

Trabajos de construcción en la Línea 12 del metro de la Ciudad de México.

Perspectiva técnica y aseguradora

LOS SEGUROS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE METRO

En el mes de marzo, parte del servicio de la Línea 12 del metro capitalino tuvo que ser suspendido para evitar un siniestro. Desde entonces se generaron todo tipo de especulaciones, pero hace falta revisar el tema desde la perspectiva técnica. ¿Qué tipos de seguros protegen estas obras? ¿Cuáles son las garantías y las cláusulas que limitan o acotan la cobertura de los daños?

Al plantearse la construcción de una infraestructura urbana como una obra de metro, influyen factores de distinta naturaleza. Si bien para definir la tipología de trazado es determinante la ocupación y el uso del suelo urbano, así como las características del terreno que pueden impedir la elección de unos u otros métodos constructivos (rocas duras o suelos blandos por ejemplo).

En función del grado de ocupación urbana se podrá decidir entre trazados en superficie que implican la ocupación de un terreno que posteriormente será difícil desocupar, y trazados subterráneos que dejarán libre la superficie. En la elección de uno u otro tipo también será importante considerar el grado de ocupación del terreno. En zonas muy pobladas, el trazado subterráneo no podrá afectar la superficie y deberá ser profundo, mientras que en zonas menos urbanizadas o donde existan grandes vialidades o avenidas, se puede optar por métodos "cut and cover", cajones o falsos túneles de ocupación temporal de todo el trazado, en los que se devuelve posteriormente de la superficie a la ocupación inicial.

En ocasiones es la configuración geológica del terreno la que impide o condiciona el tipo de trazado, así como la interferencia con otras



Esquema del método "cut and cover" en el metro de Lima, Perú.

infraestructuras subterráneas o zonas de especial protección. En los sitios donde no es posible excavar y la ocupación urbana es alta, se puede optar por trazados sobre estructuras elevadas, viaductos o puentes. Distinguiríamos así entre trazados en superficie y elevados, y trazados subterráneos. La tipología y emplazamiento de las estaciones es, en muchas ocasiones, la que condiciona el resto del trazado puesto que se decide, en primer lugar, dónde se ubicará la estación por la posibilidad de que se pueda ejecutar, por ejemplo, una excavación, obligando a que el túnel pase por ese punto.

Otro factor que condiciona el trazado es la funcionalidad que se pretende dar al ferrocarril urbano en función de una mayor velocidad; por ejemplo, si está exigido un trazado con curvas amplias y menor número de paradas o, por el contrario, se prioriza la necesidad de acceder a centros hospitalarios, universidades, centros administrativos o zonas de ocio y servicios. El factor energético comienza a plantearse también como una de los condicionantes principales. Así, al ubicar las estaciones a mayor cota que el trayecto general, se consigue reducir el empleo de energía en frenado de trenes a la llegada a la estación, y en arranque a la salida de la misma.

Trazados en superficie

En función de los parámetros funcionales o de diseño predominantes, en ocasiones se decide trazar una línea de metro sobre la superficie. Siempre que se mantenga la plataforma aislada y reservada del resto de vehículos y viandantes, se considerará propiamente una red de metro y no otro tipo de infraestructura (como tranvías, etcétera).

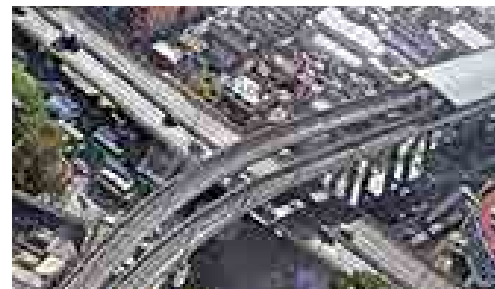


Metro de Monterrey.

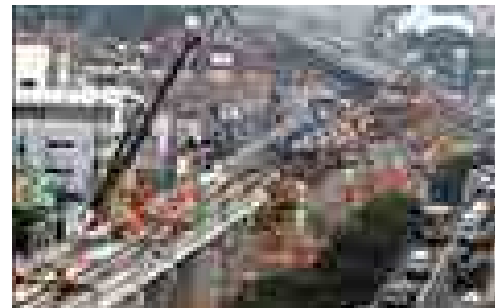
En el trazado sobre la superficie y con el objeto de optimizar velocidades y tiempos de recorrido, suelen evitarse las intersecciones al mismo nivel de otros viales mediante estructuras tipo puentes o pasos inferiores, dando prioridad, en muchas ocasiones, a la infraestructura del trazado del metro sobre el resto de los viales.

Cuando la complejidad o grado de ocupación de la superficie urbana dificulta o imposibilita el trazado en superficie, se opta por el trazado en altura sobre una plataforma o viaducto elevado, evitando así interferencias entre distintas áreas de las ciudades. La contrapartida de este método suele ser el impacto ambiental, fundamentalmente el paisajístico y el ruido que provoca a los vecinos.

Los 12 kilómetros de la Línea 12 de la Ciudad de México, entre las estaciones Tláhuac y Culhuacán, afectados por la paralización del servicio desde el mes de marzo de 2014 fueron ejecutados con este método. Este tipo de trazado es común en varias ciudades americanas como es el caso de los



Trazado de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.



Obras de construcción de la Línea 1 de Metro en Lima, Perú.

Metros de Lima, Monterrey, Medellín o Santiago de Chile, así como de varias ciudades asiáticas.

El sistema de construcción puede variar en función de las características del trazado pero básicamente consiste en la ejecución de pilares cimentados sobre el terreno (directamente con zapata superficial o sobre pilotes profundos según las características geológicas) y estructuras a modo de trabe única o de varias trabes que, salvando la luz entre los apoyos de los pilares, permitan la construcción de la plataforma del ferrocarril sobre la estructura del viaducto.

Trazado subterráneo, túneles, métodos de ejecución

Lógicamente la opción del trazado subterráneo tiene muchas ventajas funcionales y ambientales frente al trazado aéreo, si bien el costo suele ser mayor.

Si la solución técnica del proyecto apuesta por la construcción parcial o total del trazado con el sistema subterráneo, se hace necesaria la ejecución de túneles, lo que abre una serie de posibilidades en la elección del método constructivo.

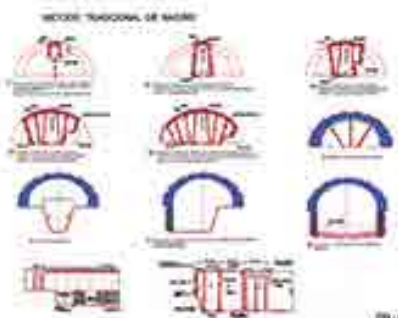
La solución siempre estará fundada en la optimización de todos los parámetros que la ingeniería civil debe tener en cuenta para ajustar económicamente el proyecto. No sólo será determinante el terreno que será atravesado o la ocupación urbana; otros factores como la longitud del trazado, pueden hacer o no viable, por ejemplo, el desplazamiento y montaje de las instalaciones requeridas para emplear una tuneladora. La proximidad de zonas delicadas o inestables que pueden ser afectadas por la excavación, exige cambiar el método, aun si es más caro, para evitar daños a terceros.

Los métodos más habituales de ejecución de túneles son:

Metodos tradicionales

Método belga o método tradicional de Madrid.

Se emplea en suelos de naturaleza blanda. La ventaja es que se trabaja con un frente de excavación muy pequeño, lo que le confiere niveles de seguridad muy altos. Consiste en la apertura de una pequeña mina en la clave del túnel que se abre lateralmente con un sostenimiento de madera, para hormigonar el revestimiento de la bóveda en anillos de poca longitud (máximo tres metros). Posteriormente, se hormigonarán los hastiales y finalmente la contrabóveda o solera. Está indicado para túneles de un máximo de 8 a 10 metros de anchura.



Fases de construcción del método tradicional de Madrid.

Método alemán

Método muy seguro para secciones superiores de 8 a 10 metros de anchura (por ejemplo, en las estaciones) en caso de suelos blandos. La obra comienza con la excavación de los hastiales, por un lado, y la galería de clave, por el otro; siendo ésta fundamental para la ejecución de las costillas. Estas costillas también son galerías que se ejecutan desde la clave hacia los hastiales y van formando la bóveda del túnel a través de la unión de los hastiales con la galería de clave. Se ejecutan tantas costillas como sea necesario hasta conseguir la longitud total de la caverna.

La estación Puerta del Sol de la nueva conexión ferroviaria Atocha – Chamartín en la ciudad de Madrid es la mayor caverna del mundo excavada en suelos blandos por este método.



Fases de ejecución del método alemán.

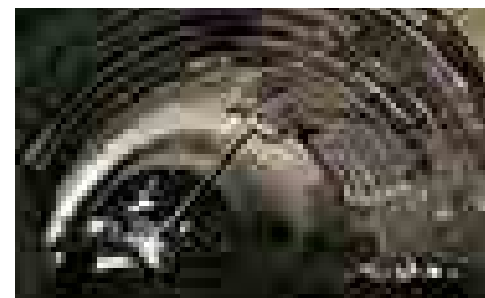
en suelos blandos por este método.

Nuevo método austriaco (NATM)

Se trata de un método especialmente indicado para suelos duros o rocas, y no es el más recomendable para suelos blandos donde representa un riesgo excesivo de desplome dada la amplia sección de excavación con la que se trabaja.

El frente puede ser excavado a sección completa (bóveda, hastiales y contrabóveda), lo que da lugar a la excavación de secciones cercanas a los 70 u 80 metros cuadrados; o a semi-sección, avanzando solamente con el frente de la sección de la bóveda, de unos 30 metros cuadrados. En cualquiera de los casos, el frente es muy amplio, lo que conlleva graves riesgos. Según el avance de la excavación, se va lanzando el concreto en las paredes del túnel, donde además se han ejecutado bulones o barras de anclaje, y se han colocado cerchas o vigas metálicas para el posterior revestimiento definitivo. En este método, toda la excavación se realiza con métodos mecánicos, con apoyo de excavadoras cuando se trabaja a sección completa, así como de máquinas como las rozadoras.

La ejecución de túneles con el nuevo método austriaco genera múltiples controversias. Este método tiene grandes detractores pero también



Ejecución del revestimiento en un túnel excavado por el método NATM.

defensores. En Japón, por ejemplo, es uno de los métodos más empleados. En algunas ocasiones ha sido elegido a pesar de estar contraindicado por la naturaleza del terreno y, como consecuencia, se han producido grandes siniestros.

Como ejemplo citaremos los siniestros producidos en la ejecución de la Línea *Paddington-Heathrow* en Londres, en el año 1994, que tuvo un costo superior a 140 millones de dólares; y el de la Línea 5 del Metro de Barcelona (barrio del Carmel) en 2005, cuyo costo superó los 100 millones de euros.



Hundimiento producido en el barrio del Carmel, en Barcelona, España.

Ejecución mecanizada de túneles. Tuneladoras (TBM)

A partir de mediados del siglo pasado, y desde entonces con una gran evolución tecnológica, en la construcción de túneles, tanto en roca como en suelos, se emplean máquinas que favorecen una ejecución integral del túnel y permiten, al mismo tiempo, la excavación a sección completa y la instalación del sostenimiento. Estas máquinas son las genéricamente denominadas TBM (*Tunnel Boring Machine*) y según su utilidad (para excavar suelos o rocas blandas, rocas duras, o terrenos mixtos), se clasifican en diversas tipologías. Con el empleo de estas máquinas se consigue sistematizar o industrializar el proceso constructivo del túnel.

De forma general, todos los tipos de máquinas disponen de un cuerpo principal donde se alojan los sistemas de excavación, avance



Topo de perforación de los túneles de Pajares, de 25 km. de longitud, en Asturias, España.

y colocación del sostenimiento (rueda de corte, accionamiento, evacuación de escombros y sistema de articulación y empuje), así como del *back-up* donde se instalan los equipos auxiliares (cintas transportadoras de escombros, sistemas eléctricos e hidráulicos, ventilación, inyección de mortero y bentonita, zona de taller, etcétera).

Las máquinas empleadas para la ejecución de túneles en roca son las TBM para rocas, también denominadas "topos". Frente a las TBM para suelos, también denominadas "escudos mecanizados", la parte estática de la máquina se fija directamente al terreno mediante unos codales extensibles denominados "*grippers*" que permiten generar fuertes empujes axiales al frente de la excavación. La cabeza de corte está equipada con cortadores de disco que generan los esfuerzos tangenciales necesarios para la perforación del terreno. La excavación del escombros se realiza mediante unos cangilones, situados en la periferia de la cabeza de corte, que lo recogen y lo elevan para su descarga en la denominada cinta prima-

ria, la cual, a su vez, lo vierte sobre el sistema de evacuación de escombros (cinta, tren de tolvas, etcétera).

Cuando la excavación del túnel debe realizarse en terrenos compuestos por suelos o rocas blandas, frecuentemente inestables y, en ocasiones, por debajo del nivel freático o en terrenos saturados de agua, se utilizan los "escudos mecanizados" o simplemente "escudos". Estas máquinas se caracterizan porque el cuerpo principal de la tuneladora está recubierto exteriormente por una carcasa metálica, denominada "escudo", que protege el frente de la excavación hasta la colocación del sostenimiento.

El propio cuerpo principal del "escudo" incorpora los sistemas de colocación del sostenimiento, generalmente compuesto por anillos de hormigón que son colocados



Imagen del "escudo" empleado en la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.

mediante el denominado erector de dovelas. El erector, al amparo del "escudo", va colocando en el perímetro de la excavación los segmentos o "dovelas" que constituyen un anillo del sostenimiento.

A diferencia de los "topos", los "escudos" no pueden sujetarse directamente al terreno mediante *grippers* para generar los esfuerzos necesarios para excavarlo (dada su poca resistencia). En consecuencia, el empuje de la máquina se moviliza mediante una serie de gatos distribuidos en toda la periferia de la parte trasera del cuerpo principal del "escudo". Los referidos gatos se apoyan sobre las dovelas del sostenimiento previamente colocado a lo largo del avance de la máquina.

En la actualidad la mayor parte de los "escudos" son del tipo "escudos cerrados", en los que la estabilidad del frente de excavación se consigue ejerciendo presión desde una cámara situada tras la cabeza de corte. Dentro de este tipo de máquinas deben distinguirse las EPB (*Earth Pressure Balance*), en las que la presión contra el frente se ejerce con el mismo terreno excavado, al que se le añade agua y en ocasiones otros aditivos, y las denominadas *Mixshield*, que logran la presión sobre el frente mediante la introducción de lodos bentoníticos en la cámara.

Otra diferencia de los "escudos" respecto de los "topos" es que si bien la cabeza de corte puede incorporar discos de corte, es más común que incorpore cuchillas o picas, además de que la extracción del producto excavado suele realizarse mediante un tornillo sinfín.

Por último, no debemos dejar de mencionar un tipo de tuneladora con características mixtas de "topo" y "escudo" que cada vez está



Esquema de funcionamiento del "escudo" EPB.

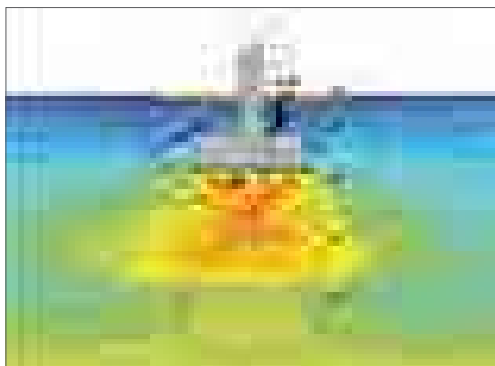
siendo más utilizada. Se trata de los denominados “dobles escudos”, que son máquinas que permiten trabajar como EPB, proporcionando un sostenimiento constante durante el avance del túnel y, a su vez, permiten la utilización de *grippers* cuando se atraviesan rocas de suficiente consistencia. Este hecho permite hacer simultáneas las fases de excavación y de sostenimiento, lo que aumenta sensiblemente los rendimientos.

Riesgos más habituales sobre trazados en superficie

Durante la fase de construcción, los riesgos que se pueden presentar en la ejecución de un trazado en superficie o elevado sobre viaducto, suelen estar relacionados principalmente con el terreno. Lógicamente existen otros muchos asociados a la ejecución de cualquier obra y a trabajos con estructuras de hormigón que en algunas ocasiones presentan características especiales por su forma, tamaño o ubicación, lo que las vuelve especialmente difíciles. El empleo de determinados medios auxiliares y maquinaria específica, así como el uso de cimbras, grúas de gran altura, etcétera, suelen ser también factores de riesgo.

Con respecto a los riesgos asociados al terreno, una de las mayores dificultades tiene que ver con los terrenos de tipo blando o muy blando, como puede ser el de la Ciudad de México. El suelo es una prolongación de la obra hacia abajo, es un material adicional, pero menos resistente y más deformable. El suelo se deforma bajo carga y, por tanto, induce deformaciones y reajustes en la estructura.

Normalmente es previsible que se produzcan deformaciones (traducidas en asentamientos) que suelen estar acotadas. Sin embargo, en caso de no hacerse una investigación



Bulbo de tensiones bajo la cimentación de una zapata.

profunda del terreno, los asentamientos producidos se pueden disparar. En las arcillas blandas de la Ciudad de México son predecibles asentamientos de varios centímetros al año, incluso decímetros. El suelo no se comporta de forma uniforme y eso puede dar lugar a asentamientos diferenciales que pueden provocar daños en las estructuras apoyadas en el terreno.

La presencia de agua suele estar relacionada con los fallos, ya sea porque no fue considerada o por su desaparición súbita a causa de la sobreexplotación de acuíferos o de la estacionalidad de los niveles freáticos en algunas zonas.

Las estructuras en contacto con el terreno tienen un área de influencia denominada “bulbo de tensiones”. La interacción contra ese bulbo pone en peligro la estabilidad de la estructura, quizá no al grado de provocar un colapso pero sí de inducir deformaciones no previstas que se traducen en daños en la estructura.

Otro tipo de riesgos convencionales asociados a todo tipo de obras serían los de incendio, explosión, etcétera, además de los riesgos catastróficos relacionados habitualmente con fenómenos de la naturaleza como vientos huracanados, inundaciones y terremotos.

Si nos enfocamos en la ejecución de una obra de ferrocarril metropolitano, no es habitual encontrar riesgos en la construcción de la denominada “superestructura” del ferrocarril (balasto, traviesas o durmientes y carril o riel). Por tratarse de materiales manufacturados y sometidos a controles de calidad, no suelen ser el origen del riesgo. Además, la construcción y el montaje de la propia vía o “superestructura”, como aquí la hemos denominado, se lleva a cabo con métodos muy consolidados y con maquinaria específica que permite alcanzar estándares de calidad elevados.

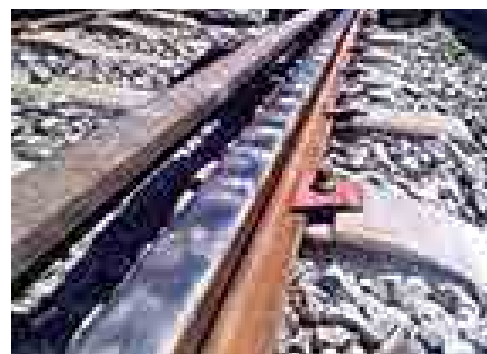
Las vías apoyadas sobre balasto tienen la ventaja de que, una vez iniciada la explotación, es posible interactuar sobre ellas en caso de que se produzcan deformaciones o se pierdan las características geométricas del trazado.



Maquinaria ferroviaria específica para compactación del balasto y alineación y nivelación de la vía (bateadoras).

La misma maquinaria ferroviaria específica que sirvió para el montaje, vuelve a alinear y a nivelar la vía tantas veces como sea necesario. De hecho, hasta no haber transcurrido unos meses o hasta no haber pasado una serie de toneladas de carga tras la puesta en servicio, no se da por estabilizada definitivamente la construcción de la vía sobre balasto.

En el aspecto ferroviario de la construcción de las obras de Metro, pueden producirse defectos que suelen ser detectados hasta el comienzo de la explotación pero que, en ocasiones, tienen su origen en la construcción.



Defecto ondulatorio del riel detectado en la Línea 12 del Metro de México.

En algunas ocasiones, un espesor insuficiente de la capa de balasto, o la elección incorrecta de los elementos de apoyo y de sujeción de los rieles a los durmientes, provocan defectos de alineación o de nivelación, así como defectos de desgaste prematuro, ondulatorios, etcétera.

Riesgos más frecuentes en trazados subterráneos

El riesgo específico más importante durante la fase de construcción de un túnel es el de su colapso o desmoronamiento. El colapso bien puede producirse como consecuencia de una inestabilidad en el frente de la excavación o por un colapso de secciones ya excavadas, en forma previa o posterior a la ejecución del sostenimiento. Este tipo de riesgo, consecuencia de las condiciones geológicas y geotécnicas del terreno, puede tener su origen en la fase de proyecto o en la de ejecución de las obras. Evidentemente, el colapso del túnel puede llevar aparejado el hundimiento de la superficie del terreno, lo que puede producir importantes daños en los bienes próximos al túnel en construcción (edificaciones e infraestructuras de todo tipo).

Este tipo de riesgos es el que ha dado lugar a los mayores y más espectaculares siniestros en la construcción de túneles, como fueron los del Metro de Munich (Alemania, 1994),



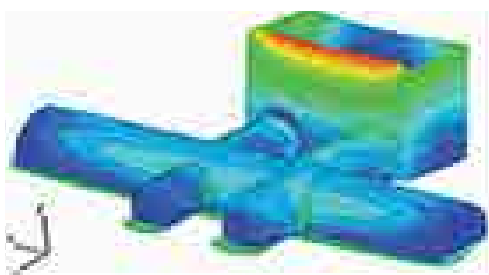
Siniestro del metro de Heathrow, 1994.

el del túnel ferroviario *Heathrow Express Link* (Londres, Reino Unido, 1994), el del Metro de Taegu (Corea del Sur, 2000), el del Metro de Shanghai (China, 2003), el Metro de Taipei (Taiwan, 1994) y el de la línea 5 del Metro de Barcelona (España, 2005).

Siniestro del metro de Heathrow 1994

Ahondando en este último aspecto, debe señalarse que no es imprescindible que se produzca un colapso en el túnel para que haya hundimientos o asentamientos en la superficie del terreno, comúnmente conocidas como subsidencias. Toda excavación subterránea lleva implícita un cierto asentamiento del terreno que, dentro de márgenes tolerables, no tiene incidencia alguna en las construcciones de la superficie. Durante la fase de diseño del túnel, se deben estudiar con profundidad las características.

En este sentido, las subsidencias de la superficie del terreno comienzan a producirse antes de que la vertical del frente de excavación pase



Modelización por ordenador de las subsidencias.

por el punto de estudio. Secuencia. Se trata de una auscultación previa que se realiza en el lugar de trabajo en un determinado momento. En función de los resultados obtenidos en la auscultación (o incluso antes si los cálculos de asentamientos hacen prever subsidencias considerables), existen numerosas medidas que pueden aplicarse para evitar daños en infraestructuras o edificios; entre ellas están los tratamientos del terreno (inyecciones

Un insuficiente espesor de la capa de balasto o la elección incorrecta de los elementos de apoyo de los rieles pueden provocar defectos de alineación, de desgaste prematuro, ondulatorios, etcétera

de mortero, paraguas de *jet-grouting*, inyecciones de compensación, recalces, refuerzos de cimentaciones, etcétera).

El colapso y el hundimiento del terreno no son los únicos riesgos de origen geológico o geotécnico que pueden afectar la construcción de un túnel. Otros posibles riesgos incluyen la presencia inesperada de niveles freáticos, el pinchazo de acuíferos, la formación de chimeneas por interceptación de fallas u horizontes geológicos imprevistos y las explosiones por bolsas de gases (metano, radón).

Lo primero que debe cuidarse enormemente para prevenir este tipo de riesgos es la elaboración de un correcto informe geológico-geotécnico. Es importante que no sea simplemente una yuxtaposición de informes varios, sino un reporte integrado en el que participen de forma activa los responsables del proyecto de construcción del túnel. El estudio geológico-geotécnico tiene que reunir toda la información necesaria para el diseño del túnel (sistema constructivo, cálculo de avance, diseño de sostenimientos provisionales y definitivos, entre otros datos). Este informe debe proporcionar información para que los proyectistas puedan prever medidas alternativas en caso de que se produzcan circunstancias imprevistas o desconocidas.

Durante la elaboración del informe geológico-geotécnico, pueden cometerse numerosos errores capaces de incidir en la ocurrencia de siniestros como, una incorrecta elección del número, tipo y características de los ensayos a realizar, o una inadecuada planificación de los mismos (por ejemplo, inexactitud en una la orientación o profundidad de los sondeos). Estos errores conllevan graves riesgos, entre ellos: definiciones equívocas de horizontes geológicos o de sus límites, omisión de rasgos importantes (como las fallas), incorrecta detección de acuíferos y errores en la clasificación geomecánica de los materiales. En este sentido, es importante que los informes geológicos-geotécnicos se realicen de acuerdo con las normas oficiales de cada país y, si éstas no existieren, adoptar normas reconocidas como podría ser la inglesa BS:5930 (*Code of Practice for Site Investigations*).

Además de los problemas derivados de un incorrecto informe geológico-geotécnico, durante la fase de proyecto también pueden producirse errores que propicien siniestros como consecuencia de cálculos equívocos de la estabilidad del terreno, diseño inadecuado de los sostenimientos del túnel o elección de un método de construcción inadecuado. También pueden originarse problemas durante la fase de construcción del túnel como consecuencia de un error de ejecución. En este sentido, es de vital importancia que durante la realización de las obras se establezca un adecuado sistema de calidad y seguridad que vele por el estricto cumplimiento del sistema constructivo previsto. Por otro lado, siempre hay cierto grado de incertidumbre sobre el terreno que se atraviesa; en consecuencia, es imprescindible

que durante la construcción se tomen las debidas medidas de vigilancia, a través de un sistema de auscultación apropiado.

Mención particular requieren los riesgos asociados a la construcción de túneles con tuneladoras (TBM). En estos casos, una inexacta previsión de las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas puede tener nefastas consecuencias.

Algunos de los riesgos más destacables serían: la presencia de caudales de agua imprevisibles o mayores a los previstos, avenidas de lodo o materiales sueltos que causen la inundación total o parcial de la máquina, presencia de obstáculos desconocidos (pilotes, cimentaciones, etcétera) que impidan el avance de la máquina, inmovilización de la tuneladora por empujes del terreno mayores a los esperados, desestabilización de la máquina en terrenos kársticos debido a la existencia de huecos, simas o cavidades.

En otros casos, los riesgos vinculados al uso de tuneladoras derivan de una inadecuada elección del tipo del equipo empleado o de sus especificaciones técnicas en función de los condicionantes del proyecto y de las características de los terrenos a excavar. También existen riesgos derivados de una deficiente calidad de los componentes (especialmente importante es el caso de los útiles de corte, es decir, los discos, cuchillas y picas) o de fallos en el montaje de la tuneladora, así como los riesgos de paralización de las tuneladoras como consecuencia de la falta o retraso en la inspección y de la sustitución de los útiles de corte.



Tuneladora empleada en la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.

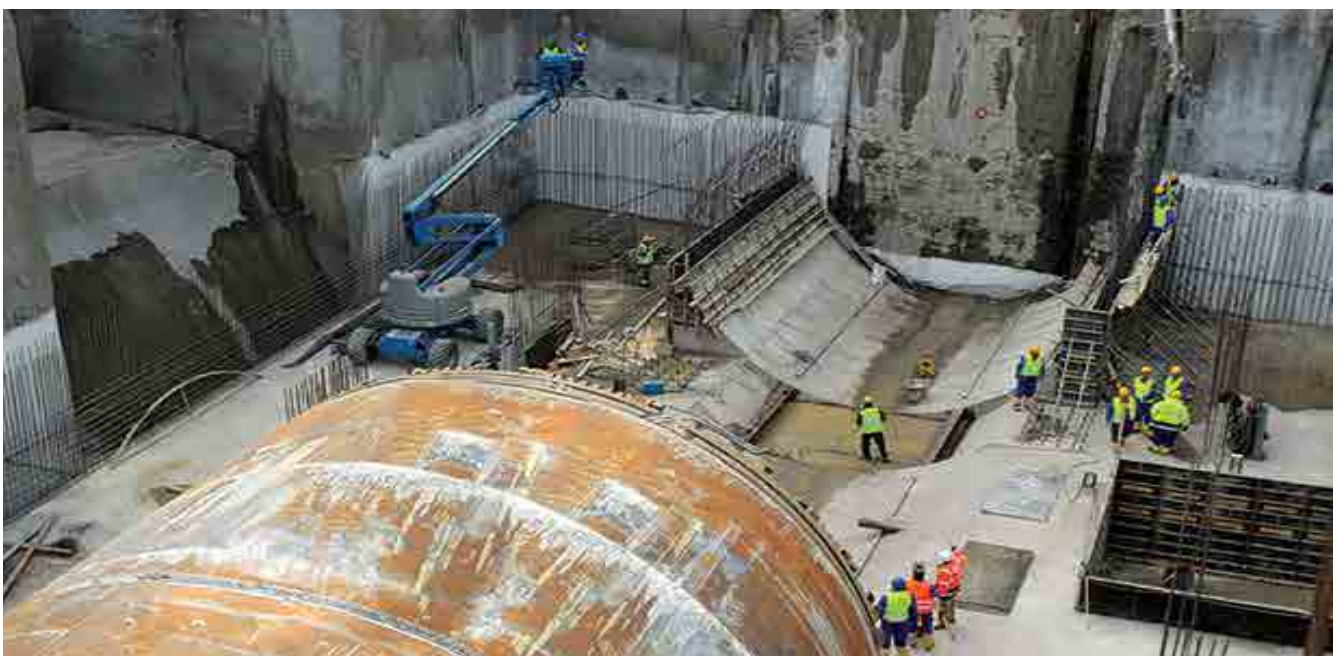
En general, las pólizas engloban dentro de una misma cláusula la definición de la cobertura de los daños producidos como consecuencia de errores de diseño y de una incorrecta ejecución

Por último, cabe señalar que si bien los riesgos de carácter geológico-geotécnicos son los más específicos y los más habituales en construcciones de túneles, evidentemente no son los únicos. La casuística es muy amplia, y los riesgos de carácter natural merecen especial atención, fundamentalmente terremotos e inundaciones, así como incendios (aunque este riesgo es más probable y grave en la fase de explotación).

Tratamientos del riesgo en las pólizas de construcción

Como es sabido, la forma típica de aseguramiento para las obras de construcción es a través de los seguros Todo Riesgo Construcción (TRC). Una variante de este tipo de pólizas son las de Todo Riesgo Montaje (TRM), más específicas para los casos en los que las obras implican el montaje de máquinas, aparatos o estructuras metálicas. La diferencia fundamental entre las pólizas TRM y TRC es que en las primeras hay un periodo de pruebas de los bienes asegurados antes de que el propietario los reciba provisionalmente y comience el periodo de mantenimiento.

Si bien el análisis las pólizas TRC o TRM no es objeto del presente artículo, merece la pena recordar que se trata de opciones que cubren todos los daños directos o pérdidas materiales sufridas por el bien asegurado (en este caso la obra en construcción que debe quedar perfectamente definida en las condiciones particulares de la póliza), salvo aquellos expresamente excluidos y siempre que sean consecuencia directa de una causa accidental o imprevista.





Adicionalmente, existe la posibilidad de extender la garantía de la póliza mediante la contratación de garantías adicionales, para amparar no sólo los daños sufridos por la propia obra sino también por los equipos o la maquinaria empleada para la construcción. Otra alternativa es garantizar pérdidas por daños materiales en la obra, como pueden ser: gastos de remoción y desescombro, daños a bienes preexistentes, gastos suplementarios por horas extraordinarias y por trabajos nocturnos o en días festivos, honorarios profesionales, etcétera.

Otras garantías opcionales son la extensión de la cobertura durante el periodo de mantenimiento de la obra (periodo comprendido entre la recepción provisional y definitiva de la obra), Responsabilidad Civil extra contractual o Pérdida de Beneficios Anticipada (ALOP).

Habitualmente, las pólizas Todo Riesgo incluyen cláusulas que tratan de limitar o acotar la cobertura de los daños previsibles en cada proyecto. A continuación, intentaremos analizar las principales cláusulas de este tipo de aplicación en el caso de obras de Metro.

Túneles

Con respecto a la ejecución de túneles o galerías subterráneas, las coberturas suelen limitarse a garantizar los costos en los que tenga que incurrir el asegurado para restituir el bien asegurado (túnel o galería) con base en el estándar técnico que tenía antes

de la ocurrencia del siniestro. Por tanto, se excluyen todo tipo de refuerzos, tratamientos del terreno o cualquier otra actuación destinada a estabilizar las obras que implique un refuerzo o mejora no prevista en el proyecto de las obras.

Sin embargo, por el hecho de que los costos necesarios para dejar la obra en su estado previo a la ocurrencia de los daños son muy superiores a los de la ejecución inicial del tramo siniestrado, al caracterizarse los grandes siniestros en la ejecución de túneles, es frecuente que se limite la indemnización a un porcentaje del costo original medio por metro de recinto afectado (ejemplo: 120% sobre el costo medio original de construcción).

Son muy comunes también las cláusulas que excluyen una serie de situaciones habituales en la ejecución de obras subterráneas que no pueden ser consideradas propiamente como siniestros, tal es el caso de los incrementos en los costos de construcción por cambio de procedimiento constructivo, las medidas para estabilizar las condiciones del terreno o evitar la entrada de agua (cuando no son medidas adoptadas para subsanar un daño indemnizable), la pérdida de aditivos químicos utilizados para apoyar la excavación o para el tratamiento del terreno y los sobrecostos de excavación por excesos sobre la sección teórica, entre otros.

Hemos explicado previamente que uno de los riesgos más comunes en la construcción de túneles son los daños a infraestructuras o edificaciones como consecuencia de las subsidencias



La Línea 12 del metro de la Ciudad de México contempla 25 kilómetros de recorrido.

En una de las versiones de las cláusulas de error de diseño se pretende cubrir el daño pero no los costos de su rectificación

o asientos de la superficie provocados por la construcción del túnel. Evidentemente no se trata de daños a la propia obra, sino a terceros que deben ser objeto de una garantía específica de Responsabilidad Civil. En cualquier caso, además de los informes geológico-geotécnicos adaptados a las características de la obra, las pólizas habitualmente exigen, que durante la ejecución se vayan auscultando los movimientos del terreno para detectar a tiempo cualquier imprevisto. Suelen ser objeto de exclusión los daños por asientos cuya magnitud pueda considerarse como habitual o previsible de acuerdo con las características del terreno.

En el caso de siniestros en obras de túneles, no es sencillo discernir cuándo son consecuencia de un error de diseño (fundamentalmente de un inadecuado informe geológico-geotécnico) o de una circunstancia completamente imprevista. De cualquier manera, en las obras subterráneas, cuando llega a determinarse que el origen de los daños se debe a un indebido diseño o ejecución, las cláusulas de errores de diseño cobran especial relevancia.

Errores de diseño

En primer lugar, debemos señalar que, por lo general, las pólizas engloban en una misma cláusula la definición de la cobertura de los daños producidos como consecuencia de errores de diseño y de aquellos producidos por una incorrecta ejecución derivada de una mano de obra defectuosa o del empleo de un material deficiente o inadecuado.

Las referidas cláusulas de error de diseño, materiales o mano de obra defectuosa, contempladas en forma general en las pólizas TRC o TRM, son adaptaciones de los diferentes tipos de cláusulas de errores de diseño elaboradas por el *London Engineering Group*.

Una primera versión de estas cláusulas, la más restrictiva en cuanto a cobertura de daños, sería la denominada LEG 1/96 "*Design Clause*". Esta cláusula excluye los daños sufridos por el riesgo asegurado como consecuencia de un error de diseño, mano de obra defectuosa o uso de materiales inadecuados o defectuosos. Sin embargo, la exclusión se limita a la parte de los daños afectados por el error que originó los daños, otorgando cobertura a otras partes de la obra que resulten dañadas como consecuencia de este error.

Una segunda versión de este tipo de cláusula, menos restrictiva, sería la denominada LEG 2/96 "*Consequences Defect Exclusion*".

A diferencia de la LEG 1/96, esta cláusula sí otorga cobertura de la parte de obra asegurada afectada por el error de diseño o por la mano de obra o material defectuoso. Sin embargo, limita el alcance, al señalar que se excluyen “los costos en que se hubiera incurrido si el reemplazo o rectificación de la propiedad asegurada se hubiera realizado antes de ocurrir el siniestro”. Adicionalmente, se especifica que “cualquier parte de la propiedad Asegurada no se considerará dañada únicamente por el hecho de la existencia de cualquier defecto material”. En resumen, se pretende cubrir el daño pero no los costos de su rectificación.

La LEG 3/96 “*Improvement Consequences Defect Wording*” representa una tercera versión de las cláusulas de error de diseño. Esta disposición busca especificar o matizar el alcance de la cobertura enfocándola al elemento defectuoso, al señalar que el objeto de la cobertura de la parte defectuosa de la obra sería el costo de reparación del daño pero “quedan excluidos los costos incurridos para la mejora del diseño, del material o de la mano de obra defectuosa”.

La última vuelta de tuerca en la definición de las cláusulas de error de diseño está representada por la LEG 3/06 “*Model Improvement Defects Wording*”. Con esta nueva redacción se pretende definir las condiciones necesarias para considerar que se ha producido un daño en la obra asegurada, diferenciando así la existencia de un daño de la mera existencia de un defecto constructivo. De esta forma se indica en la referida cláusula que se considerará que existe un daño cuando se ha producido “un cambio patente y perjudicial en las propiedades físicas de la propiedad asegurada”.

Tuneladoras

Con respecto a los daños sufridos por las tuneladoras durante la ejecución de un túnel, en ocasiones éstos son asegurados mediante una póliza específica de “Avería de Maquinaria”, aunque también muchas veces son objeto de cobertura en las pólizas TRC o TRM. En estos casos, se incluyen cláusulas que especifican el alcance de la cobertura.

En general, se trata de cláusulas que cubren cualquier daño que sufra la tuneladora por causas imprevistas como incendio, rayo o explosión, tempestad, huracán, terremoto, hundimiento de suelos, caída de rocas, deslizamiento de tierras o atrapamiento, robo, hurto, errores de montaje o mal manejo.

En casos de tempestad o inundación suelen añadirse cláusulas que determinan la intensidad de las condiciones meteorológicas a partir de la cual un evento puede ser considerado como siniestro (generalmente basadas en cálculos del periodo de retorno).

Cuando se trata de daños que ocurren como consecuencia de hundimiento de suelos, caída de rocas, deslizamientos de tierras o atrapamiento de la maquinaria, suele especificarse que la cobertura queda supeditada a la adopción de medidas adecuadas de diseño y vigilancia que permitan la adopción de medidas adicionales, como la mejora del terreno, si fuese necesario.

En la LEG 3/06 *Model improvement defects wording* se hace una distinción entre la existencia de un daño y la mera existencia de un defecto constructivo

De forma habitual se excluyen los daños por avería mecánica eléctrica o mantenimiento deficiente (si bien suelen ampararse los daños a otras partes de la maquinaria no afectadas por estos defectos o negligencias), así como los debidos a corrosión, erosión, uso o desgaste excesivo como consecuencia de un trabajo normal o por influencia permanente de sustancias químicas del terreno o de la atmósfera.

Habitualmente la cobertura de daños a las tuneladoras suele contratarse a “valor de reposición” por lo que en la póliza se establece el valor de la maquinaria al inicio de



Tuneladora E.P.B. Ø 15 m. empleada en los túneles del Bypass Sur Madrid.

los trabajos, así como la fórmula para calcular el valor actualizado de la tuneladora al momento del siniestro, generalmente estableciendo una depreciación en función de la longitud excavada.

En definitiva, la gran complejidad técnica de las obras del Metro, las cuales involucran una gran variedad de sistemas constructivos y particularidades de todo tipo (geológicas, socioeconómicas, medioambientales, etcétera), plantea la consideración de múltiples tipologías de riesgo asociadas a la construcción. En este contexto, la realización de un análisis minucioso del que resulte un producto a la medida de las necesidades los clientes es fundamental a la hora de suscribir pólizas de seguro específicas para este tipo de construcciones.

Línea 12 del Metro de Ciudad de México

No debemos finalizar el presente artículo sin realizar al menos una somera reseña de los incidentes relativos a la clausura provisional de un tramo significativo de la línea 12 del Metro de Ciudad de México. Menos de un año y medio después de su inauguración el pasado 12 de marzo de 2014, un tramo que comprende 11 estaciones fue cerrado al tráfico (Desde Tláhuac hasta Culhuacán) de manera provisional hasta que se realice una investigación exhaustiva de las causas y se adopten las correspondientes medidas correctoras.

En primer lugar debe señalarse que, como hemos indicado, este incidente está siendo examinado, razón por la cual no hay información suficiente para analizar lo sucedido y solamente es posible esbozar alguna pincelada sobre el asunto.



Sujeción de carril utilizada en la Línea 12 del Metro de Ciudad de México. Zonas con contra-raíl.

Por la información disponible, los daños consisten en un desgaste ondulatorio muy intenso de los raíles, que ha dado lugar a operaciones de mantenimiento de la infraestructura mucho más intensas de las previstas desde que entró en servicio la Línea 12 en octubre de 2012. Al desgaste ondulatorio habría que añadir la fractura de durmientes y raíles así como el desgaste de las ruedas de acero de los trenes. A falta de información adicional, estos daños parecen derivarse de los fuertes incrementos de las vibraciones que sufre la infraestructura como consecuencia del desgaste ondulatorio.

En este sentido es importante señalar que el desgaste ondulatorio es una patología que aparece de un modo u otro en prácticamente la totalidad de las vías férreas (cuestión diferente es si se presenta con una intensidad mayor de la habitual como consecuencia de algún factor no previsto). Este hecho explica que sea un fenómeno ampliamente investigado.

De forma tradicional la medidas adoptadas para enfrentarse al desgaste ondulatorio son de tipo correctivo, fundamentalmente mediante el amolado del raíl. Evidentemente el desgaste ondulatorio provoca una disminución de la vida útil del raíl y obliga en un tiempo determinado a su sustitución. Sin embargo, las líneas de investigación actuales se

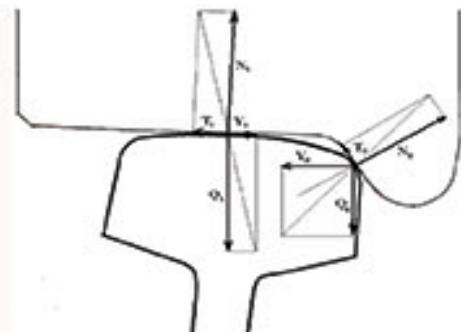
están centrando en la adopción de medidas paliativas que buscan prevenir este fenómeno mediante el cambio o la eliminación de las frecuencias dinámicas naturales de la vía o del vehículo, la mejora de la resistencia de los elementos afectados por el desgaste ondulatorio (fundamentalmente los tratamientos térmicos del acero) o la optimización de la fricción rueda-raíl para disminuir las fuerzas de contacto.

Varios tipos de desgaste ondulatorio en función de la longitud de onda afectada (distancia entre picos o valles sucesivos). Existen diversas clasificaciones pero pueden considerarse desde longitudes de onda muy corta (de entre 3 y 6 centímetros) hasta longitudes de onda largas (a partir de 30 centímetros) o muy largas (cuando superan los 60 centímetros).

Son diversas las causas que provocan los tipos de desgaste ondulatorio. El desgaste de onda corta se debe habitualmente a las oscilaciones por deslizamiento de las ruedas de los trenes, mientras que el desgaste de onda larga suele producirse por fenómenos de resonancia entre los movimientos vibratorios de los ejes de los trenes sobre la vía y la frecuencia vertical de la vía.

Como puede desprenderse de los anteriores comentarios, se trata de un fenómeno muy complejo en el que pueden

influir múltiples factores. Seguramente, los técnicos que están investigando la tipología y la intensidad de las patologías detectadas estén tratando de determinar la causa de las mismas.



Contacto rueda – raíl.

Con la información disponible es imposible siquiera establecer hipótesis posibles sobre el origen del fenómeno al ser tan numerosos los factores que pueden haber influido en el desgaste del raíl.

Aportamos nuestra opinión basada en las imágenes y en la información que ha aparecido en los medios de comunicación. Todo apunta a que los defectos más importantes se ubican en las zonas de curvas de menor radio que discurren en tramos elevados, áreas en las que se ha colocado lo que se denomina como “contra-carril” o “contra-raíl”, que si bien disminuyen el riesgo de descarrilamiento, pueden producir que la vía pierda cierta elasticidad. Entendemos que este hecho tan característico entendemos que será fundamental a la hora de detectar las causas del desgaste ondulatorio.

Sujeción de carril utilizada en la Línea 12 del Metro de Ciudad de México. Zonas con contra-raíl.

La elección del tipo de sujeción o sujetadores entre los raíles y las traviesas o durmientes, condiciona la elasticidad de la unión raíl – durmientes, pues existen sujeciones más o menos elásticas. Algunos de estos factores contribuyen a que se produzca el efecto ondulatorio.

Reiterando que nuestra opinión se basa únicamente en lo observado en algunas fotografías publicadas y en la información divulgada en los medios de comunicación, hemos podido apreciar cómo por ejemplo, la sección del raíl elegido para la Línea 12 es del tipo 115 RE, un perfil “vignole” diseñado y fabricado conforme a la Norma Americana AREMA (*American way Engineering and Maintenance of Way Assotiation*). Este perfil difiere ligeramente en dimensiones y geometría de otros perfiles “vignole” utilizados en Europa conforme a las normativas de la UIC (*Union International de Chemins de Fer*), clásicos perfiles UIC 54 ó UIC 60, que se usan en España por ejemplo.

Lo lógico es pensar que las ruedas de los trenes se fabricaron sabiendo qué tipo de raíl se iba a utilizar y a montar en la vía, por lo que en caso de haberse producido alguna discrepancia o error en este sentido, los trenes podrían estar rodando sobre raíles distintos a aquellos para los que fueron diseñadas sus ruedas. Con base en la información publicada, éste podría ser uno de los orígenes del problema.

Sin ánimo de ser exhaustivos, algunos de los siguientes aspectos de diseño son los que sin duda están siendo analizados por los investigadores: interacción rueda-raíl, tipo de raíl y posibles defectos de fabricación, diseño del tipo de sujeción de raíl y de los durmientes empleados, deformaciones y vibraciones de la estructura elevada, parámetros geotécnicos del terreno considerados y posibles cambios de los mismos por acontecimientos imprevistos, etcétera.



Ing. Guillermo Amengual Giardín: Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (Universidad Politécnica de Madrid, 2000).

Profesional con 14 años de experiencia, ocho de los cuales los desarrolló como ingeniero de campo, tanto en oficina técnica como a pie de obra,

para las principales empresas constructoras de España.

Especialista en proyectos de construcción de plantas potabilizadoras de agua y redes de abastecimiento hidráulico, así como en el desarrollo de obras de urbanización y edificación.

En el año 2008 se incorporó a *Abaco International Loss Adjusters* como ajustador especialista en construcción, donde ha intervenido en numerosos y diversos ajustes en el ámbito de las pólizas de TRC, Responsabilidad Civil y Avería de Maquinaria.



Ing. Roberto Sánchez Linaje: Ingeniero técnico de Obras Públicas (Universidad Politécnica de Madrid, 1995).

Profesional con 19 años de experiencia, 13 de los cuales los desarrolló a pie de obra como controlador y supervisor de ejecución de obra civil para distintas

administraciones públicas, fundamentalmente en obras de ferrocarriles y obras de metro de nueva construcción. También trabajó en carreteras y en los túneles del soterramiento de la M30 de Madrid.

Inició su actividad como ajustador para compañías de seguros en el año 2000, dentro del mismo *AEPO, S.A.* donde compaginó la obra con los trabajos encargados por el *Consorcio de Compensación de Seguros* (compañía pública que cubre los riesgos catastróficos en España) como colaborador dedicado al peritaje de siniestros principalmente relacionados con los ferrocarriles.

Desde el año 2008 se incorporó a *Abaco International Loss Adjusters* como ajustador especialista en construcción. Ha intervenido en numerosos y diversos ajustes dentro y fuera de España en el ámbito de las pólizas de TRC, Avería de Maquinaria y Responsabilidad Civil.



Ing. Beatriz Elena Pérez González: Ingeniera Civil (Universidad de Medellín, 1988); Maestría en Mecánica de Suelos (UNAM, 1995).

Profesional con 26 años de experiencia. Durante ocho años de su carrera profesional colaboró en el ámbito de la ingeniería de

diseño y supervisión de obras (Medellín, Colombia) y como asistente de investigación y dirección de proyectos (México).

Dentro del mundo del seguro, trabajó de manera independiente en la elaboración de dictámenes técnicos, valoración de daños e inspecciones de riesgo en obras civiles (México). Es especialista en elaboración de protocolos de grietas para construcción de infraestructuras.

A partir de 2007 se incorporó a *Abaco International Loss Adjusters* como ajustadora especialista en construcción. En esta área ha intervenido en numerosos y diversos ajustes tanto en México como en países de Centroamérica, en materia de pólizas TRC, Avería de Maquinaria y Responsabilidad Civil.