras partes del mundo, sólo cabe mencionar los llamados "Corduroy Roads" ("caminos de troncos") y "Plank Roads" ("caminos de tablonés") que se construyen en U.S.A. y Canadá. En Alaska, los "caminos

* Denominación que en la Patagonia se le da a los caballos de carga.

de tablonés" se construyen de forma similar a nuestros "envaralados", sobre terrenos pantanosos, conocidos como "muskeg", muy parecidos a los "mallines" del sur de Chile.

MEMBRANAS GEOTEXTILES

La construcción del Camino Longitudinal Austral ha servido para poner en práctica, en nuestro país, la utilización de las llamadas membranas geotextiles. Estas no son otra cosa que elementos pre-construidos, correspondientes a mantos o carpetas, constituidas por filamentos continuos de poliéster, mecánicamente entrelazados, que conforman membranas delgadas de 3-4 mm de espesor, muy flexibles y altamente permeables.

La utilización a gran escala de las membranas geotextiles, en obras viales, data de los inicios de la década del 60 (Alfheim y Sorlie, 1977; Steward, *et al.*, 1977; Koerner y Welsh, 1980; Rankilior, 1981).

Las propiedades o características físicas de las membranas resultan críticas, en función de la utilidad que deban cumplir. Cuando son ocupadas para obras de drenaje, los tamaños y geometría de sus poros controlan su utilización. En cambio, cuando se trata de proporcionar refuerzo (control de deformaciones en terraplenes, por ejemplo), sus propiedades resistentes y/o friccionantes son importantes. Estas últimas, a su vez, dependen de las

propiedades de las fibras constituyentes, de la orientación y movilidad estructural de ellas, junto con el grado de fricción interfibra que pueda producir.

Hasta el inicio de la construcción de Camino Longitudinal Austral, muy poca era la experiencia que se tenía, en nuestro país, respecto de la utilización de los geotextiles. Esporádicamente, habían sido utilizados en algunos proyectos mineros, para apoyar terraplenes camineros sobre depósitos del tipo relaves (Compañía Minera Disputada), considerando las ventajas constructivas, operacionales y económicas que el método ofrece.

Las características más relevantes de este tipo de elementos son: alta resistencia a la ruptura, gran capacidad de filtración, imputrescibilidad total, insensibilidad a los agentes químicos (en concentraciones normales), etc. El producto se ofrece en rollos de 2,0-2,15 m de ancho y peso que fluctúa entre 300 y 600 gr/m² de acuerdo al espesor.

Específicamente, en los trabajos del Camino Austral, las membranas han sido utilizadas con éxito en obras de saneamiento (drenajes), en la zona conocida como "Peras de Queulat" (Fig. 1), y en el tratamiento de sectores pantanosos o "mallines", en diversos tramos del camino. En el primer caso, dieron muy buenos resultados, para habilitar cunetas o fosos a pié de corte, en terrenos superficialmente inestables (conformados por frag-

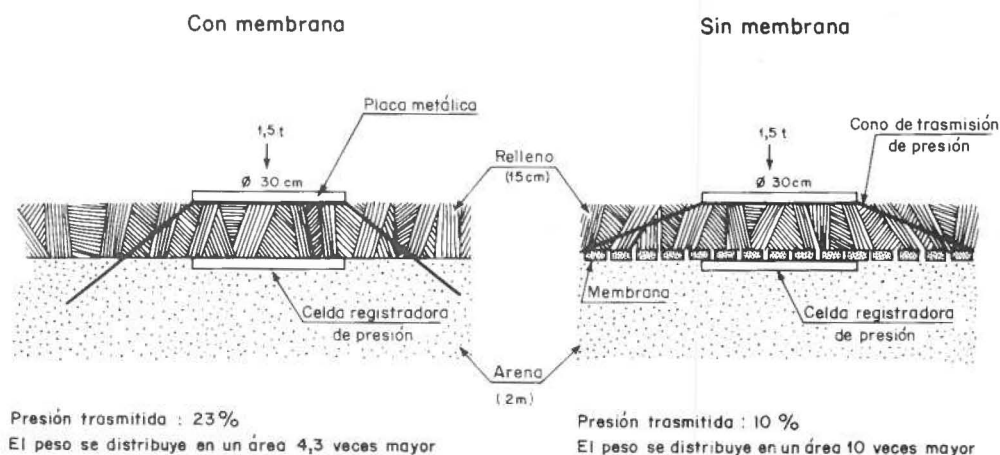


FIG. 6. Ensayo de transmisión de presión, adaptado del folleto: BIDIM Depto Nao-Tecidos BIDIM-MARKETING E DESENVOLVIMENTO, Rua José Bonifacio 376, Sao Paulo, BRASIL.

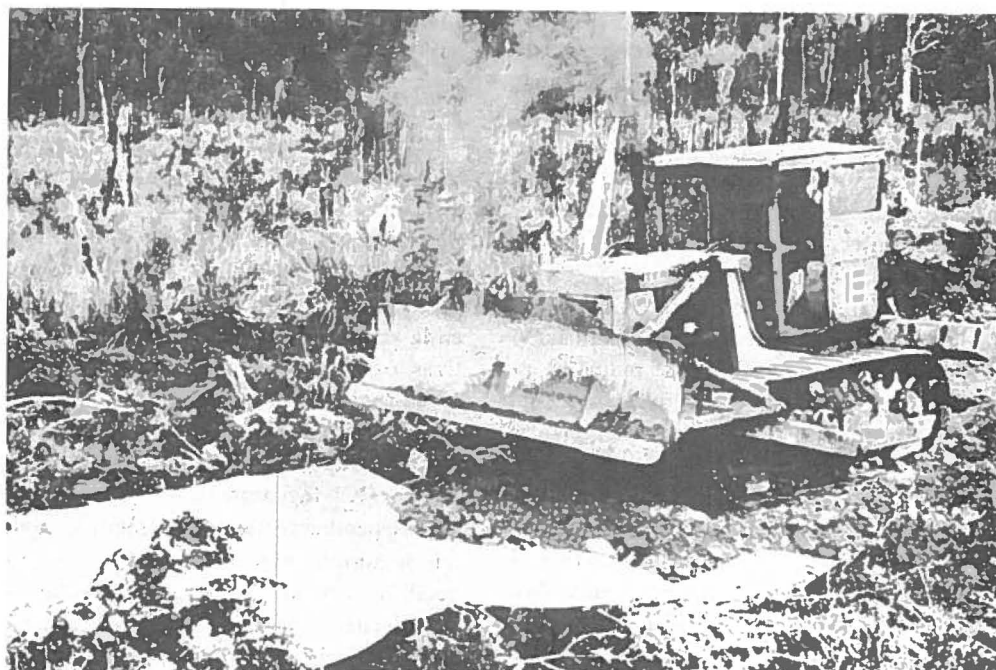


FIG. 7. Bulldozer colocando capas basales de terraplén sobre membrana geotextil. Sector bifurcación Portezuelo Queulat-Puerto Cisnes, XI Región.



FIG. 8. Sección basal de terraplén terminada.

mentos rocosos menudos, sueltos, desprovistos de matriz cohesiva); posibilitaron la construcción de drenes eficaces, provistos de adecuada sección transversal, sin acusar problemas de colmatación. En el segundo caso, en cambio, la aplicación de las membranas permitió incrementar poderosamente la capacidad de soporte de suelos geotécnicamente deficientes, al aumentar la superficie de distribución de las cargas comprometidas; por lo tanto, disminuyendo las deformaciones de carpetas de rodado. También se evitó la contaminación entre terraplén y terreno natural; se redujo el espesor convencional de bases y sub-bases; y se mejoró el escurrimiento de aguas bajo los terraplanes. La figura 6 explica la forma como la colocación de una membrana geotextil incrementa la capacidad de soporte de una base cualquiera.

La colocación de las membranas geotextiles es un procedimiento simple y rutinario, como se ilustra en la figura 7.

Normalmente, suele apoyarse directamente sobre el terreno natural, previo desmonte de toda la cubierta vegetal (árboles mayores y arbustos), excluyendo la necesidad de extraer totalmente los restos de raíces y/o troncos. Una vez colocada, se procede al vaciado directo del material seleccionado (relleno o sub-base) para su posterior esparcido y compactación. La unión o junta de membranas se efectúa, normalmente, por simple traslape (Fig. 8).

Serías dificultades en la colocación de las membranas se presentaron en "mallines extraordinariamente compresibles. En ellos, la utilización de

las membranas exigió el uso de estacas de fijación en los bordes, a objeto de evitar corrimientos del material hacia el centro de la plataforma, durante el vertido de las capas basales del terraplén.

Resultados negativos, en la aplicación de membranas geotextiles, se obtuvieron cuando se pretendió colocarlas sobre terrenos en los cuales el camino se desarrollaba en pendientes longitudinales mayores que 5%.

Tres son los productos que han sido utilizados en la zona; algunos de ellos en términos comparativos, ofrecen claras ventajas operacionales respecto de sus similares: cada una, de acuerdo al fabricante y procedencia recibe un nombre especial: Typar (Dupont-U.S.A.); Bidin (Rhodia-Brazil); Terram (ICI-Inglaterra).

Independientemente del método constructivo que se adopte, para sobrepasar un terreno del tipo "mallín" con un camino, es necesario incorporar un adecuado drenaje. Este, indudablemente, incluye la ejecución de fosos longitudinales al eje de la plataforma sobre la cual se apoya el camino. Los fosos, normalmente, se disponen a 5-7 m del borde de la plataforma; sus secciones típicas incluyen anchos medios de 0,8 m con profundidades de 1,0-1,5 m. Los fosos van acompañados de obras anexas, que permiten descargar y/o evacuar las aguas captadas. La práctica ha demostrado la conveniencia de efectuar los fosos como una tarea previa a cualquier tipo de faena; con ello se logra drenar convenientemente el terreno y optimizar su comportamiento geotécnico.

CONCLUSIONES

El obligado desarrollo de tramos del camino Longitudinal Austral en las Regiones X y XI del país, comprometiendo terrenos muy compresibles y con baja capacidad de soporte, conocidos como "mallines", incentivó la aplicación de ciertas técnicas constructivas especiales para sobrepasarlos. Dos de ellas han resultado particularmente

eficaces, en términos constructivos, operacionales y económicos: "envaralados" y membranas geotextiles. Independiente de la técnica aplicada, los terrenos deben ser conveniente y previamente drenados mediante fosos marginales, como una forma de optimizar su comportamiento geotécnico.

REFERENCIAS

ALFHEIM, S.L.; SORLIE, A. 1977. Norwegian Road Research Library. Testing and classification of fabrics for application in road construction. In *Colloque International sur l'emploi des Textiles en Geotechnique*, Vol. 2, p. Paris.

HALPERN, M.; FUENZALIDA, R. 1978. Rb-Sr geochronology of a transect of the Chilean Andes between latitudes 45° and 46°S. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 41, No. 1, p. 60-66.

- HAUSER, A. 1975.** Presencia de suelos ricos en aluminio en la zona sur de Chile (Bío Bío a Llanquihue). *Rev. Geol. Chile*, No. 2, p. 34-40.
- HEUSSER, C. 1977.** Quaternary glaciations and environments of northern Isla Chiloé, Chile. *Geology*, Vol. 5, p. 305-308.
- INTERNATIONAL CONSTRUCTION. 1982.** *IPC Building and Contract Journal*, Vol. 21, No. 10, Surrey, England.
- JUAREZ-BADILLO, E.; RICO, R.A. 1973.** *Mecánica de suelos*. Edit. Limusa, Vol. 1, 499 p. México.
- KOERNER, R.M.; WELSH, J.P. 1980.** *Construction and geotechnical engineering using synthetic fabric*. John Wiley & Son, Inc., New York.
- RANKILOR, P.R. 1981.** *Membranes in ground engineering*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- STEWART, J.; WILLIAMSON, R.; MOHNEY, J. 1977.** *Guidelines for the use of fabrics in construction and maintenance of low volume roads*. U.S.D.A. Forest Service.
- WILUM, Z.; STARZEWSKI, K. 1972.** *Soil mechanics in foundation engineering*. Intertext, 252 p. London.