

Geosintéticos: una importante disciplina con grandes logros en el pasado y emocionantes retos para un brillante futuro

Geosynthetics: a remarkable discipline with great achievements in the past and exciting challenges for a bright future

JEAN PIERRE GIROUD (*)

RESUMEN Este trabajo presenta los diversos logros y futuros retos de la disciplina de los geosintéticos. Se muestra que uno de sus principales logros de los geosintéticos es haberse introducido en muchas de las ramas de la ingeniería geotécnica, de modo que ahora es prácticamente imposible aplicar la ingeniería sin estos materiales. Se presentan los dos principales retos: Educación y Tecnología. En relación con esta última, se recomienda que los investigadores se centren en los comportamientos que no son tradicionalmente considerados en la ingeniería geotécnica, para utilizar los geosintéticos con sus máximas posibilidades.

ABSTRACT *This paper presents achievements of the geosynthetics discipline and challenges facing the discipline. The paper shows that one of the main achievements of geosynthetics is that they have pervaded most branches of geotechnical engineering to the point where it is almost impossible to practice geotechnical engineering without geosynthetics. Then, the paper addresses the challenges facing the geosynthetics discipline. Two major types of challenges are identified: education challenges and technical challenges. Regarding technical challenges, it is recommended that researchers focus on behaviors that are not traditionally considered in geotechnical engineering in order to use geosynthetics to their full potential. Note: This is a significantly expanded version of the keynote paper presented at the 2008 GeoAmericas Conference.*

Palabras clave: Geosintéticos, Ingeniería, Disciplina, Historia, Investigación, Educación.

Keywords: Geosynthetics, Engineering, Discipline, History, Research, Education.

1. DESARROLLO DE LA DISCIPLINA DE LOS GEOSINTÉTICOS

La disciplina de los geosintéticos se ha desarrollado en torno a una familia de productos, los geosintéticos. Esta familia está formada por geotextiles, geomembranas, geomallas, geomantas, georedes, geocompuestos (tales como geocompuestos bentoníticos y de drenaje), geoceldas, geocontenedores, geoestructuras y geoespumas, entre otros. Cada uno de estos componentes tiene diversas propiedades: algunos transportan líquidos o gases, otros son resistentes y pueden soportar o reforzar suelos, algunos pueden retener partículas de suelo,

1. THE DEVELOPMENT OF THE GEOSYNTHETICS DISCIPLINE

The geosynthetics discipline has been developed around a family of products, the geosynthetics. This family includes various types of geosynthetics: geotextiles, geomembranes, geogrids, geomats, geonets, geocomposites (including bentonitic geocomposites and drainage geocomposites), geocells, geomattresses, geocontainers, geof foam, etc. These various types of geosynthetics have a variety of properties. Some geosynthetics can convey liquid and gas, some are strong and can carry loads or reinforce soils, some can re-

(*) Ph.D. en ingeniería geotécnica (University de Grenoble). Ingeniero consultor JP GIROUD, INC. E-mail:jpg@jpgiroud.com

otros son casi impermeables y pueden retener líquidos o gases, etc. Muchos geosintéticos tienen más de una propiedad clave, por ejemplo resistencia y permeabilidad, o impermeabilidad y alta fricción entre capas. Se ha desarrollado un conjunto completo de ensayos para evaluar estas propiedades, incluyendo ensayos físicos, hidráulicos, mecánicos y de evaluación de su durabilidad.

Teniendo tal variedad de propiedades, los geosintéticos pueden desarrollar una diversidad de funciones. Cuatro de estas funciones fueron inicialmente prescritas para los geotextiles: transporte de fluidos, filtración, separación y refuerzo. Actualmente pueden desarrollar más funciones, así las geomembranas y los compuestos bentoníticos actúan como barrera de fluidos. Además, existen otras funciones menos evidentes pero que tienen un creciente interés a medida que los usos de los geosintéticos se hacen más específicos. Por ejemplo: geotextiles utilizados en pavimentos para evitar la reflexión de grietas, colchones de geotextiles para proteger geomembranas, geomembranas o geotextiles para aumentar o disminuir la fricción entre dos materiales, geomantas para controlar la erosión a través del micro-confinamiento de partículas de suelo, y geoceldas o geocontenedores para confinar suelos o desechos.

Puesto que los geosintéticos llevan a cabo varias funciones, pueden ser utilizados en diversas aplicaciones. Cabe señalar que para una cierta aplicación un geosintético puede desarrollar varias funciones puesto que puede tener más de una propiedad clave. Esta consideración es necesario tenerla en cuenta cuando se diseñan estructuras que utilizan geosintéticos. Es esencial, para un diseño correcto, identificar claramente todas las funciones que un geosintético puede desarrollar en una aplicación. Diseñar para una sola función puede ser incorrecto.

Hasta la fecha, se han utilizado más de 20 billones de m² de geosintéticos, que se han empleado en millones de proyectos. Estos proyectos han sido posibles gracias a que se dispone de métodos de diseño especialmente desarrollados para la aplicación de los geosintéticos en ingeniería, como resultado de exhaustivos estudios e investigación llevados a cabo en los últimos 40 años. Una serie de proyectos típicos se ilustran en las Figuras 1 a 11.

tain soil particles, some are quasi-impermeable and can retain liquid and gas, etc. Many geosynthetics have several key properties, for example strength and permeability, or impermeability and high interface shear strength. A comprehensive set of tests has been developed to evaluate the properties of geosynthetics. These tests include physical tests, hydraulic tests, mechanical tests, and tests to evaluate durability.

Having a variety of properties, geosynthetics can perform a variety of functions. Four (now classical) functions were first identified for geotextiles: fluid transmission, filtration, separation and reinforcement. Today, it is known that geosynthetics can perform more functions. Thus, geomembranes and bentonite geocomposites act as fluid barriers. Furthermore, there are other functions that may be less obvious but have a growing importance as uses of geosynthetics become more sophisticated. For example, functions other than the five functions mentioned above are performed in the following applications: geotextiles used in road pavements against reflective cracking; geotextile cushions used to protect geomembranes; geomembranes or geotextiles used to decrease or increase friction between two materials; geomats used to provide erosion control through micro-confinement of soil particles; and geocells or geocontainers used to confine soil or waste.

Since geosynthetics perform a variety of functions, they can be used in a variety of applications. It should be noted that, in a given application, a given geosynthetic may perform several functions since it may have more than one key property. This consideration is important when designing structures incorporating geosynthetics. Clearly identifying all functions that a geosynthetic can perform in an application is essential for proper design. Designing for only one function may be incorrect.

To date, more than 20 billion square meters of geosynthetics have been used in several million projects. These projects were made possible because design methods specially developed for geosynthetics engineering are available as a result of extensive research studies in the past four decades.



FIGURA 1. Presa de hormigón rehabilitada con geosintéticos. /
FIGURE 1. Concrete dam rehabilitated using geosynthetics.



FIGURA 2. Balsa de riego impermeabilizada con una geomembrana. / **FIGURE 2.** Irrigation reservoir lined with geomembrane.

Un buen diseño y una buena investigación deben complementarse con unos buenos materiales y una buena construcción. Las aplicaciones de los geosintéticos han sido satisfactoriamente implementadas en las obras debido a que en el campo de los geosintéticos se han desarrollado estrictos procedimientos para conseguir una buena calidad de los materiales y de la construcción.

La calidad de los materiales esta inicialmente soportada por el control de calidad de los fabricantes, así como por exhaustivas especificaciones y métodos de ensayo. Desde este punto de vista, la colaboración internacional entre varias organizaciones juega un papel clave. La calidad de los materiales se tiene en cuenta en el diseño no solo a través de las propiedades de los materiales como se especifica y se mide en los ensayos de las normas, sino también a través de la cuantificación del efecto del tiempo utilizando factores de reducción (por ejemplo, para la durabilidad o la fluencia) y a través de la cuantificación del daño potencial durante la construcción. Los ensayos para evaluar el daño potencial durante la instalación obra son cada vez más frecuentes.

La calidad de la construcción se ha beneficiado por el desarrollo desde 1980 del concepto de aseguramiento de la calidad, en particular para la instalación de geomembranas. Además se ha desarrollado equipamiento para el control de calidad en obra (por ejemplo, la técnica de detección de fuga eléctrica y equipos basados en la electrónica y la fibra óptica para controlar el refuerzo).

Los ingenieros geotécnicos han jugado un papel fundamental en el desarrollo de diseño, ensayos y métodos constructivos para los geosintéticos. Claramente, los ingenieros geotécnicos se han encargado del desarrollo del conocimiento de los geosintéticos. Al mismo tiempo, los geosintéticos han tenido un impacto significativo en la ingeniería geotécnica.

Good design and good research must be complemented by good materials and good construction. Geosynthetics applications are successfully implemented in the field because the geosynthetics discipline has developed strict procedures to address both the quality of materials and the quality of construction.

The quality of materials is first addressed by manufacturing quality control. The quality of materials is also addressed by comprehensive specifications and standard test methods. From this viewpoint, international cooperation between various organizations plays a key role. The quality of materials is accounted for in design not only through the properties of materials as specified and as measured in standard tests, but also through the quantification of the effect of time using reduction factors (for example, for durability or creep) and through the quantification of potential damage during construction. Field tests for evaluating potential construction damage are becoming more and more frequent.

The quality of construction has benefited from the development in the 1980s of the concept and codification of construction quality assurance, in particular for geomembrane installation. In addition, equipment for monitoring construction quality has been developed (for example, the electric leak detection technique, and equipment based on electronics and fiber optics for monitoring reinforcement).

Geotechnical engineers have played a key role in developing design, testing and construction methods for geosynthetics. Clearly, geotechnical engineers have been instrumental in the development of the geosynthetics discipline. At the same time, geosynthetics have had a significant impact on geotechnical engineering.

2, IMPACTO DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LA INGENIERÍA GEOTÉCNICA

Los geosintéticos se utilizan en la ingeniería geotécnica por una razón fundamental: son bidimensionales. Los materiales bidimensionales son necesarios en ingeniería geotécnica por las siguientes razones: (1) las estructuras geotécnicas se construyen con materiales formados por partículas (los suelos), cuyas propiedades están obviamente complementadas por aquellos materiales bidimensionales (por ejemplo, la integridad de capas de suelo puede verse interrumpida por erosión, asentamientos y terremotos, mientras los geosintéticos permanecen continuos); (2) las estructuras geotécnicas son masas tridimensionales típicamente construidas en capas horizontales entre las cuales materiales bidimensionales pueden desarrollar funciones útiles, o dichas estructuras son grandes masas tridimensionales que necesitan ser confinadas, protegidas o soportadas usando materiales bidimensionales. Más aún, es sabido que las estructuras de toda clase se optimizan cuando son construidas con elementos de una menor dimensión. Así, una pieza de tela (bidimensional) se construye con hilos (unidimensional); y el ejemplo más famoso es la extraordinariamente ligera Torre Eiffel, una estructura tridimensional construida con elementos unidimensionales. Por lo tanto, construir estructuras geotécnicas (tridimensionales) usando geosintéticos (bidimensionales) que están hechas con hilos o tiras (unidimensionales) es el enfoque óptimo. En la naturaleza no hay materiales bidimensionales y la humanidad ha tenido que esperar hasta la aparición de los geosintéticos para construir racionalmente con el más común de los materiales, el suelo.

La gran variedad de aplicaciones de los geosintéticos demuestra que hoy es casi imposible aplicar la ingeniería geotécnica sin utilizar estos materiales. Esto supone un gran cambio desde 1970 cuando los geotextiles y las geomembranas no eran considerados importantes. Supone un gran cambio desde el tiempo en que muchos ingenieros geotécnicos no se dignaban a hablar con los fabricantes porque habían sido formados en la creencia de que el único proveedor de materiales geotécnicos era Dios. Irónicamente, hoy en día, algunos ingenieros geotécnicos esperan que los geosintéticos hagan milagros.

2. IMPACT OF GEOSYNTHETICS ON GEOTECHNICAL ENGINEERING

Geosynthetics are used in geotechnical engineering for a fundamental reason: they are two-dimensional. There is a need for two-dimensional materials in geotechnical engineering for the following reasons: (1) Geotechnical structures are built with particulate materials (the soils), whose properties are obviously complemented by those of two-dimensional materials (e.g. the integrity of soil layers can be disrupted by erosion, settlements, and earthquakes, while a geosynthetic remains continuous); (2) Geotechnical structures are three-dimensional masses typically constructed in horizontal layers between which two-dimensional materials can perform useful functions, or they are large three-dimensional masses that need to be lined, protected or supported using two-dimensional materials. Furthermore, it is known that structures of all kinds are optimized when they are constructed with elements of a lower dimension. Thus, a piece of cloth (two-dimensional) is constructed with yarns (one-dimensional); and the most famous example is the remarkably light Eiffel Tower, a three-dimensional structure constructed with one-dimensional elements. Therefore, constructing geotechnical structures (three-dimensional) using geosynthetics (two-dimensional) which are made with yarns or ribs (one-dimensional) is an optimum approach. There is no two-dimensional material in nature and mankind had to wait until the advent of geosynthetics to construct rationally with the most common material, soil.

The wide variety of applications of geosynthetics demonstrates that, today, it is almost impossible to practice geotechnical engineering without using geosynthetics. This is quite a change from the 1970s when geotextiles and geomembranes were not taken seriously. This is quite a change from a time when many geotechnical engineers would not condescend to talk to manufacturers because they had been trained to consider that the only supplier of geotechnical materials was God. Ironically, today, some geotechnical engineers expect geosynthetics to make miracles!



FIGURA 3. Canal revestido con una geomembrana y un geotextil. /

FIGURE 3. Canal lined with geomembrane and geotextile.



FIGURA 4. Muro verde reforzado con geomalla utilizado como estribo de un puente. /
FIGURE 4. Geogrid reinforced green wall used as bridge abutment.

A pesar de su éxito, los geosintéticos no compiten con la ingeniería geotécnica. En efecto, en muchas estructuras en las que se incorporan geosintéticos, el volumen de éstos es menor del 1 % del volumen de suelo utilizado en la estructura.

Claramente, en la ingeniería geosintética, el suelo es más usado que los geosintéticos. Sin embargo, en algunas aplicaciones, los geosintéticos reemplazan capas de suelo, o hacen posible utilizar capas más finas de suelo, por lo tanto, disminuyen la cantidad de suelo utilizado en esas aplicaciones. Por otra parte, los geosintéticos hacen posible reemplazar algunas estructuras de hormigón convencional (por ejemplo muros de contención de hormigón) por estructuras de suelo, incrementando por tanto el uso de suelo. También, gracias a los geosintéticos, algunas clases de suelo consideradas no aptas para la construcción, pueden ahora utilizarse, lo cual tiende también a incrementar el uso del suelo.

La conclusión del planteamiento anterior es que incluso cuando los geosintéticos son ampliamente utilizados, el suelo también lo es. Por lo tanto cuando se utilizan los geosintéticos, la ingeniería geotécnica es indispensable y los ingenieros geotécnicos deberían dar una buena acogida a estos materiales. Sin embargo, algunos ingenieros geotécnicos son reacios a utilizar geosintéticos. Esta actitud es debida a la falta de conocimiento de estos materiales. El trabajo de los ingenieros geotécnicos es más emocionante cuando se utilizan geosintéticos, ya que éstos abren muchas posibilidades debido a la variedad de sus propiedades, funciones y aplicaciones. También, se necesitan ingenieros geotécnicos altamente cualificados, ya que los geosintéticos a menudo ofrecen soluciones innovadoras a los problemas geotécnicos. Pero algunos ingenieros geotécnicos son conservadores y temerosos de las soluciones innovadoras.

Estos ingenieros deberían en primer lugar ser temerosos de la ingeniería geotécnica. De hecho, la ingeniería geotécnica ha sido muy innovadora a lo largo de los años. Ha sido una disciplina muy exitosa gracias a innovaciones tales como: cimentaciones profundas, anclajes, técnicas para mejorar el suelo, muros pantalla, hormigón compactado con rodillos, refuerzo de suelo con acero, etc.

In spite of their success, geosynthetics are not in competition with geotechnical engineering. In fact, in most structures incorporating geosynthetics, the volume of the geosynthetics is less than 1% of the volume of soil used in the structure.

Clearly, in geosynthetics engineering, soils are used more than geosynthetics. However, in some applications, geosynthetics replace soil layers or make it possible to use thinner soil layers, thereby decreasing the amount of soil used in those applications. On the other hand, geosynthetics make it possible to replace some conventional concrete structures (e.g. concrete retaining walls) by soil structures, thereby globally increasing the use of soil. Also, thanks to geosynthetics, types of soils generally considered inadequate for construction can now be used, which tends to increase the use of soil.

The conclusion of the above discussion is that, even when geosynthetics are extensively used, soils also are extensively used. Therefore, geotechnical engineering is indispensable when geosynthetics are used, and geotechnical engineers should welcome the use of geosynthetics. However, some geotechnical engineers are reluctant to use geosynthetics. This attitude results from lack of knowledge on geosynthetics. The work of geotechnical engineers is more exciting with geosynthetics, as geosynthetics open up many possibilities because of the variety of their properties, functions and applications. Also, the geosynthetics discipline needs highly-qualified geotechnical engineers, because geosynthetics often lead to innovative solutions of geotechnical problems. But, some geotechnical engineers are conservative and afraid of innovative solutions.

The geotechnical engineers who are afraid of innovative solutions should be afraid of geotechnical engineering in the first place. Indeed, over the years, geotechnical engineering has been very innovative. It has been a successful discipline thanks to innovations, such as: deep foundations, anchorage devices, soil improvement techniques, slurry walls, roller-compacted concrete, steel-reinforced soil, etc.



FIGURA 5. Vertedero tras un terraplén reforzado con un geosintético. /
FIGURE 5. Landfill behind geosynthetic-reinforced embankment.

3. LA DISCIPLINA GEOSINTÉTICA Y SUS BASES FUNDAMENTALES, LA VARIEDAD DE GEOSINTÉTICOS

Ninguna de las innovaciones de la Ingeniería geotécnica mencionadas anteriormente ha alcanzado el estatus de disciplina. Por el contrario, es justificado referirse a la disciplina geosintética, porque, a diferencia de otras innovaciones, los geosintéticos están presentes en muchas ramas de la ingeniería geotécnica.

Los geosintéticos se han introducido en la mayoría de las ramas de la ingeniería geotécnica debido a su amplia variedad. Esto no parecería una razón importante, ya que hay también una gran variedad de suelos. De hecho, hay una gran variedad de suelos, desde arcilla hasta rocas, desde suelos de muy finos a muy granulares. La frase “de suelo a roca”, implica que los suelos pueden clasificarse por el tamaño de sus partículas. Incluso aunque una completa clasificación de suelos involucra otros criterios, es cierto que el tamaño de las partículas desde hace tiempo, es el criterio más importante en la clasificación de suelos; y la frase “de suelo a roca” incluye todos los tipos de suelo y adecuadamente describe su variedad.

No existe una frase similar para los geosintéticos. No tienen sentido decir: “hay una variedad de geosintéticos desde un cierto tipo a otro tipo”. Por ejemplo, la frase: “de geotextiles a geomembranas” no significa nada. Esto es porque la variedad de geosintéticos no puede describirse por un solo criterio. Mientras que la variedad de suelos puede describirse por un solo criterio (el tamaño de las partículas), se requieren varios criterios para describir la variedad de geosintéticos.

Los criterios que definen la variedad de geosintéticos son: primero la dimensión, con geosintéticos unidimensionales (hilo, tira), geosintéticos bidimensionales (geotextiles, geomembranas, y otros) y geotextiles tridimensionales (geoceldas, geoespuma); el segundo, la estructura, con estructuras abiertas (geomallas, georedes, geoceldas), estructuras cerradas (geomembranas, tiras), y estructuras intermedias (geotextiles); y el tercero, la dirección, con geosintéticos unidireccionales (hilos, tiras), geosintéticos bidireccionales (geotextiles tejidos, geomallas biaxiales), geosintéticos tridimensionales (geoceldas, nuevas geomallas) y geosintéticos multidireccionales (geotextiles no tejidos, geomembranas).

3. THE GEOSYNTHETICS DISCIPLINE AND ITS FUNDAMENTAL BASIS, THE VARIETY OF GEOSYNTHETICS

None of the geotechnical engineering innovations mentioned above has reached the status of a discipline. In contrast, it is justified to refer to the geosynthetics discipline, because, unlike other innovations, geosynthetics have pervaded most branches of geotechnical engineering.

Geosynthetics have pervaded most branches of geotechnical engineering because there is a wide variety of geosynthetics. This does not seem to be an original reason because there is also a wide variety of soils. Indeed, there is a variety of soils from clay to rockfill, i.e. from very fine to very coarse soils. The phrase, “from clay to rockfill”, implies that soils can be classified by the size of their particles. Even though a complete classification of soils involves other criteria, it is true that particle size is, by far, the most important criterion in soil classification; and the phrase “from clay to rockfill” includes all types of soils and adequately describes their variety.

There is no such phrase for geosynthetics. It does not make sense to say: “there is a variety of geosynthetics from a certain type to a certain other type”. For example, the phrase “from geotextiles to geomembranes” does not mean anything. This is because the variety of geosynthetics cannot be described by a single criterion. Whereas the variety of soils can be described by a single criterion (the size of particles), several criteria are required to describe the variety of geosynthetics.

The criteria that describe geosynthetics variety are the following: first, the dimension, with one-dimensional geosynthetics (straps, yarns), two-dimensional geosynthetics (geotextiles, geomembranes, etc.), and three-dimensional geosynthetics (geocells, geof foam); second, the structure, with open structures (geogrids, geonets, geocells), closed structures (geomembranes, straps), and intermediate structures (geotextiles); and, third, the direction, with one-directional geosynthetics (yarns, straps), two-directional geosynthetics (woven geotextiles, biaxial geogrids), three-directional geosynthetics (geocells, new geogrid), and multi-directional geosynthetics (nonwoven geotextiles, geomembranes).



FIGURA 6. Geomalla utilizada como refuerzo en la base de una carretera. /
FIGURE 6. Geogrid used for road base reinforcement.

Puesto que se necesitan varios criterios para definir la variedad de geosintéticos, mientras que un criterio puede describir la variedad de suelos, puede decirse que la variedad de geosintéticos es de mayor orden que la variedad de suelos. Como un resultado de este mayor orden de variedad, las propiedades de los geosintéticos cubren un mayor rango que las propiedades de los suelos. Por ejemplo: algunos geosintéticos para drenaje son más permeables que la grava, las geomembranas son más impermeables que las capas de arcilla, los geotextiles para filtro pueden ser al mismo tiempo, más permeables que los filtros de arena y retener partículas más finas gracias a su estructura fibras, los geosintéticos de refuerzo son más resistentes que los suelos; y los geotextiles pueden usarse como separadores porque son más continuos que las capas de suelo. Este amplio rango de propiedades de los Geosintéticos explica por qué los geosintéticos se han introducido en la mayoría de las ramas de la ingeniería geotécnica, lo cual a su vez justifica el término “disciplina geosintética”.

Since several criteria are needed to describe the variety of geosynthetics, whereas one criterion can describe the variety of soils, it may be said that the variety of geosynthetics is of a higher order than the variety of soils. As a result of this higher order of variety, the properties of geosynthetics cover a wider range than the properties of soils. For example: some drainage geosynthetics are more permeable than gravel; geomembrane liners are more impermeable than clay liners; filter geotextiles can, at the same time, be more permeable than sand filters and retain smaller particles thanks to the fiber structure; reinforcement geosynthetics are stronger than soils; and geotextiles can be used as separators because they are more continuous than soil layers. This wide range of properties of geosynthetics explains why geosynthetics have pervaded most branches of geotechnical engineering; which, in turn, justifies the terminology “geosynthetics discipline”.



FIGURA 7. Sellado de un vertedero mediante una geomembrana. /
FIGURE 7. Exposed geomembrane landfill cover.



FIGURA 8. Geosintéticos utilizados en túneles. /
FIGURE 8. Geosynthetics used in tunnels.

4. LOGROS DE LA DISCIPLINA GEOSINTÉTICA

Hoy, los pioneros de la aventura geosintética, dejan en las manos de sus sucesores una significativa disciplina, caracterizada por los siguientes logros: una amplia variedad de productos y métodos de ensayo; un gran número de aplicaciones, investigación activa; un conjunto considerable de conocimientos, incluyendo métodos de diseño y casos históricos; una práctica de la construcción bien establecida con buenos procedimientos de control y de aseguramiento de la calidad. También se ha aprendido lecciones de los errores, lo cual es un signo de madurez en cualquier disciplina. Adicionalmente, la disciplina geosintética está bien organizada, con una sociedad internacional que está muy considerada. Se puede afirmar que los geosintéticos han sido la más importante innovación en la ingeniería geotécnica en los últimos cincuenta años.

Investigadores, profesores y diseñadores son a menudo reconocidos por los éxitos en las disciplinas de la ingeniería. Ellos son frecuentemente invitados a dar conferencias magistrales, son citados a menudo y elegidos por las academias. Incluso aunque su contribución ha sido y es importante y debe ser reconocida, no debe olvidarse que no puede haber disciplina geosintética sin los geosintéticos y que no habría geosintéticos sin los fabricantes. En otras palabras, no habría disciplina geosintética sin los fabricantes.

5. RETOS A LOS QUE SE ENFRENTA LA DISCIPLINA GEOSINTÉTICA

Hay todavía mucho por hacer en la disciplina geosintética y un gran número de retos a los que enfrentarse. Los dos más importantes son los retos en educación y los retos técnicos.

En lo concerniente a los retos en educación, se debe proporcionar más conocimiento sobre los geosintéticos, pero debe recordarse que un curso sobre geosintéticos no debe reemplazar a un curso de ingeniería geotécnica. Los geosintéticos pueden solo ser utilizados a su máximo potencial por ingenieros

4. ACHIEVEMENTS OF THE GEOSYNTHETICS DISCIPLINE

Today, the pioneers of the geosynthetics adventure leave in the hands of their successors a remarkable discipline, characterized by the following achievements: a wide variety of products and test methods; a large number of applications; active research; a considerable body of knowledge including design methods and case histories; and a construction practice that is well mastered with established quality control and quality assurance procedures. Also, lessons have been learned from failures, which is a sign of maturity in any discipline. Furthermore, the geosynthetics discipline is well organized, with an international society that is highly regarded. It is fair to say that geosynthetics have been the most important innovation in geotechnical engineering in the past fifty years.

Researchers, professors and design engineers are often credited for the successes of engineering disciplines. They are the ones who are invited to give keynote lectures, they are the ones who are often cited, they are the ones who are elected to academies. Even though their contribution has been, and is, important and should be acknowledged, one should not forget that there would be no geosynthetics discipline without the geosynthetics and there would be no geosynthetics without the manufacturers. In other words, there would be no geosynthetics discipline without the manufacturers.

5. CHALLENGES FACING THE GEOSYNTHETICS DISCIPLINE

There is still a lot of work to do in the geosynthetics discipline, and a number of challenges will have to be met. The two types of challenges which seem to be most important are education challenges and technical challenges.

As far as education challenges are concerned, more education on geosynthetics should be provided, but it should be remembered that a course on geosynthetics cannot replace a course on geotechnical engineering. Geosynthetics can only



FIGURA 9. Geotubo para decantado de sedimentos contaminados. /

FIGURE 9. Geosynthetic tube for the dewatering of contaminated sediment.

que tengan un excelente conocimiento de la ingeniería geotécnica, y los investigadores que traten de desarrollar nuevas aplicaciones de los geosintéticos deben no solo tener un excelente conocimiento de la ingeniería geotécnica, sino también de las disciplinas relacionadas, tales como bioingeniería y mecanismos que no son típicamente considerados en la ingeniería geotécnica como propagación de las raíces, excavaciones por animales, desarrollo de hongos, propagación eléctrica en el suelo, efecto de la radioactividad en los materiales, etc. Claramente los avances en el conocimiento conducirán a nuevos desarrollos en los geosintéticos. Desde este punto de vista, es destacable el reciente desarrollo de la electrocinética asociada con los geosintéticos.

También, los ingenieros civiles deben atender más a las posibilidades ofrecidas por los geosintéticos. Aunque esto ha sido reconocido como un gran desafío durante muchos años, los logros han sido limitados. Muchas conferencias sobre geosintéticos atraen principalmente a asistentes que ya tienen conocimiento de los geosintéticos. Puesto que muchos ingenieros no van a los geosintéticos, estos deberían llegar a ellos. Debería haber más conferencias que reúnan a especialistas en geosintéticos y a ingenieros geotécnicos en general. Un desafío para nuestra disciplina es convencer a los ingenieros geotécnicos que no pueden ignorar más a los geosintéticos.

Desde el punto de vista de alcanzar una amplia audiencia de ingenieros, organizaciones locales y suministradores de geosintéticos han tenido más éxito que los organizadores de grandes conferencias. Incluso aunque los proveedores de geosintéticos tienen intereses comerciales cuando organizan seminarios, no deberían ser criticados. De hecho, ellos deberían ser elogiados por al menos tres razones: llegan a más usuarios potenciales de los geosintéticos, enseñan de manera efectiva resolviendo problemas reales, y si sus seminarios tienen éxito, será excelente para la disciplina geosintética.

Muchos retos técnicos específicos probablemente están asociados con nuevas aplicaciones. Estos desafíos pueden estudiarse caso por caso por ingenieros y científicos trabajando en la disciplina geosintética. Como se mencionó antes sobre la

be used to their full potential by engineers having an excellent understanding of geotechnical engineering. And researchers who try to develop new applications for geosynthetics should not only have an excellent knowledge of geotechnical engineering, but should also have an excellent knowledge of connected disciplines such as bioengineering and of mechanisms that are not typically considered in geotechnical engineering such as root propagation, animal burrowing, fungus development, electric propagation in soil, effect of radioactivity on materials, etc. Clearly, advanced education will drive new developments in geosynthetics. From this viewpoint, the recent developments in electrokinetics associated with geosynthetics are remarkable.

Also, civil engineers should be made more aware of the possibilities offered by geosynthetics. Even though this has been recognized as a major challenge for many years, achievements have been limited. Many conferences on geosynthetics attract mostly attendees who are already knowledgeable about geosynthetics. Since many engineers do not come to geosynthetics, geosynthetics should come to them. There should be more joint conferences between geosynthetics specialists and mainstream geotechnical engineers. A challenge for our discipline is to convince all geotechnical engineers that they can no longer afford to ignore geosynthetics.

From the viewpoint of reaching a wide audience of engineers, local organizations and suppliers of geosynthetics have been more successful than organizers of large conferences. Even though suppliers of geosynthetics have commercial intentions when they organize seminars, they should not be criticized. If fact, they should be commended for, at least, three reasons: they reach many potential users of geosynthetics; they educate them in an effective manner by addressing their real problems; and, if their seminars are a commercial success, this is excellent for the geosynthetics discipline.

Many specific technical challenges are likely to be associated with new applications. These specific challenges will be met on a case by case basis by engineers and scientists working in the geosynthetics discipline. As mentioned earlier re-



FIGURA 10. Geocontenedores utilizados para protección de la costa. /

FIGURE 10. Geosynthetic containers used for coastal protection.

educación, los investigadores podrán ser capaces de explorar el amplio rango de nuevos desarrollos potenciales si su formación no está limitada a la ingeniería geotécnica tradicional.

Otro tipo de desafío específico será menos interesante que el desarrollo de nuevas aplicaciones, pero muy útil: la mejora de métodos de diseño existentes o técnicas constructivas para superar problemas encontrados en la etapa de diseño o en la obra. De este punto de vista, la información es esencial. Por lo tanto, debe animarse a la publicación de casos históricos y al análisis de las patologías. Esta es otra área donde los suministradores pueden jugar un papel muy importante, puesto que están en contacto con los usuarios.

Además de desafíos técnicos específicos, hay desafíos técnicos generales. En particular: los investigadores necesitarán hacer esfuerzos orientados a la cuantificación de la durabilidad de todo tipo de geosintéticos instalados; y los investigadores necesitarán desarrollar métodos de diseño para “sutiles” mecanismos, descartados en el pasado. Mientras el primer desafío es obvio, el segundo requiere discusión.

En las tres últimas décadas, muchos métodos de diseño han sido desarrollados aplicando a los geosintéticos los métodos tradicionales de ingeniería usados en la ingeniería geotécnica. Esta estrategia ha sido muy productiva. Sin embargo, los métodos simples de la ingeniería geotécnica, fueron los primeros en aplicarse a la ingeniería geotécnica. Como resultado de esto, se descuidaron “sutiles” mecanismos de potencial importancia para el comportamiento de las estructuras.

Dos simples ejemplos ilustran estos “sutiles” mecanismos descuidados en el pasado. El primer ejemplo se relaciona con el refuerzo con geosintéticos. Se han desarrollado métodos de diseño basados en grandes deformaciones, mientras que se descuidaban pequeñas deformaciones, más difíciles de tener en cuenta. El segundo ejemplo está relacionado con el transporte de fluidos a través de barreras geosintéticas. Se han desarrollado métodos de diseño basados en flujo advectivo, mientras que la difusión, un fenómeno que no es bien conocido por muchos ingenieros geotécnicos se ha ignorado. Esta situación no se limita a los métodos de diseño. Una situación

guarding education, researchers will be able to explore the full range of potential new developments if their education is not limited to traditional geotechnical engineering.

Another type of specific challenges will be less glamorous than the development of new applications, but very useful: the improvement of existing design methods or construction techniques to address problems encountered at the design stage or in the field. From this view point, feedback is essential. Therefore, publication of case histories and forensic analyses should be encouraged. This is another area where geosynthetics suppliers can play a key role since they are in close contact with the users.

In addition to specific technical challenges, there will be general technical challenges. In particular: researchers will need to pursue current efforts aimed at the quantification of the durability of all types of installed geosynthetics; and researchers will need to develop design methods for “subtle” mechanisms that have been neglected in the past. While the first of these two general technical challenges is obvious, the second requires discussion.

In the past three decades, many design methods have been developed by extending to geosynthetics engineering traditional methods used in geotechnical engineering. This approach has been very productive. However, the simplest methods from geotechnical engineering were the first to be adapted to geosynthetics engineering. As a result, “subtle” mechanisms potentially of importance to the performance of structures incorporating geosynthetics have been overlooked.

Two simple examples illustrate “subtle” mechanisms neglected in the past. The first example is related to geosynthetic reinforcement. Design methods based on large deformations have been developed, while neglecting small deformations that are more difficult to take into account. The second example is related to fluid transport through geosynthetic barriers. Design methods based on advective flow have been developed, while diffusion, a phenomenon that is not well known by most geotechnical engineers, has



FIGURA 11. Geocelda utilizada para favorecer el crecimiento de vegetación para control de la erosión. / **FIGURE 11.** Geocell used to promote vegetation growth for erosion control.

similar existe hoy con la instalación de geomembranas: la calidad de las uniones (el principal problema en la década de los 80) es ahora excelente, pero la confianza en algunos sistemas de revestimiento es ahora cuestionable debido a las arrugas de la geomembrana, un mecanismo “sutil” que ha sido extensamente discutido, pero nunca bien controlado.

Hoy, los investigadores requieren estudiar esos mecanismos “sutiles” a fin de utilizar los geosintéticos con su máximo potencial. De hecho, ya hay algunos investigadores trabajando en mecanismos “sutiles”, incluyendo por ejemplo: pequeñas deformaciones y cargas repetidas, cuantificación de mecanismos de interfase entre materiales adyacentes, migración de contaminantes por difusión, cuantificación del comportamiento del suelo reforzado tratado como un material compuesto más que como la unión de dos componentes, y la influencia de la variabilidad de los materiales en el comportamiento de las aplicaciones de los geosintéticos.

Como resultado de estos esfuerzos en investigación, la disciplina geosintética se está preparando para enfrentar los retos generados por las nuevas exigencias del siglo XXI, tales como: estructuras para la conservación de los recursos, estructuras compatibles con los cambios climáticos, infraestructuras para los países en desarrollo y estructuras de alta seguridad capaces de resistir los ataques y desastres naturales.

6. CONCLUSIÓN

En conclusión este trabajo presenta una disciplina geosintética con grandes logros y preparada para enfrentarse a los retos del Siglo XXI.

largely been ignored. This situation is not limited to design methods. A similar situation exists today with geomembrane installation: seaming quality (the main installation problem in the 1980s) is now excellent, but the reliability of some liner systems is questionable due to geomembrane wrinkles, a “subtle” mechanism that has been extensively discussed but never fully controlled.

Today, researchers need to study “subtle” mechanisms in order to use geosynthetics to their full potential. In fact, some researchers are already working on “subtle” mechanisms, including for example: small deformations and repeated loading; quantification of interface mechanisms between adjacent materials; migration of contaminants by diffusion; quantification of the performance of reinforced soil treated as a composite material rather than a juxtaposition of two components; and influence of materials’ variability on the performance of applications of geosynthetics.

As a result of these research efforts, the geosynthetics discipline is getting ready to meet the challenges generated by new conditions in the 21st century, such as: structures for resource conservation; structures compatible with climate changes; infrastructure in developing countries; and high-security structures able to resist attacks and natural disasters.

6. CONCLUSION

In conclusion, this paper portrays a geosynthetics discipline with great achievements and ready to meet the challenges of the 21st century.



Soluciones innovadoras para la Ingeniería Civil

Túneles, aeropuertos, carreteras, presas, puertos, puentes... Cualquier obra civil precisa de la tecnología especializada **Sika**, garantizando el éxito de cualquier proyecto.

Líderes mundiales en el sector químico, proporcionamos soluciones innovadoras para cubrir las necesidades más exigentes a los más exigentes. Forma parte de los líderes.



Química para la Construcción

Más información



Sika, S.A.U. · Tel.: 916 57 23 75
info@es.sika.com · www.sika.es



Innovation & Consistency | since 1910