



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**La inspección de calidad del proceso constructivo de
la terracería en el Sistema ferroviario mexicano**

TESINA

Que para obtener el título de

Especialista en Vías Terrestres

P R E S E N T A

Ing. Jonathan Velázquez Martínez

DIRECTOR(A) DE TESINA

Dr. Juan Antonio del Valle Flores



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., mayo 2023



“Por mi raza hablará el espíritu”

“La meta más importante es la que logras y no la que añoras”

Velázquez, Jonathan



AGREDECIMIENTOS

A mis padres, quienes siempre han sido mi mayor impulso y mis pilares en mi formación personal y profesional, por todo su amor, confianza y esfuerzo.

A mi hermana, quien siempre ha sido un ejemplo de vida.

A Martha, por la motivación, amor y acompañamiento incondicional que me ha brindado en el proceso académico, personal y profesional.

Al Dr. Juan Antonio del Valle Flores, por su dedicación y apoyo en la elaboración de esta tesina, por su conocimiento compartido y por la excelente persona.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme estudiar un posgrado y tener la oportunidad de seguirme preparando como ingeniero.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado en el tiempo de mi Especialidad.



Índice

| | |
|---|----|
| Introducción | 6 |
| Justificación | 7 |
| Marco teórico | 8 |
| Transporte del sistema ferroviario | 8 |
| Calidad | 8 |
| Control de Calidad | 9 |
| Regulación | 10 |
| Inspección de calidad | 11 |
| Pruebas básicas | 12 |
| Hipótesis | 13 |
| Objetivo General | 13 |
| Objetivo particular | 13 |
| Capítulo 1. Antecedentes del Sistema ferroviario | 14 |
| Capítulo 2. Descripción del proceso Constructivo de las terracerías | 18 |
| Terreno de cimentación | 19 |
| Desmonte, limpieza y despalme | 19 |
| Capa de Terraplén | 20 |
| Capa de Subyacente (abajo del sub-balasto) | 22 |
| Capa de subrasante | 23 |
| Capítulo 3. Control de calidad del proceso constructivo de terracerías | 25 |
| La importancia de la calidad de las terracerías del sistema ferroviario mexicano. | 25 |
| Normativa | 26 |
| Capítulo 4. Procedimiento del proceso de inspección de calidad | 31 |
| Planeación | 32 |
| Ejecución de la evaluación | 34 |
| Puntos del Proyecto ejecutivo | 34 |
| Evidencia y documentación para la evaluación de la conformidad | 34 |
| Documentación para el Desmonte N-CTR-CAR-1-01-001-11 (SICT, 2011) | 35 |
| Documentación para el Despalme N-CTR-CAR-1-01-002-11 (SICT, 2011) | 35 |
| Documentación para el Afinamiento N-CTR-CAR-1-01-006-00 (SICT, 2000) | 35 |
| Pruebas básicas para el terraplén, subyacente y subrasante | 36 |
| Documentos de calidad | 39 |
| Verificaciones | 40 |



| | |
|---------------------------------------|----|
| Informe y plan de acción | 42 |
| Conclusiones | 43 |
| Tablas e imágenes | 48 |



Introducción

El sistema ferroviario es un modo de transporte que contribuye al movimiento veloz y eficiente en todo el país, lo cual representa un avance en la economía de la nación.

Por ende, en la presente investigación se pretende describir la importancia de la calidad y los indicadores de las pruebas básicas, documentos de calidad y verificaciones de uno de los componentes con mayor presencia en el sistema ferroviario, la terracería, de acuerdo con las normas nacionales accesibles para la inspección.

La terracería es el elemento principal de la construcción de la vía terrestre necesaria para un sistema ferroviario, compuesta del cuerpo de relleno y/o terraplén, capa subyacente, capa subrasante, obras de drenaje y estabilización de taludes.

La presente investigación se enfocará en la inspección de calidad del cuerpo de relleno y/o terraplén, capa subyacente y capa subrasante.

México es un país que tiene la necesidad de contar con un sistema ferroviario amplio, eficiente y de alta calidad, por eso es indispensable identificar las deficiencias que puede presentar el elemento constructivo de terracerías.

Al inspeccionar la terracería con los estándares predeterminados, se podrán identificar las deficiencias y realizar las acciones necesarias en tiempo y forma, de esta manera, eliminar o mitigar errores de fondo desde el inicio de la construcción.

La regulación de la inspección de la calidad en las terracerías es determinante para salvaguardar la integridad y seguridad del usuario.

Se deben considerar los siguientes puntos:

- Conocer las características generales de la gestión de calidad del proceso constructivo de la terracería.
- Conocer la importancia de la implementación de un sistema de regulación para la red ferroviaria.
- Señalar la eficiencia o carencias de la regulación de la calidad en las terracerías.
- Conocer el marco normativo nacional accesible.



- Informar sobre el impacto económico de la mejora de un sistema de calidad.

Justificación

Actualmente en México, existe una falta de normativa accesible para la inspección de calidad de las terracerías para la construcción de un sistema ferroviario, por lo que, se consideró la normativa de la SICT para carreteras, con la cual, el objetivo fue desarrollar una metodología para la identificación del tipo y frecuencia del muestreo necesario de acuerdo con el volumen y composición del material con el que se haya realizado cada capa de la estructura de terracerías.



Marco teórico

La presente investigación tomará como referencias, normativas vigentes nacionales, libros, artículos y documentación de gestión de la calidad.

A partir de ellos, se proporcionarán los datos y consideraciones teóricas para sustentar la evaluación de la conformidad de las terracerías en el sistema ferroviario en México.

Transporte del sistema ferroviario

Un sistema ferroviario es un conjunto de componentes de transporte terrestre guiado sobre vías de rieles de acero, que sirven para el desplazamiento de mercancías y seres humanos.

La capacidad de un sistema ferroviario para el movimiento tanto de personas, así como de mercancías en distancias largas, ha hecho que se considere el “transporte del futuro” (Guerrero, 2017).

Alrededor del tiempo, desde los primeros inicios de la construcción del transporte ferroviario, se ha ido comprobando y analizando la capacidad del transporte de grandes volúmenes y gran variedad de mercancías, así como la versatilidad del transporte de personas a corta, mediana y larga distancia de acuerdo con las necesidades.

El impacto ambiental de la construcción de un sistema ferroviario también es reducido en comparación con lo provocado por el sistema carretero, por mencionar alguno.

Uno de los propósitos de la construcción de un sistema ferroviario, es mejorar la calidad del servicio otorgado en México, tanto en su proceso constructivo, así como las comodidades en tiempos de traslado.

Calidad

En la actualidad el concepto de “calidad” no se puede definir de manera universal, ya que se trata de un tema cualitativo y subjetivo de acuerdo con lo que se está revisando, verificando o inspeccionando.

Sin embargo, existen delimitantes con base al producto final, derivado, en el punto del presente escrito, de la seguridad y la buena ejecución, por lo cual, Grigul, Ponsati Eulalia y Canela, C. Migue (2002) consideran las siguientes definiciones (p. 8):



- Serie de atributos deseables
- Aplica al uso del producto
- Parámetros y valores del proceso
- Valor del producto, relación calidad-precio.

Si el producto final, tiene las relaciones anteriores o el fabricante/productor justifica adecuadamente algún parámetro fuera de lo señalado en proyecto, se puede concluir que se trata de un producto de calidad.

Siempre basándose en especificaciones de normas, leyes o manuales para realizar una adecuada gestión de calidad.

El tema de la calidad no sólo termina en la atención de los requisitos preestablecidos, sino también en la satisfacción de los clientes y usuarios del producto final, esperando “rentabilidad de sus inversiones...prestigio de la empresa” (Grigul, Ponsati Eulalia y Canela, C. Migue, 2002, p. 9).

De acuerdo con los principios de la calidad, y centrándome en el sistema ferroviario, hay que considerar que ésta se solicita para poder entablar un equilibrio de los factores sociales, culturales y políticos, y la relación que existe entre el usuario, concesionario y la administración pública.

Como se mencionó con anterioridad, la relación que existe de la calidad es directamente proporcional a la satisfacción del usuario final, así como con los rendimientos obtenidos por las partes involucradas en la construcción y operación del sistema ferroviario, integrando al usuario con dignidad y derechos incluyentes.

Control de Calidad

Para entender y definir el concepto de “Control de calidad”, debemos considerar sus componentes, los cuáles abarcan los procesos técnicos, teóricos y el conjunto de ambos para orientar al resultado de la conformidad con base en requisitos preestablecidos en normas, leyes, manuales o guías.

Por lo tanto, se debe tener una certeza de las distintas etapas mencionadas hasta tener un producto de calidad.



Cabe mencionar que todo tipo de organización tiene la responsabilidad de tener un departamento exclusivo para la inspección de la calidad del producto, o en su defecto contratar una dependencia externa que se encargue de ello, del bien o servicio al cual se dedica, con lo anterior la dirección deberá tener una clara idea de la inversión adecuada que justifique su existencia.

En México existen normas exclusivas para evaluar el control de calidad para la aceptación o rechazo de los distintos productos que se requieran verificar, es el caso de las normas establecidas por la SICT, por lo que, de acuerdo con la Secretaría, el control de calidad es el “Conjunto de actividades orientadas al cumplimiento de los requisitos de la calidad establecidos en el proyecto” (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2018, pp.1).

Para la finalidad del presente trabajo, se presenta la definición del concepto “Control de calidad”, - cúmulo de actividades, procedimientos y técnicas obligatorias descritas en el proyecto, norma o reglamento preestablecido por la organización encargada de realizar el producto final-.

Regulación

De acuerdo con las definiciones anteriores, para determinar que el producto, elemento constructivo o materia, realmente cumple con las medidas establecidas en la normativa vigente, manuales o reglamentos, se deben realizar inspecciones de diversas índoles, siempre bajo el valor de decir la verdad, y eso será posible con base en la regulación que se define como: “regulación significa una medida de aplicación general adoptada, emitida o mantenida por una autoridad regulatoria cuyo cumplimiento es obligatorio...” (Duarte Joya Isabel Cristina, 2020).

Para que la regulación sea transparente, es necesario que quién realice la inspección no pertenezca a la entidad que termina el producto, para evitar el conflicto de intereses; deberá ser un análisis objetivo, que contribuya a las buenas prácticas, por ende, la institución, empresa o asociación deberá ser autónoma, y se deberá denominar autoridad regulatoria.



Los efectos de la no regulación de la inspección de la calidad en elementos constructivos se dirigen a varios factores, pero empezando por los técnicos, nos lleva al tema de mayor prioridad que es la seguridad del usuario y los operadores.

Cuando un elemento constructivo no cumple con los estándares de la calidad predeterminados en las normas nacionales e internacionales y llevando la inspección de este, debe reportarse al Contratista constructor para que emplee una posible solución, o en el peor de los casos, la sustitución completa de dicho elemento constructivo.

Inspección de calidad

La inspección de la calidad es un proceso de revisión de información, análisis, y registro para la detección de problemáticas y defectos.

Para ello, todos los parámetros deben estar perfectamente definidos para cuadrar la información recibida con la teórica o de proyecto necesaria.

Se deberá dar un dictamen final del elemento revisado para que el responsable haga los ajustes totales o parciales del producto final, ya sea con consideraciones que se tomaron debido a la materia prima del mercado o a las condiciones en que se llevó a cabo dicho trabajo.

“Los beneficios potenciales para una organización de implementar un sistema de gestión de la calidad basado en esta Norma Internacional son:

- a) la capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables;
- b) facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente;
- c) abordar los riesgos y oportunidades asociadas con su contexto y objetivos;
- d) la capacidad de demostrar la conformidad con requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados.” (Organización Internacional de Normalización, 2015).



Pruebas básicas

De acuerdo con el producto que se esté inspeccionando, las pruebas básicas cambiarán con base en la normativa aplicable vigente, sin embargo, las definiré como, entrada de información principal, que incluye todos aquellos ensayos, muestras y documentación obligatoria para evaluar un producto final y sus procesos de operación.



Hipótesis

Realizar una inspección de la calidad del proceso constructivo de la terracería en el sistema ferroviario mexicano con la normativa nacional accesible, hará que se compruebe la integridad y estabilidad de la estructura a lo largo del tiempo.

Objetivo General

Proponer la metodología para la evaluación de la conformidad del proceso constructivo de la terracería compuesta por las siguientes capas:

- Cuerpo de relleno y/o terraplén
- Capa subyacente
- Capa subrasante

En cada una de ellas la evaluación se realizará de acuerdo con los procesos y especificaciones dictados por la normativa vigente al momento de la construcción, así como los lineamientos que contenga el proyecto ejecutivo.

Objetivo particular

Desarrollar una metodología para la identificación del tipo y número de muestras necesarias de acuerdo con el tipo de material con el que se haya realizado cada capa de la terracería, asegurar la calidad de la estructura con base en la normativa accesible de la SICT.



Capítulo 1. Antecedentes del Sistema ferroviario

Uno de los datos más antiguos, datan de 2,600 años en Grecia (Guerrero, 2017), con vestigios de una vía especial para ruedas de vehículos sobre dos guías paralelas de madera o de piedra, el cual es conocido como el camino de “Diolkos”, éste cruza el istmo de Corinto.

La calzada tenía una longitud aproximadamente de 6 a 8 kilómetros, era una ruta mucho más corta a Atenas para los barcos que navegaba de/hacia la costa Jónica de Grecia (Amela, 2019).

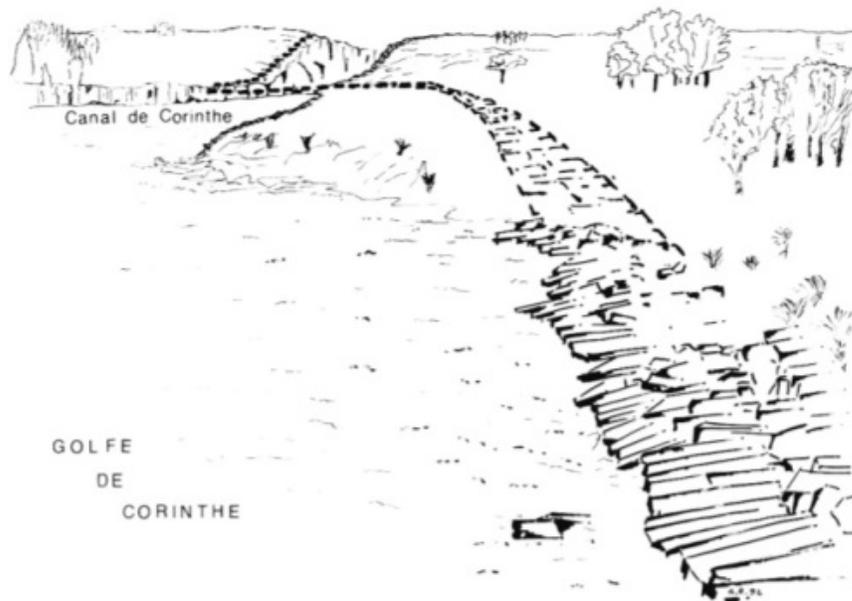


Fig. 01. Propuesta del camino del Diolkos sobre el istmo de Corinto. (Raepsaet, 1993)

Para el siglo XVI, en Transilvania, el sector de la minería se veía beneficiado por el sistema de rieles y vías de madera al encontrar un menor esfuerzo en el traslado del material de las zonas irregulares hacia la superficie sobre una caja de madera con un volumen aproximado de 0.11 m³.

Debido a la facilidad del transporte del material gracias al sistema empleado, éste se extiende por gran parte de Europa.



Para economizar el material de madera se comenzó a hacer uso naturalmente de las vías fabricadas de hierro para darles una mayor durabilidad y eficiencia al movimiento de los carritos, perdurando hacia el siglo XVII.

Debido al éxito que tuvieron los movimientos de los materiales en las minas, los primeros indicios de desplazamientos más veloces en los transportes de mercancías pesadas y materias primas y debido a la producción en masa, se presentaron en Inglaterra a mediados del siglo XIII, tras el auge de la Revolución Industrial.

Para esto, se utilizaron los principios de las máquinas de vapor para poder crear una maquina a gran escala que pudiera mover el sistema ferroviario en un carril de madera con placas de hierro fundido.

La primera línea ferroviaria pública del mundo se inaugura en 1825 uniendo a las ciudades de Stockton y Darlington (Guerrero, 2017), en el noreste de Inglaterra con una longitud aproximada de 20 km.

Los años más representativos del avance tecnológico del Sistema ferroviario se enlistan a continuación (Aparicio, 2019):

1825: Locomotora de vapor con 6 vagones cargados de hierro y carbón con tarifas comerciales, horarios y un trayecto convencional.

1830: Era moderna del ferrocarril en el mundo, en países como EUA, Francia, Bélgica, Canadá, Italia, Alemania por mencionar algunos. Uniendo puntos geográficos importantes para dichas naciones.

1890: Tren Transiberiano, de Rusia a Siberia con 8000 km de construcción.

1914: Destrucción y utilización del Sistema ferroviario para fines militares debido a la Primer Guerra Mundial.

1925: Primera locomotora Diese-eléctrica en EUA.

1939: Destrucción y utilización del Sistema ferroviario para fines militares debido a la Segunda Guerra Mundial.

1960: Trenes de alta velocidad que surgen en Japón.

1990: Extensión de trenes de alta velocidad a Europa.



2000: Evolución del tren eléctrico.

El desarrollo del Sistema ferroviario en México comenzó en el año de 1837 cuando el entonces presidente Anastasio Bustamante le otorgó al exministro de hacienda Francisco Arriaga, la construcción de la primera línea ferroviaria que conectaría el puerto de Veracruz a la capital de México con una inversión en pesos mexicanos de dicha época de \$6,500,000.00.

Fue hasta el 16 de septiembre de 1850 que se inauguraron los primeros 13 km desde el puerto de Veracruz hasta el Molino (Brown, 2015).

Fue ya en la época del Porfiriato (1876-1910) cuando el Sistema ferroviario tuvo un auge en México, convirtiéndose en uno de los sistemas de transporte primordiales, siendo un sistema concesionado.

Durante la Revolución Mexicana (1910-1917), dicho sistema resultó perjudicado por los enfrentamientos de la época, teniendo un gran impacto social y económico, por lo tanto, el gobierno redujo los gastos de mantenimiento.

Posterior a la lucha armada de la Revolución mexicana, el ferrocarril pasó a manos del Estado, cuando el presidente Lázaro Cárdenas emitió la expropiación el 23 de junio de 1937, creándose la compañía pública de Ferrocarriles Nacionales de México (FNM).

El Sistema ferroviario se subsidió, pero no se modernizó, por lo tanto, comenzó a ser obsoleto al crecimiento del país. “Los principales problemas que FNM enfrentaron a principios de la década de 1990 fueron una estructura tarifaria anacrónica, estrategia de operación obsoletas, y un exceso de trabajadores. La inercia organizativa y el poder político del sindicato frustraron varios intentos por reestructurar la compañía” (Medina, 2013).

Para 1995 y debido a la problemática del Sistema ferroviario Mexicano, se decide concesionar la construcción de éste, “el cambio de enfoque económico.. pasó de un gobierno que privilegiaba la intervención en el mercado a uno que intervenía de manera mínima en la economía...” (Medina, 2013).

El FNM se dividió en diversas compañías tras su privatización, con la finalidad de evitar el monopolio nacional, se estableció un sistema regulatorio de competencia, basado



en la propiedad del Estado para que los trenes de cualquier compañía pudiesen hacer uso de todo el Sistema ferroviario.

En la actualidad existen las siguientes compañías del Sistema ferroviario mexicano:

- FERROMEX
- FERROSUR
- KCSM
- FERROCARRIL COAHUILA DURANGO
- TEQUILA EXPRESS
- CHEPE
- FERROVALLE
- FERROISTMO
- FERROCARRILES SUBURBANOS
- SITEUR
- CANADIAN
- UNION PACIFIC DE MÉXICO
- CANADIAN NATIONAL DE MÉXICO

FUENTE: <https://ferroviaria.mx/com/empresas>



Capítulo 2. Descripción del proceso Constructivo de las terracerías

Las terracerías son estructuras compuestas por volúmenes de material que se extrae y son el principal elemento de las Vías terrestres.

Cuando todo el volumen de corte se usa en la construcción del terraplén, se dice que la terracería es compensada (Díaz, 2016).

Cuando el material que se extrae no es el suficiente para la conformación del cuerpo de terraplén, se deberá obtener de zonas de préstamo, si las zonas de préstamo son cercanas a la construcción de la obra, entre 10 y 100 m, se denominan préstamos laterales, y si se encuentran a más de 100 m, se les llaman préstamos de banco (Díaz, 2016).

El proceso constructivo de una terracería se compone por elementos tales como, mano de obra, materiales, equipo hasta llegar a la obra terminada, esto siempre se debe llevar a cabo con una planeación en tiempos, dinero, estadísticas, control administrativo y control de calidad.

De acuerdo con la norma N-LEG-3-00 “Ejecución de obras” (SICT,2000), para poder iniciar toda obra pública, se debe contar con el proyecto completo de la obra en donde se debe incluir la mitigación del impacto ambiental, descripción de la obra, planos y documentos debidamente firmados por los responsables del proyecto y aprobados por la SICT, catálogo de conceptos, especificaciones de materiales y documentación de autorización de cambio del uso del suelo otorgada por la autoridad federal así como permisos y licencias.

Para todo lo anterior y con base con la norma N-LEG-3-00 “Ejecución de obras” (SICT,2000) se requerirán los siguientes programas:

1. Programa de ejecución de los trabajos.
2. Programa de utilización de maquinaria.
3. Programa de utilización de personal capacitado.
4. Programa de suministro de materiales y equipos de instalación permanente.
5. Presupuesto y programa de obra.



En su apartado D.4.2 de la norma N-LEG-3-00 “Ejecución de obras” (SICT,2000) indica que el Contratista de obra será el responsable de la ejecución de la obra, de sus dimensiones, forma, elevaciones, profundidades, instalaciones, calidad de los materiales y del equipo conforme a proyecto.

Terreno de cimentación

Dependiendo de la zona en dónde se encuentre el proyecto de la terracería, podremos tener terrenos compuestos ya sea por roca o suelo, los terrenos con roca no plantean problemas ya que los esfuerzos suelen ser de muy baja intensidad en comparación con la resistencia del material que se encuentre en la zona (Rico, 2005).

Es conveniente realizar los estudios necesarios a los suelos en que se encontrará la construcción de la Terracería, de esta manera se podrá dar una mejor solución al tipo de material y proceso constructivo que deba emplearse para la mejor fiabilidad de la estructura y soportar las condiciones de resistencia al esfuerzo deformación.

Desmante, limpieza y despalme

La construcción de terracerías exige como primera fase la limpieza a fondo del terreno natural, a esto se le denomina “Desmante” y a la eliminación de vegetación incluyendo los árboles. Y se denomina “Despalme” a la eliminación de una capa superficial del terreno (Rico, 2005).

Para el correcto proceso del desmante se debe permitir que la maquinaria pesada sea ingresada a la zona donde se comenzará la obra, se deben eliminar todos los materiales no deseados según proyecto, tales como arbustos, árboles o ramas, sin que los árboles que se encuentren en la periferia del área de la obra sean dañados o desraizados, de esta manera también asegura que el terreno no pierda características de estabilidad.

Hay que evitar que vuelva a crecer ningún tipo de vegetación o que existan caídos de material externo. De acuerdo con Rico, 2005 se deben evitar movimientos en los terraplenes, pues la cobertura vegetal superficial generalmente es un material esponjoso y compresible, que puede afectar los terraplenes de baja altura.

Se tiene que eliminar todo tipo de suelo que no sea adecuado de acuerdo con las características del suelo con base en el proyecto e informes de laboratorios.



Los volúmenes que se muevan por desmonte o despalme deben estar calculados en el diagrama de masa del proyecto de acuerdo con el movimiento de tierra que se llevará a cabo.

Capa de Terraplén

El cuerpo de terraplén es una estructura que se construye con materiales producto de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de subrasante que indique el proyecto, ampliar la corona, cimentar estructuras, formar bermas y bordos y tender taludes.

De acuerdo con la norma N-CTR-CAR-1-01-009-16 (SICT,2016) los materiales que se utilicen para la construcción del cuerpo del terraplén, la ampliación de corona o el tendido de los taludes de terraplenes existentes podrán ser compactable o no compactable siempre y cuando procedan de cortes, si los materiales no cumplen con las especificaciones de la norma, se suspenderá el trabajo en tanto que el Contratista constructor corrija dichos aspectos.

Para poder realizar los trabajos del proceso constructivo del cuerpo de terraplén, se hará utilización del siguiente equipo, el cual se deberá mantener en óptimas condiciones al momento de su utilización:

1. Moto conformadoras
2. Tractores
3. Moto escrepas
4. Cargadores frontales
5. Compactadores

Como trabajos previos para la construcción del cuerpo de terraplén, se debe delimitar el área por medio de estacas u otras referencias en donde se desplantará la estructura.

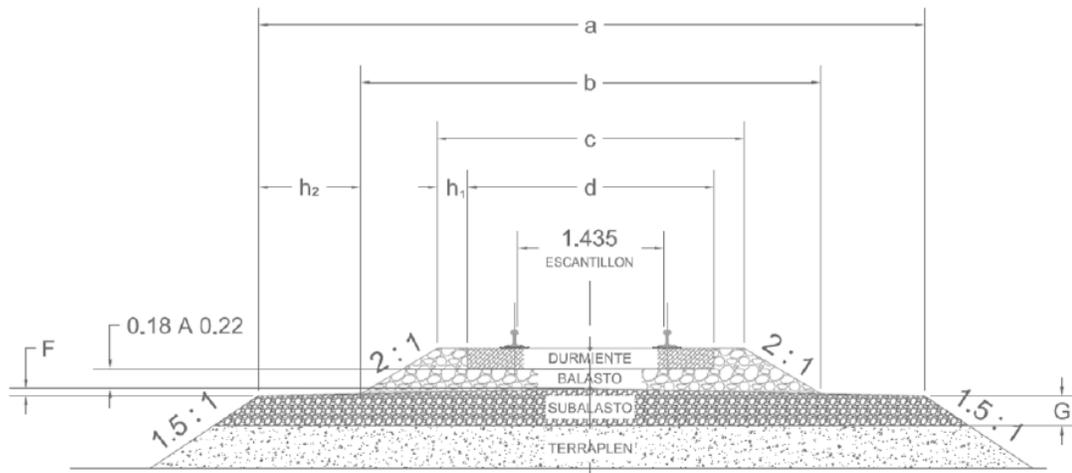
Se rellenarán los huecos resultantes de los trabajos de desmonte y despalme con material compactado y se deberá de compactar el terreno natural con un espesor mínimo de 20 cm y a una compactación similar a la del terreno natural (SICT, 2016).



Se tendrá que realizar el tendido del material proveniente de cortes o bancos con estaciones de 20 m para que, de acuerdo con un turno de trabajo, el material se pueda tender, conformar, acomodar y compactar.

La topografía deberá ir liberando los niveles y autorizando el tendido horizontal de las siguientes estaciones.

Se evitará desplantar el material del terraplén en zonas dónde los niveles coincidan con el nivel freático, se procederá al abatimiento del nivel freático.



| Letra para localización | Parámetros | Dimensión mínima |
|-------------------------|---|------------------|
| a | Ancho de corona del terraplén | 660 cm |
| b | Base sección del balasto | 456 cm |
| c | Corona de sección de balasto | 304 cm |
| d | Longitud de durmiente madera | 244 cm |
| h ₁ | Ancho de hombro de balasto | 30 cm |
| h ₂ | Ancho de hombro del terraplén | 102 cm |
| E | Espesor mínimo de balasto bajo el durmiente | 20 cm |
| F | Bombeo del sub-balasto | 2% |
| G | Espesor del sub-balasto | 30 cm |

Figura 02. Sección transversal y parámetros mínimos de la vía de lado de apoyo (FERROMEX, 2015).

Para el cuerpo del terraplén el material compactable se extenderá en todo el ancho, en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar al grado indicado en el proyecto y especificaciones de la norma.



Todas las compactaciones de cada cala deberán estar dentro de las tolerancias que se describirán más adelante de la presente investigación.

Capa de Subyacente (abajo del sub-balasto)

La capa subyacente son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima del cuerpo de terraplén como se muestra en la Figura 1. Sección transversal de un terraplén. Norma N-CTR-CAR-1-01-009-16 (SICT,2016).

Los materiales que se utilicen para la capa de Subyacente provenientes de cortes o bancos siempre tendrán que ser compactables (SICT, 2016).

En la norma N-CTR-CAR-1-01-009-16 (SICT, 2016) se menciona que el material compactable se extenderá en todo el ancho del terraplén, en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar al 95% con una tolerancia de $\pm 2\%$ o el que indique o apruebe a Secretaría.

El proceso para llevar a cabo dicha compactación se hará longitudinalmente, de las orillas hacia el centro de las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

Para que la capa de subyacente sea aceptada, además de cumplir con los espesores y porcentajes de compactación, también deberá llegar a los niveles indicados en el proyecto o los señalados por la Secretaría con una tolerancia de ± 5 centímetros (cm).

La principal función de la capa subyacente es resistir las cargas transmitidas por la capa subrasante, para después distribuirlas uniformemente al cuerpo del terraplén o terreno natural (Díaz, 2016).

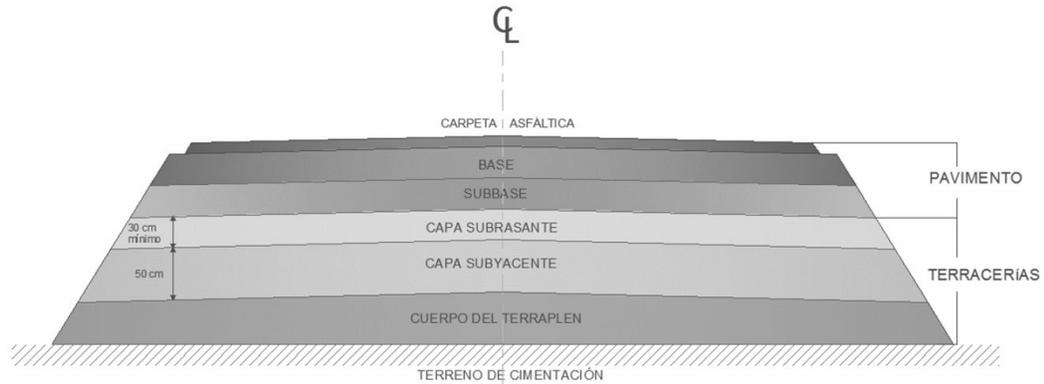


Figura 3. Sección transversal de terraplén con capa subyacente (Díaz, 2016).

De acuerdo con la norma “N-CMT-1-02-21” (SICT, 2021) los espesores mínimos para la construcción de la capa Subyacente en función del número de ejes equivalente de vehículos se indica a continuación:

- Cuando la intensidad del tránsito es menor de 10 000 ejes equivalentes, no será necesario construir esta capa.
- Si la intensidad del tránsito es de 10 000 a 1 000 000 de ejes equivalentes, la capa deberá contar con un espesor mínimo de 30 cm.
- Si la intensidad del tránsito es de 1 000 000 a 10 000 000 de ejes equivalentes la capa deberá contar con un espesor mínimo de 70 cm.
- Si la intensidad del tránsito es mayor de 10 000 000 de ejes equivalentes, la capa subyacente contará con un diseño especial.

Capa de subrasante

La capa de subrasante es aquella que resiste las cargas de tránsito que le transmite la capa de pavimento, y las distribuye hacia el cuerpo de terraplén, sirve de igual manera para que los espesores de los pavimentos se economicen.

Ésta capa está conformada por suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar la capa inmediatamente encima de la capa subyacente si es que existe o del cuerpo del terraplén.

Se deben considerar las condiciones de humedad para alcanzar las resistencias especificadas en proyecto, así como, los cambios de los volúmenes de acuerdo con



los suelos susceptibles a la expansión, ya que, de no hacerse, se podrían presentar daños en las estructuras que se apoyan sobre esta capa.

Los espesores se determinarán con base en las condiciones de tránsito siguientes indicados en la norma N-CMT-1-03-21 (SICT, 2021):

- Cuando la intensidad sea menor de 1 000 000 de ejes equivalentes el espesor será de 20 cm mínimo.
- Cuando la intensidad el tránsito sea de 1 000 000 a 10 000 000 de ejes equivalentes, el espesor será de 30 cm mínimo.
- Cuando la intensidad del tránsito sea mayor a 10 000 000 de ejes equivalente la capa de subrasante requerirá un diseño especial.



Capítulo 3. Control de calidad del proceso constructivo de terracerías

Esta sección describe la importancia de la evaluación de la calidad en los materiales y proceso constructivo de las Terracerías, así como la normativa vigente que indique los métodos y especificaciones de acuerdo con lo establecido en México.

La importancia de la calidad de las terracerías del sistema ferroviario mexicano.

Con base a la experiencia profesional adquirida que antecede a la presente investigación, para asegurar que se cumplan todos los requisitos y procedimientos tanto de normas, manuales y estándares nacionales, correspondientes y aplicables a la composición de la estructura de terracerías, es necesario que los lineamientos estén controlados por medio de metodologías que indiquen el procedimiento a seguir para la evaluación de la conformidad de cada cadenamiento construido en un punto geográfico específico.

Es importante mencionar que la metodología deberá ser aplicable para obras nuevas del Sistema ferroviario, y en terracerías construidas en el pasado, se deberá evaluar con las versiones vigentes de las normas en el momento de la construcción.

A lo largo del tiempo, se ha observado que la falta de procesos de inspección de la calidad de las terracerías, afectan la durabilidad y seguridad en el futuro tanto para las personas, así como para la maquinaria que transita.

Sin embargo, para la elaboración de un plan de inspección de calidad de dicho elemento constructivo, no se incluirá el cálculo estructural de las cargas muertas y vivas, se hará énfasis en la evaluación del proceso constructivo y de sus buenas prácticas de acuerdo con el proyecto establecido.

Tanto el proyectista como el constructor deberán, en todo momento, ser responsables de los puntos anteriormente mencionados.



Normativa

Para el presente, los métodos, normas y manuales que se contemplarán para la evaluación de la conformidad del elemento constructivo de terracerías, se describen a continuación.

Me basaré en primer lugar en la normativa vigente de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte (SICT) aplicada a Carreteras (CAR) en el apartado de “Construcción (CTR)” que se señala en la siguiente tabla:

| Construcción (CTR) de la SICT | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|---|
| Norma | Título | Capítulo | Tema |
| NCTR-CAR-1-01-001/11 | 01. Terracerías | 01. Desmonte | Aspectos para considerar en la ejecución del desmonte de nueva construcción. |
| NCTR-CAR-1-01-002/11 | 01. Terracerías | 02. Despálme | Aspectos para considerar en la ejecución del despálme de nueva construcción. |
| NCTR-CAR-1-01-006/00 | 01. Terracerías | 06. Afinamiento | Afinamiento Aspectos para considerar en la ejecución del afinamiento de secciones de obras de terracerías, para carreteras o canales de nueva construcción. |
| NCTR-CAR-1-01-008/00 | 01. Terracerías | 08. Bancos | Aspectos para considerar para la explotación de bancos de materiales. |
| NCTR-CAR-1-01-009/16 | 01. Terracerías | 09. Terraplenes | Aspectos por considerar en la construcción de terraplenes para a carreteras de nueva construcción. |



| | | | |
|----------------------|-----------------|--------------------------------|--|
| NCTR-CAR-1-01-010/11 | 01. Terracerías | 010. Terraplenes reforzados | Aspectos por considerar en la construcción de terraplenes reforzados para carreteras de nueva construcción. |
| NCTR-CAR-1-01-011/20 | 01. Terracerías | 011. Rellenos | Aspectos por considerar en los rellenos de excavaciones y obras de terracerías, para carreteras de nueva construcción. |

Tabla 1. Normativa aplicable (CTR) de la SICT

Posterior a ello, también se utilizará la normativa de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte (SICT) aplicada a Carreteras (CAR) en el apartado de “Características de los materiales (CMT) que se señala en la siguiente tabla:

| Características de los materiales (CMT) de la SICT | | | |
|---|--------------------------------|---------------------------------|--|
| Norma | Título | Capítulo | Tema |
| N-CMT-1-01/21 | 1. Materiales para terracerías | 01. Materiales para Terraplén | Requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de terraplenes. |
| N-CMT-1-02/21 | 1. Materiales para terracerías | 02. Materiales para Subyacente | Requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de la capa subyacente de las terracerías. |
| N-CMT-1-03/21 | 1. Materiales para terracerías | 03. Materiales para Subrasante. | Requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de la capa subrasante de las terracerías. |

Tabla 2. Normativa aplicable (CMT) de la SICT

Y por último los siguientes “Métodos de muestreo y prueba de materiales (MMP)” de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte (SICT):



| Métodos de muestreo y prueba de materiales (MMP) de la SICT | | | |
|--|---|---|---|
| Método | Título | Capítulo | Tema |
| M-MMP-1-01/03 | 1. Suelos y materiales para terracerías | 01. Muestreo de Materiales para Terracerías. | Este Manual describe los procedimientos para la obtención de muestras de los suelos a que se refieren las Normas N-CMT:1-01, Materiales para Terraplén, N-CMT-1-02, Materiales para Subyacente y N-CMT:1-03, Materiales para Subrasante, a fin de determinar las características de esos materiales o verificar que cumplan con los requisitos de calidad descritos en dichas Normas o en las especificaciones particulares del proyecto. |
| M-MMP-1-02/03 | 1. Suelos y materiales para terracerías | 02. Clasificación de Fragmentos de Roca y suelos. | Este Manual describe el procedimiento para clasificar los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N-CMT-1-01, Materiales para Terraplén, N-CMT-1:02, Materiales para Subyacente y N-CMT1-03, Materiales para Subrasante, de acuerdo con pruebas índice realizadas en campo y en laboratorio. |



| | | | |
|---------------|---|------------------------------|--|
| M-MMP-1-07/03 | 1. Suelos y materiales para terracerías | 07. Límites de Consistencia. | Este Manual describe los procedimientos de prueba para determinar los límites de consistencia de los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N CMT1•01, Materiales para Terraplén, N-CMT•1-02, Materiales para Subyacente y N-CMT1:03, Materiales para Subrasante. |
| M-MMP-1-09/03 | 1. Suelos y materiales para terracerías | 09. Compactación AASHTO | Este Manual describe los procedimientos de prueba AASHTO estándar (AASHTO T 99-95) y AASHTO modificada (AASHTO T 180-95). para determinar mediante la curva de compactación, la masa volumétrica seca máxima y el contenido de agua óptimo de los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N-CMT:1:01, Materiales para Terraplén, N-CMT-1-02, Materiales para Subyacente y N-CMT•1-03, Materiales para Subrasante. |



| | | | |
|---------------|---|--|---|
| M-MMP-1-11/16 | 1. Suelos y materiales para terracerías | 11. Valor soporte California (CBR) y Expansión (Exp) en laboratorio. | Este Manual describe el procedimiento para determinar el Valor Soporte de California (CBR), así como la expansión (Exp), de los materiales para terracerías, a que se refieren las Normas N CMT:1-01, Materiales para Terraplén, N-CMT•1:02, Materiales para Subyacente y N-CMT-1-03, Materiales para Subrasante. |
|---------------|---|--|---|

Tabla 3. Métodos de muestreo y prueba de materiales (MMP) de la SICT



Capítulo 4. Procedimiento del proceso de inspección de calidad

Para la inspección de calidad del elemento constructivo de Terracerías, es necesario que se cuente con las acreditaciones necesarias para dicho fin, es por ello, que de acuerdo con la norma NMX-EC-17020IMNC-2014 (IMC,2014), se deberá tener los requisitos básicos descritos dentro de la misma para generar en el sector público y privado una Unidad de verificación y/o inspección para realizar las actividades precisas.

Dicha norma es una serie de procedimientos en manera de guía para llevar a cabo los procesos de evaluación cuya finalidad sea la acreditación del elemento verificado.

Para asegurar el cumplimiento de los procedimientos y lineamientos de la norma, en México existe la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (EMA) que valida la veracidad e imparcialidad de la unidad verificadora.

La norma NMX-EC-17020IMNC-2014 (IMC,2014) estimula la correcta gestión para la mejora continua de la administración de la documentación técnica requerida para el cumplimiento normativo.

El personal encargado de las inspecciones de calidad deberá estar acreditado por la EMA y las instalaciones deberán contar con todas las herramientas para la correcta gestión y vaciado de información.

Se deberá realizar la implementación de programas de aseguramiento de calidad, fiables e imparciales.

El Sistema de verificación son las “reglas, procedimientos y gestión para realizar la verificación” (IMC, 2014) siempre con una presencia objetiva.

De acuerdo con la norma NMX-EC-17020IMNC-2014 (IMC,2014), la unidad de verificación también deberá ser responsable y mantener siempre de manera confidencial todos los datos proporcionados por el cliente propietario, esto bajo acuerdos incluso legales, sin posibilidad de hacer pública la información sin previa autorización, a menos de que dicha información ya esté con antelación abierta públicamente.



Los principales elementos que se deben considerar (Ramírez (s.f)) en la correcta gestión de la norma NMX-EC-17020IMNC-2014 (IMC,2014) son:

| CALIDAD | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Integración total del proceso | Excelencia en la gestión | Satisfacción al cliente | Equipo comprometido con la calidad | Mejora continua |

Tabla 4. Calidad

Para ello, es importante realizar la metodología de trabajo, con los procedimientos y registros necesarios para la evaluación de la conformidad de las Terracerías en el sistema ferroviario mexicano.

El cual, a grandes rasgos se divide en “Planeación”, “Ejecución de la evaluación” e “Informe y Plan de acción” (Ramírez, s.f.).

Para la metodología de la evaluación de la conformidad de las terracerías se plantean los siguientes puntos y preguntas:

1. Procedimiento: ¿Cómo se hace?
2. Machote: ¿En qué formato se deberá vaciar la información?
3. Informe: ¿Cómo se debe emitir el resultado de la evaluación?
4. Acciones: ¿Qué acciones correctivas se deben realizar?

En un proceso de calidad, cuando las características de los materiales, o métodos constructivos no se llevan de acuerdo con las normas tanto nacionales como internacionales o manuales, se emite una No Conformidad, la cual, deberá ser sustentada de la mejor manera con los requisitos normativos para dar una pronta solución.

A continuación, se describe la metodología para la inspección de calidad de las Terracerías.

Planeación

La primera etapa de la inspección que se debe cumplir estará a cargo del Contratista constructor, el cual deberá realizar todas las pruebas necesarias para validar los



cumplimientos normativos de los materiales utilizados para la construcción de la terracería.

El Contratista constructor deberá realizar también cada una de las verificaciones y puntos de inspección del proceso constructivo de acuerdo con el proyecto y normativa aplicable, con lo cual, integrará un expediente con la evaluación de dichos puntos.

Como segunda etapa, un agente externo al Contratista constructor, llamada Supervisión externa, tendrá que validar y comprobar que cada uno de los registros emitidos cumplan con las especificaciones y normativa.

Si se detecta que algún procedimiento o informe de calidad no corresponde o no cumple con las especificaciones, se regresará la información para que el Contratista constructor emita sus respectivas observaciones y soluciones.

Una vez que el expediente es autorizado por la Supervisión externa, ésta dará la instrucción de que se entregue la documentación a la Unidad de Inspección de Calidad.

Como tercera etapa, la Unidad de Inspección de Calidad realizará la evaluación de la conformidad de la Terracería de acuerdo con proyecto y especificaciones normativas.

Como cuarta y última etapa, se realiza un informe con el resultado de la evaluación de la conformidad, si se trata de un producto No Conforme, el Contratista constructor dará las soluciones pertinentes para comenzar de nuevo con una segunda evaluación.



Ejecución de la evaluación

Puntos del Proyecto ejecutivo

El Contratista constructor entregará el proyecto ejecutivo a la Unidad de Inspección de Calidad, de esta manera, se identificarán los siguientes puntos de interés para la evaluación de la conformidad:

| Puntos del Proyecto ejecutivo de una Terracería |
|---|
| Área del desmonte y despalme |
| Traza del proyecto |
| Sección del Proyecto |
| Perfil del Proyecto |
| Especificaciones de los materiales de relleno y terraplén |
| Especificaciones de los materiales de la capa subyacente |
| Especificaciones de los materiales de la capa subrasante |
| Especificaciones para la capa de subbase |
| Espesores de las capas |
| Procedimiento constructivo |

Tabla 5. Proyecto ejecutivo de una Terracería

Evidencia y documentación para la evaluación de la conformidad

Para que el elemento constructivo de terracerías pueda tener un proceso de evaluación de la conformidad por una Unidad de Inspección de Calidad acreditada, es de suma importancia que el Contratista constructor integre el expediente de la terracería, ya sea por lotes o partidas y que contenga su Plan de Aseguramiento de la Calidad interno.

A continuación, se detalla el procedimiento a evaluar.



Documentación para el Desmote N-CTR-CAR-1-01-001-11 (SICT, 2011)

El Contratista constructor deberá entregar un registro que valide la remoción de la vegetación existente en el derecho de vía, en las zonas de bancos, de canales, etc. y que se indique que el traslado de todo el material será a los bancos de desperdicio que indique el proyecto o apruebe la SICT.

Los registros también indicarán que todo tipo de vegetación que existía o haya vuelto a crecer se haya retirado, también que las ramas queden a menos de 8 metros sobre la corona.

La buena ejecución que evitara dañar los árboles o arbustos que indique el proyecto o señale la SICT.

Documentación para el Despalse N-CTR-CAR-1-01-002-11 (SICT, 2011)

El Contratista constructor deberá entregar un registro que valide que la remoción del material superficial del terreno haya sido de acuerdo con lo indicado en proyecto o señalado por la SICT, para evitar la mezcla del material de las terracerías con materia orgánica o con depósitos de material no utilizable.

Dicho registro deberá tener los datos del espesor del despalse, el cual deberá ser el indicado en proyecto de acuerdo con la estratigrafía del terreno o la existencia de rellenos artificiales.

Documentación para el Afinamiento N-CTR-CAR-1-01-006-00 (SICT, 2000)

En caso de ser necesario, el Contratista constructor entregará un registro en dónde se señale la excavación y remoción de materiales necesarios para perfilar las secciones de la terracería evaluada, cuidando las líneas y niveles indicados en proyecto eliminando irregularidades realizadas por el equipo utilizado y material suelto.



Para que los procesos constructivos del Desmonte, Despalme y Afinamiento sean aceptados por la Unidad de Inspección de Calidad, bastará con que los registros entregados dentro del expediente indiquen:

1. Los niveles de acuerdo con las especificaciones de proyecto.
2. Chek list de los criterios de rechazo establecidos por las normas.
3. Fecha congruente con la construcción de la terracería.
4. En caso de ser necesario minutas o boletines por cambios de proyecto con sus respectivas firmas.
5. Croquis o referencias al proyecto.

Los alcances para la evaluación del Banco del material de procedencia se limitarán a que los registros indiquen el nombre del Banco utilizado para extraer material autorizado por SICT.

Para continuar con la evaluación de la conformidad de la Terracería, se dividirá la documentación de cada capa (Terraplén, Subyacente y Subrasante) en 3 segmentos:

1. Documentos de pruebas básicas
2. Documentos de certificados de calidad
3. Documentos para evaluar las verificaciones

Pruebas básicas para el terraplén, subyacente y subrasante

Pruebas básicas de la capa de relleno y/o terraplén

Para generar la evaluación de la calidad del material de relleno y/o terraplén, en primer lugar, se deberá identificar la frecuencia del muestreo, según los métodos de prueba de materiales M-MMP-1-01-03 (SICT,2003), el muestreo consiste en una porción del material disgregado o fragmentado de relleno y/o terraplén representativa, envasándolas en bolsas de plástico u otros recipientes impermeables para que el contenido de agua se mantenga cercano al origen, la cual deberá estar perfectamente identificada para su traslado al laboratorio.

De acuerdo con la Tabla 1. "Número y tamaño de las muestras" del método M-MMP-1-01-03 (SICT,2003), el Contratista constructor entregará un informe del laboratorio



seleccionado, acreditado y avalado por la Supervisión Externa por cada 300 m³ o fracción del material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco.

El informe deberá cumplir con las siguientes características, con base a la Tabla 1. "Requisitos de calidad de materiales para terraplén" de la norma N-CMT-1-01-21 (SICT,2021):

1. Indicar el límite líquido; 50% máximo.
2. Valor soporte califonia (CBR); 5% mínimo.
3. Expansión; 5% máxima.

Adicional a lo señalado con anterioridad el Contratista constructor también deberá entregar un informe de calidad por cada 1000 m³ o fracción del material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco para asegurar que se cumplan con la granulometría, valor soporte California, expansión y grado de compactación. Estos controles de informes de calidad tendrán que estar realizados tanto para el banco como para el sitio (durante la compactación).

El método M-MMP-1-09-03 (SICT, 2003) para la compactación en relleno y/o terraplén, permite identificar la curva de compactación de los materiales y a partir de ésta inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo, a lo que, el Contratista constructor tendrá que entregar un informe de calidad de la compactación, que de acuerdo con la Tabla 1. "Requisitos de calidad de materiales para terraplén" de la norma N-CMT-1-01-21 (SICT,2021), será del 90% +- 2%.

Pruebas básicas de la capa de subyacente

Para generar la evaluación de la calidad del material de la capa subyacente, de acuerdo con la Tabla 1. "Número y tamaño de las muestras" del método M-MMP-1-01-03 (SICT,2003), el Contratista constructor entregará un informe del laboratorio seleccionado, acreditado y avalado por la Supervisión Externa por cada 300 m³ o fracción del material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco.

El informe deberá cumplir con las siguientes características, con base a la Tabla 1. "Requisitos de calidad de materiales para capa subyacente" de la norma N-CMT-1-02-21 (SICT,2021):



1. Indicar el límite líquido; 50% máximo.
2. Valor soporte califonia (CBR); 10% mínimo.
3. Expansión; 3% máxima.

El Contratista constructor también deberá entregar una muestra integral para generar un informe de calidad por cada 800 m³ o fracción del material de un mismo tipo, extraído de un corte o un banco para asegurar que se cumpla con la granulometría, valor soporte California, expansión y grado de compactación. Estos controles de informes de calidad tendrán que estar realizados tanto para el banco como para el sitio (durante la compactación).

El método M-MMP-1-09-03 (SICT, 2003) para la compactación en la capa de Subyacente, permite identificar la curva de compactación de los materiales y a partir de ésta inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo, a lo que, el Contratista constructor tendrá que entregar un informe de calidad de la compactación, que de acuerdo con la Tabla 1.” Requisitos de calidad de materiales para terraplén” de la norma N-CMT-1-02-21 (SICT,2021), será del 95% +- 2%.

Pruebas básicas de la capa de subrasante

Para poder determinar la calidad del material de la capa de subrasante y llevar a cabo la evaluación, el Contratista deberá entregar un informe de calidad con una frecuencia de muestreo a cada 200 m³ o fracción del material de un mismo tipo de acuerdo con la Tabla 1. “Número y tamaño de las muestras” del método M-MMP-1-01-03 (SICT,2003), extraído de un corte o un banco, el informe de calidad emitido por un laboratorio acreditado y avalado por la Supervisión externa deberá indicar que se cumplen con los siguientes parámetros con base a la Tabla 1. “Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante” de la norma N-CMT-1-03-2 (SICT,2021):

1. Tamaño máximo del agregado; 76 mm
2. Límite líquido; 40% máximo
3. Índice plástico: 12% máximo
4. Valor soporte califonia (CBR); 20%
5. Expansión máxima; 2%.



Adicional a los valores anteriormente señalados, para evaluar la compactación de material en la capa su rasante del elemento sujeto a evaluación, el Contratista constructor deberá entregar un informe de calidad de todas las compactaciones que se determinen en las calas, con los rangos de valores de la compactación de 100% +/- 2%, según la Tabla 1. “Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante” de la norma N-CMT-1-03-2 (SICT,2021).

El Contratista constructor tendrá que entregar controles de calidad tanto en banco como en sitio (durante la compactación).

Documentos de calidad

Terraplenes reforzados

En las Terracerías puede existir, en caso de que lo marque el proyecto, un cuerpo de terraplén reforzado, la norma N-CTR-CAR-1-01-010-11 “Terraplenes reforzados” (SICT,2011) los define como estructuras que se construyen con materiales producto de corte o procedentes de bancos, adicionándole elementos transversales, metálicos, plásticos o de otro material, que le proporcionan al suelo la capacidad de resistir esfuerzos de tensión.

El Contratista entregará una Ficha técnica y Certificado de calidad emitido por el fabricante del material empleado en el refuerzo, el cual deberá contener la siguiente información:

1. Fecha de emisión anterior al empleo del material.
2. Colada, rollo o lote utilizado en el material.
3. Norma con la que se fabricó el material.

Adicional a esto, el Contratista entregará los Informes de laboratorios requeridos según la frecuencia de muestreo que requiera el material empleado.

Todos los registros deberán estar validados por la Supervisión externa.



Verificaciones

Para que se lleve a cabo la evaluación de la conformidad en Terracerías el Contratista generará un Programa de Puntos de inspección específicos, los cuales deberán indicar el cumplimiento de las especificaciones de proyecto y/o lo que señala la SICT.

Liberación de desmonte y/o despalme, el registro incluirá los siguientes datos:

- Planos de trazo y nivelación
- Listado del cumplimiento de los niveles respecto a proyecto
- Listado del cumplimiento de la vegetación de acuerdo con proyecto o señalado por la SICT.
- Cumplimiento de que no hayan dañado árboles, arbustos y vegetación que no indique el proyecto.
- Retiro de todo material que no sirva para la construcción del cuerpo de terraplén.
- Que el material se haya transportado a bancos de desperdicio adecuados.

La liberación se realizará por el Contratista constructor y se validará por la Supervisión externa.

Nivelación y desplante del cuerpo de terraplén el registro incluirá los siguientes datos:

- Planos de trazo y nivelación.
- Cumplimiento y comprobación de los niveles señalados en proyecto.
- Revisión topográfica.
- Volumen del material empleado para el cuerpo de terraplén.

Liberaciones de instalaciones y obras de drenaje bajo el cuerpo de terraplén:

- Planos de instalaciones de agua potable y obras de drenaje.
- Listado del cumplimiento de las instalaciones y obras de drenaje bajo el cuerpo de terraplén.
- Construcción previa a la colocación del cuerpo de terraplén.



Liberaciones de secciones de excavación:

- Plano de secciones y niveles
- Listado del cumplimiento de los niveles.
- Comprobación de la correcta ejecución de la excavación.

Registro del tendido del material no compactable para rellenos y terraplenes con base en las normas N-CTR-CAR-1-01-009 y N-CTR-CAR-1-01-011 (SICT, 2016) (SICT, 2020):

- Plano de niveles
- El registro indicará que el cumplimiento de que el material se humedeció y se extendió en todo el ancho de la sección, en capas sucesivas.
- Que se acomodó mediante bandeo.

Colocación de elementos para los terraplenes reforzados:

- Planos del material empleado para el refuerzo
- Planos de trazo y nivelación
- Cumplimiento del tipo, dimensiones y características del material empleado para el refuerzo.

Liberaciones de los espesores y volúmenes de cada capa:

- Planos de las secciones, trazo y nivelación
- Volumen de las capas empleadas para la conformación de la terracería
- Cumplimiento de las especificaciones de proyecto.

Todos los registros se deberán realizar por el Contratista constructor y los validará la Supervisión externa.



Informe y plan de acción

La información de los registros se analizará de manera detallada, comprobando todas las especificaciones de proyecto y requisitos normativos, se podrá hacer en un formato prediseñado en una platilla para realizar los cálculos pertinentes y las comparativas de la evidencia documental, comprobando las correctas prácticas constructivas.

Cada uno de los documentos entregados por el Contratista constructor se acomodarán de la siguiente manera secuencial para armar el expediente:

1. Planos de proyecto
2. Planos de taller (en caso de requerir elementos prefabricados)
3. Documentación de los registros de las pruebas básicas de la Terracería
4. Documentación del Programa de Puntos de Inspección
5. En caso de existir, evidencia fotográfica
6. En caso de aplicar, boletines y/o minutas por cambio de proyecto

Todos los documentos estarán firmados y validados por la Supervisión externa, responsable de obra, responsable de topografía y laboratorios acreditados.

Una vez que toda la información ha sido procesada, se emitirá por parte de la Unidad de Inspección de Calidad un Informe y Dictamen con la resolución del elemento constructivo de la terracería, el cual podrá ser “Conforme” o “No Conforme” (IMC,2014).



Conclusiones

El proceso de la evaluación de la conformidad de las terracerías en el Sistema ferroviario mexicano permite revisar las buenas prácticas constructivas en cada una de sus etapas, de acuerdo con el tipo de material utilizado para el cuerpo de terraplén, la capa subyacente y la capa subrasante.

Dado que México se encuentra en proceso de la realización de normativas nacionales para la construcción de las capas de Terraplén, Subyacente y Sub-balasto para un Sistema ferroviario, se propuso la utilización para las frecuencias de muestreo y la comprobación de los materiales de las distintas capas, de acuerdo con la normativa vigente de la SICT para carreteras, con la finalidad de tener un punto de partida para el correcto análisis.

La información realizada por el Contratista constructor ayudará a determinar que el proceso constructivo se realizó conforme a las especificaciones del proyecto y a la normativa vigente al momento de la construcción.

De igual manera, todos los documentos de calidad emitidos por los fabricantes y laboratorios acreditados y que cuenten con fechas congruentes al momento del proceso constructivo, comprobará que de acuerdo con las normas N-CMT-1-01/21 *Materiales para Terraplén* (SICT, 2021), N-CMT-1-02/21 *Materiales para Subyacente* (SICT, 2021) y N-CMT-1-03/21 *Materiales para Subrasante* (SICT, 2021), se obtienen los porcentajes mínimos del Límite Líquido, Valor Soporte California (CBR), Expansión y Grados de compactación para asegurar que la resistencia de cada una de las capas cumplirá a lo largo del tiempo de la vida útil de las construcción de la Terracería.

Por lo tanto, es importante fomentar y desarrollar los procesos de calidad en México, específicamente en cuanto a vías férreas, debido al momento en que nos encontramos del desarrollo de nuevos procesos constructivos para el Sistema ferroviario Mexicano.

Se debe de considerar que la inspección de calidad es necesaria y obligatoria para todas las empresas dedicadas a la construcción de Vías Terrestres, y las mismas deberán tener planes de aseguramiento de la calidad rigurosos, ya que sólo de esta manera se podrán identificar los puntos críticos cuando exista una falla en alguna capa de la Terracería.



Referencias

LIBROS

- 1) Medina Ramírez Salvador. (2013). El transporte ferroviario en México. México.
- 2) Bertrand L. Hansen y Prabhakar M. Ghare. (1987). Control de Calidad Teoría y aplicaciones. Madrid: Ediciones Díaz de santos S.A.
- 3) Guerrero, Fernández José. A. (2017). Ingeniería de Vías Férreas. México. ISBN 978-1-326-93551-1.
https://books.google.com.mx/books?id=rCqUDgAAQBAJ&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- 4) Amela Valverde Luis. (2019). Varia Nummorum X. España. Punto Rojo Libros S.L.
https://books.google.com.mx/books?id=07OnDwAAQBAJ&pg=PA289&dq=camino+de+Diolkos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjnz_XPxdL8AhUkEVkFHZs9AG8Q6AF6BAgQEAI#v=onepage&q=camino%20de%20Diolkos&f=false
- 5) Aparicio Guerra Abril Angélica y Ortiz García Brayan Eduardo (06 de marzo de 2019). Ferrocarril-Línea del tiempo. Prezi. https://prezi.com/p/q8yt0hz_teun/linea-de-tiempo-del-ferrocarril/
- 6) Rico Rodriguez Alfonso y Del Castillo Hermilo. (2005). La ingeniería de suelo en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas. Limusa.
https://books.google.com.mx/books?id=rU_pA257zUEC&pg=PA138&dq=proceso+constructivo+de+desmonte&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjVvNKF8NT8AhXAJUQIH30B8kQ6AF6BAgHEAI#v=onepage&q=proceso%20constructivo%20de%20desmonte&f=false
- 7) Tapia Iturriaga Carmen Karina, Guevara Rojas Eloy David, Castillo Prieto Salvador, Rojas Tamayo Martín y Salomón Doroteo Leonardo. (2015). Fundamentos de Auditoría. México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos.
- 8) Marcou Gérard y Franck Moderne. (2005). Derecho de la regulación, los servicios públicos y la integración regional. París: Universidad del Rosario.



9) Grigul, Ponsati Eulalia y Canela, C. Miguel. (2002). Gestión de la Calidad. España: Ediciones UPC.

10) Duarte Joya Isabel Cristina. (2020). El T-MEC y las Buenas Prácticas Regulatorias. 16/09/2020, de Centro de Estudios Regulatorios Sitio web: <https://www.cerlatam.com/publicaciones/el-t-mec-y-las-buenas-practicas-regulatorias/>

11) Ramírez Márquez Lorena G. (s.f.) Conceptos Generales de la NORMA MEXICANA NMX-EC-17020-IMNC-2014 “Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de unidades (organismos) que realizan la verificación (inspección)”. EMA.

https://www.ema.org.mx/descargas_portalV2/resenas/CentrosVerificacion/bloque4/1CONCEPTOSGENERALES17020LORENA.pdf

12) Díaz Rito José Arturo. (2016). Tesis: Análisis de los procedimientos constructivos de bases y subbases granulares para pavimentos flexibles. México. UNAM.

NORMAS

13) Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes. (2018). Ejecución del Control de Calidad Durante la Construcción o Conservación (N-CAL-1-01/18). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CAL-1-01-18.pdf>

14) Organización Internacional de Normalización. (2015). Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos (ISO 9001). <https://www.isotools.org/normas/calidad/iso-9001/>

15) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2018). Ejecución del Control de Calidad Durante la Construcción o Conservación (N-CAL-1-01/18). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CAL-1-01-18.pdf>

16) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2000). Ejecución de obras (N-LEG-3-00). <https://normas.imt.mx/normativa/N-LEG-3-00.pdf>

17) Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A. C. (2014). Evaluación de la conformidad- Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de unidades (organismos) que realizan la verificación (inspección) (NMX-EC-17020IMNC-2014).



- 18) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2011). 01. Terracerías.01. Desmonte (NCTR-CAR-1-01-001/11). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-001-11.pdf>
- 19) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2011). 01. Terracerías 02. Despalme (NCTR-CAR-1-01-002/11). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-002-11.pdf>
- 20) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2000). 01. Terracerías 06. Afinamiento (NCTR-CAR-1-01-006/00). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-006-00.pdf>
- 21) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2000). 01. Terracerías 08. Bancos (NCTR-CAR-1-01-008/00). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-008-00.pdf>
- 22) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2016). 01. Terracerías 09. Terraplenes (NCTR-CAR-1-01-009/16). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-009-16.pdf>
- 23) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2011). 01. Terracerías 010. Terraplenes reforzados (NCTR-CAR-1-01-010/11). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-010-11.pdf>
- 24) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2020). 01. Terracerías 011. Rellenos (NCTR-CAR-1-01-011/20). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-011-20.pdf>
- 25) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2021).01. Materiales para Terraplén (N-CMT-1-01/21). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-1-01-21.pdf>
- 26) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2021). 02. Materiales para Subyacente (N-CMT-1-02/21). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-1-02-21.pdf>



27) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2021).03. Materiales para Subrasante (N-CMT-1-03/21). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-1-03-21.pdf>

MANUALES

28) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2003). 01. Muestreo de Materiales para Terracerías (M-MMP-1-01/03). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-01-03.pdf>

29) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2003). 02. Clasificación de Fragmentos de Roca y suelos (M-MMP-1-02/03). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-02-03.pdf>

30) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2003). 07. Límites de Consistencia (M-MMP-1-07/03). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-07-03.pdf>

31) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2003). 09. Compactación AASHTO (M-MMP-1-09/03). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-09-03.pdf>

32) Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2016). 11. Valor soporte California (CBR) y Expansión (Exp) en laboratorio (M-MMP-1-11/16). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-11-16.pdf>

Artículo de internet

33) Dr. Brown R. Ben. (02/07/2015). El Ferrocarril en México. Artículo de divulgación.

<http://www.inahchihuahua.gob.mx/articulos.pl?id=68#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20la%20historia%20ferrocarrilera,un%20costo%20estimado%20de%20%24%206%2C500%2C000.>



Tablas e imágenes

- Fig. 01 Propuesta del camino del Diolkos sobre el istmo de Corinto. (Raepsaet, 1993)
- Figura 02. Sección transversal y parámetros mínimos de la vía de ladro de apoyo (FERROMEX, 2015).
- Figura 3. Sección transversal de terraplén con capa subyacente (Díaz, 2016).
- Tabla 1. Normativa aplicable (CTR) de la SICT
- Tabla 2. Normativa aplicable (CMT) de la SICT
- Tabla 3. Métodos de muestreo y prueba de materiales (MMP) de la SICT
- Tabla 4. Calidad
- Tabla 5. Proyecto ejecutivo de una Terracería