

TERRE ARMÉE
Medio siglo de innovación

Todos los nombres seguidos de un asterisco aparecen reseñados en el índice de las pp. 110-111.



PREFACIO

La creación de la sociedad Terre Armée (Reinforced Earth) es una verdadera epopeya que comienza con una idea tan original como necesaria: convertir la tierra en un material de construcción innovador, reforzándola mediante armaduras. El descubrimiento inicial se lo debemos a un ingeniero, arquitecto y técnico francés, Henri Vidal, que estaba convencido de la validez y universalidad de su invención. Puso todo su empeño en resaltar las características de este material revolucionario y desarrollar sus aplicaciones.

La visión del fundador dio paso muy pronto a la acción de un equipo de pioneros que contribuyeron en gran medida a darle a la innovación técnica la dimensión de una aventura empresarial internacional. Esta técnica se impuso en una primera fase en la construcción de muros de contención para carreteras y poco a poco fueron surgiendo una gran cantidad de aplicaciones en diversos ámbitos. De aquellos comienzos heroicos, Terre Armée conserva la cultura de la ayuda mutua y el sentimiento de orgullo que comparten los equipos de todo el mundo.

El Grupo sigue a la vanguardia de ese campo que ayudó a crear, el del suelo reforzado, por delante de sus competidores. En 2013 se cumplió medio siglo de la patente original y Terre Armée lo festejó con la satisfacción de saberse capaz de adaptarse a la evolución del mercado, como demuestra la amplia gama de productos y servicios que ofrece a sus clientes gracias a su ambiciosa visión de futuro.

La Tierra Armada® se beneficia de una historia de excelencia y calidad para enfrentarse día a día a los desafíos que plantea la construcción sostenible.

Roger Bloomfield, presidente y director general de Terre Armée Internationale

ÍNDICE

■ LA HISTORIA DE TERRE ARMÉE	8
La invención de la Tierra Armada®	10
Los comienzos de Terre Armée	16
La expansión internacional	20
Investigación e innovación	34
La diversificación de las aplicaciones	40
La consolidación	46
Terre Armée, hoy y mañana	52
■ LAS APLICACIONES DE LA TIERRA ARMADA®	66
La instalación de la Tierra Armada®	68
Las grandes etapas de un proyecto	70
Aplicaciones en carreteras y autovías	72
Aplicaciones ferroviarias	78
Aplicaciones aeroportuarias	82
Aplicaciones hidráulicas	86
Aplicaciones mineras	92
Aplicaciones industriales y energéticas	96
Aplicaciones medioambientales	100
Aplicaciones militares	104
CRONOLOGÍA	106
TERRE ARMÉE, UNA RED MUNDIAL	108
GLOSARIO	110
BIBLIOGRAFÍA	112
ÍNDICE ALFABÉTICO	114

En 1963, la invención de un ingeniero francés de un nuevo material que empleaba la tierra como materia prima supuso, en pocos años, el desarrollo de una empresa implantada en los cinco continentes. Gracias a su facilidad de instalación, la Tierra Armada® se impuso rápidamente como un material de construcción ideal en numerosas aplicaciones, sobre todo viarias. Para desarrollar su idea revolucionaria, Henri Vidal, inventor de la técnica y fundador de Terre Armée, contó con la ayuda de un grupo de colaboradores del máximo nivel. La historia de un invento se transforma en este caso en una epopeya empresarial.



LA HISTORIA DE TERRE ARMÉE

LA INVENCIÓN DE LA TIERRA ARMADA®

LA PRIMERA ESTRUCTURA DE TIERRA ARMADA® DATA DEL AÑO 1964. FUE EL FRUTO DEL ESFUERZO DE UN HOMBRE TAN IMAGINATIVO COMO OBSTINADO QUE LOGRÓ UNA INVENCIÓN BRILLANTE, UNA IMPORTANTE INNOVACIÓN EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL.

■ UN HOMBRE EXCEPCIONAL

Henri Vidal nació en febrero de 1924 en Draguignan. Estudió en esta localidad del departamento de Var y después en el instituto Thiers de Marsella antes de ingresar en la Escuela Politécnica en 1944. Como era costumbre en esta prestigiosa institución académica, cursó sus estudios siguiendo una metodología práctica. Gracias a sus buenas notas, pudo entrar en la École Nationale des Ponts et Chaussées (Escuela Nacional de Puentes y Caminos) (promoción de 1949), la más antigua de las grandes Escuelas de ingenieros de Francia. Durante su trayectoria universitaria, Henri Vidal adquirió una sólida cultura científica, pero seguía soñando con ser arquitecto. Para conseguirlo se matriculó en la Escuela de Bellas Artes de París, mientras trabaja como ingeniero en el área de mantenimiento de la Dirección de Producción Hidráulica de EDF. En 1961 consiguió su título de arquitectura, el broche de oro para una formación ecléctica y original.

Ese mismo año decidió abrir su despacho de arquitectura en paralelo con su actividad como ingeniero en el seno de la empresa Fougerolle. Destacó en el ámbito de la ingeniería civil por su capacidad para aportar audaces soluciones constructivas a las especificaciones impuestas por los propietarios de los proyectos.

Colaboró con Yves Bayard* en proyectos arquitectónicos



El origen de la invención se halla en la observación

como el edificio del actual Museo de Arte Moderno y Contemporáneo (MAMAC) de Niza. Se trata de una estructura que semeja un arco tetrápodo a caballo entre el paseo de Paillon y la antigua Nacional 7, una vía que une la zona del puerto y el casco antiguo con los barrios de los siglos XIX y XX.

■ LAS PRIMICIAS DE LA INVENCIÓN

Todo inventor tiene su «eureka», ese momento en el que germina una idea innovadora. Henri Vidal vivió esa revelación en 1958, en una playa del Mediterráneo. Seguramente en la isla provenzal de Porquerolles, una de las preferidas del ingeniero. Mientras observaba los castillos de arena, el joven inventor se preguntó si sería posible combinar agujas de pino con los granos de arena para mejorar la resistencia mecánica del conjunto. Constató que, con un pequeño refuerzo, la pendiente del montón de arena se estabilizaba, lo que indicaba una mejor cohesión. Tras cinco años de investigación en solitario que llevó a cabo básicamente con rudimentarias maquetas hechas de arena y papel de periódico, Vidal pudo al fin anunciar la creación de un nuevo material, la Tierra Armada®. Este material «se compone de tierra, armaduras y, en la mayor parte de los casos con un paramento a modo de piel».

Henri Vidal detalló en una memoria de 300 páginas llena de esquemas explicativos la teoría, las técnicas y las aplicaciones de su invento.

TESTIMONIO

Henri Vidal

Inventor de la Tierra Armada®



«El concepto de la Tierra Armada® es a la vez sencillo y complejo. Todo comenzó un hermoso día de septiembre en una playa de arena blanca. Puse unas agujas de pino en un montón de arena y me di cuenta de había cierta cohesión. Así creé la primera estructura de Tierra Armada® formada por dos elementos: granos y armaduras. El hombre comenzó a construir con un solo elemento, el grano en forma de piedra. Después, con el hormigón, añadimos un nuevo elemento, y al grano se sumó un pegamento, el cemento.

Más tarde inventamos el hormigón armado, formado por tres elementos: granos, pegamento y armaduras. La Tierra Armada® consiste simplemente en eliminar el pegamento y conservar sólo los granos y las armaduras. Pero no fue tan fácil. Necesité cinco años para plasmar la teoría basada en la fricción entre los granos y las armaduras, y para diseñar una tecnología económica y de instalación rápida. Estudié las patentes y constaté que la técnica no se había registrado nunca antes en todo el mundo. Empecé a construir las primeras estructuras y puse en pie una organización internacional con la que implantamos rápidamente esta técnica de construcción en todos los continentes».

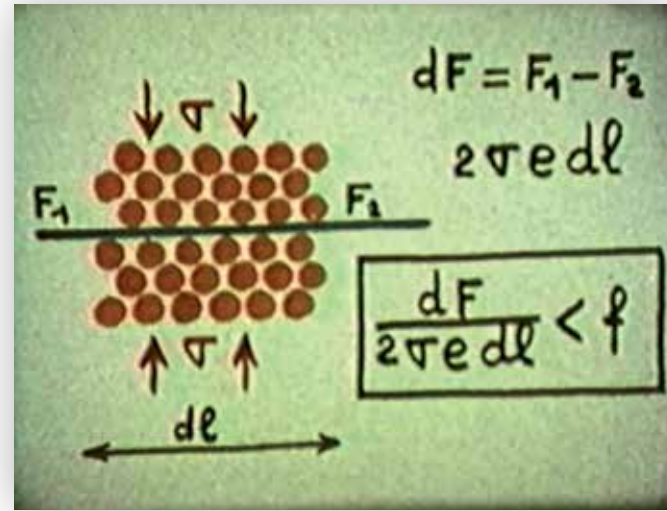
Modelo a escala
de un muro
de papel de
periódico y arena
(1958)



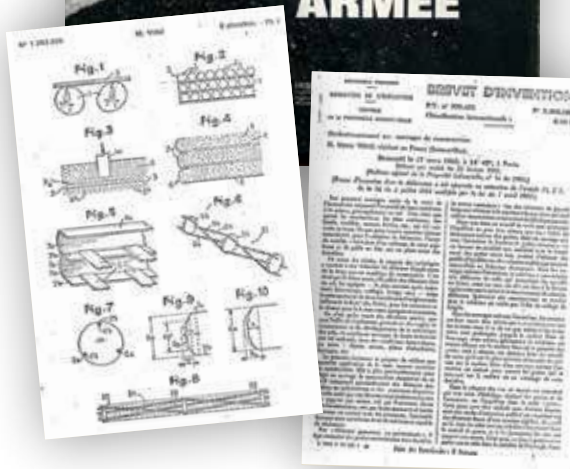
Extractos de
la película
promocional
sobre la Tierra
Armada®
producida a
finales de los
sesenta.

UN NUEVO MATERIAL

La Tierra Armada® es, como la definió Henri Vidal, «un material dotado de cohesión gracias a las armaduras». Su materia prima, barata y universal, es la tierra, es decir, cualquier material móvil que pueda integrarse en un terraplén. Sin embargo, estos materiales granulares presentan poca cohesión en estado natural. En el plano mecánico, la tierra sólo soporta fuerzas de compresión y de cizallamiento, no de tracción. La Tierra Armada® se puede modelar mediante un «milhojas» de capas formadas por granos o guijarros alternadas con capas de papel reforzado. La adición de capas intermedias —hojas de papel en el modelo simplificado y armaduras en el caso de la Tierra Armada®— permite absorber esas fuerzas de tracción y garantizar la cohesión del conjunto. El vínculo entre las armaduras y la



La Terre Armée,
Henri Vidal
(1963)



La patente de la
Tierra Armada®
solicitada por Henri
Vidal en 1963

tierra queda establecido mediante la fricción, a la que se suman los efectos de bóveda que actúan en el interior de cada capa de tierra. La aparición de este nuevo material y de la técnica constructiva simple y elegante que le acompaña es el resultado del esfuerzo de modelización realizado por el inventor. El término «Tierra Armada», registrado por Henri Vidal al mismo tiempo que su patente de 1963, fue adoptado por las administraciones francesas e internacionales y usado en 1984 por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) para designar el «material compuesto formado por la combinación de tierra y armaduras». La marca Tierra Armada® ha sido traducida a varios idiomas: Reinforced Earth®, Bewehrte Erde, Terre Armée, Terra Armata, Terra Armada, 補強土,...



Modelo
simplificado
de la Tierra
Armada®

Extractos de la película promocional sobre la Tierra Armada producida a finales de los sesenta



LA PROMOCIÓN DEL INVENTO

Henri Vidal disponía de la memoria que había redactado para explicar los principios y las ventajas de la técnica de la Tierra Armada®. Como complemento, realizó una película para ilustrar lo que ya entonces parecía ser una revolución para la ingeniería civil. El ingeniero demostró con ella su talento como comunicador. Cosechó el apoyo de sus interlocutores gracias a su vitalidad y a la fe sin límites en su invento. Además, disponía de las redes necesarias para impulsar sus ideas. Allá donde iba, sabía encontrar buenos contactos, seducir, convencer, conseguir embajadores que difundían las ventajas de la Tierra Armada®.

Hizo una verdadera labor de cabildeo ante distintos actores del sector de la construcción, desde oficinas de proyectos a empresas de obras públicas y entidades gubernamentales de infraestructura.

No reparó en esfuerzos. Así consiguió su primera obra de gran envergadura: un muro de contención construido sobre taludes inestables durante el invierno de 1964-1965, por encargo de EDF, en Pragnères, cerca de Luz-Saint-Sauveur (Hautes-Pyrénées, Francia). Este primer éxito se convirtió en una referencia indispensable y le proporcionó valiosas imágenes de la obra que le sirvieron para mejorar su película promocional.



El muro de Pragnères (1964-1965) con un revestimiento de acero

VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

A principios del año 1968, Henri Vidal convenció a François Schlosser, ingeniero del cuerpo de Puentes y Caminos, para construir un muro experimental de Tierra Armada®. El Laboratorio Central de Puentes y Caminos (LCPC) se interesó por la técnica y realizó ensayos con maquetas a escala. El muro, de 10 m de alto y varias decenas de metros de ancho, se levantó en Incarville (Eure, Francia), a poca distancia de la autovía de Normandía. Se colocaron todos los instrumentos necesarios para evaluar distintos parámetros, en especial los vinculados al comportamiento mecánico del material. Los experimentos sobre el terreno aportaron la prueba irrefutable de la validez del invento. Sus colaboraciones con la administración condujeron a la publicación en 1979 de unas recomendaciones y normas de ingeniería civil para las estructuras de Tierra Armada editadas por la Dirección de Carreteras y Circulación Vial, que pronto adoptaron otras entidades gubernamentales de todo el mundo.

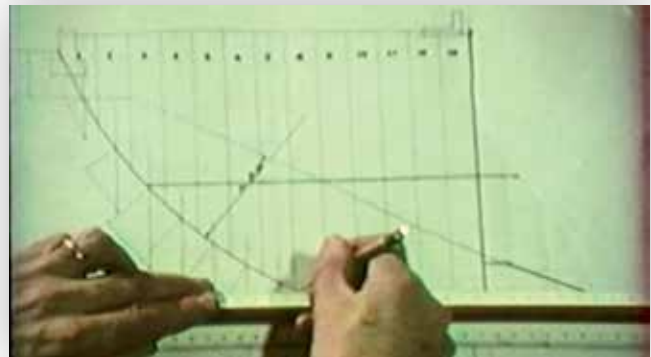
Ensayos con maquetas a finales de los sesenta



Varios experimentos que permiten entender los mecanismos que actúan en la Tierra Armada®



Experimentos con distintos materiales para el terraplén



Representación gráfica de los experimentos



Modelos experimentales a escala con arena como material del terraplén

TESTIMONIO

François Schlosser

Ingeniero de Terre Armée de 1977 a 1979.



«Henri Vidal vino a verme un día en 1966 al Laboratorio Central de Puentes y Caminos. Por aquel entonces, yo era el jefe del Departamento de Suelos y Cimientos de este instituto de investigación. Me mostró su procedimiento y su libro y me pidió que le ayudara a hacer los ensayos. Le dije que había que construir una estructura en la que pudiéramos instrumentar las armaduras. Mis superiores dieron su aprobación y empezamos el muro experimental de Incarville, que permitió estudiar el funcionamiento interno de los muros de Tierra Armada®.

Después, le ayudé a convencer al ingeniero de Puentes y Caminos encargado de la construcción de la autovía Roquebrune-Menton. Le entregué una declaración escrita de la pertinencia de la Tierra Armada® como técnica de construcción. Así conseguimos la primera obra de gran envergadura para la Tierra Armada®.

Cuando me incorporé a la empresa Terre Armée a principios de 1977 a petición de Henri Vidal, me convertí en el ingeniero en jefe del Departamento de Puentes y Caminos. La administración exigía métodos de cálculo seguros y fiables sin los que no habríamos podido continuar con la Tierra Armada®. Así que tuve que encargarme de los estudios, sobre todo

en lo referente al dimensionamiento de las estructuras. Hice este trabajo con Jean-Armand Calgaro*, del SETRA, que era el representante de la administración, y juntos elaboramos un volumen con las recomendaciones y normas de ingeniería civil para las estructuras de Tierra Armada. Terre Armée financió su edición. En 1979, abrí mi propia oficina de proyectos, Terrasol, pero seguí trabajando para Terre Armée como contratista. Uno de mis trabajos más destacados fue la elaboración de las recomendaciones para los Estados Unidos. En aquella ocasión colaboré con Michel Bastick*, de Terre Armée, y otros dos profesores estadounidenses. Gracias a mi puesto de profesor de geotécnica en la Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Escuela Nacional de Caminos, Canales y Puertos), pude proponer el nombramiento de Henri Vidal como doctor honoris causa».



LOS COMIENZOS DE TERRE ARMÉE

EL DESARROLLO COMERCIAL DE LA INNOVACIÓN DE HENRI VIDAL REQUIRIÓ LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA ENCARGADA DE EXPLOTAR LAS PATENTES, LA SOCIEDAD TERRE ARMÉE. EL INVENTOR SE CONVIRTIÓ EN EMPRENDEDOR Y CREÓ UN PEQUEÑO EQUIPO INICIAL QUE EJEMPLIFICABA A LA PERFECCIÓN EL CUIDADO QUE PUSO SIEMPRE EN LA ELECCIÓN DE SUS COLABORADORES Y SUS SOCIOS.



Autovía A53, muro de Peyronnet (Francia), 1968

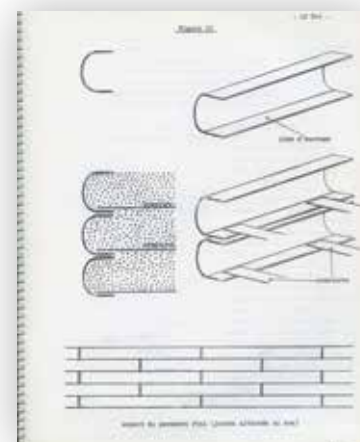
■ EL INICIO DE LA ACTIVIDAD

Henri Vidal creó la empresa Terre Armée en 1968 y la instaló en el nuevo barrio de negocios de La Défense, en un despacho del décimo piso de la Torre Nobel. Uno de los momentos esenciales de la aventura empresarial fue la contratación de colaboradores. En enero de 1969 se incorporó a la empresa Maurice Darbin, un ingeniero civil de la Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Escuela Nacional de Puentes y Caminos) (hoy, Ponts ParisTech), con quien Vidal había coincidido en Fougerolle.

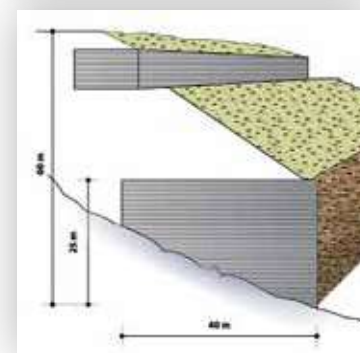
La nueva empresa se presentó a sus clientes como un despacho de ingenieros y asesores que ofrecía un servicio de diseño de proyectos y asistencia técnica durante las obras. Esta oficina de proyectos creaba los planos y hacía los cálculos de dimensionamiento, mientras que el suministro de las armaduras y los revestimientos metálicos externos quedaba en manos de empresas colaboradoras. De la construcción se

encargaba una empresa general de obras públicas que seguía las directrices de Terre Armée. Era una organización idéntica a la de los despachos de arquitectura, que prestan a sus clientes servicios de diseño, dirección y seguimiento de la obra. Si se trataba de una obra de Tierra Armada, el cliente debía abonar además los derechos de explotación de la patente del inventor. Este complejo sistema se simplificó más tarde, cuando Terre Armée cosechó sus primeros éxitos en el campo de la exportación.

Pero volvamos a los orígenes de la empresa. Su fundación coincidió



Detalle de un revestimiento metálico extraído del libro *La Terre Armée* de Henri Vidal, 1963



Esquema del muro de contención de la autovía de la Costa Azul, Le Peyronnet (Francia), 1968

TESTIMONIO

Maurice Darbin

Presidente y Director General de Terre Armée de 1970 a 1990



«Los comienzos fueron sencillos. Nos pasábamos el tiempo en el pequeño despacho que Henri Vidal había alquilado en La Défense. Cuando llegué, todavía estaba vacío. Había tan solo un teléfono encima de la alfombra.

Contábamos con un proyectista a media jornada y una secretaria que trabajaba desde el despacho de arquitectura de Vidal. Empezamos comprando lo mínimo, tan solo las mesas y sillas que necesitábamos para emprender la actividad lo antes posible.

En aquella época había mucho por hacer. La Tierra Armada® no era más que una piel metálica que usamos para las primeras estructuras. Funcionaba bien pero no era muy estética, por lo que no se podía usar en ciudad, y su coste seguía siendo elevado con respecto a un muro tradicional. Teníamos que trabajar rápido para encontrar otros elementos prefabricados adecuados para la construcción con Tierra Armada®. Así que mi primera tarea fue diseñar y crear una piel de escamas de hormigón articuladas. Tenía que ser un revestimiento flexible, con capacidad para girar y asentarse. Lo conseguimos rápidamente y lo patentamos en agosto de 1969. Esta mejora tuvo una gran acogida y le dio una nueva perspectiva al procedimiento».

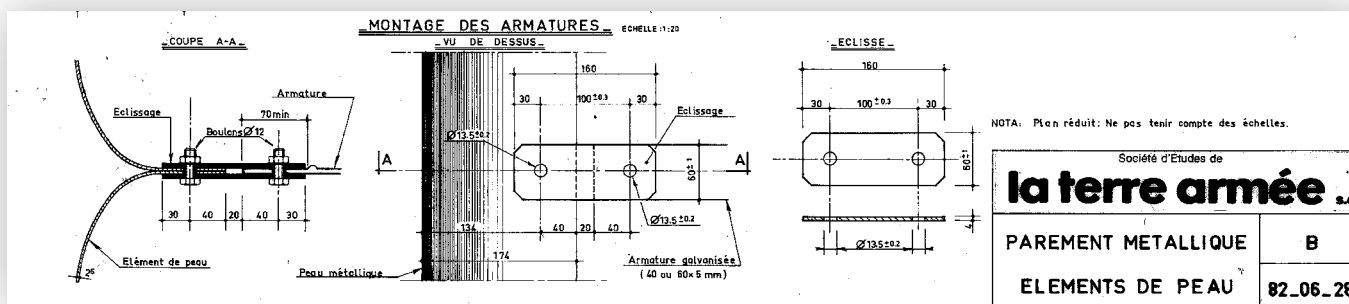


Primer muro con escamas de hormigón, Poitiers (Francia), 1970

con la época dorada de «los treinta gloriosos», un hecho que resultó determinante para el éxito de la aventura empresarial. Este periodo de espectacular desarrollo económico fue el marco ideal para una política nacional de construcción de infraestructura. Francia amplió su red de autovías, sobre todo en las regiones meridionales, llenas de valles. En muchos

lugares fue necesario construir muros de contención y la técnica de la Tierra Armada® se reveló como una buena solución. Constituía una alternativa ventajosa al hormigón, ya que para el propio muro de contención se usaban los desmontes disponibles en la zona. Una opción económica y fácil destinada a experimentar un éxito fulgurante.

Detalle de los planos de montaje de las armaduras



Revestimiento metálico (a la izquierda) comparado con un revestimiento de escamas de hormigón (a la derecha)



■ DE LOS PRIMEROS CONTRATOS AL RECONOCIMIENTO OFICIAL

En 1968 se construyó el primer muro de Tierra Armada® de gran altura a lo largo de la autovía que une Roquebrune y Menton (Francia). En este proyecto se usaron muros de Tierra Armada® en lugar de costosos viaductos. La obra del muro de Peyronnet fue una excelente carta de presentación que despertó el interés de las empresas constructoras y supuso el despegue definitivo de la oficina de proyectos. Sin embargo, la viabilidad financiera de la empresa quedaba restringida a la duración del contrato en curso. Los fondos propios con los que se creó la sociedad eran escasos y los problemas de tesorería, recurrentes. Pero no era el

momento de preocuparse por el mañana, algo que habría ido en contra del temperamento del fundador de Terre Armée. Henri Vidal prefirió dedicarse a buscar nuevos clientes, con el optimismo y el ánimo que le caracterizaban. No dejó de buscar contactos potenciales ni de hacer estudios y anteproyectos para convencer a los contratistas. Por toda Francia se multiplicaban las circunvalaciones y los anillos viales estaban a la orden del día. Henri Vidal era consciente de que debía mejorar la técnica inicial para estas aplicaciones urbanas. La Tierra Armada® debía dotarse de una «piel» mucho más estética que los perfiles metálicos de sus orígenes. Esa necesidad llevó a Maurice Darbin a diseñar un paramento de escamas de hormigón articuladas y separadas por juntas de compresión. Este paramento se adaptaba mucho mejor a las expectativas de las entidades

encargadas de la infraestructura. Además de solucionar este reto arquitectónico, se marcaron el objetivo de estandarizar e industrializar los procedimientos de construcción para disponer de elementos prefabricados. La mejora técnica supuso un ahorro de costes y una estética más cuidada, pero también permitió marcar la diferencia con respecto a las técnicas de la competencia.

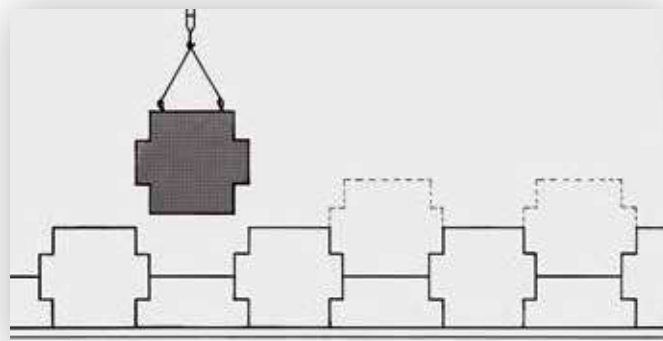
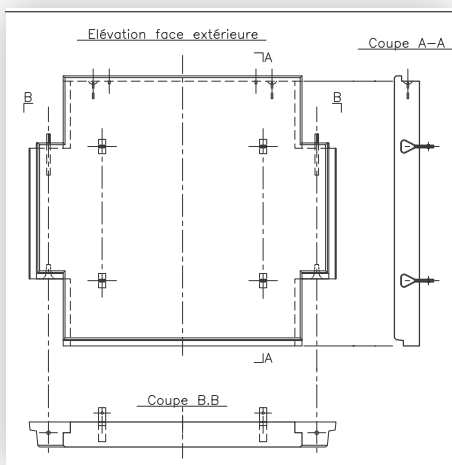
Con su nueva cara exterior, la Tierra Armada® pudo partir a la conquista de nuevos mercados. Poco a poco, pasó a formar parte por derecho propio del abanico de recursos de la ingeniería civil. Un arquitecto especializado en estructuras de ingeniería civil le dio el toque distintivo a la técnica de la Tierra Armada® en el ámbito de las carreteras. Charles Lavigne*, cuyo nombre ha quedado unido para siempre al puente de Normandía, diseñó numerosas estructuras de Tierra Armada®. «Desde la perspectiva técnica, el suelo reforzado abrió nuevos horizontes que permitieron construir macizos de gran altura con paredes verticales de un modo muy sencillo y en lugares de difícil acceso. En cuanto a la estética arquitectónica, su paramento con grandes escamas, que recuerdan los muros ciclópeos de América Central o Egipto, renovaron el concepto del muro de contención. En resumen, podemos decir que la Tierra Armada® permitió remodelar paisajes e incluso esculpir la naturaleza».

■ LA EVOLUCIÓN ADMINISTRATIVA DE LA EMPRESA

En 1970, Terre Armée se vio forzada a evolucionar para hacer frente a nuevos desafíos comerciales, como los que

suponía su expansión internacional. La oficina de proyectos se transformó en una empresa comercial capaz de suministrar todos los servicios vinculados a la edificación de estructuras de Tierra Armada®. En concreto, empezó

Las escamas prefabricadas de hormigón se fijan a las armaduras.



Las escamas de hormigón, la primera gran evolución de la Tierra Armada, agosto de 1969

a suministrar armaduras, subcontractando los trabajos de construcción. Además, Terre Armée pasó a ser la que abonaba directamente a Henri Vidal los derechos de la explotación comercial de su invento.

Vidal no sólo era un ingeniero brillante e innovador; también tuvo una visión estratégica para el desarrollo de su empresa. Gracias a su prestigio de inventor, fue el mejor embajador de la Tierra Armada® y encontró en Maurice Darbin a un gestor sin par. Sus personalidades complementarias formaron una pareja que funcionó de maravilla e impulsó el éxito de la empresa Terre Armée.



LA EXPANSIÓN INTERNACIONAL

TERRE ARMÉE APROVECHÓ EL RECONOCIMIENTO DEL QUE GOZABA SU TÉCNICA EN FRANCIA PARA ENTRAR EN OTROS MERCADOS. ESTA EXPANSIÓN INTERNACIONAL, UNIDA A LA EXPLOTACIÓN DE UNA TECNOLOGÍA UNIVERSAL, CONDUJO DE FORMA NATURAL A LA CONSTITUCIÓN DEL GRUPO TERRE ARMÉE INTERNATIONALE.



Logotipo original de la empresa Terre Armée

A comienzos de la década de los setenta se produjo la expansión internacional de la empresa, un paso lógico para esta historia que comenzó en Francia. Terre Armée poseía en exclusiva los derechos para explotar una tecnología innovadora y ventajosa desde el punto de vista económico. Además, los responsables gubernamentales de las carreteras francesas habían autorizado plenamente el uso de la técnica del suelo reforzado. Por lo tanto, sólo restaba exportar la explotación comercial de esta tecnología debidamente protegida. Las labores de prospección comercial se realizaron con el apoyo discreto pero eficaz del Departamento de Puentes y Caminos, que estableció contactos con las entidades locales encargadas de las obras públicas y organizaron visitas a obras ejecutadas con Tierra Armada en suelo francés.

Desde entonces, Henri Vidal puso todo su entusiasmo en la internacionalización de su empresa. Su capacidad para seleccionar y contratar a los profesionales con más talento resultó vital en esta fase de desarrollo de Terre Armée en la esfera internacional. Había que encontrar intermediarios en

cada zona geográfica que conocieran el mercado local o los vecinos, según los casos. Fue una carrera de largo recorrido que requirió paciencia y buen olfato.

Maurice Darbin fue el primero en crear una filial de la empresa Terre Armée fuera de Francia. La oportunidad



Carleton (Canadá), 1977

TESTIMONIO

Peter Wu

Director General de Reinforced Earth Canadá



«Reinforced Earth Company Limited (RECo) nació en Canadá en 1970.

Fue la primera filial de Terre Armée fuera de Francia. La aventura comenzó en Quebec, un lugar lógico para una empresa de origen francés. Durante los siete primeros años, ejecutamos una media de tres proyectos anuales de tamaño modesto. Esta evolución progresiva nos permitió ganarnos la aprobación y el reconocimiento de las autoridades. Hacia finales de los años setenta decidimos emprender proyectos de mayor envergadura y ampliar nuestra actividad desde Quebec al resto del país.

Crecimos gracias a grandes proyectos como el de la autovía Coquihalla, la mayor obra de infraestructura vial de Norteamérica. Este proyecto, que supuso un total de 24 000 m² de paramentos para estructuras en suelos reforzados, duró 20 meses.

Desde la fundación de la empresa en Canadá hemos finalizado con éxito más de un millar de proyectos equivalentes a un millón de metros cuadrados de paramentos. Estas cifras nos convierten en la empresa líder en el diseño y el suministro de muros de contención en Canadá.

Hace cuatro décadas que estamos al servicio de nuestros clientes canadienses, a ambos lados del país, gracias a nuestra amplia y diversificada gama de tecnologías e innovaciones. Las competencias y la competitividad de RECo quedan plasmadas en nuestra participación en grandes obras de todo Canadá. Además trabajamos en diversos ámbitos: grandes autovías, minas y proyectos de infraestructuras o incluso construcciones con un marcado sabor 'canadiense', como instalaciones para saltos de esquí».

Proyecto
Obed-Marsh
(Canadá), 1984



surgió durante una visita a Canadá para impartir una conferencia en 1969. Tras asistir a la ponencia de Darbin, la administración local expresó su interés por la Tierra Armada® y planteó la posibilidad de construir un muro de contención. Aunque las autoridades quedaron convencidas desde el punto de vista técnico, la organización comercial y jurídica que por entonces tenía Terre Armée les resultó demasiado compleja. La necesidad de contratar a una oficina de proyectos y después a los proveedores de las armaduras y los paramentos, además de pagar sus derechos al inventor, disuadió a los quebequenses. En cualquier caso, no habrían podido conceder una licitación pública a una empresa que

no estaba registrada en Canadá. Para evitar ese obstáculo, Maurice Darbin creó la primera filial extranjera mediante un depósito en efectivo de 20 dólares. The Reinforced Earth Company (RECo) Canadá actúa ahora como interlocutor principal de sus clientes, una simplificación de las relaciones comerciales que adoptó a su vez la empresa matriz.

A esta primera instalación en Canadá le siguieron las de los Estados Unidos (1971), España (1972) y Sudamérica, y Japón (1974), cuatro regiones especialmente importantes para la actividad de Terre Armée.



Los Estados Unidos recibieron una atención especial dada la envergadura del mercado que podía ofrecer. Terre Armée inició su actividad en el país mediante un agente comercial que se encargó de establecer contactos y promover la técnica. En 1971, su trabajo dio frutos con un primer

proyecto experimental financiado por el departamento gubernamental de infraestructuras, la *Federal Highway Administration* (FHWA). Se trataba de construir un muro de contención destinado a evitar importantes deslizamientos de tierras. El éxito de este proyecto abrió las puertas del

mercado estadounidense a la Tierra Armada®.

Tras éste se sucedieron otros proyectos delicados, como los muros de contención construidos junto a un estuario sometido a los efectos de la marea u otros levantados en una zona proclive a los hundimientos. Estas obras, ejecutadas de un modo óptimo y rápido, demostraron que la flexibilidad y la alta resistencia de la Tierra Armada® la convertían en una opción ideal no sólo para entornos normales sino también en condiciones especialmente difíciles, ya que podía soportar cargas muy elevadas incluso sin cimientos.

Gracias a estos proyectos las autoridades aceptaron de buen grado la técnica de la Tierra Armada®. Esta nueva técnica supuso el nacimiento de toda una disciplina de la ingeniería civil, el de la MSE (*Mechanically Stabilized Earth*). La inventiva y la creatividad arquitectónica se unieron para satisfacer,



Terminal petrolera de Valdez, Alaska (EE. UU.), 1976

Depósitos de
GNL Cove
Point, Lusby,
Maryland
(EE. UU.),
1973



Paramentos
arquitectónicos,
Texas (EE. UU.)



sobre todo en este país, la voluntad de integración paisajística y acabado estético. La empresa, la más importante del Grupo tanto en términos económicos como de personal, empezó a ser rentable en 1978. En la década de los noventa aparecieron

nuevos competidores en el mercado, pero The Reinforced Earth Company hizo frente a la situación adaptándose al nuevo contexto.

Primer muro de
Tierra Armada®
de los Estados
Unidos:
Autovía 39,
Parque Nacional
de Los Ángeles,
California
(EE. UU.), 1971



Paramentos
arquitectónicos,
Gregory, Texas
(EE. UU.)



TESTIMONIO

Roger Bloomfield

*Presidente y Director General de Terre Armée Internationale
y director de la División de Norteamérica*



«The Reinforced Earth Company (RECo) se constituyó en los Estados Unidos en 1971, lo que la convierte en la segunda empresa Terre Armée creada fuera de Francia, después del nacimiento de RECo Canadá en 1970.

Desde entonces, hemos realizado numerosos proyectos importantes.

En 1971, construimos un muro para reparar los daños causados por un deslizamiento de tierras en un parque situado al norte de Los Ángeles. La carretera ya no está en servicio, pero el muro sigue intacto a pesar de la fuerte pendiente y las duras condiciones climáticas. En 1976 nos encargaron un proyecto de 12 000 m² para los depósitos de petróleo de Valdez, en la terminal del oleoducto de Alaska. Durante las décadas de los setenta y ochenta, RECo mantuvo un crecimiento constante, con los proyectos de carreteras como actividad principal. Otros ámbitos, como el minero y el de los silos de almacenamiento, también desempeñaron una función importante.

Los comienzos de los noventa y el fin de las primeras patentes marcaron el inicio de una época difícil para RECo. Sin embargo, seguimos participando en obras importantes, como

las de la sección S-2 de la carretera US 75 en Dallas en 1993. Fuimos los primeros en usar escamas arquitectónicas, que ahora son muy comunes, y lo hicimos para aquel proyecto.

A partir de aquel momento volvimos a un periodo de crecimiento sostenido. En los diez últimos años (2003- 2013), hemos doblado nuestros ingresos y la plantilla ha pasado de 200 a 320 personas. En la actualidad, el 15% de nuestros trabajadores tienen una antigüedad en la empresa de más de dos décadas, algo de lo que estamos muy orgullosos».



Proyecto de la sección 2 de la autovía US 75,
Dallas (EE. UU.), 1993



■ ESPAÑA, LATINOAMÉRICA E ITALIA

La presencia de Terre Armée en España data de 1971 y se debe a la labor de Jacques Deschamps*, un ingeniero francés formado en la Escuela Especial de Obras Públicas. Tras ganar

una primera licitación para un proyecto en Canarias, en la primavera de 1972 Jacques Deschamps creó la empresa Tierra Armada y se consagró al desarrollo de esta nueva entidad del Grupo Terre Armée. España estaba culminando su programa energético y empezaba a invertir a gran escala en infraestructuras para carreteras y autovías. La técnica de la Tierra Armada® resultó especialmente útil en las regiones montañosas y accidentadas del país. Además, Jacques Deschamps conocía bien a los funcionarios del Ministerio de Obras Públicas y a las grandes empresas. Muy pronto, la llegada de nuevos contratos le llevó a contratar al primer ingeniero, Faustino Valero*, al que siguieron otros profesionales. La actividad se desarrollaba de modo satisfactorio y no requería un gran aporte de capital.



Fábrica de Mejorada, filial de prefabricación (España), 1976

En 1972, Henri Vidal encargó a Jacques Deschamps la expansión de Terre Armée en Latinoamérica. El Grupo consiguió implantarse en Brasil en 1975, en Venezuela y Argentina en 1979 y en México a comienzos de los ochenta, siguiendo siempre el mismo método: ponerse en contacto con las autoridades y el sector de la ingeniería civil, explicar por medio de conferencias las ventajas de la técnica y encontrar un responsable local. En 1979 le tocó el turno a Italia. Jacques Deschamps se convirtió en el especialista del mundo latino en el seno del Grupo Terre Armée y sigue supervisando las empresas que creó desde Madrid.



Primer muro de Tierra Armada® de España: Puerto de la Cruz, en la isla de Tenerife (España), 1971

TESTIMONIOS

Jacques Deschamps

Director de Tierra Armada (España y Latinoamérica) y de Terra Armata (Italia)

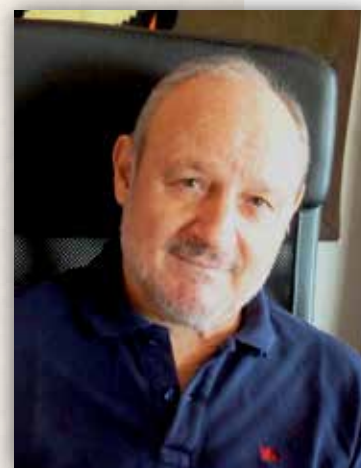
«Vivía en España desde 1964 y trabajaba en una empresa de obras públicas (INTRAFOR). Un amigo empresario estaba construyendo en Tenerife un túnel para una autovía que no conseguía terminar. Le sugerí que abandonara la idea del túnel y desplazara la autovía más abajo, para lo que necesitaba crear un gran muro de contención que sustentara la estructura. Entre los colegas de profesión circulaba la idea de que había por ahí un loco que quería 'armar la tierra'. Entonces me puse en contacto con Vidal. En la primavera de 1971 me invitó a ir a París con mi amigo y los responsables públicos de obras en carreteras. Viajamos hasta el sur de Francia para visitar las primeras obras de Tierra Armada construidas en la autovía Niza-Menton. En el avión de vuelta a París me dijo: '¿Dado que tú conoces bien España, ¿por qué no trabajamos juntos?'. Cogió una servilleta de papel y me hizo el contrato sobre la marcha. Así fue como me embarqué en esta aventura. Henri Vidal era un hombre muy accesible, que sabía inspirar confianza. Muy sencillo. Terre Armée consiguió el contrato de Canarias y el proyecto se llevó a cabo con perfiles y armaduras importados de Francia. Después, fundé Tierra Armada y comenzó una rápida expansión».



Faustino Valero

Director Técnico de Tierra Armada, la división de España y Latinoamérica, de agosto de 1996 a enero de 2012

«En 1973 Jacques Deschamps me contrató para trabajar en Tierra Armada. Durante un año, fui el único empleado: hacía los cálculos y los planos y me ocupaba del seguimiento de los proyectos, las obras, la actividad comercial y la prefabricación. A partir de 1975 fueron llegando más ingenieros a la empresa. El pequeño tamaño del grupo nos permitía establecer vínculos muy directos. Creamos un ambiente formidable. En 1976 empezamos a producir nuestros propios paramentos gracias a la filial de prefabricación Pretasa, que tenía cinco o seis empleados. Pretasa desempeñaba la función de centro de investigación e innovación y realizamos allí varias campañas de ensayos sobre los aspectos estéticos, el límite de resistencia de los paramentos o la corrosión de las armaduras metálicas. He ocupado varios puestos en Tierra Armada, como el de director técnico para España en 1976 o el de director técnico de la División de España y Latinoamérica».





AUSTRALIA

En Australia fue determinante la cooperación con un emprendedor local. John Reid* estaba interesado en la Tierra Armada® y se reunió con Henri Vidal en París en 1974. Tras una agradable cena

se organizó una proyección privada de la película promocional de Vidal en un cine de los Campos Elíseos. El viaje concluyó con la fundación de The Reinforced Earth Company (RECo), la filial australiana de Terre Armée. Australia es un país con un territorio inmenso, muy adecuado para los grandes proyectos con Tierra Armada®. Así, la colaboración con la entidad ferroviaria National Railway ha dado lugar a numerosas aplicaciones ferroviarias, como los estribos de puentes, que estuvieron entre los primeros del mundo. RECo Australia también está a la vanguardia de la diversificación de las actividades relacionadas con las infraestructuras mineras y el almacenamiento de materias primas.

Primer muro de Australia de Tierra Armada®, St. Smith (Australia), 1975



Estribos de puente y muros de contención que soportan las vías, río Torrens (Australia), 1982



TESTIMONIO

Gary Power

Director General de The Reinforced Earth Company (Australia)



«RECo Australia nació en 1974. El 50% del capital de la empresa provenía de un empresario local, lo que nos permitió contar con representación comercial desde el principio. John Reid, el accionista, tenía numerosos contactos entre las autoridades encargadas de las infraestructuras en toda Australia. John empezó solo pero pronto contrató a su primer empleado y la empresa experimentó un importante crecimiento a finales de los setenta. Este éxito inicial permitió seguir avanzando.

A comienzos de la década de los ochenta, la firma inició una rápida expansión. El número de trabajadores pasó de uno a diez en tres meses. Fue entonces cuando entré en la compañía, en enero de 1982.

Terre Armée es un caso de estudio en el terreno del marketing: un producto nuevo, una nueva industria reconocida como una verdadera innovación de la ingeniería civil, una situación excepcional. Su desarrollo requería un espíritu emprendedor. En los años ochenta la técnica de la Tierra Armada® gozaba de gran aceptación y sus primeras usuarias, las autoridades dedicadas a la construcción de carreteras, estaban convencidas de su utilidad y confiaban en el concepto. Fue una época muy estimulante.

Coincidí con Henri Vidal varias veces a lo largo de mi carrera. Para mí, era una leyenda. Lo que más me impresionó fue que era muy humano, accesible, alentador, inspirador. Fue un visionario que supo pasar la estafeta a los gestores. Vidal creó y nosotros hemos consolidado su obra».



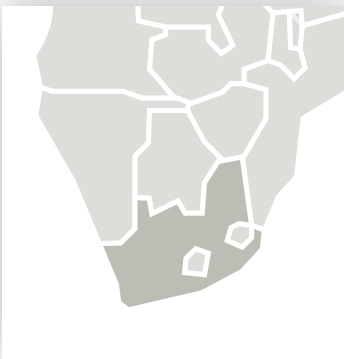
■ JAPÓN

En 1968, la empresa Kawasaki Steel pidió a Henri Vidal que promocionara la Tierra Armada® en Japón. El interés por la Tierra Armada® se convirtió

en una realidad, por lo que Henri Vidal decidió adaptar su estrategia empresarial teniendo en cuenta las particularidades del mundo nipón de los negocios. Japón es el único país del mundo en el que Terre Armée no explota directamente su técnica. El Grupo organizó una licitación, que ganaron las empresas Sumitomo y Kawasho, la matriz de Kawasaki Steel Corporation, para conceder las licencias de explotación en 1974. En 2004, se fusionó con NKK Trading convirtiéndose en JFE Shoji.



Muros de contención Shinkansen Ohmihachiman (Japón), 1987



■ SUDÁFRICA

En 1975 se creó la empresa Reinforced Earth Sudáfrica (RESA) en el marco de un acuerdo de colaboración con la filial local de la empresa Jean Lefebvre, que después fue adquirida por Terre Armée. En 1977, la construcción de los hangares para los aviones

Mirage de la base de Hoedspruit requirió 35000m² de muros a lo largo de dos años. Las aplicaciones se diversificaron, sobre todo en el ámbito minero y en el de las autovías. Hoy, la empresa opera en toda el África subsahariana.

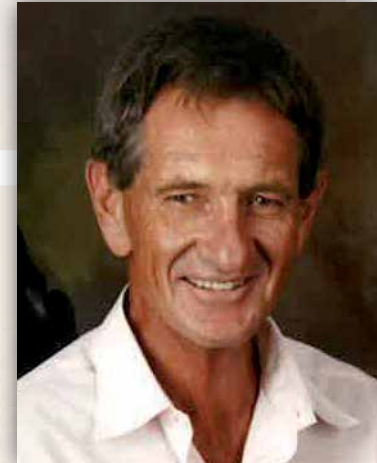


Muro de Mbabane, Suazilandia (Sudáfrica)

TESTIMONIO

Andrew Smith

*Director General de The Reinforced Earth (Pty) Ltd,
Sudáfrica (RESA)*



«Dick Dison* y Mike Colman* obtuvieron la licencia de la Tierra Armada® en 1974 de manos de Henri Vidal. En julio de 1975, yo me convertí en el primer empleado de Reinforced Earth Sudáfrica. Un mes más tarde, pasé tres semanas en París, en las oficinas de Terre Armée en lo alto de la Torre Horizon, desde donde se contemplaban el Sena y los campos de rugby de Puteaux. En aquella época no teníamos programas informáticos y pasaba horas con Pierre Ségrestin* intentando entender cómo se comportaba el material y cómo calcular una estructura estable y duradera. Conocí a Maurice Darbin*, Alain Nabonne*, Jean-Marc Jailloux* y al resto del pequeño equipo. Nos entusiasmaba la idea de participar en la introducción de un material revolucionario en el mundo de la ingeniería civil. De vuelta en Sudáfrica, seguí escribiendo mis cartas y haciendo los cálculos a mano. Nuestra primera herramienta promocional fue la película de 16 mm. Desde entonces, RESA ha participado en cientos de proyectos en el continente africano y las islas del océano Índico. Algunas me dejaron un recuerdo imborrable, como la ampliación de la autovía de Ciudad del Cabo a Johannesburgo en un entorno protegido, la circunvalación de Mbabane, el proyecto Gautrain Rapid Rail, los espigones del lago Victoria, la construcción de estructuras a 3000 m por encima o por debajo del nivel del mar o un embalse en el desierto de Namibia».

Muro de contención para las vías férreas del proyecto Gautrain Rapid Rail (Sudáfrica), 2010



Depósitos de agua de Trekkopje (Namibia)



■ EL GRUPO TERRE ARMÉE INTERNATIONALE

A mediados de los setenta, la técnica de la Tierra Armada® ya se empleaba en casi una treintena de países.

La expansión internacional de Terre Armée se logró sin necesidad de financiación interna y manteniendo siempre el control de las empresas creadas, a excepción de Japón, donde Terre Armée está representada mediante los titulares de sus licencias. En algunos casos fueron necesarios varios años de inversión antes de que la actividad generara suficientes ingresos para mantener el equilibrio presupuestario. Incluso hubo veces en que los resultados financieros fueron decepcionantes en vista del potencial técnico y comercial previsto inicialmente. También se produjeron inconvenientes de otro tipo, como en Gran Bretaña, donde Henri Vidal tuvo que denunciar por falsificación al primer agente comercial de la empresa, que se había convertido en un competidor desleal. Henri Vidal ganó el juicio.

Como consecuencia del desarrollo internacional, en 1976 se

alcanzó la cifra simbólica de 100 000 m² de muros de Tierra Armada® instalados en todo el mundo. Terre Armée podía alardear de acabar una obra cada media hora.

En 1980 se constituyó la sociedad Terre Armée Internationale (TAI). De acuerdo con la política de contratación del Grupo, que da preferencia al personal local, la mayor parte de los directores de las entidades eran ingenieros del país con formación en ingeniería civil o geotécnica. Sus contactos han sido siempre un activo indispensable para el desarrollo comercial.

Para estrechar los lazos entre equipos tan distantes, Maurice Darbin y Henri Vidal visitaban periódicamente las distintas empresas. Los encuentros en la sede de París o en cualquier otro país en el que el Grupo estuviera presente son el momento ideal para hacer balance de la actividad del último año, tanto en el país anfitrión como a escala internacional, y de analizar las perspectivas de desarrollo. Estos congresos, que se suelen completar con visitas turísticas, permiten estrechar las relaciones entre los distintos equipos del Grupo Terre Armée.

Ampliación de la N1 (Sudáfrica)





Estación
de cribado
(Andorra),
1984

Terre Armée también emprende proyectos de interés general, como los de investigación, desarrollo y formación. Henri Vidal quiso que la expansión internacional de su empresa le diera los medios necesarios para investigar mediante la colaboración entre las distintas empresas del Grupo.

En 1986, Vidal pudo celebrar el éxito que supone la presencia en todo el mundo de la empresa que había fundado. El Grupo cuenta con una treintena de firmas en todos los continentes y una cifra de negocios mundial que multiplica por veinte la conseguida en Francia. El inventor-empresario creía que el «dinamismo de sus equipos, sus implantaciones y su tecnicidad» eran el origen de su éxito presente y futuro. Este compromiso con la dimensión humana sigue siendo uno de los aspectos más apasionantes de la epopeya de Terre Armée.



Carretera 3
Tsing Yi
(Hong Kong),
1994

INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

A PESAR DE LA SIMPLICIDAD DEL CONCEPTO DE LA TIERRA ARMADA, SU USO PLANTEÓ INICIALMENTE NUMEROSAS CUESTIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS. HABÍA QUE EXPLICITAR SU FUNCIONAMIENTO INTERNO EN EL PLANO MECÁNICO Y DETERMINAR QUÉ MATERIALES ERAN LOS MÁS ADECUADOS. EL ÁNIMO DEL INVENTOR Y SU DESEO DE QUE SU HALLAZGO TUVIERA UNA AMPLIA ACEPTACIÓN IMPULSARON ESTUDIOS E INVESTIGACIONES.

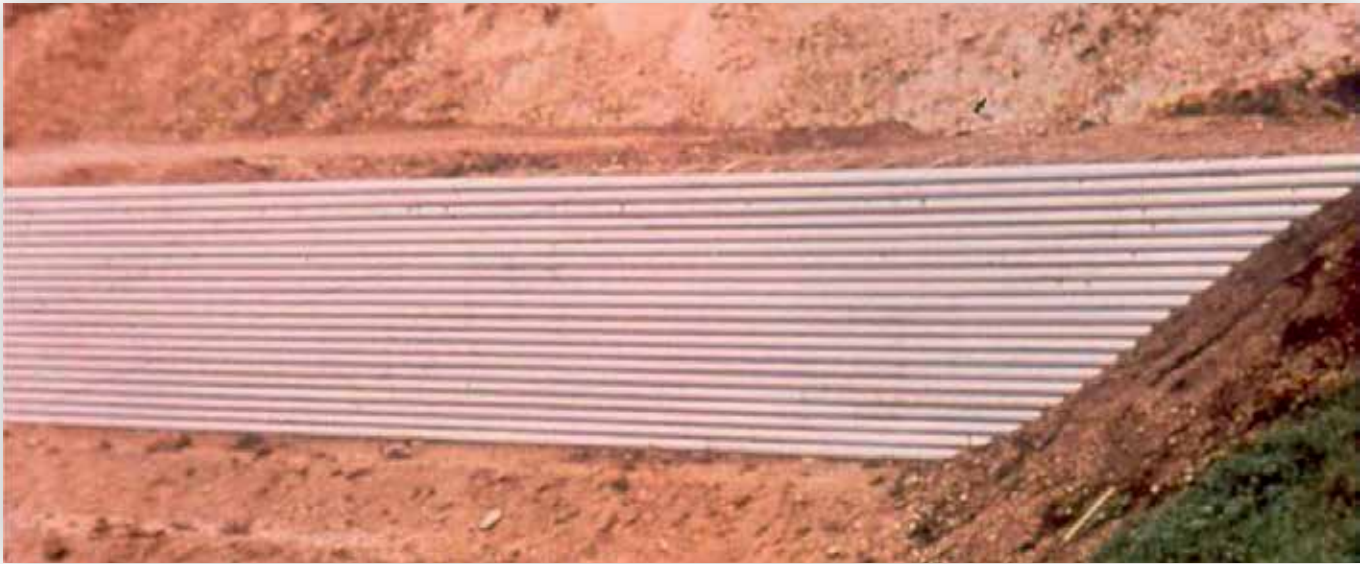
■ UNA INICIATIVA CIENTÍFICA

Su formación científica le definía intelectualmente y por eso Vidal no se conformó con poner a punto una importante innovación tecnológica: desde el principio quiso entender su funcionamiento. Su figura se inscribe en la escuela francesa de la ingeniería civil junto a otros eminentes ingenieros como Albert Caquot*, Louis Menard* o Eugène Freyssinet*, quien también estaba tan cómodo en el plano teórico como en el práctico. El reconocimiento académico al trabajo de Henri Vidal se materializó en la concesión de un doctorado *honoris causa* de École Nationale des Ponts et Chaussées (Escuela Nacional de Puentes y Caminos) el 17 de junio de 1988.

Su enfoque riguroso se basaba en el uso de instrumentos de medición en estructuras reales *in situ*, sin olvidar el diseño de modelos teóricos. Creó un extenso y prolífico programa de investigación con el fin de estudiar la resistencia mecánica de las estructuras de Tierra Armada®, sobre todo frente a sismos, comprobar la duración de los materiales enterrados y optimizar la resistencia de las armaduras.

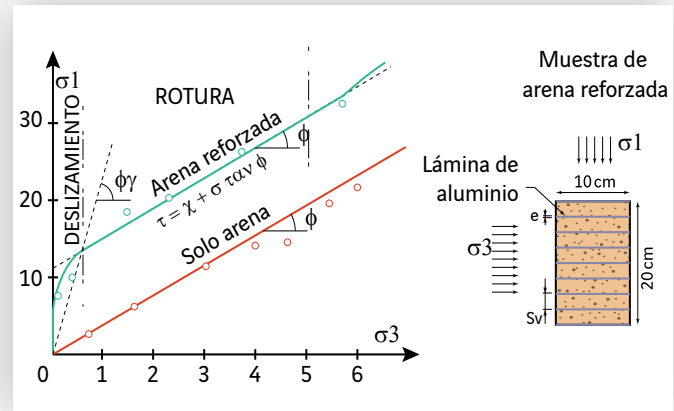
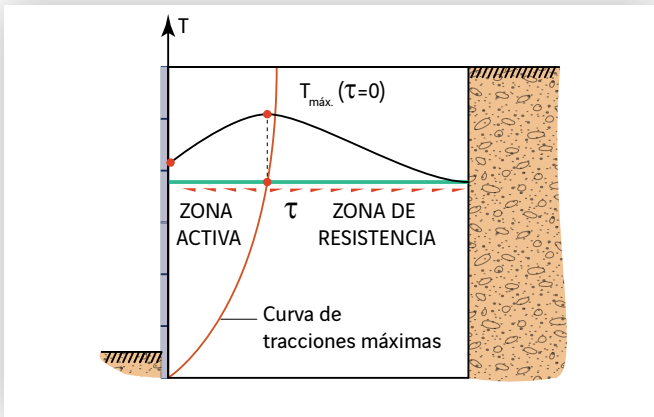
■ PRIMEROS RESULTADOS

El muro experimental de Incarville, construido en 1968, confirmó las ideas de Henri Vidal: las armaduras garantizan una cohesión óptima en un material compuesto como la Tierra Armada®. Es como si se creara un enlace, un tirante. En contrapartida, la intuición de Vidal había fallado en lo referente a las tracciones que se producen en las armaduras. Creía que los paramentos acumularían el mayor grado de tensión, pero en realidad es en el interior del macizo donde se localiza el punto máximo de tracción. Los sensores colocados a lo largo de las armaduras, sondas extensiométricas cuya resistencia eléctrica depende de la tracción, permitieron estudiar lo que ocurre en el seno de una estructura de Tierra Armada®. Así se demostró la existencia de una línea de tracciones máximas que separa dos zonas con un comportamiento mecánico distinto en el interior del macizo. En la zona activa, el suelo ejerce tensiones de cizallamiento sobre las armaduras, mientras que en la zona de resistencia las armaduras tiran del suelo y contribuyen a estabilizar el edificio. La fuerza de tracción de las armaduras sobre el paramento es baja.



Muro de contención de Tierra Armada®, detalle de un paramento metálico

Gráfico que representa los puntos de máxima tracción

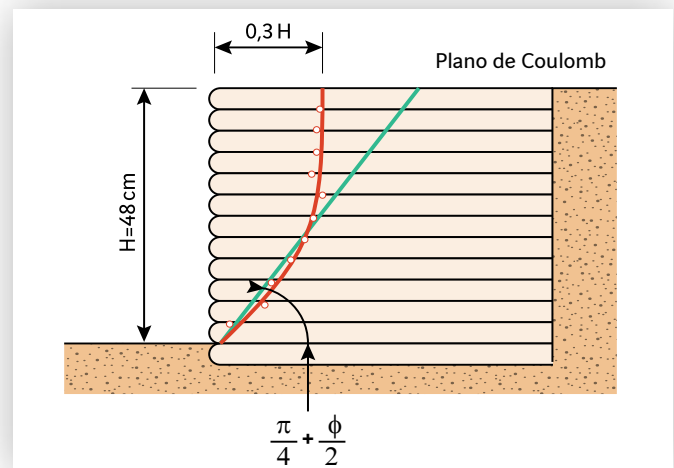


Demostración experimental de la cohesión que aportan las armaduras

INVESTIGACIÓN APLICADA

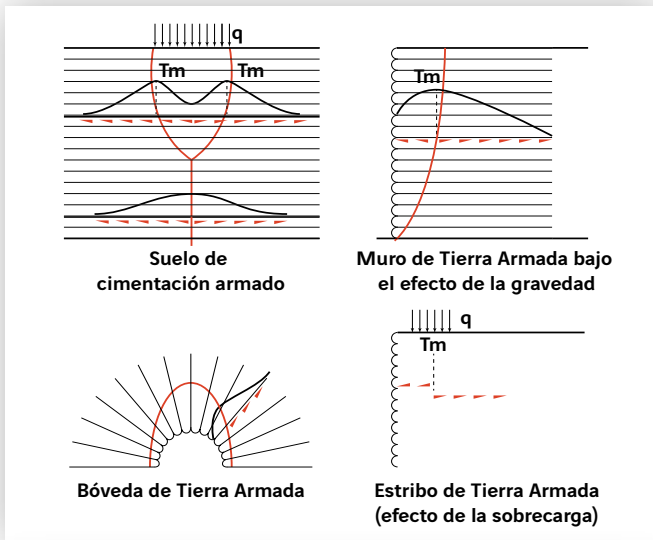
La empresa colaboró con el Laboratorio Central de Puentes y Caminos (LCPC), hoy IFSTTAR, entre 1970 y 1974. Su objetivo era estudiar el comportamiento del suelo reforzado y afinar los métodos de dimensionamiento de las estructuras mediante su apoyo sobre bases fiables. Las aplicaciones comenzaron a diversificarse: a los macizos de contención para carreteras se sumaron los estribos de puentes y, después, los muros inclinados. Se efectuaron ensayos mecánicos cuyos resultados se completaron con modelos digitales.

Uno de los dispositivos usados para los ensayos mecánicos era un aparato triaxial que permitía ejercer cargas variables sobre unas muestras cilíndricas confinadas a presión. Las muestras

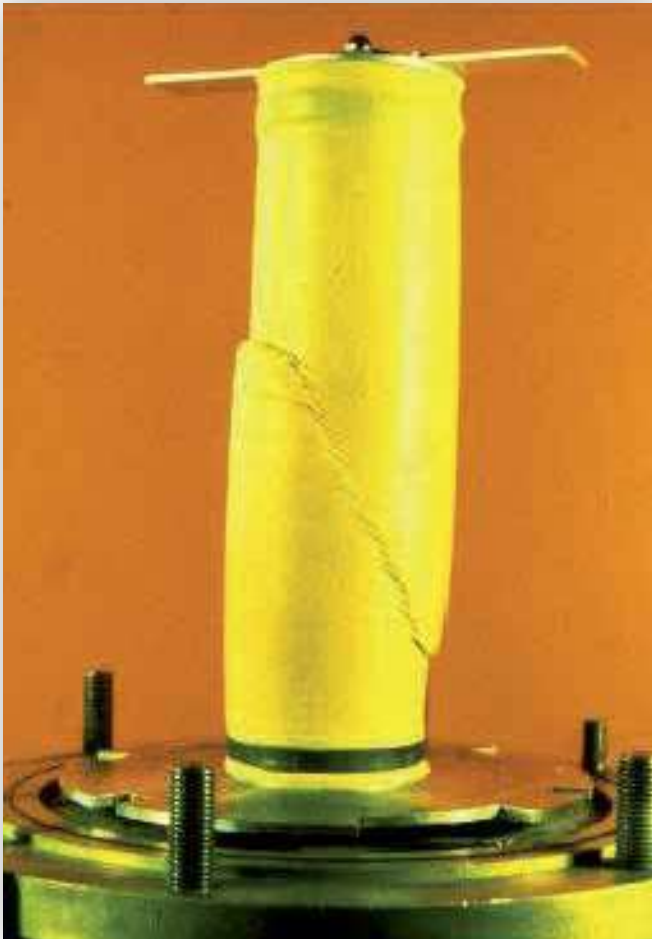


Propagación de una rotura, en teoría (en verde) y en la práctica (en rojo)

Aplicaciones
generales del
material Tierra
Armada® tal
como las imaginó
Henri Vidal



Ensayo triaxial
que permite
estudiar la
cohesión de
una muestra
modelo sometida
a tensiones
variables



eran cilindros de arena con hojas de papel de aluminio que hacían la función de armaduras. En función de las condiciones de presión y de carga se llegaba, en un momento dado, al deslizamiento o la ruptura siguiendo un plan de fractura.

La modelización informática se basaba en el método de las matemáticas aplicadas denominado de «elementos finitos», que permite integrar las ecuaciones de la mecánica en una zona de mayor envergadura y en distintos escenarios (geometría y cargas).

■ INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER LAS RECOMENDACIONES DE USO

La determinación de las normas de ingeniería civil y el establecimiento de las recomendaciones de instalación fue una etapa crucial que requirió una intensa investigación. En 1977, François Schlosser se incorporó a Terre Armée para dirigir, junto a Jean-Armand Calgaro, ingeniero de puentes y caminos, un grupo de trabajo consagrado a la Tierra Armada®. Los cálculos incluidos en estas recomendaciones supusieron un hito, en especial por el uso de los métodos de cálculo semiprobabilísticos que tanto gustaban en el SETRA (Servicio de Estudios para el Transporte, las Carreteras y su Planificación). Se establecieron coeficientes de seguridad para todos los factores de estabilidad: esfuerzos y resistencias. Un planteamiento tan adecuado que fue recuperado mucho tiempo después por los actuales «Eurocódigos». François Schlosser impulsó la instalación de instrumentos de medición en numerosos países para hacer un seguimiento de las tensiones en la armadura. Estos valiosos datos obtenidos con distintos tipos de suelo sirvieron de referencia para los cálculos de dimensionamiento.



Diferentes tipos
de armaduras
geosintéticas

TESTIMONIO

Pierre Ségrestin

Se incorporó a la Société d'Études de la Terre Armée en 1973.

Director Técnico de Terre Armée Internationale de enero de 1984 a diciembre de 2001.



«El desarrollo de las armaduras de acero de alta adherencia es uno de los avances más importantes en la historia de Terre Armée. Al mejorar su adherencia con un acabado nervado, pudimos incrementar su eficacia. La fricción entre el terraplén y el metal liso dio paso a la fricción entre suelos. Además, gracias al aumento de la fricción fue posible usar armaduras con una menor anchura y un mayor grosor para evitar la corrosión. Esta innovación, resultado de un largo trabajo de equipo, ha sido fundamental para Terre Armée y sigue usándose hoy en día.

Durante mi carrera, también he asistido a la llegada de las armaduras sintéticas. Tras muchos años de reflexión e investigación, Terre Armée Internationale consiguió integrarlas en sus estructuras. Por lo tanto, su equipo y los estudios que han realizado han contribuido enormemente al desarrollo de las técnicas del sector.

En la época de la Société d'Études de la Terre Armée, las obras eran muy interesantes. Recuerdo proyectos de grandes muros construidos en pendientes en su límite de estabilidad. Había que construir carreteras en laderas muy poco estables. Además, la estructura tenía que ser flexible y la Tierra Armada era la técnica más adecuada para lograrlo.

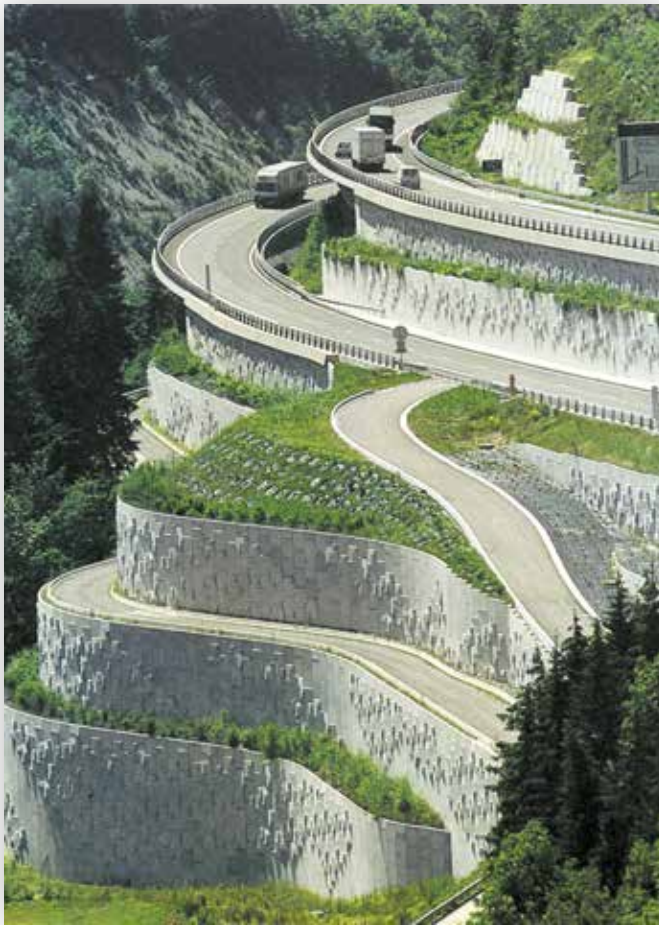
La dificultad de este tipo de proyectos reside en la primera etapa: excavar la ladera asumiendo el riesgo de que se derrumbe toda la pendiente antes de poder instalar la estructura. Por tanto, el reto consiste en encontrar el equilibrio entre la amplitud de la excavación y el volumen de la estructura. Su peso no debe ser muy elevado para no sobrecargar la pendiente ni crear nuevos riesgos de inestabilidad. Es un equilibrio delicado que hay que lograr caso por caso. Por eso es tan importante e interesante hacer un buen trabajo previo. Hacíamos los estudios preliminares en colaboración con el Laboratorio Central de Puentes y Caminos, intentando dar siempre con la mejor solución para poner a punto sus características principales y, más tarde, sus detalles».

■ LOS MATERIALES

Los primeros estudios relacionados con la Tierra Armada® pretendían demostrar la estabilidad de las estructuras y estudiar su vida útil, además de su comportamiento en caso de sismo.

La durabilidad de las armaduras es un factor clave para la resistencia de las estructuras a largo plazo. Quedan enterradas en suelos más o menos agresivos, por lo que el fenómeno de corrosión de las armaduras metálicas resulta fundamental para su vida útil. Por este motivo se realizaron numerosas investigaciones sobre la naturaleza y la composición de las armaduras y sobre los efectos de la composición química del suelo del terraplén (pH, sales en disolución, resistividad) y sus tasas de aireación y de humedad. Para saber lo que sucedía realmente en la práctica, se colocaron indicadores accesibles en algunas estructuras para conocer la evolución de los materiales.

Autovía A40
(Francia),
1989



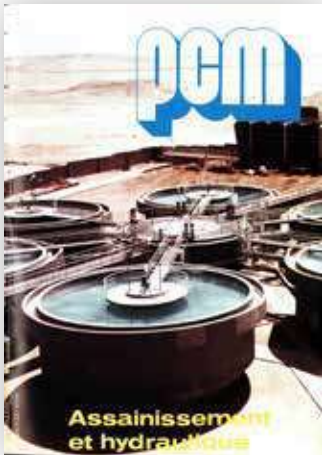
Puerto de
Dunkerque
(Francia),
1977

El material que se impuso para la composición de las armaduras de los suelos reforzados fue el acero galvanizado. Más tarde, la integración de Terre Armée en el Grupo Freyssinet permitió completar la gama de refuerzos con bandas sintéticas e incorporar la técnica Freyssisol a la oferta de Terre Armée.

■ UNA INNOVACIÓN CON TODAS LAS GARANTÍAS

La protección de las patentes fue un elemento fundamental de la estrategia de Henri Vidal. En estas patentes, la Tierra Armada® se describía como un material compuesto formado por la combinación de tierra y armaduras unidas entre sí únicamente mediante fricción. Este detalle marcaba la diferencia con los muros anclados. Henri Vidal no dudó en denunciar ante los tribunales a los falsificadores que intentaron aprovecharse del enorme potencial de la invención. Dedicó todo el tiempo y los medios necesarios, recurriendo a los mejores abogados internacionales. En el Reino Unido inició una causa por falsificación contra su primer agente comercial inglés, que había fundado una empresa competidora, Soils and Structures. Los tribunales dieron la razón a Henri Vidal.

Las patentes tienen una duración limitada y todo invento acaba siendo de dominio público. Para prolongar la protección de la tecnología de la Tierra Armada®, también se patentaron las mejoras más importantes, como las escamas de hormigón. La propiedad industrial es uno de los puntos fuertes de la empresa Terre Armée y el motivo por el que la investigación y la innovación siguen siendo sus fuerzas impulsoras.



La validez de las patentes de Tierra Armada, refrendada por una sentencia judicial en Gran Bretaña

Tras una demanda por falsificación presentada en el Reino Unido y que enfrentaba al inventor francés Henri Vidal y la sociedad «Reinforced Earth Co Ltd» y un competidor, «Soil Structures Ltd», la sentencia dictada por el Tribunal Supremo (Cámara de Patentes) de Londres el pasado 18 de diciembre de 1981 confirma la validez de las patentes del Sr. Vidal y establece que las obras propuestas y construidas por Soil Structures Ltd constituyen una falsificación.

La patente de base del Sr. Vidal protege el principio de la Tierra Armada, mientras que su segunda patente se refiere a las escamas prefabricadas de hormigón que constituyen el paramento de las obras.

Durante los últimos diez años se han realizado en el mundo entero 5000 obras de Tierra Armada que representan 2 500 000 m² de paramentos.

La sociedad «Soil Structures Ltd» fue constituida por Derrick Price, antiguo empleado de «Reinforced Earth Co Ltd», y había desarrollado un sistema similar utilizando armaduras de plástico.

En el transcurso del proceso, Soil Structures Ltd disputó la validez de las patentes del Sr. Vidal, afirmando que el principio de la Tierra Armada ya era bien conocido por los ingenieros. La compañía intentó fundamentar esta postura con los trabajos de cierto número de ingenieros, y más concretamente los de André Coyne dedicados al muro escalonado.

El magistrado Whitford no consideró válida esta tesis. *«Considero que solo una consciencia con una fe extrema y apoyado en un conocimiento posterior podría siquiera empezar a detectar en Coyne la estructura propuesta por Vidal. Considero que el ataque de los demandados contra la validez de la patente carece de todo fundamento».*

El magistrado consideró asimismo que los paneles en forma de T utilizados por Soil Structures Ltd en los paramentos presentan numerosas similitudes con las escamas del Sr. Vidal y constituyen una vulneración de su segunda patente.

El tribunal dictó sentencia contra «Soil Structures Ltd», prohibiendo a esta sociedad cualquier nueva vulneración de ambas patentes y ordenándole «no elaborar en adelante estudios técnicos que pudieran llevar a terceros a incurrir en otras falsificaciones». El tribunal ordenó una evaluación de los daños y perjuicios, condenando a Soil Structures Ltd a abonar la suma resultante, además de las costas judiciales.

Cita original del magistrado Whitford

(*) «In my judgement only an eye of extreme faith assisted by subsequent knowledge would even begin to detect in Coyne the structure proposed in Vidal 1. In my judgement the defendants' attack on validity wholly fails...».

LA **DIVERSIFICACIÓN** DE LAS **APLICACIONES**

INNOVAR ES IMPRESCINDIBLE PARA UNA EMPRESA COMO TERRE ARMÉE, CUYA ACTIVIDAD DEPENDE EN GRAN PARTE DE LA EXPLOTACIÓN DE UNA TÉCNICA DE SU PROPIEDAD. LA BÚSQUEDA DE NUEVAS APLICACIONES SUPONE UNA IMPORTANTE FUENTE DE DESARROLLO PARA HACER FRENTE A LA CRECIENTE COMPETENCIA.

■ LAS VENTAJAS DE UN MATERIAL

La Tierra Armada® tiene una naturaleza muy flexible y se presta a múltiples aplicaciones.

Su principal ventaja es que limita la cantidad de suelo que ocupa el terraplén gracias a la cohesión que se consigue mediante la fricción entre la tierra y las armaduras. El macizo de Tierra Armada constituye un bloque homogéneo que distribuye las cargas y los empujes, sobre todo hacia el suelo en el que se apoya. Es más flexible que las soluciones alternativas, como el hormigón, y soporta asentamientos diferenciales de una dimensión que resultaría intolerable en las estructuras rígidas.

Por lo tanto, la Tierra Armada® se puede usar incluso en suelos con características geotécnicas relativamente mediocres sin necesidad de recurrir a los cimientos profundos que se usan tradicionalmente para sustentar las estructuras de contención rígidas. Las estructuras de Tierra Armada®,

realizadas a partir de materiales de terraplén de la zona o de otros lugares, ofrecen un doble ahorro que se plasma tanto en los cimientos como la construcción del propio muro y que se multiplica a medida que aumenta la altura de la estructura.

Además, las estructuras de Tierra Armada® soportan cargas elevadas, empujes en la cara interna o en la parte superior e incluso fuerzas de tracción extraordinarias. Todas estas cualidades convierten la Tierra Armada® en un material magnífico, sobre todo para muros de contención en cualquier tipo de terreno, incluidas las pendientes inestables.

Los muros de Tierra Armada® presentan una muy buena resistencia a los esfuerzos estáticos y también a las cargas dinámicas, como vibraciones, choques o fuerzas sísmicas. Esta propiedad se ha verificado en varios terremotos en California, Japón o Turquía.

■ CARRETERAS, VÍAS FÉRREAS Y PUENTES

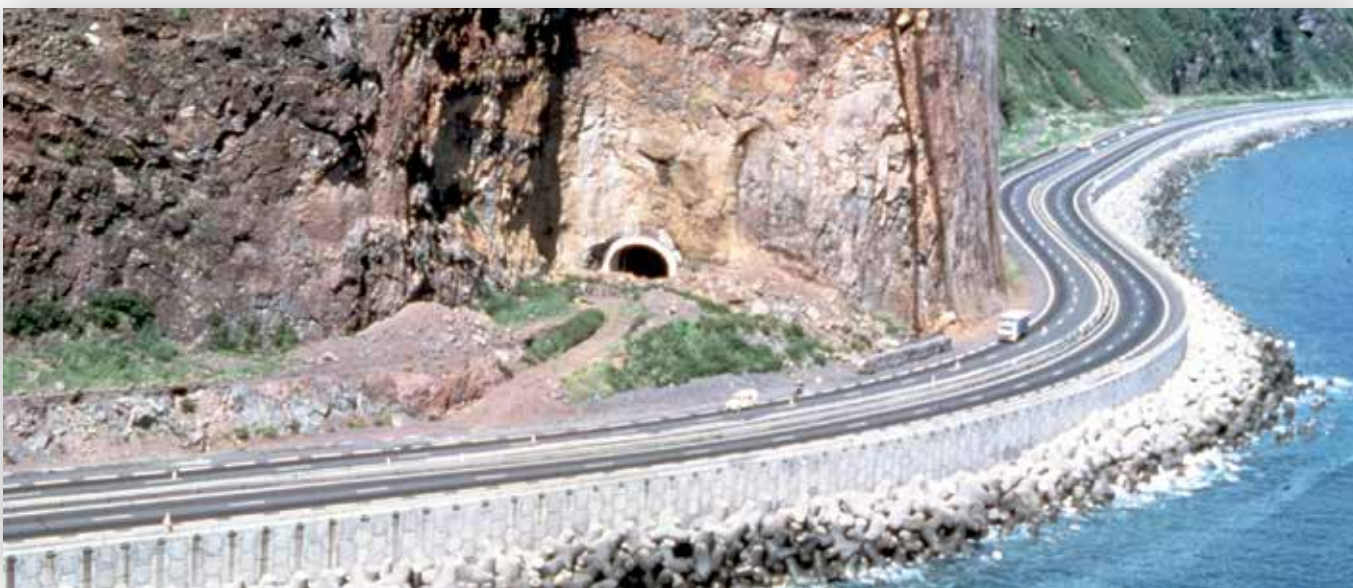
La rapidez que brinda la técnica de la Tierra Armada® favorece su uso en carreteras, autovías o trazados ferroviarios. Estas fueron precisamente sus primeras aplicaciones, que comenzaron por los macizos de contención para carreteras y evolucionaron rápidamente a los estribos para puentes (como los construidos en Estrasburgo en 169).

Inicialmente, los macizos de Tierra Armada® eran rectangulares y robustos. Con el tiempo evolucionaron hacia formas más finas gracias al mejor conocimiento de su comportamiento mecánico y de los criterios de dimensionamiento. El desarrollo de paramentos ornamentales o arquitectónicos como un mejor aspecto estético supuso un paso muy importante para la expansión de la Tierra Armada®.

Estribos de
puente
Estrasburgo
(Francia), 1969



Península
de Gaspesia,
en Quebec
(Canadá),
1978



Muros de
terraplenes
en la carretera
costera de
la isla de
Reunión

Además de su simplicidad y de la rapidez de construcción, ofrece otra ventaja que puede ser clave en algunos casos: el poco espacio necesario para la obra, sobre todo porque no requiere andamios. Estos argumentos justifican su uso para la edificación de muros cercanos a vías de circulación sin interrumpir el tráfico.

■ APLICACIONES HIDRÁULICAS

Las ventajas de la Tierra Armada® en entornos marinos o fluviales son evidentes dada su capacidad de resistencia a las fuerzas de las crecidas y del oleaje. Estas propiedades han permitido edificar muros costeros como los de la isla de Reunión en 1974-75 o el de la península de Gaspesia en 1978, así como muros junto a cauces fluviales como alternativa a las escolleras.

■ APLICACIONES INDUSTRIALES

Los muros de Tierra Armada® también han satisfecho múltiples necesidades en los sectores industriales, que se caracterizan por la variedad y el rigor de sus requisitos. Los muros de Tierra Armada® pueden usarse como eficaces muros de sostenimiento de protección, contra incendios o para confinar vertidos, por ejemplo en torno a depósitos de gas natural licuado como los de Cove Point (EE. UU., 1973). Este primer proyecto de importancia en la protección de riesgos sirvió además para ilustrar la resistencia de las estructuras de Tierra Armada® a temperaturas extremas, muy altas o muy bajas. Por otra parte, la flexibilidad de uso del material permite realizar estructuras circulares como las que sirven de apoyo para los depósitos de Muskeg en Canadá (2013).

Mina Maraca
(Brasil), 2006

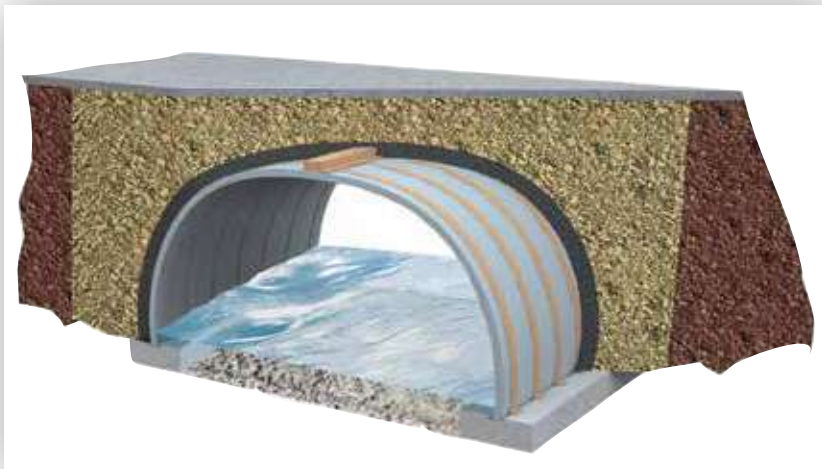




Dada su resistencia a las cargas elevadas y las vibraciones, la Tierra Armada® está presente en cientos de muros de descarga de explotaciones mineras, sobre todo en Australia, Canadá y Sudáfrica. Se trata de muros de gran altura sometidos en su parte más alta al peso y a las fuerzas que generan al frenar los enormes volquetes que descargan material desde ellos. El primer muro de este tipo se construyó en Prades (Francia) en 1976, en una instalación de triturado.

El muro de paramento inclinado de hormigón se desarrolló a finales de los años setenta y se empleó por primera vez en 1977 en Gillette (EE. UU). Su principal aplicación es el almacenamiento de materias primas como el carbón u otros minerales. Para que estas estructuras vieran la luz ha sido necesario perfeccionar el uso de escamas de paramento prefabricadas y adaptadas, además de métodos de dimensionamiento y construcción específicos.

TechSpan -
Modelo
en 3D



■ LAS BÓVEDAS ENTERRADAS

Las bóvedas prefabricadas de hormigón TechSpan®, diseñadas y desarrolladas por Terre Armée, se cubren generalmente con terraplenes y cuentan en los extremos con tímpanos que pueden ser de Tierra Armada®. Estos arcos a modo de túneles permiten realizar obras enterradas que combinan una estructura y un terraplén como pasos subterráneos o elevados o tramos cubiertos para aplicaciones hidráulicas, viales, ferroviarias o industriales. En los Estados Unidos, estas bóvedas prefabricadas son una opción muy usada para la construcción de instalaciones de

almacenamiento de munición para el ejército. La combinación de arcos de TechSpan® y muros con terraplén de Tierra Armada® forma una estructura compuesta capaz de absorber la energía explosiva. Gracias a los modelos de elementos finitos, es posible simular los efectos de la atenuación del suelo y de la flexibilidad intrínseca del sistema de bóvedas TechSpan®. En 1998, el Ministerio de Defensa estadounidense aprobó esta solución como estructura estándar de protección para los almacenes de munición. Desde entonces, se ha instalado en numerosas bases militares.

La instalación del sistema de bóvedas de TechSpan® se lleva a cabo mediante el ensamblaje de dovelas equivalentes a semisecciones de arco, prefabricadas de hormigón armado. Estas semisecciones se colocan verticalmente sobre los cimientos y se sujetan en su clave cada una contra su mitad. La forma de la bóveda, optimizada según los criterios económicos y técnicos, es distinta en cada proyecto. Las luces pueden superar los 20 m y la altura de la cobertura de terraplén, los 30 m.



Prueba de resistencia a las explosiones de un silo de almacenamiento de munición

TESTIMONIO

Melissa J. Berkebile

Presidente & Director General de Reinforced Earth Company (EE.UU.)



«Empecé a trabajar en The Reinforced Earth Company en enero de 1996, después de titularme como ingeniero civil.

La primera vez que oí hablar sobre la técnica de la Tierra Armada® fue precisamente en la entrevista de trabajo. Cuando lo busqué en los libros de la universidad, sólo encontré tres frases sobre la Tierra Armada®, en el último capítulo.

Por eso es importante seguir informando a los jóvenes mediante ponencias técnicas, ferias o presentaciones en las universidades. La fuerza de Terre Armée reside en nuestra mentalidad de ingenieros, que nos distingue de la competencia. Suministramos un producto técnico, no una mercancía».



Heads of the Valley
(Reino Unido)

LA CONSOLIDACIÓN

TRAS LA VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE LA TÉCNICA, EL LANZAMIENTO COMERCIAL DE LA ACTIVIDAD, SU INTERNACIONALIZACIÓN Y LA DIVERSIFICACIÓN DE LAS APLICACIONES, LLEGÓ LA HORA DE LA CONSOLIDACIÓN. ESTA ADOPTÓ LA FORMA DE LA COMPRA DE TERRE ARMÉE POR PARTE DE LA EMPRESA FREYSSINET, QUE SUPUSO LA INTEGRACIÓN DE TERRE ARMÉE EN EL POTENTE GRUPO DE BTP.



Tras superar en 1976 la cota de los 100 000 m² de paramento en muros de Tierra Armada instalados al año, en 1980 llegamos a los 350 000 m², el 1993 al millón de m² y, en 2004, superamos los dos millones.

■ REPASO DE LA EPOPEYA

En 1986, cuando se cumplían 22 años de las primeras aplicaciones, Henri Vidal, fundador de la empresa Terre Armée, repasó su historia en un artículo de la revista *Revue générale des routes et des aérodromes*. Con el orgullo legítimo del inventor que ha alcanzado el éxito, pretendía evitar sinsabores y fracasos a aquellos que tuvieran la tentación de «reinventar técnicas existentes de eficacia demostrada». El pionero de los muros de suelo reforzado hizo un recorrido por algunas de las obras, de un total que superaba por aquel entonces los diez millares. La ausencia de incidentes notables en los proyectos demostraba la validez de este enfoque innovador, a pesar de los augurios adversos de un experto que había predicho que «no funcionaría». Todo lo contrario: la técnica se había usado en todo el mundo, estaba presente junto a autopistas y aeropuertos y los paramentos cruciformes se habían convertido en su firma distintiva.

La Tierra Armada® era sólo una parte del sector de la ingeniería civil, pero una parte ampliamente desarrollada en los Estados Unidos, en Asia y, aunque en menor medida, en

Europa, donde fue inventada. El desarrollo de la sociedad y el crecimiento de la demanda marcaron el ritmo de ampliación de la plantilla de la empresa. En 1991, el grupo internacional de empresas Terre Armée contaba con unos 650 trabajadores que compartían una pasión común, un aspecto que sigue siendo vital en la cultura de la empresa y sigue uniendo equipos sin importar las fronteras.

■ RIESGOS Y CAMBIOS

En los años ochenta, cuando la primera patente de Henri Vidal pasó al dominio público, comenzó a aparecer la competencia, primero en los países del Golfo y después en los Estados Unidos. Como consecuencia, los márgenes de beneficios disminuyeron, aunque esta reducción de precios supuso también una ampliación del mercado que, a su vez, impulsó la búsqueda de nuevas aplicaciones. Finalmente,

TESTIMONIO

Jean-Pierre Marchand

Presidente del Grupo Freyssinet de 1987 a 2002



«En Freyssinet habíamos apostado por una estrategia de diversificación de nuestras actividades, centradas originalmente en las estructuras y superestructuras, para incluir en nuestra oferta otras especialidades del suelo. A principios de los años noventa, tras una primera fase de expansión que basamos en la explotación de las patentes del propio Sr. Freyssinet, iniciamos una reflexión sobre la evolución de la empresa y sobre un posible acercamiento a Terre Armée.

Considerar las posibilidades de la Tierra Armada me llevó a reunirme con Vidal en 1997. Hablamos largo y tendido sobre lo que habíamos hecho en Freyssinet en los últimos años, nuestro desarrollo, nuestra técnica. Creo que nuestro mensaje le gustó mucho. Tras varias entrevistas, llegamos a un acuerdo para iniciar una negociación exclusiva.

En diciembre de 1998 firmamos la adquisición definitiva. A partir de entonces, pudimos contar con la directiva de Terre Armée, con las mismas personas con las que habíamos trabajado durante la adquisición. Empezamos a estudiar las opciones de organización, a decidir cómo podíamos seleccionar a las mejores personas, territorio por territorio, país por país, para impulsar este proyecto que era ya un proyecto común. Se produjo inmediatamente una sinergia entre las personas y sus competencias. Así que la integración resultó muy rápida y ya el primer año teníamos todo listo para que el grupo que acabábamos de crear fuera un éxito».

Muros de
contención
de la autovía
A 43 (Francia),
1998



el volumen de negocios creció, no sin ciertos sobresaltos que obligaron a reestructurar algunas empresas del Grupo. Por fortuna, las fluctuaciones de la actividad en distintos países debido a sus coyunturas concretas, a las políticas públicas de inversión o a la competencia, tendían a compensarse a nivel mundial. Para evitar estos riesgos de la actividad, se imponía la necesidad de diversificar.

En 1991, Maurice Darbin dejó su cargo como presidente y director general. Ya había anunciado a Henri Vidal su deseo de dejar el puesto después de alcanzar la sesentena. Desde su incorporación a la empresa en 1969, había asistido junto a Henri Vidal al crecimiento y la internacionalización de la firma, desempeñando la función de gestor prudente e inteligente. A pesar de su marcha, siguió colaborando con Terre Armée como asesor.

TESTIMONIO

Jérôme Stubler

Presidente de VINCI Construction/Presidente de Soletanche Freyssinet



«Freyssinet empezó a interesarse por la Tierra Armada® en 1994-95 y creó Freyssisol, un producto competidor, compuesto de armaduras sintéticas en lugar de metálicas como alternativa al sistema de Terre Armée. Así fue como conocí la Tierra Armada® cuando me incorporé a Freyssinet en 1989, aunque desde fuera. En 1998, tuve la suerte de participar en el pequeño grupo encargado de elaborar la síntesis, el plan de marketing y técnico, de las ofertas de Terre Armée y Freyssisol en materia de suelo reforzado.

Fue extraordinario descubrir el nivel de competencias técnicas y conocimientos sobre la Tierra Armada®, el alcance de nuestro conocimiento sobre los mecanismos de corrosión y la gran cantidad de soluciones técnicas disponibles. Tuve el placer de conocer a Pierre Ségrestin, que además de un gran profesor es un magnífico historiador de la Tierra Armada®. Nos ayudó a entender las utilidades de la Tierra Armada®, los cálculos, las características técnicas de cada elemento (paramento, armadura y terraplén), las tecnologías que había desarrollado Terre Armée y su historia.

Cuando Terre Armée se incorporó al Grupo, las patentes iniciales ya eran de dominio público. La respuesta a esa situación pasaba por la búsqueda permanente de la excelencia en nuestro dominio, el cuidado de los detalles y la optimización para conservar el liderazgo. Y ha funcionado. El crecimiento casi lineal se basa en la evolución de la superficie de muros fabricados en todo el mundo.»

■ LA UNIÓN A FREYSSINET



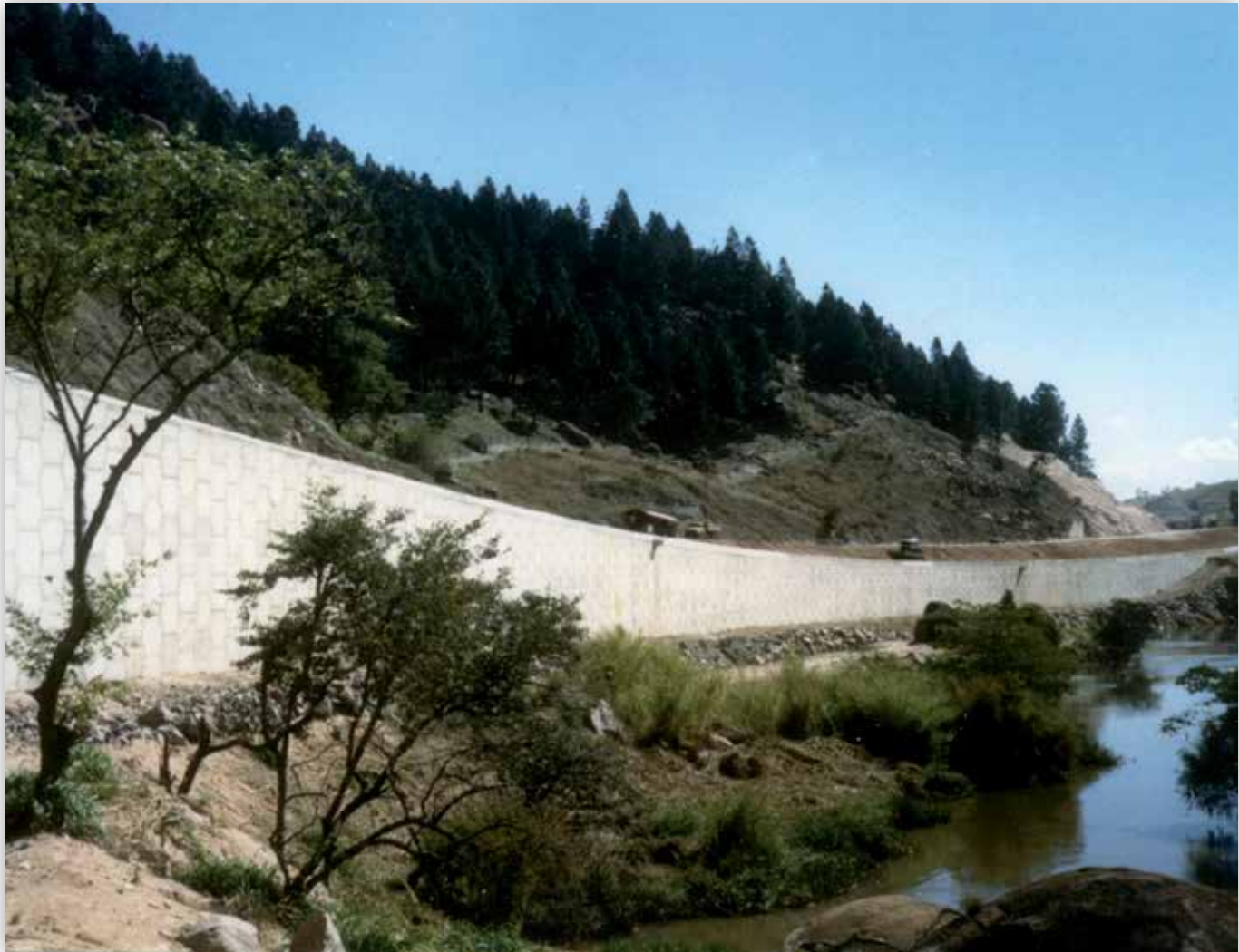
La adhesión a Freyssinet, que comenzó a principios de los noventa, fue el resultado del deseo de este Grupo de diversificarse. Freyssinet, una empresa reconocida y de gran prestigio, estaba centrada por aquel entonces en la explotación de las patentes de Eugène Freyssinet, su fundador. Había llegado la hora de ampliar su oferta y las especialidades del suelo eran un ámbito lógico de expansión. El nicho en

el que operaba Terre Armée era, como se dice en el mundo de los negocios, el objetivo ideal. Además, Freyssinet ya trabajaba con suelos reforzados, explorando la vía de las armaduras geosintéticas con la marca Freyssiisol.

freyssiisol

Tras un largo periodo de negociaciones, Freyssinet adquirió el Grupo Terre Armée Internationale en 1998. La integración de Terre Armée en esta filial del Grupo VINCI permitió unir las fuerzas de dos entidades francesas que, hasta entonces, habían competido entre sí.

Autovía cerca de Campinas (Brasil), 1993



TESTIMONIO

Arkadiusz Franków

Director de Freyssinet Polonia desde enero de 2015



«Empecé a trabajar con la Tierra Armada® en el año 2000. Mi especialidad son los puentes e hice realidad mi sueño cuando me incorporé a Freyssinet. Mi trabajo consistía en desarrollar el mercado de la Tierra Armada®, que gozaba del reconocimiento de las autoridades, sobre todo para estribos de puentes. Hoy mi función es promover la Tierra Armada® en Polonia y desarrollar nuevas actividades. Me encanta el espíritu de ayuda mutua que impera en el Grupo, el deseo de compartir experiencias. Medio siglo después de la invención de Henri Vidal, estoy seguro de que seguiremos liderando este sector a pesar de la competencia».

Proyecto para una nueva pista paralela, (Australia), 1993



Acceso al puente Maria Skłodowska Curie, Varsovia (Polonia)



TERRE ARMÉE, HOY Y MAÑANA

TERRE ARMÉE, QUE HOY ES LA FILIAL DEL GRUPO ESPECIALIZADA EN OBRAS PÚBLICAS, SIGUE SIENDO UNA EMPRESA FLEXIBLE Y ÁGIL. CONTINÚA INNOVANDO GRACIAS A LAS SINERGIAS CON EL RESTO DE LAS FIRMAS DE SOLETANCHE FREYSSINET. EL POTENCIAL DE LA TIERRA ARMADA DARÁ AÚN MUCHO DE QUE HABLAR EN EL FUTURO.

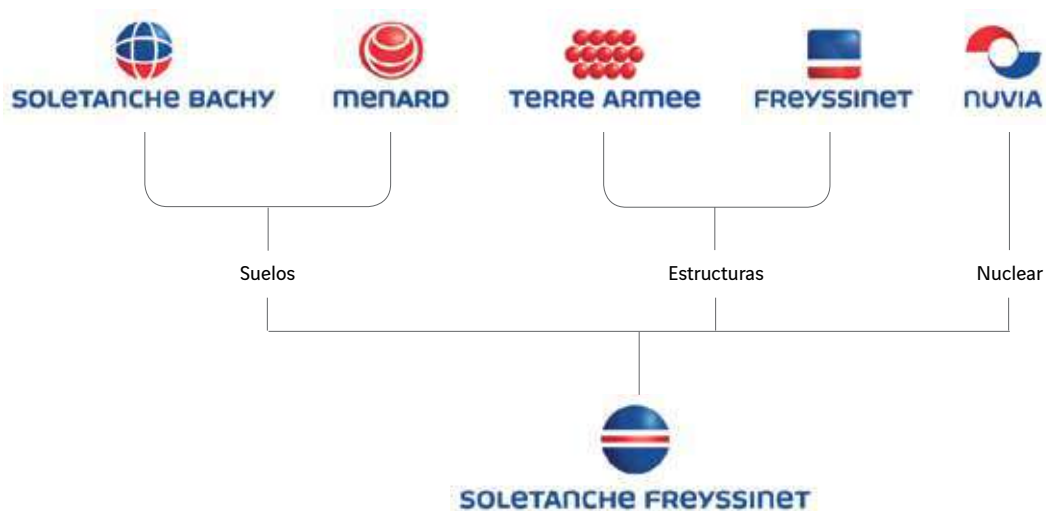


Bulevar
Discovery
(EE. UU.)

■ EL APOYO DE UN GRAN GRUPO

Después de que el Grupo VINCI (anteriormente, SGE) comprara la empresa Bachy/Soletanche en 2007, Soletanche se fusionó con Freyssinet. De ese modo, el 1 de enero de 2009 nació Soletanche Freyssinet. Este Grupo, que reúne las especialidades de VINCI Construction, está presente en un centenar de países de todos los continentes y tiene una plantilla de 20 000 trabajadores.

Terre Armée forma parte de la división de Estructuras de este Grupo, junto a Freyssinet, especialista en el diseño, la construcción y la rehabilitación de estructuras complejas, como los emblemáticos puentes atirantados. En la división de Suelos se dan cita Soletanche Bachy, centrada en los cimientos y tecnologías del suelo, y Menard, dedicada al refuerzo y la mejora de suelos. Todas estas empresas



TESTIMONIO

Bruno Dupety

Director internacional de VINCI Construction



«Terre Armée forma parte del Grupo VINCI, en concreto de VINCI Construction y su entramado de empresas especializadas en el sector, que se reúnen en Soletanche Freyssinet. En su seno, la Tierra Armada es un nicho de actividad que genera resultados positivos, desde hace mucho tiempo, gracias a un modelo específico basado en la ingeniería y la capacidad de suministro y asesoramiento técnico a las empresas generales.

Terre Armée tiene a sus espaldas una trayectoria de medio siglo, una experiencia que le da autoridad para replantearse las tecnologías existentes e innovar en busca de nuevas aplicaciones. Este enfoque ha dado frutos como la autorización para utilizar la Tierra Armada en las líneas férreas de Francia».



Ampliación de la mina de Veladero (Argentina), 2009

fueron fundadas por pioneros en sus campos, personas que con sus innovaciones dejaron huella en la historia de sus especialidades.

Gracias a su inigualable experiencia en el campo de la interacción entre suelos y estructuras y de los estribos de puentes, Terre Armée es capaz de sacar lo mejor de la sinergia con la actividad de Freyssinet, especialista en hormigón pretensado, y la de Menard, líder mundial en mejora del suelo.

■ TERRE ARMÉE Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Al igual que Freyssinet y Menard, Terre Armée trabaja dentro de una dinámica de crecimiento, innovación y respeto, así

como de anticipación y de preocupación por el desarrollo sostenible.

Philippe Héry*, director general delegado de Terre Armée, cuenta esta dimensión entre los puntos fuertes de la empresa y de su material, siempre a la vanguardia de la innovación: «La Tierra Armada® es una técnica que presenta numerosas ventajas: su flexibilidad de implantación, su capacidad para soportar asentamientos diferenciales, su adaptación a las zonas urbanas, en las que la disponibilidad de espacio es limitada, o su tolerancia a los seísmos. Además de poseer estas cualidades técnicas, la Tierra Armada® ha demostrado su espíritu arquitectónico, creando una gama muy diversificada de paramentos, y su potencial de integración medioambiental, en total sintonía con el principio actual de desarrollo sostenible».

Estadio de
duatlón de
Prémanon
(Francia)





NamYangJu
(Corea del
Sur)

Avenida
George Bush
(EE. UU.)



Hotel Pueblo
Bonito
(México)

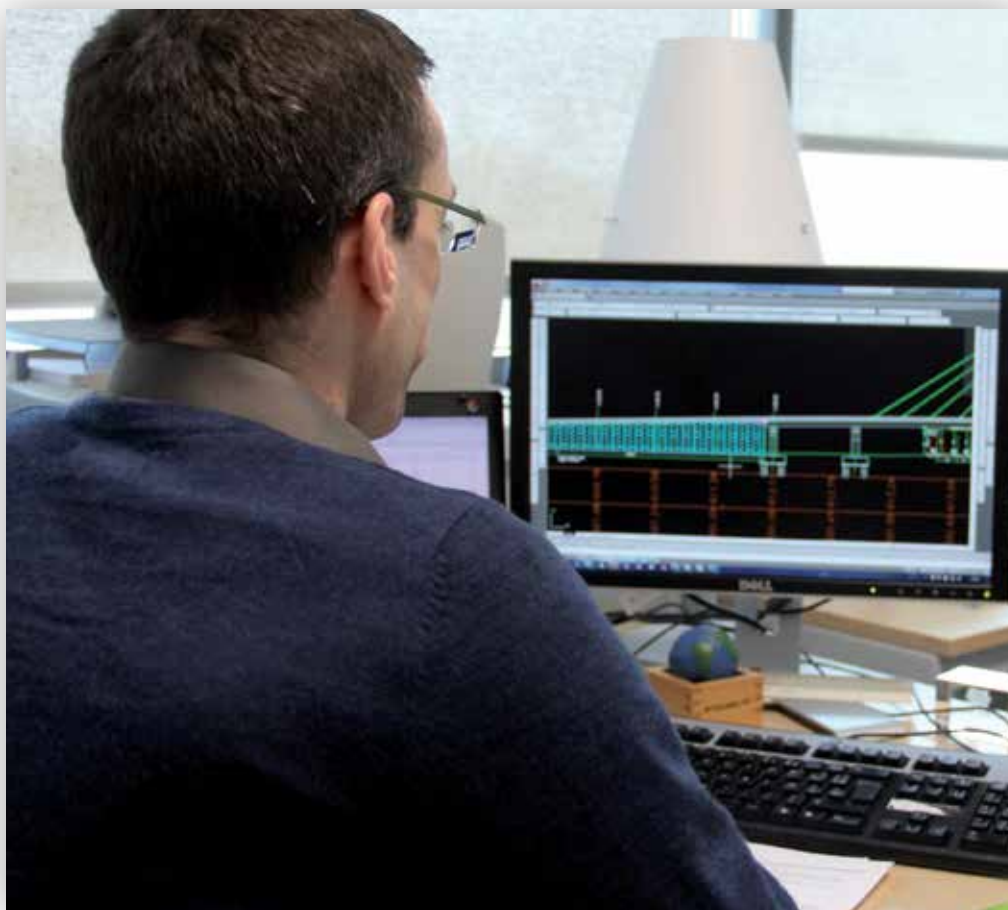
La integración paisajística de las estructuras representa un activo medioambiental innegable de los productos de Tierra Armada. La empresa produce numerosas variedades de paramento, además de los atemporales motivos cruciformes de TerraClass®, que pueden prefabricarse in situ con materiales que se integren con el paisaje.

Uno de los paramentos más originales, que se presentó en 1998, es el paramento de malla soldada TerraTrel®, que deja ver el material o se puede rellenar de vegetación, además de tolerar cierta pendiente. Esta técnica se puede usar para

todo tipo de aplicaciones paisajísticas o de recuperación de espacios, como escombreras o canteras al final de su vida útil.

Las estructuras de Tierra Armada® utilizadas para remodelar el paisaje son además muy respetuosas con el medio ambiente ya que limitan el empleo de hormigón y la consiguiente generación de gases de efecto invernadero. La integración de este aspecto medioambiental en las políticas de la empresa ha llevado a plantear la posibilidad de emplear terraplenes con elementos reciclados.

Oficina de proyectos de Terre Armée. Modelización de un proyecto con una herramienta DAO



Por lo general, es necesario hacer estudios geotécnicos previos para conocer las características del suelo. En función de estos datos y del pliego de condiciones de la obra (geometría y esfuerzos mecánicos), los estudios de diseño de la estructura determinarán si es necesario incluir cimientos y permitirán dimensionar la estructura teniendo en cuenta la naturaleza del terraplén. Todos los elementos suministrados se fabrican bien en las fábricas de Terre Armée, en el caso de los países que las tienen (Australia, España y los Estados Unidos), bien en las instalaciones de colaboradores seleccionados a los que se entregan los moldes, los planos y los pliegos de condiciones de prefabricación. Terre Armée también ofrece otros productos prefabricados en la zona.

■ INGENIERÍA Y EXPERIENCIA

Terre Armée, depositaria de un saber hacer y una experiencia únicas en su especialidad, atiende a las peticiones de propietarios, despachos de arquitectura especializados en ingeniería civil y oficinas de proyectos de empresas generales para participar en proyectos de todo el mundo.

Para poder responder a estas licitaciones, es necesario contar con cifras sobre el coste de realización de los proyectos. Es una de las tareas de las que se encargan los responsables de negocio de las empresas Terre Armée, junto con el seguimiento de los proyectos. La empresa participa en distintas fases de los proyectos de construcción: en los estudios de viabilidad, el diseño (estudios de fabricación y planos de construcción), el suministro de elementos prefabricados, armaduras y accesorios, el asesoramiento técnico durante el montaje y el control de la calidad de fabricación de las armaduras y los paramentos.

Los servicios de Terre Armée se extienden a toda la vida útil de las estructuras, con el fin de prolongar su duración, adaptarlas a requisitos concretos o rehacer los cálculos para satisfacer nuevas exigencias normativas.

Terre Armée, defensora de la ingeniería al servicio de sus clientes con una dilatada experiencia en todos los segmentos de actividad y una gran capacidad de innovación, se distingue de la competencia por ofrecer siempre soluciones innovadoras, fiables y de gran rendimiento.

La vigilancia en materia de seguridad es una parte esencial del servicio al cliente de Terre Armée. Como diseñadora especializada de un sistema técnico y debido a su deseo de mejorar la calidad en todas las etapas de la obra, Terre Armée garantiza el fomento de buenas prácticas de construcción mediante la divulgación de recomendaciones y procedimientos técnicos.

TESTIMONIO

Nicolas Freitag

Director Técnico y Científico, Terre Armée



«La innovación actual es una extensión de los inventos originales.

A pesar de su brillantez, los conceptos básicos desarrollados en la década de los sesenta están evolucionando. Queremos optimizar las estructuras y su diseño, combinar funciones e inventar nuevas aplicaciones de la interacción suelo-refuerzo, buscando siempre la originalidad que descubrimos hace 50 años.

En la actividad diaria de la Tierra Armada seguimos conservando aquel espíritu primigenio. Desde esta perspectiva, invertimos con el deseo de mejorar la durabilidad de las estructuras y la calidad del diseño, el dimensionamiento y la ejecución.

Innovamos en paralelo en diversos ámbitos: tecnologías, investigación fundamental y materiales. El aspecto tecnológico es otro de los pilares de nuestra innovación. Se trata de ir siempre por delante para desarrollar refuerzos de suelo y otros tipos de paramentos. En el plano de la investigación básica, hemos de reconsiderar los métodos de cálculo y justificación de las estructuras para optimizarlos. Finalmente, queremos ampliar el concepto de 'tierra' en tanto que material usado para la Tierra Armada. Los materiales de terraplenado se han convertido en una cuestión medioambiental básica debido a la creciente escasez de materiales granulares naturales que podemos usar para nuestras aplicaciones. Por tanto, debemos abrirnos a materiales alternativos, reciclados, tratados o totalmente artificiales. Es un desafío para nuestro futuro».

■ UNA INTENSA ACTIVIDAD DE I+D

Terre Armée mantiene una política de investigación y desarrollo internacional muy activa.

El objetivo es mejorar continuamente el servicio ofrecido a los clientes, proponiéndoles soluciones cada vez más fiables, económicas, respetuosas con el medio ambiente y de mejores resultados. Este esfuerzo constante de estudio de los materiales y los procedimientos se basa en la estrategia

de «compartir globalmente las experiencias locales», que ha sido el secreto del éxito de Terre Armée desde su fundación.

El núcleo del sistema de investigación y desarrollo de Terre Armée es el Departamento Técnico y Científico que, además del I+D, se encarga del asesoramiento técnico a las entidades operativas a través de una red de expertos extendida por todo el mundo. El Departamento Técnico y Científico ejerce una labor continua de seguimiento de las novedades tecnológicas, participa en proyectos científicos y desarrolla nuevas soluciones.

Muro instrumentado de Milville, Nueva Jersey (EE. UU.), 1983



Instrumentación del salto de carnero 1064 en la línea Sur-Europa-Atlántico, Francia

Ensayo de resistencia a un choque con un muro de contención de Tierra Armada® (GeoTrel).



TESTIMONIO

Yassine Bennani

*Ingeniero de Investigación y Desarrollo -
Dirección Técnica y Científica*



«Entré en Terre Armée en 2009 después de licenciarme como ingeniero geotécnico. Había descubierto la técnica de la Tierra Armada® en la Universidad de Bristol, donde estaba investigando en el campo del suelo reforzado con fibras de plástico. En aquella época conocí la aventura de Henri Vidal y de la Tierra Armada®.

Hoy soy experto en modelización de la Dirección Técnica y Científica y, como tal, me encargo de mejorar nuestros modelos y nuestros métodos de diseño. Además, desde este departamento brindamos asesoramiento técnico a las oficinas de proyectos del Grupo.

Así fue como diseñamos la Terre Composite®, durante un estudio para un muro de 23 m de alto en una mina de Chile. El muro tenía que soportar cargas de 720 toneladas en un entorno salino que impedía utilizar armaduras metálicas y en una región de gran sismicidad».



Proyecto conjunto de I+D de Terre Armée y Menard en Bass River, Nueva Jersey (EE. UU.)

Primera
estructura
con
conexiones
GeoMega
en Morzine
(Francia),
2005



■ INNOVACIÓN PERMANENTE

Las innovaciones surgen a menudo de problemas concretos a los que la técnica permite dar una solución adecuada. Por ejemplo, conocemos los problemas que plantean los medios agresivos (entorno marino, terraplenes con pH ácido, entornos con riesgo de contaminación, etc.). Para remediarlo, la Dirección Técnica y Científica de Tierra Armada ha perfeccionado un nuevo tipo de conexión, la GeoMega®, que elimina la necesidad de incluir estructuras metálicas entre la escama y la armadura sintética. Este sistema de anclaje para armaduras sintéticas, cuya forma recuerda a la letra griega que le da nombre, se fragua directamente en la escama durante la fase de prefabricación. Las conexiones GeoMega® protegen las armaduras sintéticas de cualquier contacto con el cemento de las escamas externas. Este sistema es compatible con cualquier tipo de escama de paramento y

ofrece la máxima resistencia de anclaje frente a desgarres. Las armaduras sintéticas que se instalan mediante enfilado en bucles se adaptan además a las especificaciones del proyecto: bandas GeoStrap® de poliéster o EcoStrap® de acetato de polivinilo (PVA). El sistema de conexión GeoMega® no sólo protege contra las agresiones químicas: también simplifica el proceso de montaje gracias a la prefabricación y a la reducción del número de piezas que hay que entregar en la obra.

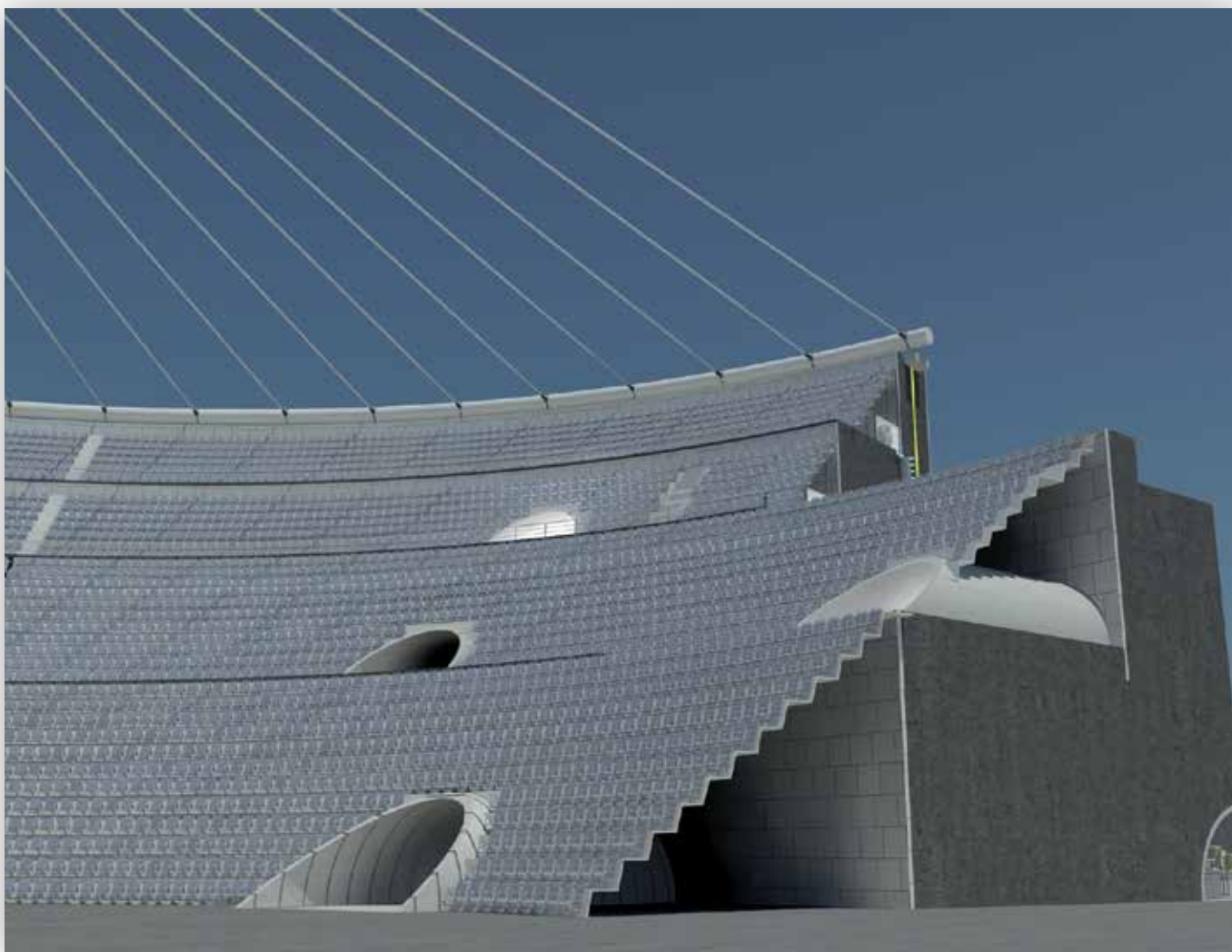
Mediante el procedimiento TerraLink®, Terre Armée permite la construcción de muros de Tierra Armada® conectados a estructuras ya existentes, como pendientes estabilizadas mediante pilotaje o muros de contención. De ese modo es posible usar estas aplicaciones en zonas de difícil acceso o en proyectos de ampliación de plataformas viales o ferroviarias, sin aumentar la ocupación del suelo.

En paralelo, se han desarrollado paramentos compresibles que se adaptan al asentamiento interno de los macizos de suelo reforzado, una innovación especialmente útil en las estructuras mineras de África. Los paramentos de malla soldada GeoTrel, que se conectan a armaduras sintéticas, completan la oferta.

El origen de Terre Composite® es un ejemplo perfecto del proceso de innovación en Terre Armée: el concepto diseñado por el Departamento Técnico y Científico de Terre Armée permitió a Freyssinet Tierra Armada Chile S.A. conseguir un importante contrato en el marco de la ampliación de la mina de Escondida, la mayor mina de extracción de cobre a cielo abierto del mundo, que se encuentra en el desierto de

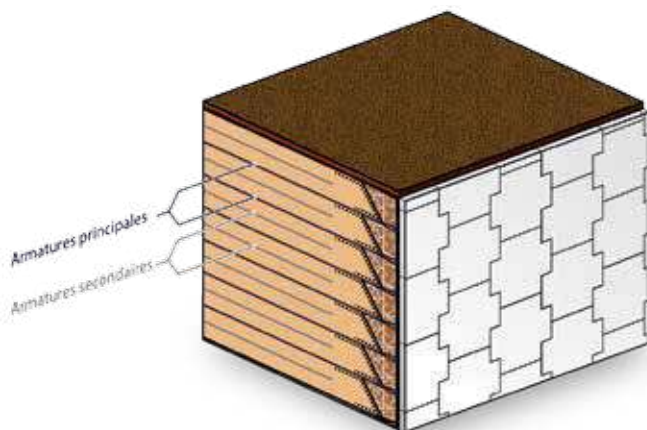


Conexión
GeoMega® -
modelización



Aplicación
de la Tierra
Armada® para
equipamientos
deportivos.
Estadios con
refrigeración

Terre Composite®: armaduras estructurales (conectadas) y no estructurales (sin conectar)



Atacama (Chile). En este procedimiento, la adición de capas de armaduras sintéticas no conectadas al paramento se traduce en un mejor control de las deformaciones, un aspecto de gran importancia en un contexto sísmico.

El uso de la Tierra Armada® como depósito de calor podría convertirse en una innovación revolucionaria.

El procedimiento, ya patentado, consiste en almacenar calorías o frigorías en el interior del suelo y transferirlas a una estructura adyacente según las necesidades. Podría servir, por ejemplo, para la climatización de estadios deportivos (ver la ilustración en 3D de la p. 61).

■ UN FUTURO PROMETEDOR

Los ámbitos tradicionales, tales como las aplicaciones viales o ferroviarias, han alcanzado su madurez en muchos países. En esta línea, la aceptación en Francia de la técnica de la Tierra Armada® para el proyecto de la línea de alta velocidad del sur de la Europa atlántica que une Tours con Burdeos constituye un logro que recompensa la perseverancia de los equipos de Terre Armée y consolida su posición internacional. Una de las claves del desarrollo de la empresa reside en la diversificación y en la sinergia con el resto de firmas del Grupo Soletanche Freyssinet. Esta colaboración que se inició cuando Freyssinet compró Terre Armée está destinada a seguir creciendo.

La línea de alta velocidad del sur de la Europa atlántica que une Tours y Burdeos (Francia)



TESTIMONIO

Philippe Héry

Director General Delegado de Terre Armée Internationale



«Durante los próximos años, Terre Armée va a desarrollarse siguiendo tres ejes principales.

En primer lugar, el Grupo va a seguir implicándose activamente en la diversificación de aplicaciones. Ahora, nos centramos principalmente en proyectos de carreteras y autovías. Creemos que debemos dirigir nuestro potencial cada vez más hacia aplicaciones como vías férreas, presas, diques, depósitos o actividades energéticas, siguiendo la línea que Terre Armée ha mantenido desde su creación.

El segundo eje se refiere al desarrollo geográfico.

Disfrutamos de una sólida presencia en Norteamérica, Europa, Australia y, cada vez más, en Sudamérica. Pero aún tenemos margen para evolucionar en África, adonde podríamos exportar la Tierra Armada® durante la próxima década, sobre todo a los países en vías de desarrollo. Además, aunque trabajamos en algunos países de Asia, especialmente en la India, Malasia y Corea del Sur, todavía queda trabajo por hacer en este continente. Rusia es otro de los territorios clave para el futuro.

Por último, Terre Armée está cada vez más interesada en las posibles colaboraciones con otras empresas del Grupo Soletanche Freyssinet. Ya hemos trabajado con Menard en algunas obras, pero nos gustaría tener la oportunidad de cooperar en nuevos proyectos con Soletanche Bachy, Freyssinet y Nuvia».

NUESTROS EQUIPOS DE TODO EL MUNDO



Reinforced Earth Sudáfrica



Reinforced Earth Australia - Sídney



Reinforced Earth Australia - Australia Occidental - West



Tierra Armada Chile - Sede central



Freyssinet Corea



Terre Armée Corporate



Terra Armata S.r.l Italia



Reinforced Earth Malasia Sdn Bhd



Freyssinet Polonia



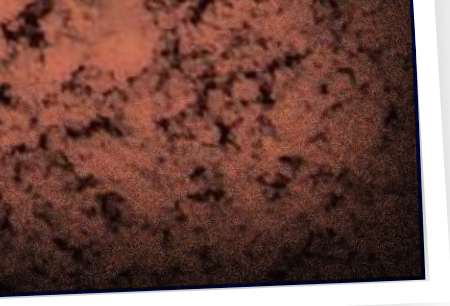
The Reinforced Earth Company EE. UU. - Región central



The Reinforced Earth Company EE. UU. - Oficina de Denver



The Reinforced Earth Company EE. UU. - Oficina de Florida



Reinforced Earth Australia - Albury - Sur



Reinforced Earth Australia- Queensland- Norte



Terra Armada Ltda. Brasil



Reinforced Earth Canadá



Terre Armée Francia



Reinforced Earth Pacific Ltd (Hong Kong)



Reinforced Earth Freyssinet Menard India



Freyssinet Tierra Armada de Panamá, S.A



Freyssinet Tierra Armada Perú



The Reinforced Earth Company EE. UU. - Oficina corporativa




The Reinforced Earth Company EE. UU. - Región sureste



The Reinforced Earth Company EE. UU. - Región suroeste



Reinforced Earth Reino Unido



La técnica de la Tierra Armada® se usa ampliamente en todo el mundo para todo tipo de aplicaciones en ámbitos tan diversos como las carreteras, el ferrocarril, la industria, la ingeniería civil y el agua. La Tierra Armada®, un material innovador, sólido y económico basado en un esfuerzo de investigación continua desde su creación, permite realizar estructuras tales como muros de contención, estribos de puentes, infraestructura de almacenamiento o muros de contención para protección, entre otras.

LAS APLICACIONES DE LA TIERRA ARMADA®



LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TIERRA ARMADA®

LA TÉCNICA DE LA TIERRA ARMADA® ES MUY FÁCIL DE PONER EN PRÁCTICA Y PERMITE MÚLTIPLES APLICACIONES EN DISTINTOS CAMPOS DE LA INGENIERÍA CIVIL.



Las estructuras de Tierra Armada® combinan un terraplén granular seleccionado con resistentes armaduras geosintéticas o de acero y un sistema de paramento modular que, por lo general, está elaborado con escamas de hormigón prefabricado, mallas soldadas o escamas semielípticas de acero.

Esta combinación única en su género crea una estructura de contención duradera que, además de su propio peso, es capaz de soportar las notables cargas estáticas y dinámicas provocadas por los esfuerzos exteriores a los que está sometida la estructura.

Gracias al elevado nivel de fricción generado por el contacto entre la tierra y la armadura, esta combinación de terraplenes granulares y armaduras convenientemente

repartidas dio lugar al nacimiento de la Tierra Armada®, un material original con numerosas ventajas:

- Elevada resistencia a los esfuerzos estáticos y dinámicos.
- Flexibilidad de los macizos, que se adaptan bien a las deformaciones del suelo subyacente.
- Aplicación fácil y rápida.
- Ahorros importantes.

Las armaduras, que consisten en planchas dentadas de acero galvanizado o bandas geosintéticas, se disponen en capas horizontales con una separación de unos 80 cm. Se fijan al paramento mediante un conector metálico o sintético.

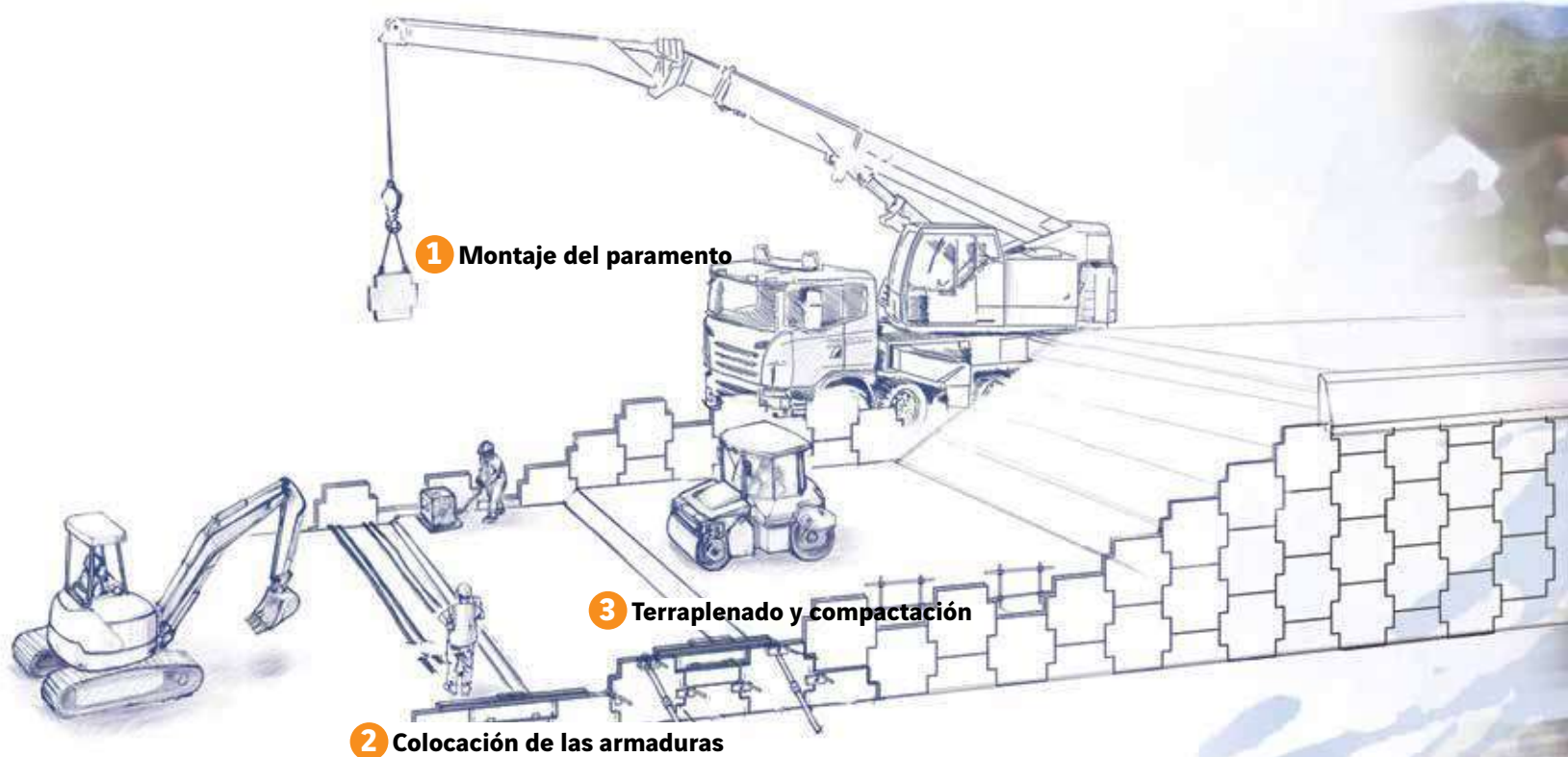
A continuación se forma un revestimiento vertical de escamas prefabricadas de hormigón separadas por juntas que garantizan la flexibilidad necesaria para el buen funcionamiento de la Tierra Armada®. Estas escamas, conectadas a las armaduras, están además encajadas unas a otras. Esta técnica facilita el montaje y asegura la continuidad del paramento en caso de que se produzca un asentamiento importante del subsuelo.



LAS GRANDES ETAPAS DE UN PROYECTO EN TIERRA ARMADA®

LA PARTE MÁS IMPORTANTE DEL TRABAJO DE LOS EQUIPOS DE TERRE ARMÉE TIENE LUGAR ANTES DE LA OBRA, EN LAS OFICINAS DE PROYECTOS. LA SIMPLICIDAD Y RAPIDEZ DEL MONTAJE DE LAS ESTRUCTURAS DE TIERRA ARMADA® SE DEBE, SOBRE TODO, A QUE NO REQUIEREN ANDAMIOS NI MAQUINARIA PESADA. CADA ESCAMA SE ENCAJA AUTOMÁTICAMENTE EN EL HUECO QUE FORMAN LOS ELEMENTOS YA INSTALADOS.

UN PROYECTO DE TIERRA ARMADA® SE PUEDE DIVIDIR EN TRES TAREAS PRINCIPALES.



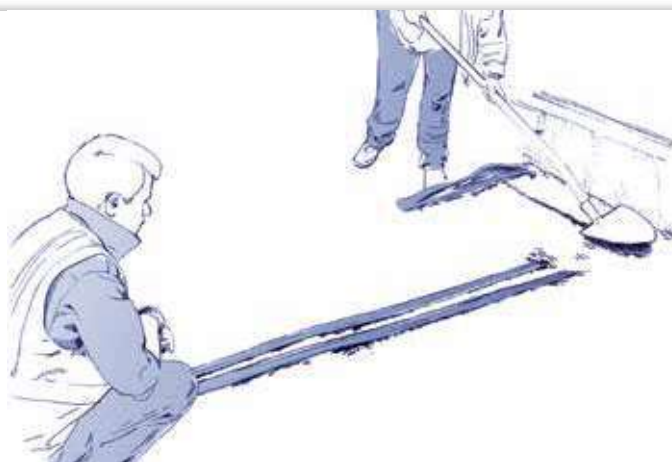
1 Montaje del paramento

Después de colocar una primera fila de escamas con ayuda de una plantilla de ajuste de hormigón lisa y bien nivelada para garantizar un correcto posicionamiento inicial, se van montando las escamas superiores a medida que va creciendo el terraplén. Su verticalidad se asegura con cuñas provisionales y sargentos.



2 Colocación de las armaduras

Las capas de armaduras se espacian entre 70 y 80 cm, distancia que corresponde normalmente al doble del espesor de las capas de terraplén. Se colocan sobre la capa de terraplén compactado y se unen a las escamas del paramento mediante pernos en el caso de las armaduras de acero. Si se usan armaduras sintéticas, se procede a su enfilado en vainas empotradas en el paramento.



3 Terraplenado y compactación

El terraplén se coloca en capas de entre 30 y 40 cm de espesor y se compacta con el equipo adecuado. Hay que evitar el paso directo de la maquinaria sobre las armaduras e impedir la circulación de maquinaria pesada a menos de 1,50 m de las escamas, ya que podrían interferir en su verticalidad.





APLICACIONES EN CARRETERAS Y AUTOVÍAS

DESDE SU INVENCIÓN, LA TIERRA ARMADA® SE HA USADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS PARA CARRETERAS, AUTOVÍAS Y ESTRIBOS DE PUENTES.

La construcción de carreteras, autovías y estribos de puentes implica a menudo atravesar zonas geográficas accidentadas y pasar sobre suelos mediocres o pendientes inestables.

La técnica de la Tierra Armada® logra estabilizar el trazado de estas estructuras, sobre todo cuando se trata de edificar macizos de contención, taludes estables, muros sobre suelos de poca calidad o estructuras en laderas rocosas o sobre pendientes inestables. Por eso se ha usado ampliamente durante el último medio siglo para la construcción de carreteras y autovías en entornos urbanos, suburbanos, costeros o montañosos.

La Tierra Armada® posibilitó, en un primer momento, la construcción de muros de contención de uno o varios niveles junto a las vías de circulación, para protegerlas de los desprendimientos. Pero ya se usa para construir otras muchas estructuras viarias:

- Rampas de acceso a viaductos
- Intersecciones complejas de varios niveles
- Estructuras en relieves accidentados
- Ampliaciones de carreteras
- Estribos de puentes

Imagen de fondo: Circunvalación de Mbabane (Suazilandia)

Autovía I-95, Sterling Boulevard, condado de Broward, Florida (EE. UU.)



Paso elevado para animales de Banff, Alberta (Canadá)



Ronda de Ballina (Australia)



Autovía A89 (Francia)





APLICACIONES EN CARRETERAS Y AUTOVÍAS

Imagen de fondo: Autovía entre Dinmore y Goodna (Australia)

ESTRIBOS DE PUENTES

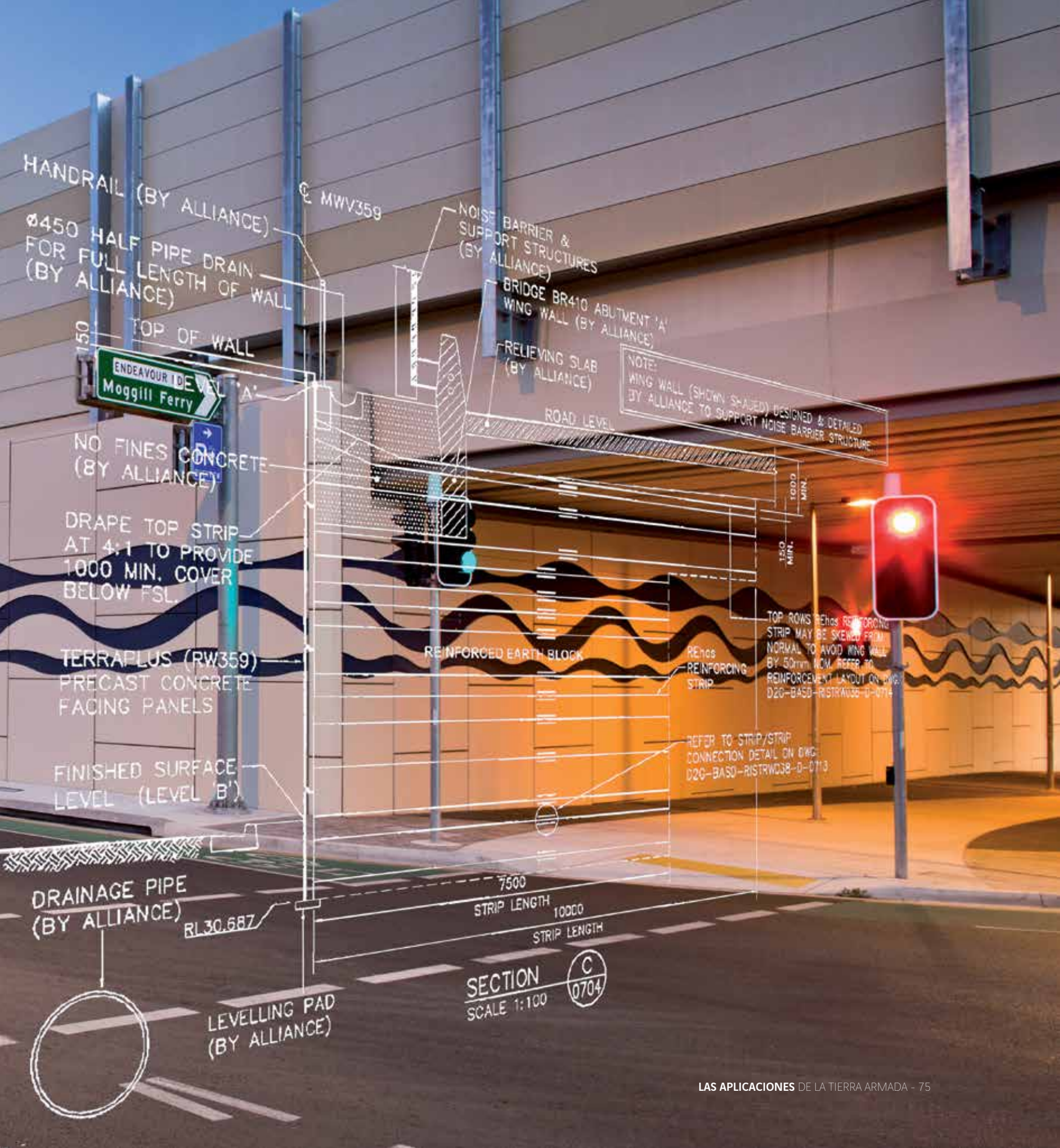
La construcción de muros de gran altura o sometidos a fuertes cargas hizo posible la rápida extensión del uso de la Tierra Armada® a los macizos de estribos que sustentan directamente tableros de puentes. Estas estructuras se sitúan en los extremos del puente y son un ejemplo perfecto de las excepcionales características de esta técnica.

Aunque el principio de funcionamiento de la Tierra Armada® es el mismo, las cargas y las tensiones que han de soportar estas estructuras son muy elevadas. Gracias a la flexibilidad de la Tierra Armada® es posible construir estribos de puentes sobre terrenos compresibles sin cimientos profundos.

La Tierra Armada® presenta varias ventajas para este tipo de construcciones.

Son muchos los puentes cuya parte central se sustenta directamente en un macizo de suelo reforzado sin necesidad de recurrir a la colocación de pilas y pilotes. Estos estribos portantes constituyen una solución perfecta cuando el suelo de cimentación es compresible. En este caso la Tierra Armada® se puede combinar con distintas técnicas para estabilizar el conjunto de la estructura, una opción que resulta muy eficaz y económica.

Los estribos integrales de Tierra Armada® eliminan la necesidad de usar apoyos y juntas de dilatación estructurales, lo que reduce considerablemente los costes de explotación y mantenimiento de las estructuras.



HANDRAIL (BY ALLIANCE)

Ø450 HALF PIPE DRAIN FOR FULL LENGTH OF WALL (BY ALLIANCE)

TOP OF WALL

ENDEAVOUR DEVEL
Moggill Ferry

NO FINES CONCRETE (BY ALLIANCE)

DRAPE TOP STRIP AT 4:1 TO PROVIDE 1000 MIN. COVER BELOW FSL

TERRAPLUS (RW359) PRECAST CONCRETE FACING PANELS

FINISHED SURFACE LEVEL (LEVEL 'B')

DRAINAGE PIPE (BY ALLIANCE)

LEVELLING PAD (BY ALLIANCE)

MWV359

NOISE BARRIER & SUPPORT STRUCTURES (BY ALLIANCE)

BRIDGE BR410 ABUTMENT 'A' WING WALL (BY ALLIANCE)

RELIEVING SLAB (BY ALLIANCE)

NOTE: WING WALL (SHOWN SHADED) DESIGNED & DETAILED BY ALLIANCE TO SUPPORT NOISE BARRIER STRUCTURE

ROAD LEVEL

1000 MIN.
150 MIN.

REINFORCED EARTH BLOCK

REHcs REINFORCING STRIP

TOP ROWS REHcs REINFORCING STRIP MAY BE SKIPPED FROM NORMAL TO AVOID HING WALL BY 50mm NOM. REFER TO REINFORCEMENT LAYOUT ON DWG: D20-BAS0-RISTRW038-D-0714

REFER TO STRIP/STRIP CONNECTION DETAIL ON DWG: D20-BAS0-RISTRW038-D-0713

7500
STRIP LENGTH
10000
STRIP LENGTH

SECTION C
SCALE 1:100
0704



APLICACIONES EN CARRETERAS Y AUTOVÍAS

Imagen de fondo: Cruce de la US
277 con la SH 266, Texas (EE. UU.)





Muro de Sveta Trojica (Croacia). A 1 km al oeste de la ciudad de Križišće se encuentra la imponente estructura de Tierra Armada® de Sveta Trojica: un muro de tres niveles con una altura máxima de 34 m y una longitud de 375 m. La superficie total alcanza los 11 170 m².



Muro de contención de Strikici (Croacia). Construcción de una contención de gran altura en el enlace con la autovía Zagreb-Split-Dubrovnik para posibilitar el paso de la vía por el flanco de una ladera. El muro presenta una superficie de casi 8500 m² y una altura total de 27,50 m.



APLICACIONES FERROVIARIAS

COMO DEMUESTRAN SUS NUMEROSAS APLICACIONES, LA TIERRA ARMADA® ES UN MATERIAL PERFECTAMENTE ADAPTADO AL ÁMBITO FERROVIARIO, INCLUIDAS LAS ESTRUCTURAS CON LAS QUE SE EQUIPAN LAS LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD.

Las estructuras de contención próximas a las vías ferroviarias han de absorber totalmente las vibraciones provocadas por el paso de los trenes y ser capaces de soportar las fuertes tensiones derivadas de las aceleraciones y desaceleraciones.

La técnica de la Tierra Armada® se adapta a estas características del sector ferroviario. Se puede usar tanto para las estructuras que flanquean las vías como para las de contención.

Para estas aplicaciones se recurre a la misma tecnología que la utilizada en las carreteras. No obstante, se adapta específicamente el diseño para resolver algunas exigencias muy estrictas, sobre todo en el caso de las líneas de alta de velocidad y de aquellas con un intenso tráfico de mercancías.

Las estructuras que bordean las vías no precisan cimientos específicos, pero sí un espacio mínimo de construcción y la capacidad de adaptarse a los giros y las curvas del trazado. Su construcción tiene un impacto muy bajo en el tráfico ferroviario.

Para ampliar los terraplenes ferroviarios también se pueden utilizar estructuras de Tierra Armada® construidas a lo largo del terraplén antiguo o sobre este.

La Tierra Armada® brinda a las compañías y los ingenieros ferroviarios múltiples ventajas que a menudo se revelan decisivas:

- Una gran resistencia a las fuerzas estáticas, a las vibraciones y a los seísmos.
- La inusitada vida útil y la facilidad de inspección de los materiales.
- La flexibilidad de las soluciones, que se adaptan a la perfección a las condiciones geotécnicas, medioambientales y arquitectónicas del proyecto.
- Su bajo impacto gracias a la rapidez de construcción, la ocupación mínima del suelo, la reducción de los cortes de circulación y la escasa huella medioambiental.

Imagen de fondo: Línea de alta velocidad (LGV) del sur de la Europa atlántica (SEA), entre Tours y Burdeos (Francia) © Pascal Doaré

Vía ferroviaria de la BNSF, Texas (EE. UU.)



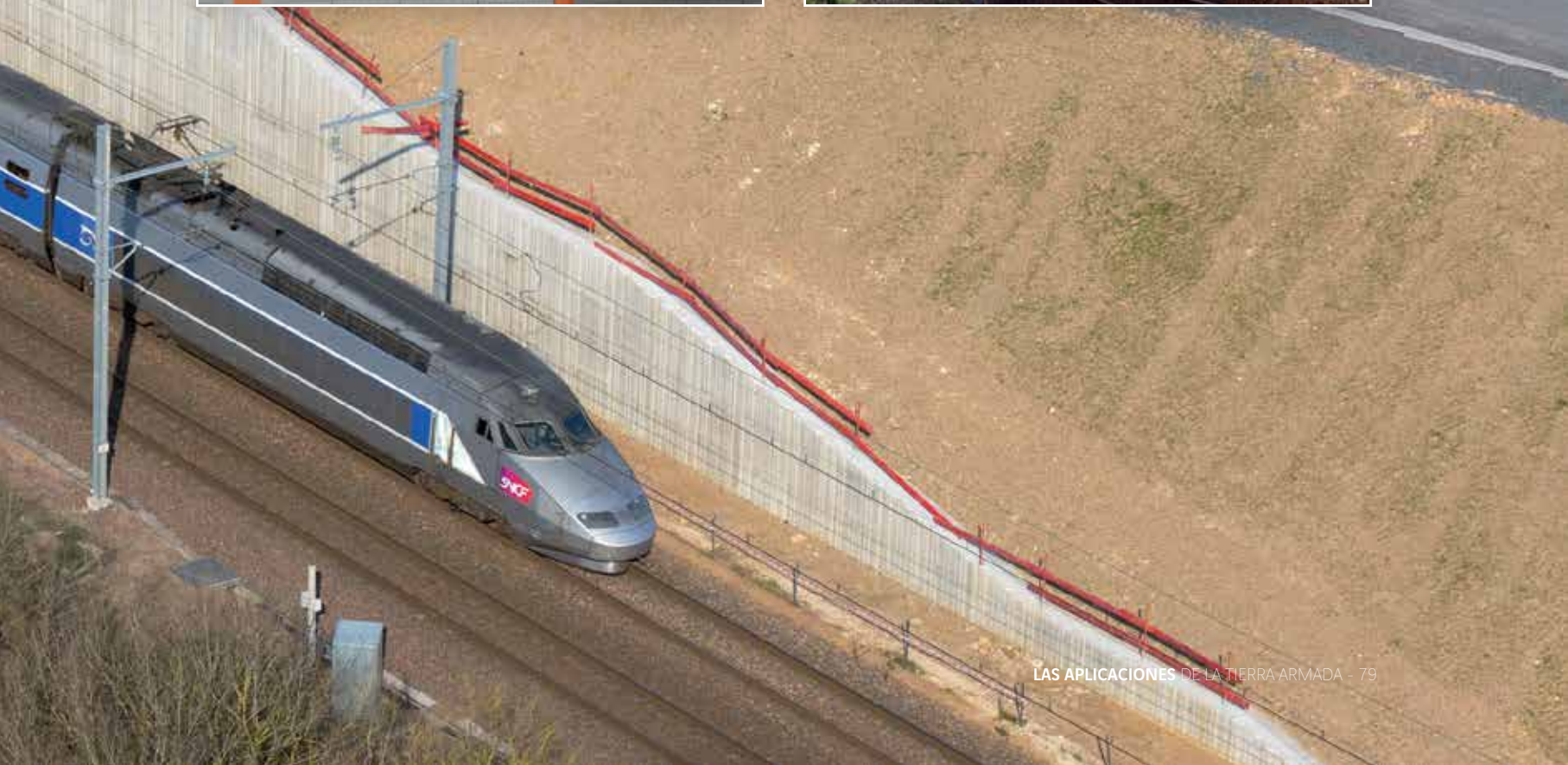
Metro Gold Coast (Australia)



Metro Charlotte Area Transit System (CATS), Charlotte, Carolina del Norte (EE. UU.)



Estribos portantes, Saint-Étienne de Montluc (Francia)





APLICACIONES FERROVIARIAS

Imagen de fondo: Línea de alta velocidad de Kyung Bu, Okcheon, Chungcheongdo (Corea del Sur)



Terminal del túnel bajo el Canal de la Mancha, Reino Unido. En la terminal de Folkestone del túnel que pasa bajo el Canal de la Mancha se han construido tres grandes estructuras de Tierra Armada®. Son las primeras estructuras de Tierra Armada® construidas para sustentar una línea ferroviaria importante en el Reino Unido. La más grande alcanza los 14 m de alto y tiene una superficie de más de 5000 m².



APLICACIONES AEROPORTUARIAS

LA TIERRA ARMADA® SE ADAPTA A LA PERFECCIÓN A LAS INSTALACIONES AEROPORTUARIAS, EN LAS QUE SE MULTIPLICAN LAS EXIGENCIAS TÉCNICAS: CARGAS CONSIDERABLES, MUROS DE GRAN ALTURA Y NECESIDAD DE INSTALACIÓN RÁPIDA PARA MANTENER LA EXPLOTACIÓN EN FUNCIONAMIENTO.

Son muchos los muros de contención de Tierra Armada® que flanquean las vías de acceso a los aeropuertos desde núcleos urbanos. Los paramentos arquitectónicos son especialmente adecuados para estas infraestructuras ya que ofrecen a los viajeros una imagen moderna y agradable.

Dentro de los aeródromos también resultan muy útiles las cualidades constructivas excepcionales de la Tierra Armada®, sobre todo para construir nuevas pistas en aeropuertos en funcionamiento. El constante aumento del tráfico aéreo internacional hace que los proyectos de ampliación de aeropuertos sean frecuentes.

Estas obras implican a menudo elevar el terreno con estructuras de contención capaces de soportar las colosales cargas que se producen durante los despegues y aterrizajes de aviones, que son cada vez mayores. La técnica de la Tierra Armada® resulta perfecta en un contexto tan exigente. Es económica, ofrece la instalación rápida y presenta cualidades mecánicas y estéticas, por lo que es una solución muy ventajosa para este tipo de infraestructuras.

Imagen de fondo: Aeropuerto de Fort Lauderdale (EE. UU.)

Aeroporto de São Paulo (Brasil)



Aeroporto de Detroit (EE. UU.)



Rampas de acceso al aeropuerto de New Doha (Qatar)



Terminal del aeropuerto de Carrasco (Uruguay)



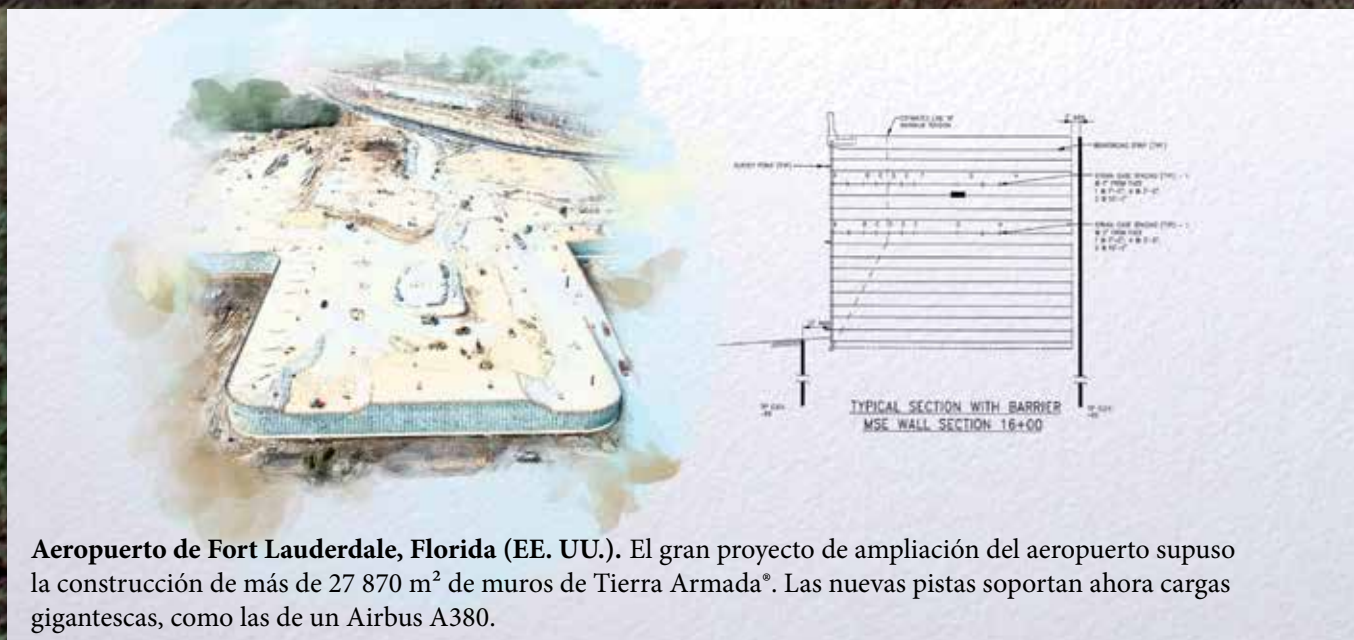
Aeroporto de Atlanta (EE. UU.)





APLICACIONES AEROPORTUARIAS

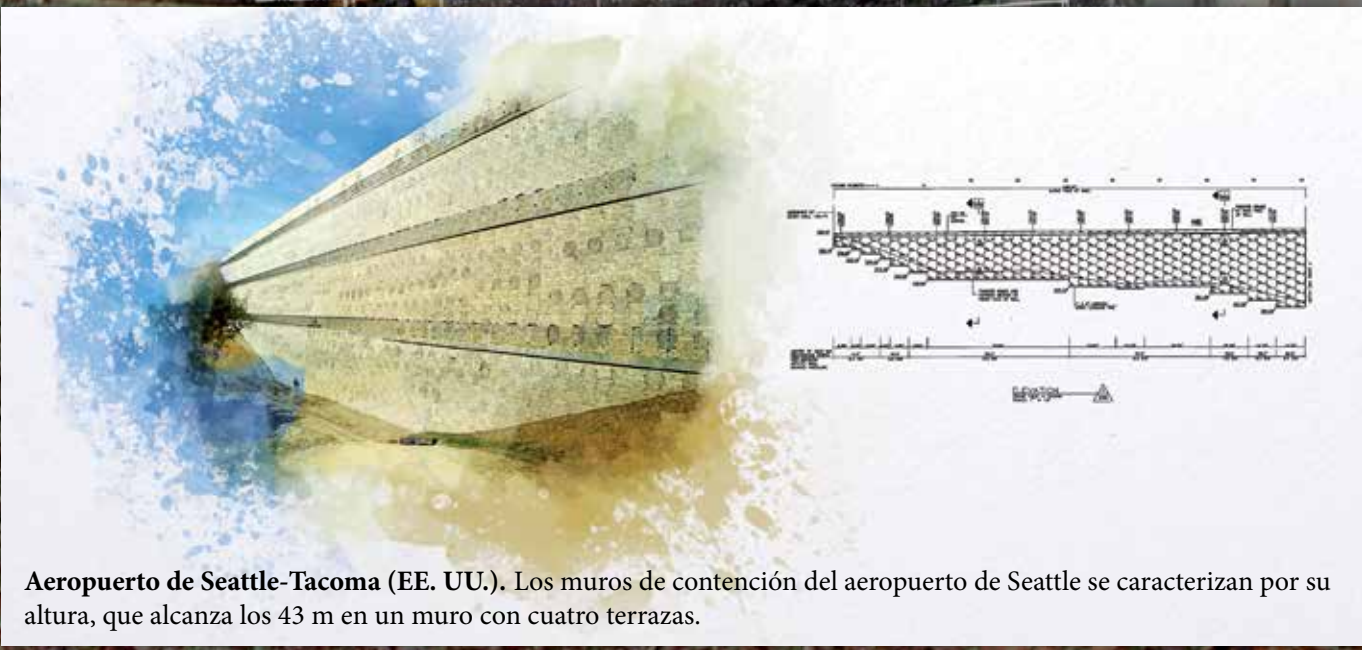
Imagen de fondo: Rampas de acceso al aeropuerto de Bangalore (India)



TYPICAL CROSS SECTION AT CHAINAGE - 1210
 (SECTION AT HYDERABAD & SEMIDIRECT RAMP)



(LEFT HAND SIDE WALL - HYDRABAD LOOP)



Aeropuerto de Seattle-Tacoma (EE. UU.). Los muros de contención del aeropuerto de Seattle se caracterizan por su altura, que alcanza los 43 m en un muro con cuatro terrazas.



APLICACIONES HIDRÁULICAS

LA TIERRA ARMADA® SE HA USADO PARA CONSTRUIR NUMEROSAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN TODO EL MUNDO: MUROS DE CONTENCIÓN PARA CARRETERAS COSTERAS O JUNTO A RÍOS, MUELLES, DIQUES, PRESAS, VERTEDEROS O EMBALSES.

El diseño de las estructuras hidráulicas sigue fundamentalmente los mismos principios que las construcciones en tierra. Sin embargo, la presencia de agua dulce o salada requiere algunas precauciones específicas para el drenaje y la elección de determinados materiales para las estructuras.

La construcción de este tipo de obras con Tierra Armada® precisa, ante todo, el uso de un relleno en perfectas condiciones bajo el paramento. Por eso es necesario construir una zapata asentada directamente sobre la roca, si la hay, o sobre un lecho de gran grosor de material drenante. La protección del pie de la estructura se completa generalmente con gaviones o escolleras de tamaño adecuado.

Si las estructuras de contención que bordean a la costa o el cauce fluvial pueden construirse en seco, se aplica directamente la técnica habitual de construcción de

estructuras con Tierra Armada®. En esos casos, se aprovecha el período de mínimo nivel del agua para instalar los cimientos y las primeras filas de escamas. En la costa, esas primeras fases de construcción se efectúan con la marea baja.

Las estructuras hidráulicas son un ejemplo perfecto de la capacidad adaptación de la técnica de la Tierra Armada®, ya que se pueden considerar distintas soluciones en función de la naturaleza de la obra.

La estanqueidad es un factor clave para este tipo de construcciones. Las estructuras deben tener una gran capacidad de drenaje para hacer frente a las mareas o a las descargas rápidas, mientras que los embalses y las presas requieren una excelente estanqueidad en las caras anterior y posterior, algo que se puede lograr aplicando membranas adaptadas.

Imagen de fondo: Muro de contención,
Saint-Herblain (Francia)



Swansea
(Reino Unido)

Lago Lenexa,
Kansas (EE. UU.)



Puerto deportivo
de Leitrim
(Irlanda)





APLICACIONES HIDRÁULICAS

Imagen de fondo: Depósitos de agua de Trekkopje (Namibia)



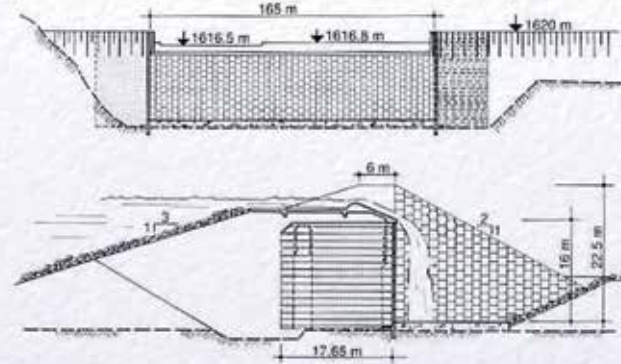
Carretera del litoral (Isla de Reunión). Terre Armée ha construido 12 km de muros costeros (con un total de 72.000 m² de paramentos) en la carretera litoral que une las ciudades de Saint Denis y Saint Pierre en la isla de Reunión. Esta estructura se levanta frente al océano Índico en una región en la que son frecuentes los ciclones tropicales violentos. Se ha instalado una protección completa frente al ataque del oleaje.



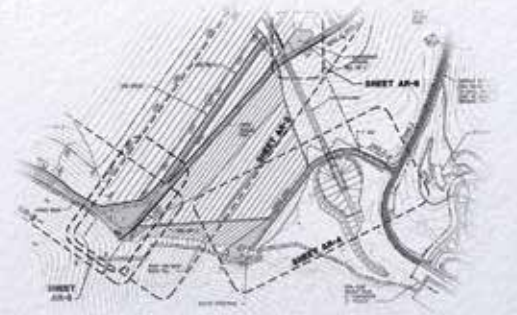


APLICACIONES HIDRÁULICAS

Imagen de fondo: Presa de Los Vaqueros, California (EE. UU.)



Presa de Taylor Draw (EE. UU.). Una estructura de vertedero con una altura de 16,5 m y una longitud de 165 m en el río Colorado. La presa acumula un volumen de agua de 17 millones de metros cúbicos.



Presa de Los Vaqueros, California (EE. UU.). La ampliación de esta importante reserva de agua fue posible gracias al uso de muros de Tierra Armada® con armaduras geosintéticas.



APLICACIONES MINERAS

LAS APLICACIONES MINERAS DAN LA POSIBILIDAD DE EXPLOTAR TODA LA FLEXIBILIDAD DE LA TIERRA ARMADA® EN CUANTO A GEOMETRÍA, ALTURA Y CONDICIONES DE CARGA.

El sector minero requiere operaciones como la construcción de estructuras de gran tamaño, el terraplenado de extensiones a veces inmensas, la realización de paredes de formas variables o la estabilización de terrenos.

Gracias a la polivalencia de la Tierra Armada® y, en especial, a las distintas técnicas de paramento, es posible satisfacer los requisitos específicos de este tipo de estructuras. Su amplia gama permite conseguir la geometría necesaria (inclinación del frente, alineación rectilínea o curva) mediante escamas de hormigón, de acero semielípticas o mallas soldadas. La elección del paramento también depende de la vida útil de la estructura y de factores como la ubicación de la obra.

La Tierra Armada® posibilita la construcción de muelles de descarga muy elevados, de los más altos del mundo, además de otras estructuras como:

- Silos de almacenamiento y tolvas de recuperación de carbón o mineral de hierro.
- Unidades de alimentación.
- Muros de sostenimiento de retención.
- Pasos elevados.
- Escombreras.
- Recintos de confinamiento de polvo en las instalaciones de almacenamiento.

Imagen de fondo: Mina de Sino
(Australia)

Mina de
Escondida
(Chile)



Mina de
New Acland
(Australia)



Muro de
contención,
desierto de Gobi
(Mongolia)



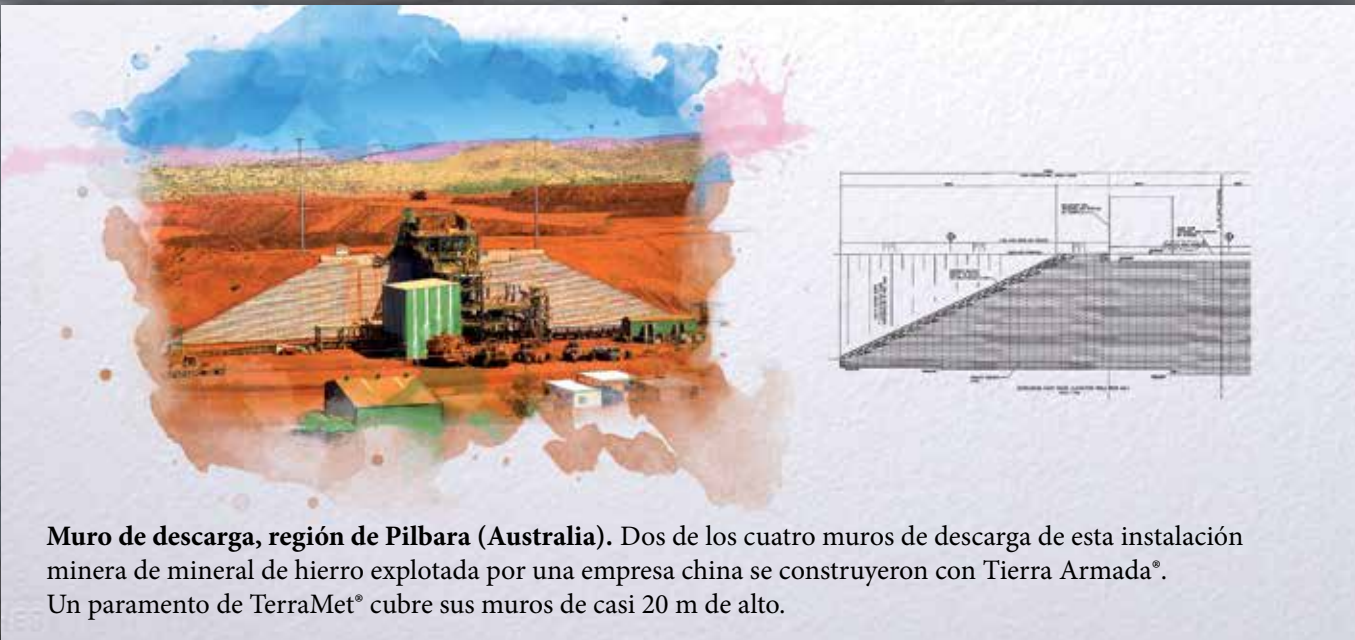
Mina de
Ambatovy
(Madagascar)



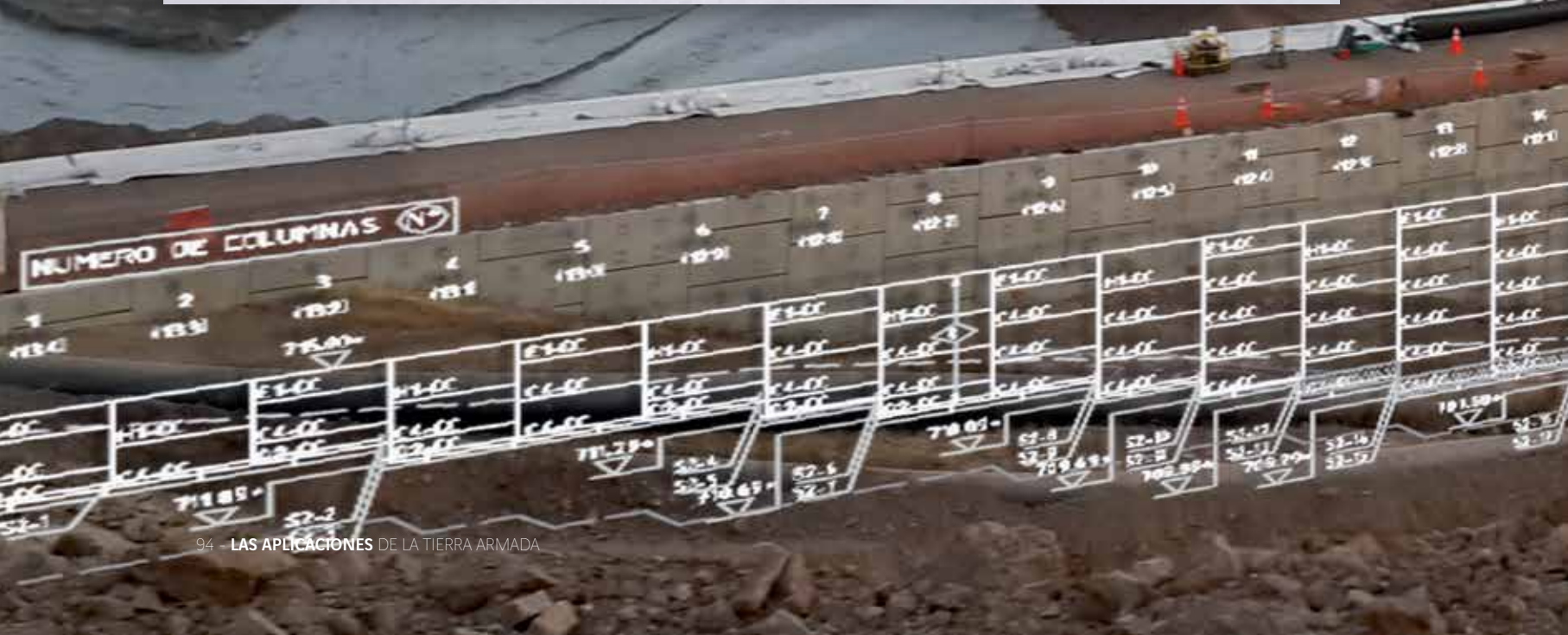


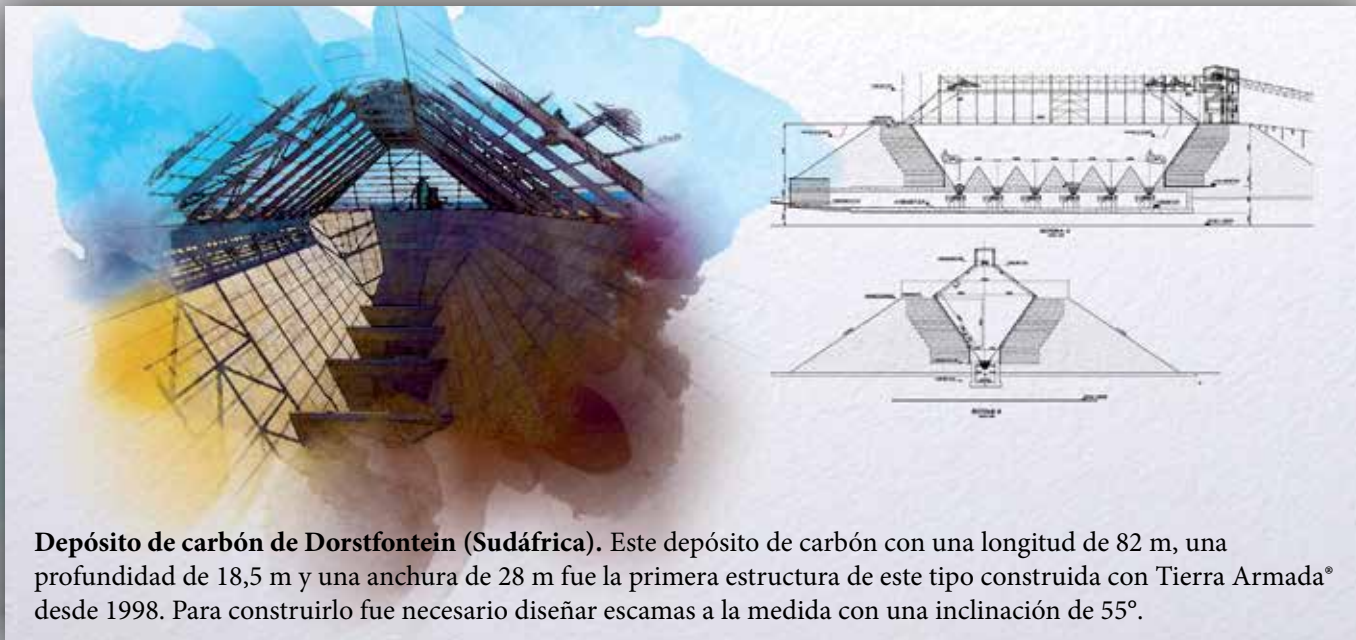
APLICACIONES MINERAS

Imagen de fondo:
Escombreras de la mina
Las Tórtolas (Chile)

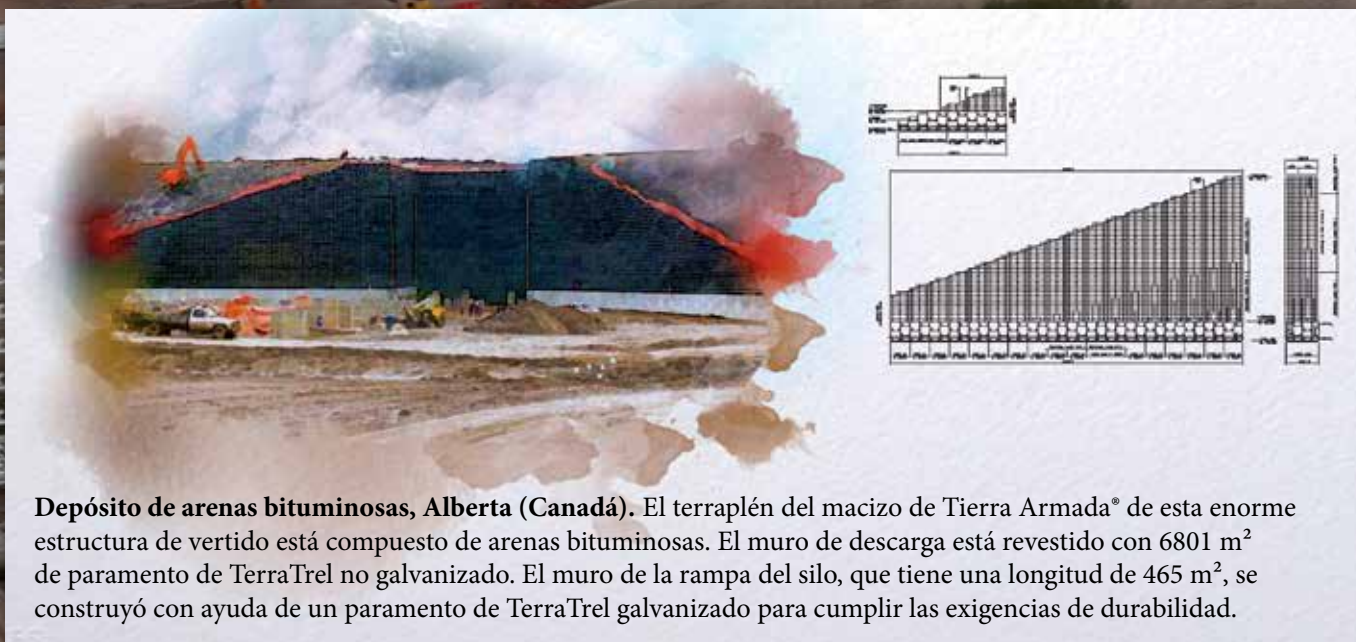


Muro de descarga, región de Pilbara (Australia). Dos de los cuatro muros de descarga de esta instalación minera de mineral de hierro explotada por una empresa china se construyeron con Tierra Armada®. Un paramento de TerraMet® cubre sus muros de casi 20 m de alto.





Depósito de carbón de Dorstfontein (Sudáfrica). Este depósito de carbón con una longitud de 82 m, una profundidad de 18,5 m y una anchura de 28 m fue la primera estructura de este tipo construida con Tierra Armada® desde 1998. Para construirlo fue necesario diseñar escamas a la medida con una inclinación de 55°.



Depósito de arenas bituminosas, Alberta (Canadá). El terraplén del macizo de Tierra Armada® de esta enorme estructura de vertido está compuesto de arenas bituminosas. El muro de descarga está revestido con 6801 m² de paramento de TerraTrel no galvanizado. El muro de la rampa del silo, que tiene una longitud de 465 m², se construyó con ayuda de un paramento de TerraTrel galvanizado para cumplir las exigencias de durabilidad.



APLICACIONES INDUSTRIALES Y ENERGÉTICAS

LAS CUALIDADES DE LA TIERRA ARMADA® EN CUANTO A FUERZA, RESISTENCIA AL FUEGO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA LE HAN ABIERTO LAS PUERTAS DE LAS APLICACIONES INDUSTRIALES Y ENERGÉTICAS.

Las estructuras del ámbito industrial y energético deben soportar cargas elevadas (equipos y maquinaria pesada), vibraciones (triturado y cribado), variaciones térmicas (incendios accidentales) y absorber adecuadamente los choques (explosiones e impactos).

La Tierra Armada® es la solución más adecuada para estas necesidades. Su excelente capacidad de adaptación le permite, sean cuales sean la altura y el aspecto deseado (escamas de hormigón, revestimientos metálicos o parlamentos de malla), amoldarse a las limitaciones debidas a la forma (inclinación de las paredes o formas rectilíneas

o circulares). Además de los muros de contención clásicos para estabilizar el terreno, se han desarrollado soluciones específicas para la construcción de silos de almacenamiento de carbón o mineral y muros de descarga para estaciones de cribado y triturado.

La seguridad es un aspecto esencial en estas instalaciones. Para garantizarla se construyen estructuras de Tierra Armada capaces de soportar duras condiciones térmicas y físicas, como incendios accidentales en los silos de almacenamiento que pueden durar varios días, o diferencias de temperatura extremas, entre los -160°C del gas natural licuado y los 1100°C que alcanza la llama.

Imagen de fondo: Depósitos de Valdez (EE. UU.)

Fábrica de cemento, Tokio (Japón)



Muros paralelos de un muelle de descarga de carbón, puerto de Dunkerque (Francia), 1977

Diques de confinamiento secundario de Stony Point (Australia)



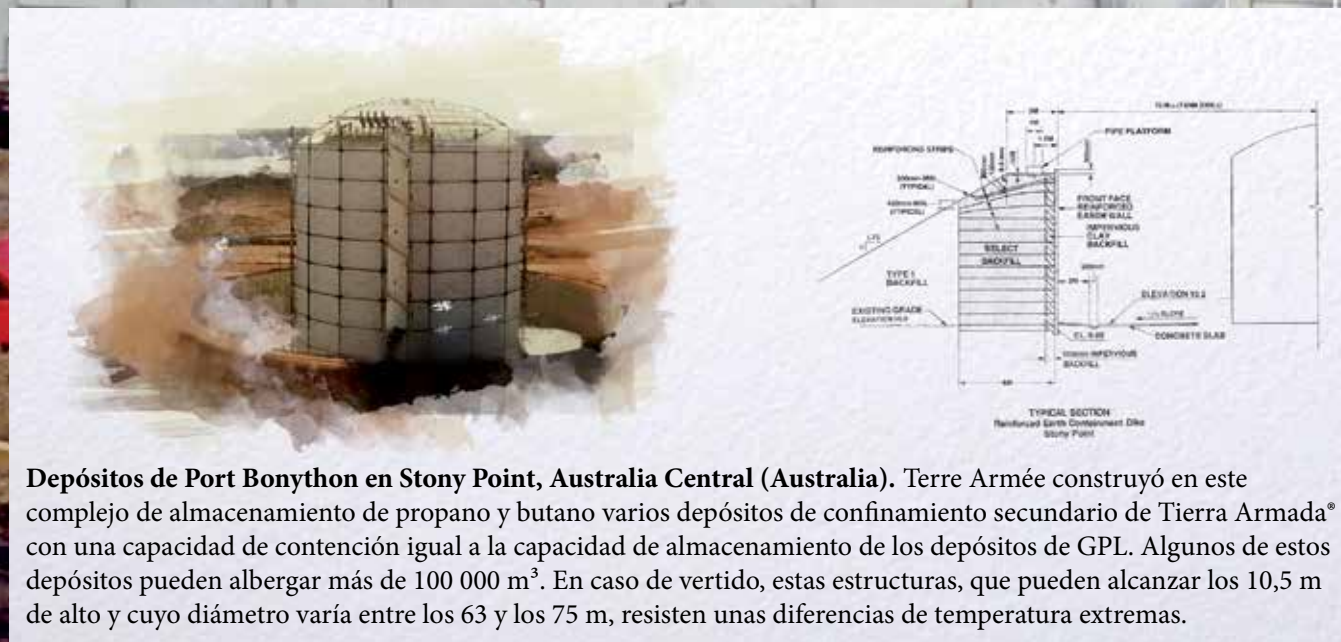
Terminal de metano de Elba Island (EE. UU.)





APLICACIONES INDUSTRIALES Y ENERGÉTICAS

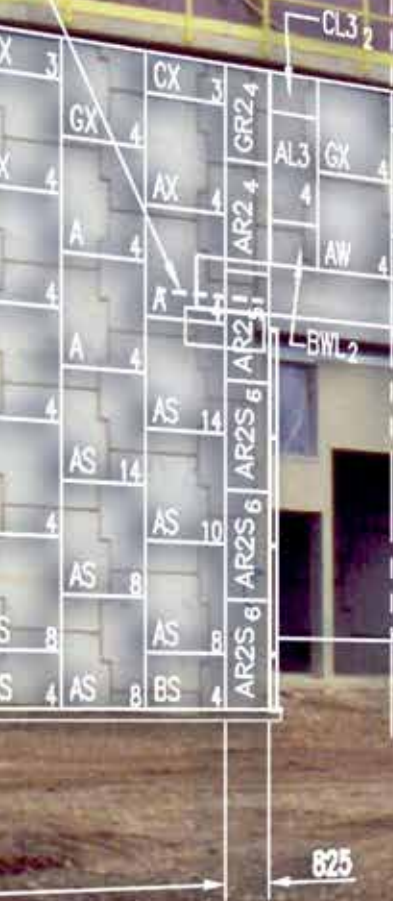
Imagen de fondo: Muros de contención, Muskeg Froth (EE. UU.)



Depósitos de Port Bonython en Stony Point, Australia Central (Australia). Terre Armée construyó en este complejo de almacenamiento de propano y butano varios depósitos de confinamiento secundario de Tierra Armada® con una capacidad de contención igual a la capacidad de almacenamiento de los depósitos de GPL. Algunos de estos depósitos pueden albergar más de 100 000 m³. En caso de vertido, estas estructuras, que pueden alcanzar los 10,5 m de alto y cuyo diámetro varía entre los 63 y los 75 m, resisten unas diferencias de temperatura extremas.



Central eléctrica Callide B, Queensland Central (Australia). Terre Armée diseñó y suministró para esta central eléctrica un depósito de almacenamiento de carbón de 32 000 t para alimentar dos generadores eléctricos de 350 MW. En el depósito, de 117 m de largo y 12,7 m de alto con las paredes laterales inclinadas a 50°, se instalaron más de 4600 m² de Tierra Armada®. Cerca del depósito se construyeron dos puentes cuyos estribos requirieron más de 1200 m² de paramentos de Tierra Armada®.



Muros de contención, Montoir-de-Bretagne (Francia). Para los muros de contención que rodean a los depósitos de amoníaco de Montoir-de-Bretagne, se optó por usar un muro de sostenimiento de TerraSet por ser la solución más rápida y económica.



APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES

LA TIERRA ARMADA® NO ES SINO UNA PROLONGACIÓN ARMONIOSA DEL PAISAJE Y SE INTEGRA Y ADAPTA APORTANDO LAS VENTAJAS QUE SUPONE SU CAPACIDAD DE RESISTENCIA Y PROTECCIÓN CONTRA LOS RIESGOS NATURALES.

Las estructuras de ingeniería civil forman parte de nuestra vida cotidiana y mejoran la calidad de vida en un sentido amplio. Gracias a sus ventajas técnicas y arquitectónicas, la Tierra Armada® puede contribuir a mejorar la estética y la ordenación de nuestro entorno. Algunos de sus usos están incluso pensados para salvar vidas.

Ordenación del territorio y aplicaciones arquitectónicas

La flexibilidad arquitectónica de la técnica de la Tierra Armada® se hace patente cuando se usa para proyectos de ordenación del territorio o construcción de viviendas en estrecha colaboración con arquitectos, urbanistas o paisajistas. Los paramentos de hormigón son compatibles con múltiples acabados y motivos. Los paramentos de malla soldada constituyen una solución duradera para la construcción de taludes reforzados que se integran fácilmente en el entorno gracias a coberturas vegetales o de aspecto mineral.

El uso de Tierra Armada® presenta varias ventajas que se traducen en la reducción de su impacto sobre el entorno:

- Ahorro de materiales.
- Reducción de la ocupación del suelo y los efectos sobre el entorno durante la construcción.
- Menos emisiones de CO₂.
- Uso de materiales naturales o reciclados.
- Durabilidad.

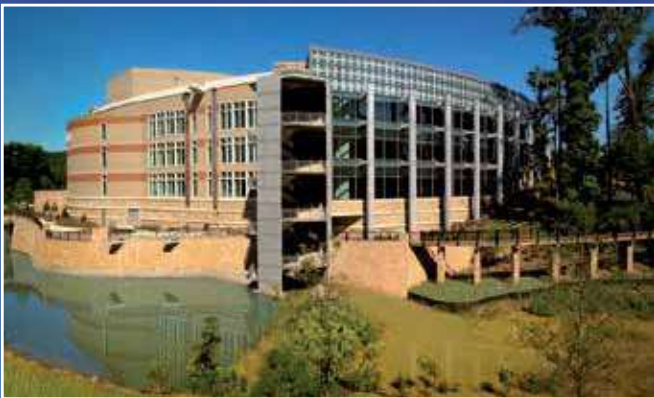
Mitigación de riesgos

La naturaleza es en ocasiones extremadamente peligrosa y puede provocar pérdidas humanas, heridos e importantes daños materiales. Gracias a sus características de resistencia y ductilidad, la Tierra Armada® es perfecta para limitar los daños en caso de catástrofes naturales como:

- Avalanchas.
- Deslizamiento de tierras.
- Seísmos.
- Caída de piedras y desprendimiento de laderas.
- Inundaciones, tsunamis, flujos de lodo y lava.

Imagen de fondo: Barrera anti-avalanchas (Islandia)

Centro médico
(EE. UU.)



Escuela
Dikmen, Ankara
(Turquía)

Hotel Pueblo
Bonito (México)



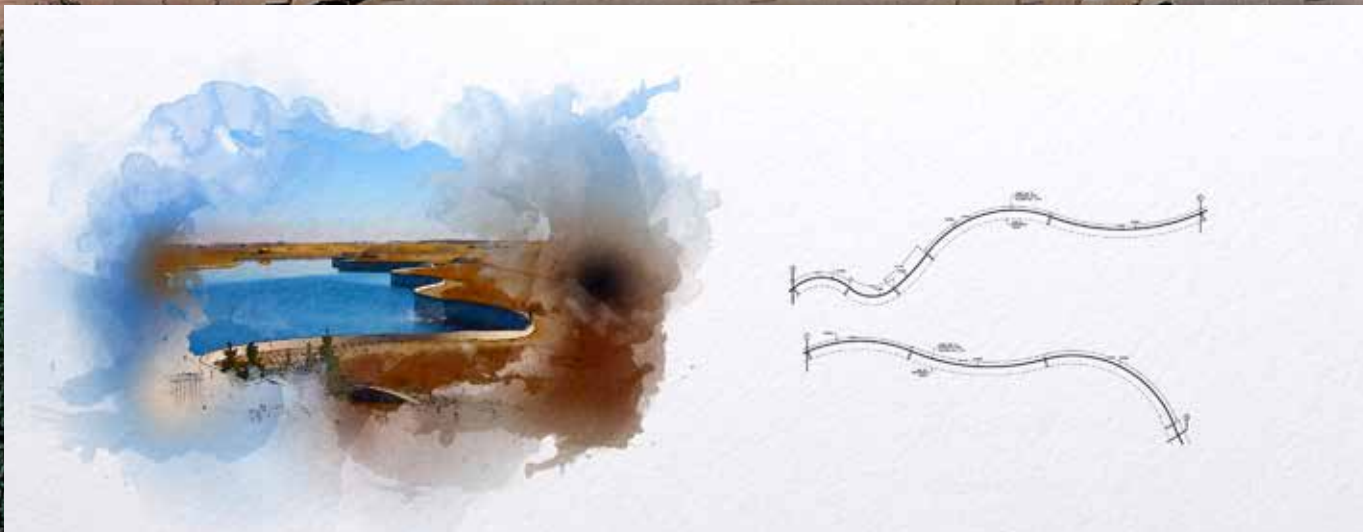
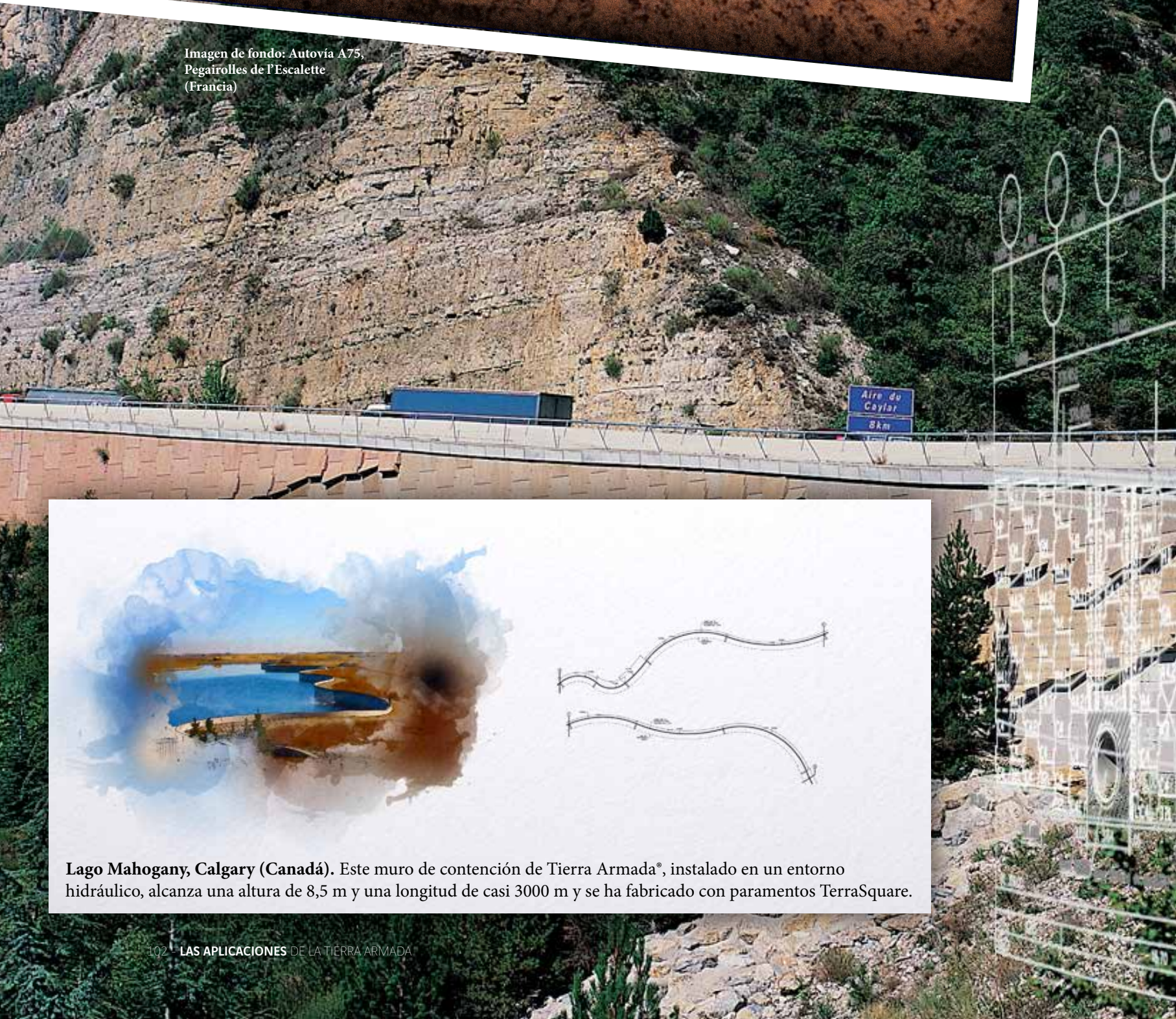
Muro de
escalada,
Huningue
(Francia)



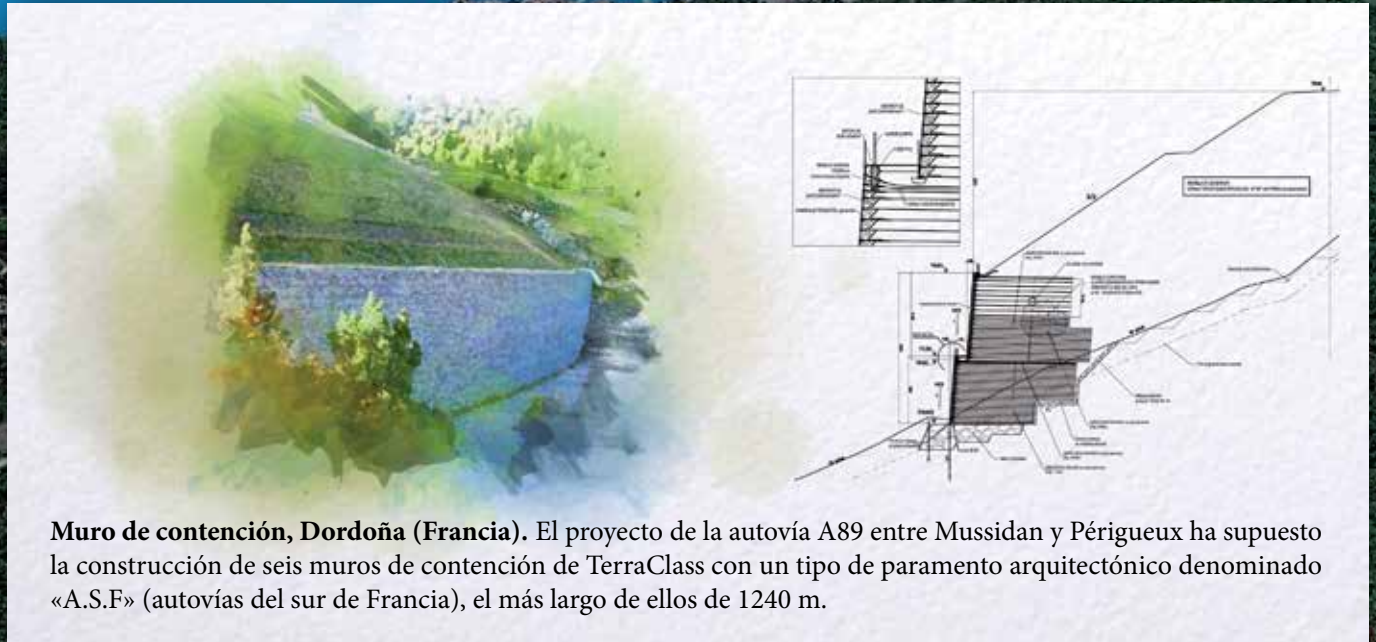


APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES

Imagen de fondo: Autovía A75,
Pégairolles de l'Escalette
(Francia)



Lago Mahogany, Calgary (Canadá). Este muro de contención de Tierra Armada®, instalado en un entorno hidráulico, alcanza una altura de 8,5 m y una longitud de casi 3000 m y se ha fabricado con paramentos TerraSquare.



Muro de contención, Dordoña (Francia). El proyecto de la autovía A89 entre Mussidan y Périgueux ha supuesto la construcción de seis muros de contención de TerraClass con un tipo de paramento arquitectónico denominado «A.S.F» (autovías del sur de Francia), el más largo de ellos de 1240 m.





APLICACIONES MILITARES

LA TIERRA ARMADA® Y LAS BÓVEDAS TECHSPAN® PROPORCIONAN SOLUCIONES DE PROTECCIÓN ADAPTADAS A LOS REQUISITOS MILITARES, SOBRE TODO PARA EL ALMACENAMIENTO DE MUNICIONES.

Los muros de contención de Tierra Armada® y las bóvedas TechSpan® ofrecen una perfecta resistencia mecánica a las cargas, los choques, las variaciones de temperatura y las vibraciones. Gracias a estas técnicas es posible construir de un modo económico estructuras capaces de reducir el

impacto de las explosiones accidentales que pueden producirse en determinadas instalaciones militares. Estas aplicaciones incluyen incluso de almacenamiento de municiones, búnkeres o túneles para refugios.

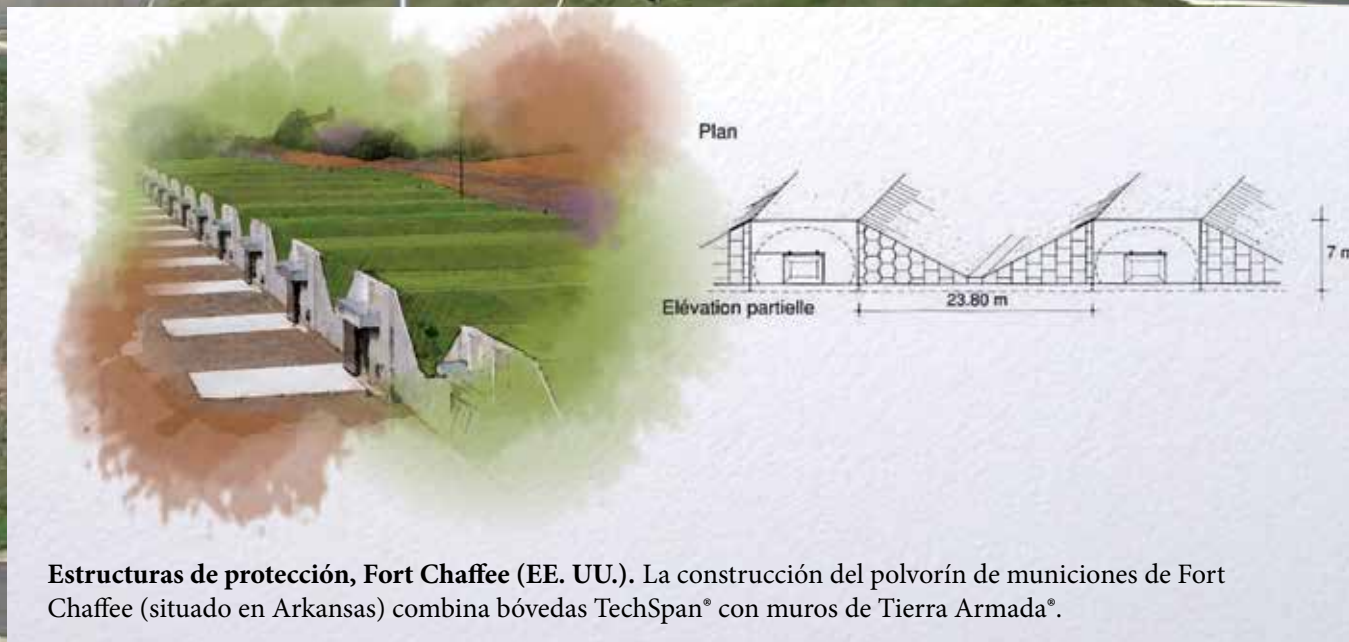
Imagen de fondo: Fort Riley,
Kansas (EE. UU.)



Base de lanzamiento de cohetes (Japón)



Base Tindal de la RAAF (Australia)



Estructuras de protección, Fort Chaffee (EE. UU.). La construcción del polvorín de municiones de Fort Chaffee (situado en Arkansas) combina bóvedas TechSpan® con muros de Tierra Armada®.

CRONOLOGÍA

La invención de la Tierra Armada®

Los comienzos de la Tierra Armada®

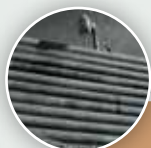
La expansión internacional

Investigación e innovación

La diversificación de las aplicaciones

La consolidación

Terre Armée, hoy y mañana



1964

Realización de la primera estructura en Pragnière (Francia)



1963

Registro de la patente de la Tierra Armada®



Inventión/experimentos

1968

Muro experimental de Incarville

1968

Realización de las primeras estructuras importantes en la A53 (Francia)



1969

Realización del primer estribo portante en Estrasburgo (Francia)



1970

Primer muro con escamas de hormigón, Poitiers (Francia)



1970

Patente relativa al paramento cruciforme de hormigón prefabricado (TerraClass®)



1968

Constitución de la empresa La Terre Armée



1973

Carretera del litoral (La Reunión).



1975

Constitución de Reinforced Earth Sudáfrica, Terra Armada (Brasil) y Bewehrte Erde (Alemania)



1972

Constitución de Tierra Armada España

Se supera el límite de los **100 000 m²** de muros de Tierra Armada® instalados en todo el mundo

Constitución de Reinforced Earth Australia + licencias de explotación en Japón

1974



Constitución de The Reinforced Earth Company en los EE. UU..

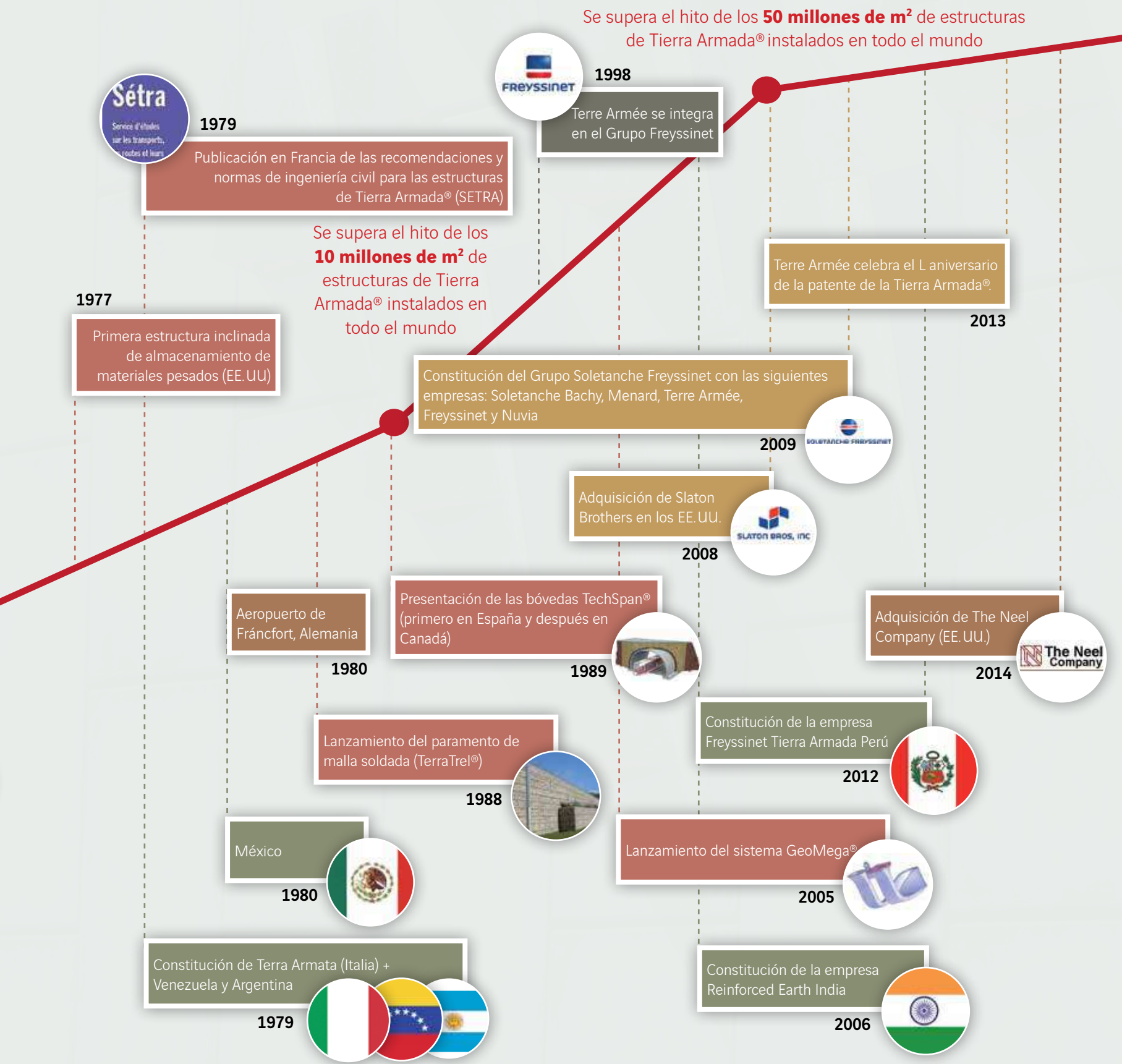
1971

Constitución de la primera empresa fuera de Francia: Reinforced Earth en Canadá



1970

Primera estructura minera en Quebec, Canadá



Se supera el hito de los **50 millones de m²** de estructuras de Tierra Armada® instalados en todo el mundo



1979

Publicación en Francia de las recomendaciones y normas de ingeniería civil para las estructuras de Tierra Armada® (SETRA)



1998

Terre Armée se integra en el Grupo Freyssinet

Se supera el hito de los **10 millones de m²** de estructuras de Tierra Armada® instalados en todo el mundo

1977

Primera estructura inclinada de almacenamiento de materiales pesados (EE.UU.)

Terre Armée celebra el 1 aniversario de la patente de la Tierra Armada®.

2013

Constitución del Grupo Soletanche Freyssinet con las siguientes empresas: Soletanche Bachy, Menard, Terre Armée, Freyssinet y Nuvia

2009



Adquisición de Slaton Brothers en los EE.UU.

2008



Aeropuerto de Fráncfort, Alemania

1980

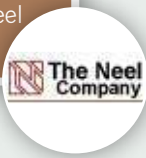
Presentación de las bóvedas TechSpan® (primero en España y después en Canadá)

1989



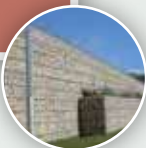
Adquisición de The Neel Company (EE.UU.)

2014



Lanzamiento del paramento de malla soldada (TerraTrel®)

1988



Constitución de la empresa Freyssinet Tierra Armada Perú

2012



México

1980



Lanzamiento del sistema GeoMega®

2005



Constitución de Terra Armata (Italia) + Venezuela y Argentina

1979



Constitución de la empresa Reinforced Earth India

2006



TERRE ARMÉE, presente en todo el mundo





GLOSARIO

A

Armadura - Reinforcing Strip

El elemento constitutivo de la Tierra Armada que garantiza la cohesión mediante el rozamiento con el terraplén. Las armaduras absorben importantes fuerzas de tracción. La elección de los materiales para su fabricación es esencial para la resistencia de los macizos de suelo reforzado. La Tierra Armada ofrece dos tipos de armaduras:

- **Las armaduras metálicas de alta adherencia** son la solución ideal para las cargas estáticas y dinámicas elevadas y la única solución viable para estructuras sensibles como muros de gran altura, estribos de puentes o instalaciones para minería pesada.

- **Las armaduras sintéticas** constituyen una solución eficaz cuando las características químicas del terraplén seleccionado o las condiciones ambientales no permiten el uso de acero galvanizado.

Muro - Wall

Estructura autoportante, normalmente de gran altura. Con Tierra Armada se pueden construir distintos tipos de muros, como muros de descarga (*dump wall*), muros de vertederos (*crusher wall*) o muros de contención (*retaining wall*).

Asentamiento - Settlement

Fenómeno natural de modificación de la cota del suelo debido al efecto de la compresión generada por las cargas. La flexibilidad de la Tierra Armada le permite soportar asentamientos diferenciales que podrían provocar daños en las estructuras rígidas.

B

Bóveda - Arch

Estructura cóncava en forma de arco. Las bóvedas prefabricadas TechSpan® permiten construir túneles en el interior de los terraplenes.

C

Código de cálculo - Calculation method

Método de dimensionamiento o de cálculo que se adopta por convención. Los códigos de cálculo europeos regulan el conjunto del sector de la construcción.

Conexión

Sistema que permite fijar las armaduras al paramento. Terre Armée ha desarrollado tres sistemas de conexión:

- TA Classic, que se usan con armaduras de acero y escaleras de alta adherencia.
- GeoMega®, una conexión totalmente sintética empotrada en la escama del paramento de hormigón durante su prefabricación.
- GeoTrel®, específico para los paramentos de malla soldada combinada con armaduras de acero.



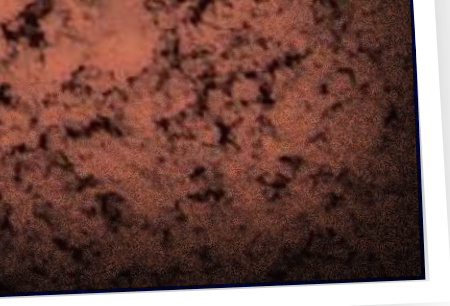
1. GeoMega®
2. GeoTrel®

Contratista principal - Main contractor

Entidad responsable de la correcta ejecución de un proyecto y que actúa por encargo de su propietario.

Contrato de diseño y construcción - Design & build contract

Tipo de contrato que incluye tanto la fase de diseño como la construcción de la estructura.



D

Deslizamiento - Slip

Fenómeno natural que se produce en un suelo en pendiente.

Desmante - Cut

Material excavado de un terreno

E

Estribo - Abutment

Estructura que soporta el tablero del puente.

La Tierra Armada permite fabricar estribos portantes. Las cargas procedentes del tablero se distribuyen a través de una superficie de apoyo de hormigón armado colocada en la parte superior del muro.

G

Geotécnica - Geotechnics

Disciplina vinculada al cálculo de tensiones y desplazamientos en un suelo.

I

Intersección- Interchange

Equipamiento para la infraestructura de carreteras o autovías.

Las intersecciones suponen el diseño de calzadas en pendiente cuya realización se presta al uso de la Tierra Armada.

L

Losa de cimentación - Foundation slab

Parte superior de una cimentación.

M

Margen - Riverbank

Talud natural que bordea el lecho de un cauce de agua.

La Tierra Armada permite rellenar de forma óptima los márgenes limitando el volumen ocupado,

Muro - Wall

Estructura autoportante, normalmente de gran altura.

Con Tierra Armada se pueden construir distintos tipos de muros, como muros de descarga (*dump wall*), muros de vertederos (*crusher wall*) o muros de contención (*retaining wall*).

Muro de sostenimiento de protección - Containment dike

Talud destinado a represar derrames de productos químicos en torno a un depósito o a evitar la propagación de un incendio.

O

Oficina de proyectos - Engineering department

Entidad encargada de las tareas de diseño.

En el ámbito de la ingeniería civil, las oficinas de proyectos especializadas desempeñan funciones como el suministro de planos y cálculos de dimensionamiento. Pueden ser independientes o estar integradas en una empresa.

P

Paramento - Facing

Elemento que cubre la superficie exterior de un macizo de Tierra Armada.

La función principal de los paramentos de Tierra Armada® consiste en garantizar la estabilidad local y la protección frente a la erosión del terraplén reforzado. Asimismo, son la parte visible de las estructuras y, por consiguiente, la firma de los proyectos. Se componen de escamas de hormigón prefabricadas, de carácter estándar y disponibles en una amplia variedad de formas (cuadradas, rectangulares, cruciformes

GLOSARIO

o en T) y tamaños que responden a las distintas exigencias técnicas y arquitectónicas de los proyectos. Los paramentos metálicos, ligeros y polivalentes, pueden usarse para un gran número de aplicaciones permanentes o provisionales.

- Escama cruciforme: TerraClass®
- Escama rectangular: TerraPlus®
- Escama cuadrada: TerraSquare®
- Escama en forma de T: TerraTee®
- Escama rectangular: TerraSet®

1. Escama TerraClass
2. Escama TerraPlus
3. Escama TerraSquare
4. Escama TerraTee del viaducto La Rauze
5. Escama TerraSet - Circunvalación de Millau



Pliego de especificaciones - Specifications

Documento que establece las especificaciones para un producto o servicio.

El pliego de especificaciones constituye la base del contrato suscrito entre el cliente y su contratista.

Prefabricación - Precast

La prefabricación de los paramentos contribuye a racionalizar el proceso de construcción en el que se usa la Tierra Armada, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

T

Tablero - Deck

Parte horizontal de un puente que soporta la calzada.

TechSpan®

La bóveda perfecta, diseñada a la medida.

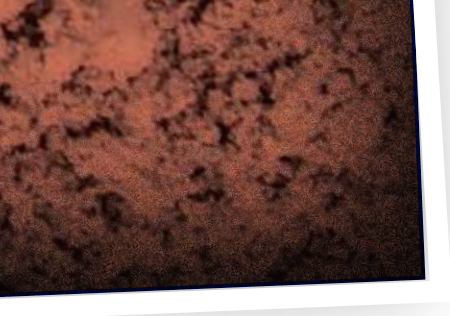
TechSpan®, un sistema de bóveda de hormigón prefabricado, nacido de la mano de Terre Armée hace casi 25 años. Esta técnica se basa en el conocimiento del Grupo sobre la mecánica de los suelos y en el análisis a través de elementos finitos, lo que ha permitido desarrollar este sistema triarticulado de dos piezas y con forma curvada funicular.



TerraLink™

Una técnica lógica y complementaria.

En la mayoría de proyectos, los terraplenes conviven con los desmontes y terraplenes. Fiel a su espíritu innovador, Terre Armée ha desarrollado y comercializado la técnica TerraLink™, diseñada para construir nuevos muros del tipo Tierra Armada® conectados a estructuras de contención, como inclinaciones estabilizadas mediante pilotaje o muros existentes. La combinación de las técnicas de construcción



Tierra Armada® y TerraLink™ garantiza la continuidad del paramento y el comportamiento estructural.



Terraplén - Fill

Acumulación de un material granular que rellena una cavidad o forma un talud.

Los terraplenes reforzados con la técnica de la Tierra Armada están compuestos de desmontes extraídos en la misma zona para garantizar las propiedades deseadas (composición, granulometría).

Tierra Armada®

La técnica de la Tierra Armada® se basa en un concepto sencillo: la asociación de capas de terraplén y de armaduras genera fricción en los puntos de contacto entre los dos elementos. De ahí se deriva un enlace permanente y un material de construcción único.

Las estructuras de Tierra Armada® combinan un terraplén granular seleccionado con resistentes armaduras sintéticas o de acero y un sistema de paramento modular que, por lo general, está elaborado con escamas de hormigón prefabricado, mallas soldadas o escamas semielípticas de acero.

Esta combinación única en su género crea una estructura de contención duradera que, además de su propio peso, es capaz de soportar las notables cargas estáticas y dinámicas provocadas por los esfuerzos exteriores a los que está sometida la estructura.





BIBLIOGRAFÍA

La Terre armée [La Tierra Armada] (1963), Henri Vidal

La Terre armée. Recherches et réalisations [La Tierra Armada. Investigación y proyectos] (1972), François Schlosser, jefe del Departamento de Suelos y Cimientos, Laboratorio Central

La Terre Armée [La Tierra Armada], François Schlosser

Bulletin de liaison des Laboratoires Routiers des Ponts et Chaussées [Boletín informativo del Laboratorio de Carreteras, Puentes y Caminos] N.º 41 - Nov. 1969 - Ref. 797, Henri Vidal

La petite histoire de la Terre Armée® [Una breve historia de la Tierra Armada] (1986), Henri Vidal, artículo publicado en el N.º 635 de la Revue générale des routes et des aérodromes

ÍNDICE

de las personas citadas

Yves Bayard - Arquitecto socio de Henri Vidal	10
Henri Vidal - Inventor de la Tierra Armada®	11
Francois Schlosser - Presidente y Director General de la Société d'Études de la Terre Armée de 1978 a 1980	15
Michel Bastick - Exdirector Técnico y Director General de Terre Armée Europa15	
Maurice Darbin - Presidente y Director General de Terre Armée desde 1968 hasta 1990	17
Charles Lavigne - Arquitecto	19
Peter Wu - Director General de Reinforced Earth Canadá	21
Roger Bloomfield - Presidente y Director General de Terre Armée Internationale	25
Jacques Deschamps - Primer Director de Tierra Armada (España)	27
Faustino Valero - Ex Director Técnico de Tierra Armada (España)	27
John Reid - Ex Director de Reinforced Earth Company (Australia) hasta 1989	28
Gary Power - Director General de Reinforced Earth Company (Australia)	29
Andrew Smith - Director General de Reinforced Earth (Sudáfrica)	31
Dick Dison - Primer titular de una licencia de Tierra Armada en Sudáfrica	31
Mike Colman - Primer titular de una licencia de Tierra Armada en Sudáfrica	31
Alain Nabonne - Exdirector de Terre Armée France	31
Jean-Marc Jailloux - Ingeniero de Terre Armée Internationale	31
Pierre Ségrestin - Director Técnico de Terre Armée Internationale hasta 2001	37
Melissa Berkebile - Presidente & Director General de Reinforced Earth Company (EE.UU.)	45
Jean-Pierre Marchand - Presidente de Freyssinet desde 1987 hasta 2002	47
Jérôme Stubler - Presidente de Vinci Construction / Presidente del grupo Soletanche Freyssinet	49
Arkadiusz Franków - Director de Freyssinet Polonia	51
Bruno Dupety - Director Internacional de Vinci Construction	53
Nicolas Freitag - Director Adjunto de Terre Armée Internationale	57
Yassine Bennani - I+D Ingeniero de la Dirección Técnica y Científica de Terre Armée Internationale	59
Philippe Héry - Director General Delegado de Terre Armée Internationale	63

AGRADECIMIENTOS

Al igual que la historia del Grupo Terre Armée, esta obra es una aventura colectiva.

Nuestro agradecimiento a Maurice Darbin y a su esposa, que nos abrieron las puertas de su casa para contarnos la gran epopeya de la Tierra Armada®.

Gracias también a Roger Bloomfield, Bruno Dupety, Nicolas Freitag, Philippe Héry, Jean-Pierre Marchand, Gary Power, François Schlosser, Pierre Segrestin, Andrew Smith, Jérôme Stubler y Peter Wu por el tiempo dedicado a transmitirnos a través de imágenes sus recuerdos sobre la historia de Terre Armée.

Gracias a todos los que han contribuido a crear este libro y, sobre todo, a Yassine Benani, Janet Bolt, Wilson Cheung, Malcolm Currie, Michele Curry, Jacques Deschamps, Arkadiusz Frankow, Florence Jamian, Anne-Cécile Gass, Diane Griffith, David Halifax, Gee Hoi, Ruchi Kapoor, Ji Yeong Kim, Erika Molgora, Antonio Ramirez, John Sankey, Martin Van den Berg, Faustino Valero y Anthony Wu.

Nuestro agradecimiento también para Guillaume Billaroch, Nathalie Gresset y Tiphaine Guillot por las horas que han pasado preparando y diseñando esta obra.

Y no podía faltar nuestra gratitud a Henri Vidal, sin el que esta historia no habría sido posible.

© Terre Armée, 2015

Las fotografías y los textos incluidos en esta obra son propiedad exclusiva de Terre Armée.
Queda prohibida su reproducción total o parcial.

Redacción, diseño y realización: Sciences & Co
Traducción : Telelingua