



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Métodos de Gestión de Proyectos en
Ingeniería Geológica.**

**Caso de estudio: Remediación de la
Autopista Tijuana-Ensenada**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Mónica Jaqueline Butrón Medina

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Edgardo Ulises Benítez Eslava



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado METODOS DE GESTION DE PROYECTOS EN INGENIERIA GEOLOGICA. CASO DE ESTUDIO: REMEDIACION DE LA AUTOPISTA TIJUANA-ENSENADA. que presenté para obtener el título de INGENIERO GEÓLOGO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

MONICA JAQUELINE BUTRON MEDINA
Número de cuenta: 313314162



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Métodos de Gestión de Proyectos en

INGENIERÍA GEOLÓGICA

Caso de estudio:
Remediación de la Autopista Tijuana-Ensenada

MÓNICA JAQUELINE BUTRÓN MEDINA

Director de Tesis: Dr. Edgardo Ulises Benítez Eslava

(dronesoriangel, s.f.)

Con amor y dedicación...

A Gerardo Butrón Romano y Mónica Medina Alanís,
mis padres; por la paciencia y esfuerzo brindados y
el gusto por la naturaleza heredado.

A Gerardo y Angélica, por ser la inspiración que
guió mi camino para llegar a este punto.

A mis sobrinos, Iñaki y Emiliano por traer luz a mi
vida y darme la fuerza para seguir.

A cabo, mi compañero de vida peludo.

Finalmente, a ti que te das el tiempo de leer este
escrito que dista de ser perfecto, pero
tiene todo el esfuerzo, dedicación y cariño de la
autora. Que te sea útil.

*“Nunca dejes de aprender,
porque la vida nunca deja de enseñarte.”*

Gracias

A mis sinodales, el Ing. Javier Arellano Gil, el Dr. Bernardo Ignacio García Amador, al Dr. Edgardo Ulises Benítez Eslava, el M.I. Víctor Andrés Lojero Ochoa y a el M.I. Sergio Macuil Robles porque a pesar de sus ajetreadas y ocupadas vidas se dieron el tiempo para revisar mi tesis, guiarme y compartirme su conocimiento. También a los ingenieros Enrique Santoyo, Miguel Gallardo y Gabriel Morales por facilitarme la información necesaria para lograr mi investigación, sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

A la UNAM y a mi bella Facultad de Ingeniería, por ser mi casa, mi lugar recreativo, mi aula de conocimientos y en general, ese espacio que ha fungido como lugar de conexión y convergencia con múltiples personalidades y lugares especiales que ahora son parte de mi vida.

A grupo BAAL, Fundación Slim y aquellas instituciones que me brindaron apoyo económico a lo largo de mi estancia en la UNAM, pues me dieron la oportunidad de continuar de mejor manera mis estudios.

A mis padres por criarme con la necesidad suficiente para aferrarme a titularme mediante una tesis, y con la rebeldía necesaria para forjar mi criterio propio. Gracias papá, por impulsar mi mente curiosa, gracias mamá por desarrollar mi lado reflexivo. Gracias a ambos por darme la sabiduría, paciencia, entusiasmo, cariño y apoyo, mucho apoyo para también lograr concretar esta etapa llamada Licenciatura.

A mi hermana y a mi hermano, que nunca me abandonaron e incluso en los momentos más complejos, me han motivado y enseñado algo.

A la familia Quintos González por brindarme un segundo hogar cuando estuve lejos de casa, a Jerkan, por hacer del final de mi carrera una historia interesante, por tu amor y cariño sincero, por los buenos y malos momentos que me dejaron las lecciones aprendidas con las que ahora cuento, por tu apoyo y risas genuinas que me ayudaron a avanzar en esta vida, agradezco profundamente tu compañía. A la Sra. Lulú, por regresarme al presente, brindarme su apoyo, cariño y amistad para lograr concluir mi carrera y mi tesis, gracias por sus sabios consejos.

A mis amistades que en algún momento se volvieron familia en este camino, a Christopher Rojo, Sandra Mercado, Dasharely Melina, Marco Albán, Nayely Reverte, Carlos Eduardo, por sus consejos, apoyo, y los momentos felices, se queda en mi corazón que compartimos los malos y buenos días de esta etapa tan compleja y peculiar llamada universidad. Y a todas y cada una de las personas con las que coincidí en esta etapa que de una u otra forma sumaron a mi camino.

A casa maya que se volvió mi espacio sagrado de estudio y convivencia y me otorgo a mis roomies y familia por elección que aguantaron mis desveladas, días felices e hiperactivos, pero también los peores momentos en este camino, gracias a Gisela, Sofía, Alejandra, Elizabeth, Daniela, Andrea e Hiram por su soporte, comprensión y apoyo en este proceso y a Moi Manzur por todas esas pláticas de vida, así como la comprensión de mi economía como estudiante.

A las profesoras y profesores que no solo me transmitieron sus conocimientos sino también me compartieron su lado humano, interés y gusto por la geología, la ingeniería, la vida o la cultura; al Ing. Bernardo García Amador, Michel Angelo Martini, María del Pilar, Carlos Crail Corzas, al Inge Barrera, a Bethania Palacios, Andrés Omassi, Víctor Lojero, Enrique Torres, Moisés Dávila, Margarita Cadena y Andrés Robles Osollo. Gracias porque de una u otra manera despertaron mi pensamiento, tocaron mi corazón y aportaron más a la persona que ahora soy.

Agradezco profundamente a la Ingeniera Ana Laura Nila Fonseca por adentrarme al amor por la geología desde los inicios de mi carrera, así como ser una mujer ejemplo como maestra y jefa, gracias por creer en mí y todo el apoyo, siempre.

Al Dr. Bernardo Ignacio García Amador, por que por azares del destino llegó son sus palabras precisas y amabilidad para dejarme una lección de vida en los momentos más indicados. Gracias Bernardo, por tu interés y gusto genuino por compartir tu conocimiento en el área de las ciencias de la Tierra y volar mi cabeza con la tectónica de este planeta. Además de compartirnos ese lado humano que te caracteriza. "No tienes que demostrarle nada a nadie, recordaré".

A mi tutor, profesor, amigo y compañero, el Doctor Edgardo Ulises Benítez Eslava, por introducirme al maravilloso mundo del Project Management, despertar mi consciencia sobre las problemáticas actuales en México y extender mi amor por la Ingeniería, por los consejos de vida y el apoyo, por los datos curiosos, la poesía, las risas y las personas que me llevo a conocer ya que me llenaron de entusiasmo e inspiración. Un día me dijo "Alea iacta est", no lo olvido nunca.

Al ingeniero Víctor Andrés Lojero Ochoa, por despertar mi gusto por la Geotecnia y darme la oportunidad de cultivarme más en esta área, por creer en mí, el apoyo y la paciencia y por regalarme una de las mejores prácticas de campo de mi carrera, así como traer inspiración y admiración en este camino.

A mis compañeros de LAPEI, por compartir su rareza conmigo y mostrarme que dentro de este mundo a prisa aún existen personas interesadas por hacer bien las cosas, con mentes curiosas y buenos valores, en especial al Ing. Fernando Valle por su apoyo y sabios consejos.

A mi maestro, colega y amigo Marco Albán Albarrán Santos, porque sin tu apoyo, esta tesis no hubiera visto su fin de la manera en que ha concluido, gracias por tu dedicación, por enseñarme con tanto amor y paciencia más sobre la geología estructural y por el soporte, risas y cariño que me ha dado tu amistad.

Agradecimientos especiales a mi mejor amiga y hermana, a ti Angie que a lo largo de mi carrera estuviste ahí para motivarme, apoyarme y enseñarme, gracias por mostrarme el mundo del diseño y compartir un pedacito de él en mi trabajo escrito.

Finalmente, a la danza porque sin ella definitivamente no sería la persona que soy ahora, gracias por ser aquello que inspira mis pensamientos, me libera del estrés, por ser mi lugar seguro en donde puedo expresarme y me llena de inspiración para continuar con mi día a día.



ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
1.1. El Ingeniero Geólogo como director de proyecto	3
1.2. La importancia de la Gestión de Proyectos en la Ingeniería Geológica	5
1.3. La utilidad de la Gestión de Proyectos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 La infraestructura como motor de desarrollo	6
2.1.1 ¿Qué es un proyecto de infraestructura?	6
2.1.2 Tipos de infraestructura	7
2.1.3 Importancia de los proyectos de infraestructura	7
2.2 Infraestructura en México	8
2.2.1 Infraestructura de Transporte	8
2.2.2 Marco legal y regulatorio.....	11
Ley de Obras Públicas.....	12
Asociaciones Público-Privadas, APPs	13
2.2.3 Estado actual de la infraestructura en México.....	13
2.3 El Pilar Oculto: La Ingeniería Geológica en la Infraestructura	15
2.3.1 La Ingeniería Geológica.....	15
2.3.2 Participación de la ingeniería geológica en proyectos de infraestructura carretera	16
2.3.3 Propiedades geológicas y geotécnicas.	16
2.3.4 Mecánica de rocas.....	21
2.3.5 Mecánica de suelos	23
2.4 Aplicación de la Ingeniería Geológica	24
2.4.1 Estudios geológicos.....	24
2.4.2 Excavaciones	25
2.4.3 Riesgos geológicos	25
Riesgos por Deslizamientos de Ladera	26
2.5 La Gestión de proyectos.....	27
2.5.1 ¿Qué es un proyecto?.....	27
2.5.2 Gestión de proyectos, una disciplina indispensable para la Ingeniería Geológica	29

Alcance.....	30
Cronograma.....	34
Costos	35
Riesgos	38
2.5.3 Gerencia de proyectos en México	39
CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDIO: Remediación de la Autopista Tijuana-Ensenada	42
3.1 Contexto.....	42
3.2 Geología del área de estudio.....	43
3.2.1 Contexto Tectónico-Estructural de la Región	45
3.2.2 Contexto Hidrogeológico	48
3.3 La emergencia.....	48
3.4 Estudios realizados	51
3.5 Descripción del proyecto	53
3.5.1 Galería de drenaje	53
3.5.2 Diseño de la Galería.....	54
3.5.3 Estructuras organizacionales reportadas	55
3.5.4 Medición de avance de obra	57
3.5.5 Control de incidentes y tiempos de ejecución.....	58
CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PMI A ESTE CASO DE ESTUDIO	60
4.1 Alcance del proyecto	61
Objetivos del proyecto.....	61
4.1.1 Estructura de Desglose del Trabajo - EDT	61
4.2 Cronograma	64
4.3 Riesgos.....	66
4.3.1 Riesgo geológico	66
4.3.2 Otros Riesgos	68
4.3.3 Metodología Mosler	69
CAPÍTULO V. La necesaria aplicación de la Gestión a los proyectos de Ingeniería	79
CAPÍTULO VI. REFLEXIONES Y APRENDIZAJES.....	80
ÍNDICE DE TABLAS	81
ÍNDICE DE FIGURAS.....	83
BIBLIOGRAFÍA	84

RESUMEN

La gestión de proyectos aplicada a la ingeniería, de la mano de la ingeniería geológica, es clave para garantizar el éxito de obras de infraestructura como la autopista Tijuana-Ensenada, especialmente frente a riesgos geológicos los cuales impactan directamente en costos y plazos de ejecución de una obra, pero sobre todo a las personas afectadas. El objetivo de este trabajo, de inicio, es analizar cómo la ingeniería geológica influye en las distintas etapas que plantea la gestión de proyectos con énfasis en la planeación, donde juega un papel clave. En segundo lugar, evaluar el impacto que tiene en los resultados de una obra. Además, de demostrar la relevancia de aplicar métodos de gestión para lograr un control de los costos, tiempos, calidad y riesgos de una obra de infraestructura para que se cumplan con los objetivos que estipula ésta.

Se utilizó un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo, al analizar datos reales del proyecto “Remediación a la autopista Tijuana-Ensenada como resultado de la emergencia técnica desarrollada” que, involucró la construcción de una galería de drenaje que se implementó como medida de estabilización. También, se aplican principios de gestión de proyectos con el fin de identificar factores críticos en la planeación, control y ejecución, lo que permite tener un control en el desarrollo y lograr así la correcta ejecución y éxito de éste. Además, permite evaluar cómo la integración de la ingeniería geológica en la planeación inicial concede reducir los riesgos asociados a factores geológicos como fallas, fracturas, sismos o competencia de materiales y así optimizar los recursos y asegurar la calidad de la obra.

Tras este análisis se encontró que el proyecto tuvo incidentes y eventos que entorpecieron su funcionamiento y correcta ejecución; se encontró que la mayoría de estos eventos están ligados a la falta de la implementación de una buena campaña de estudios previos y de planeación, razón que produjo el no alcanzar los objetivos que establece una obra de infraestructura: Impulsar el crecimiento económico del país y lograr mejorar el bienestar de la sociedad que habita en éste. La ingeniería geológica demuestra ser un pilar fundamental en la gestión de proyectos de infraestructura, destacándose como una disciplina esencial para el éxito de la planeación y ejecución de grandes obras, pues está presente en diversas etapas, sobre todo en las más fundamentales que el *Project Management (i.e., Gestor de proyecto)* establece.

Por su parte, el uso de estructuras organizacionales como lo es una EDT, un cronograma, análisis de riesgos o una lista de incidentes y un registro de lecciones aprendidas brinda la información necesaria para lograr implementar un esquema organizado y control de un proyecto.

Sin embargo, para lograr estos objetivos es necesario la mejora en los instrumentos legales con los que el país cuenta, así como la implementación de mejoras en los procesos de construcción de proyectos de infraestructura que tomen en cuenta el futuro como factor de incertidumbre y la planeación como herramienta para construir obras con visión sostenible y de calidad.

ABSTRACT

Project management applied to engineering, alongside geological engineering, is key to ensuring the success of infrastructure projects such as the Tijuana-Ensenada Highway, especially when facing geological risks that directly impact project costs and timelines, but most importantly, affect the people involved.

The primary objective of this work is to analyze how geological engineering influences the various stages of project management, with an emphasis on planning, where it plays a crucial role. Secondly, it aims to assess the impact it has on the outcomes of a project. Additionally, it seeks to demonstrate the importance of applying management methods to control costs, timelines, quality, and risks in an infrastructure project, ensuring the fulfillment of its objectives.

A qualitative and quantitative approach was used, analyzing real data from the project "Remediation of the Tijuana-Ensenada Highway as a result of the technical emergency developed," which involved the construction of a drainage gallery as a stabilization measure. Project management principles were also applied to identify critical factors in planning, control, and execution, allowing proper control over the project's development and ensuring its correct execution and success. Furthermore, it evaluates how the integration of geological engineering in the initial planning phase helps reduce risks associated with geological factors such as faults, fractures, earthquakes, or material competence, while also optimizing resources and ensuring construction quality.

Following this analysis, it was found that the project experienced incidents and events that hindered its performance and proper execution. Most of these events were linked to the lack of proper preliminary studies and planning, which prevented the achievement of the infrastructure project's main goals: boosting the country's economic growth and improving the well-being of its population. Geological engineering proves to be a fundamental pillar in infrastructure project management, standing out as an essential discipline for the successful planning and execution of large-scale projects, as it is present in various stages, especially the most critical ones established by Project Management.

The use of organizational structures such as a Work Breakdown Structure (WBS), a schedule, risk analysis, an incident list, and a lessons-learned register provides the necessary information to implement an organized and controlled project framework.

However, to achieve these goals, it is necessary to improve the legal instruments available in the country, as well as to implement improvements in the construction processes of infrastructure projects that consider the future as a factor of uncertainty and planning as a tool to build sustainable and high-quality works.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, un bien o resultado único. Debido a los grandes volúmenes de trabajo, variables y requisitos que implica la ejecución de éste, la administración de proyectos es fundamental para lograr cumplir con los objetivos planteados en el tiempo y costos establecidos sin dejar de lado los estándares de seguridad y calidad.

El ingeniero geólogo aplica sus conocimientos para encontrar fuentes alternativas de energía, analizar problemas relacionados con el medio ambiente así como la prevención de desastres geológicos, entre otras muchas actividades este profesionalista está presente en diversas áreas que involucran el diseño y la ejecución de proyectos de infraestructura de toda escala; desde la obtención de recursos naturales como la minería, el petróleo, o la explotación de acuíferos (sector primario), hasta la construcción de obras como presas, túneles, puentes y carreteras (sector secundario).

De esta manera, el ingeniero geólogo no sólo debe ser capaz de aplicar conocimientos técnicos y científicos, sino que también le incumbe contar con las habilidades de comunicación, gestión y dirección para ejecutar de la mejor manera un proyecto de ingeniería y la administración de éste.

1.1. El Ingeniero Geólogo como director de proyecto

Desde el origen de su existencia el ser humano ha requerido trabajar en equipo, en un inicio, para lograr la permanencia de la especie al cazar a fin de conseguir alimento y buscar refugio, para después evolucionar a hacerlo con el objetivo específico de satisfacer una necesidad, por ejemplo, la construcción de caminos y lugares en donde vivir. Como muestra existe la Muralla China, las Pirámides de Egipto o Teotihuacán, obras que no hubieran sido posibles sin el trabajo en equipo adecuado.

Gracias al trabajo en equipo se ha logrado la ejecución de proyectos con el fin de desarrollar un avance en la sociedad, aunque no siempre ha resultado en casos de éxito, a pesar de ello, estas experiencias se pueden utilizar como lecciones aprendidas para mejorar la ejecución de proyectos futuros.

El ingeniero tiene como misión contribuir a este avance no sólo al aplicar sus conocimientos técnicos, prácticos y creativos sino también al desarrollar la capacidad de aplicarlos con éxito y eficiencia. Como ejemplo de una gestión exitosa yace la construcción del metro de Doha en Qatar, proyecto que representa uno de los sistemas de tránsito ferroviario más avanzados del mundo en la actualidad (Grupo TYP SA, 2019). Gracias a la correcta implementación de la gestión de proyectos con la aplicación de la metodología BIM, se realizó prósperamente la ejecución de la obra pues, se ha cumplido con cada etapa de la ejecución de acuerdo al tiempo y costos establecidos en la fase de planeación del proyecto, lo que lleva a esta gran obra de infraestructura a alcanzar una calidad de alto nivel (*Gobierno de la Ciudad de México, s.a*).

Por otro lado, si no se aplican estos conocimientos de manera adecuada, se llega al fracaso del proyecto lo que deriva en incrementos en los tiempos de entrega y finalización, por ende, también en los costos así como a fallas en la seguridad y calidad

que terminen en resultados incluso fatales como la muerte de trabajadores y civiles o un desastre ambiental.

A continuación, se mencionan 3 casos reales en los que falló la aplicación de estas habilidades lo que dió como resultado el fracaso de un proyecto de ingeniería.

1. El caso *Deep Water Horizon*.

Ocurrido en 2004, se trata del mayor accidente en la industria petrolera de los Estados Unidos, en donde una combinación de factores técnicos, de gestión, de seguridad y falta de comunicación entre las empresas involucradas fueron las causas que originaron un gran desastre ambiental y económico, que resultó en la derrama de petróleo durante 3 meses en el Golfo de México, la muerte de trabajadores, animales marinos, aéreos y terrestres, así como daños en el turismo y salud de las zonas aledañas. Consecuencias que siguen afectando hasta la actualidad.

2. Túnel Emisor Oriente.

El túnel Emisor Oriente es una obra de ingeniería que se ejecutó con la finalidad de evitar la inundación de la ciudad de México, al fungir como drenaje para el control y desalojo de las aguas pluviales y residuales del Valle de México, sin embargo, debido a la falta de más estudios geológicos en la etapa de planeación de la obra, además de múltiples factores más como el daño de tuneladoras nuevas y de alto costo (maquinaria), su construcción pasó de proyectarse en 4 años a llevarse a cabo en 11 años (de 2009 a 2020) por lo que el costo de esta obra se multiplicó a más del doble con base en la inversión inicial estipulada. Lo anterior implicó un aumento considerable de los costos del proyecto y en el tiempo de finalización (SMIG, 2012).

3. Accidente en la mina El Pinabete.

Ubicada en Sabinas, Coahuila, esta mina explotaba carbón, sin embargo, debido a la falta de determinación de factores de riesgo, así como un proceso no controlado de extracción sumado a sistemas irregulares de explotación del mineral (García, 2017), en agosto de 2022 se originó un accidente que provocó la inundación y derrumbe de una parte de la mina, costando la vida de 10 mineros.

Los errores en estos proyectos no tienen índole únicamente técnica si no que el fracaso radica también de fallas en su administración y gestión.

Los casos anteriores ejemplifican escenarios en los que el ingeniero geólogo puede estar presente. Así, queda en evidencia que el valor que tiene este profesional en cuanto a sus habilidades técnicas y prácticas son clave para actividades que buscan el avance y beneficio de la sociedad, sin embargo, no sirven de mucho si no se tiene conciencia de los riesgos, del tiempo y de los costos que implica llevarlas a cabo así como de una comunicación asertiva entre los diferentes especialistas que participan en un proyecto, es decir, el conocimiento del cómo gestionarlo para lograr el éxito del mismo y por ende alcanzar el propósito principal: Un beneficio para que la existencia del ser humano pueda seguir siendo posible de la mejor manera, es decir, sin que implique un riesgo para las otras especies que habitan este planeta así como daños

ambientales, pérdida innecesaria de vidas humanas, sin olvidar la optimización económica y financiera.

1.2. La importancia de la Gestión de Proyectos en la Ingeniería Geológica

Esta tesis tiene como objetivo estudiar la importancia de aplicar la gestión a un proyecto de infraestructura en lo particular y de ingeniería en lo general. En el presente trabajo se analizará un proyecto de infraestructura carretera que involucró la participación de la geotecnia (como un área de la aplicación de la Ingeniería geológica) con especial atención en el área de excavaciones. Además de resaltar la importancia que tiene el tomar en cuenta el riesgo geológico para evitar deficiencias a la hora de realizar obras de infraestructura. “*Se toma como caso de estudio la remediación de la carretera Tijuana-Ensenada km 88-90*”. El alcance de esta tesis se enfoca en la aplicación de las herramientas y metodologías de la gestión de proyectos para la galería de drenaje construida en esta carretera. En este se aplicarán algunas de las diferentes áreas de conocimiento que involucra la gestión de un proyecto: Alcance, Tiempo, Costos, y Riesgos con base a lo que estipula la metodología del *Project Management Institute* versión 6 (2017); con el fin de responder a las preguntas:

- ¿Qué diferencia hay entre un proyecto en donde no se aplicó la gestión de proyectos y uno en donde sí se aplicó esta?
- ¿En qué medida la aplicación de la gestión de proyectos impacta en el costo, calidad, tiempo y seguridad de un proyecto de infraestructura?
- ¿Qué impacto tiene la Ingeniería geológica de la mano de la gestión de proyectos en la correcta ejecución de un proyecto de infraestructura?

1.3. La utilidad de la Gestión de Proyectos

Un proyecto de infraestructura resulta más económico, se concluye satisfactoriamente en tiempo, con mejor calidad y con estándares de seguridad si se aplica la Gestión de Proyectos de la mano de la Ingeniería Geológica para optimizar tiempos, costos y prevención de riesgos para con ello aumentar la seguridad y destacadamente el incremento del valor del proyecto.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 La infraestructura como motor de desarrollo

La infraestructura consiste en un conjunto de sistemas o servicios básicos necesarios para mejorar el funcionamiento de un país. Un proyecto de infraestructura puede servir como indicador de desarrollo económico, por lo que la construcción de un proyecto de esta clase significa la creación de una obra a gran escala razón por la cual necesitan ser medidos y ejecutados por etapas. En este apartado se aborda la importancia que tiene el desarrollo de infraestructura para un país y cómo impacta ésta en la calidad de vida de la población que lo habita.

De manera particular se ahonda en la infraestructura de México y cómo está regulada ésta, así como las áreas de oportunidad que presenta.

2.1.1 ¿Qué es un proyecto de infraestructura?

La infraestructura se conoce como el conjunto de todos los sistemas y servicios básicos que un país o una organización puede necesitar para funcionar correctamente. En un país, la infraestructura se compone por todos los sistemas físicos necesarios para lograr satisfacer un servicio sea físico o no físico. Por ejemplo, la construcción de un sistema de carreteras que satisface el servicio de comunicar una localidad con otra (físico), o el sistema de cableado para satisfacer el servicio de internet en una ciudad (no físico).

Los proyectos de infraestructura son ejecutados con el objetivo de alcanzar el mejoramiento y funcionalidad de un país al implementar el desarrollo, mantenimiento, crecimiento y sostenibilidad de servicios, instalaciones y sistemas, con el fin de contribuir de manera positiva a la sociedad en la cual se realizan. Pueden ser financiados por entidades privadas, públicas o en colaboración mixta (entre entidades públicas y privadas). Es decir, el objetivo de un proyecto de infraestructura es lograr el desarrollo de una sociedad mediante la creación de construcciones, servicios o facilidades para las personas que habitan en ella.

Los proyectos de infraestructura son a gran escala tanto en términos de construcción como de temporalidad. Por lo regular, un proyecto de infraestructura se caracteriza por tener múltiples variables que se deben tomar en cuenta al inicio, durante y una vez culminado el proyecto, lo que los hace complejos de ejecutar pues requieren también de un equipo de trabajo conformado por múltiples disciplinas. Por lo que, son proyectos con ciclos de vida largos creados en ambientes complejos pues impactan a una región, una población, intereses económicos y ambientales diversos.

Así, la escala de tiempo de un proyecto de infraestructura lleva meses, años o décadas para su creación y una vez concluida su construcción, el paso siguiente es el de proveer un servicio, generando que la escala de tiempo se extienda durante un periodo aún mayor tomando en cuenta el mantenimiento y operación posteriores que estos requieren. Al ser un proyecto con una escala de tiempo tan grande que, además, debe contemplar múltiples factores y condiciones técnicas, esta clase de proyectos se dividen por secciones que miden su avance por etapas.

Otro factor clave es que, al tener ciclos de vida largos, durante la ejecución, se crean toda clase de incertidumbres, desde la perspectiva social y económica hasta la política,

así como de la implementación técnica, lo que los puede llevar a tener varios cambios según transcurran las etapas preestablecidas, con el fin de lograr la calidad y el propósito con el que fueron pensados.

2.1.2 Tipos de infraestructura

Según el *Corporate Finance Institute*, existen múltiples tipos de infraestructura y conforme al autor se pueden incluir dentro de la misma categoría o dividirse, aquí se mencionan los más destacados.

- a) Infraestructura de transporte: Incluye puentes, carreteras, vías férreas, aeropuertos.
- b) Infraestructura de petróleo: Incluye los sistemas de abastecimiento de gasolina y gas, extracción, producción y exploración.
- c) Infraestructura de telecomunicaciones: Incluye las redes de internet, telefónicas y servicios de wifi.
- e) Infraestructura hídrica y de saneamiento: incluye todo lo que tiene que ver con el abastecimiento de agua, la regulación de ésta, el manejo de los acuíferos, los sistemas de drenaje y de saneamiento.
- f) Infraestructura social: Incluye programas de desarrollo social, de rescate social, creación de espacios recreativos como deportivos, parques, escuelas.
- g) Infraestructura de salud: Incluye hospitales, clínicas, transporte de medicamentos, escuelas de salud.
- h) Infraestructura de energía: Incluye las redes de generación de energía y los sistemas de abastecimiento.

2.1.3 Importancia de los proyectos de infraestructura

Los proyectos de infraestructura impulsan el crecimiento económico de un país, de esta manera también logran mejorar el bienestar de la sociedad que habita en él, pues todo aquel proyecto que se construya en el presente repercutirá en el estilo y calidad de vida de una sociedad en un futuro. El impacto que tienen no sólo es medido en cómo se siente la población beneficiada o quienes colaboraron y trabajaron en el proyecto, sino que también es directamente visible, por ejemplo, el ver un puente o el disfrutar del servicio de energía eléctrica, facilita la aprobación y apoyo que la sociedad tiene para con el proyecto, pues lo viven directa y tangiblemente, sin embargo, si los resultados no son satisfactorios y distan del objetivo que planteó el proyecto, repercute altamente y de manera negativa en la aprobación que tiene la sociedad hacia un gobierno, una empresa, o una institución.

Además, dichos proyectos son un indicador de desarrollo a escala global, con lo que según el nivel de infraestructura con el que cuente un país será el nivel de desarrollo que tenga éste, es decir, aumentan la competitividad del país. Por lo que siempre será importante invertir en proyectos de infraestructura.

2.2 Infraestructura en México

En México no es fácil establecer el monto de los recursos presupuestales, las políticas para la inversión ni el tipo de inversión aplicables a la infraestructura, ya que éste depende de las necesidades presupuestales que considere el gobierno federal con base en la seguridad nacional, la salud, la educación, la energía eléctrica, los combustibles entre muchas más, además de la infraestructura.

El monto asignado a infraestructura no sólo debe contemplarse para mejorar el nivel de vida de los mexicanos sino también contemplar el necesario para aprovechar las oportunidades de desarrollo, como ejemplo, la que requieren las industrias de otros países al ubicarse en el territorio nacional como parte del Nearshoring.

Además, debe considerarse la complejidad derivada de la satisfacción de las necesidades de transporte que el país demanda como resultado del acelerado crecimiento poblacional e industrial. Hace menos de 100 años el 80% de la población era rural y el 20% urbana. Actualmente es 20% rural y 80% urbana, fenómeno que está presionando para satisfacer las crecientes demandas de infraestructura de todo tipo. (Robledo, 2024).

La infraestructura en México se desarrolla a través de una combinación de inversión pública y privada, así como de colaboración con organismos internacionales y entidades gubernamentales. Las principales áreas en las que México desarrolla infraestructura actualmente son las de transporte, energía, telecomunicaciones, urbana, hidrocarburos, económica, medio ambiente, educación, agua, salud y turismo.

De acuerdo con el índice Global de Competitividad del IMD (*International Institute for Management Development*), en el año 2023, México se ubicó en la posición 56 de 64 países que contempla este índice, el cual entre los factores que mide, se encuentra el de nivel de infraestructura desarrollada en el país. Dentro de las recomendaciones que dio este foro está el crear y trabajar en infraestructura de logística para aprovechar el *Nearshoring* que existe con Estados Unidos, el cual se potenció después de la pandemia por COVID-19 y por la guerra entre Ucrania y Rusia.

Es claro que el desarrollo de más y mejor infraestructura para nuestro país sigue siendo un área de oportunidad, sin embargo, se debe tomar en cuenta que el desarrollo de la infraestructura en México también enfrenta desafíos, como la necesidad de aumentar la inversión, mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos, abordar problemas de corrupción y garantizar la sostenibilidad ambiental, sin pasar por alto el riesgo sísmico y de desastres naturales como huracanes a los que nuestro territorio es propenso de sufrir.

2.2.1 Infraestructura de Transporte

En la actualidad, México es el único país en vías de desarrollo que cuenta con acceso a los dos océanos más extensos, el Pacífico y el Atlántico, además de una frontera terrestre con la economía más grande del mundo, Estados Unidos. (Colegio de Ingenieros Civiles de México, 2023) Por lo que la infraestructura de transporte en México es un componente crucial para el desarrollo económico y social del país (Tabla 1).

Además, debido a la naturaleza de su territorio, el país requiere de una amplia gama de sistemas para lograr el transporte de carga y/o pasajeros incluyendo carreteras, vías férreas, puertos, aeropuertos y transporte público.

Tipos de infraestructura de transporte en México	
Infraestructura ferroviaria	Infraestructura marítima
Infraestructura carretera	Infraestructura aérea

Tabla 1. Tipos de Infraestructura de transporte en México

El medio de transporte más usado es el autotransporte, es decir, la infraestructura carretera (85.38% del total), así, México cuenta con una extensa red de carreteras que conecta las principales ciudades y regiones del país. (García et al., 2024)

Dentro de la red carretera se incluyen autopistas de cuota y carreteras libres. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es la encargada de supervisar y mantener esta infraestructura.

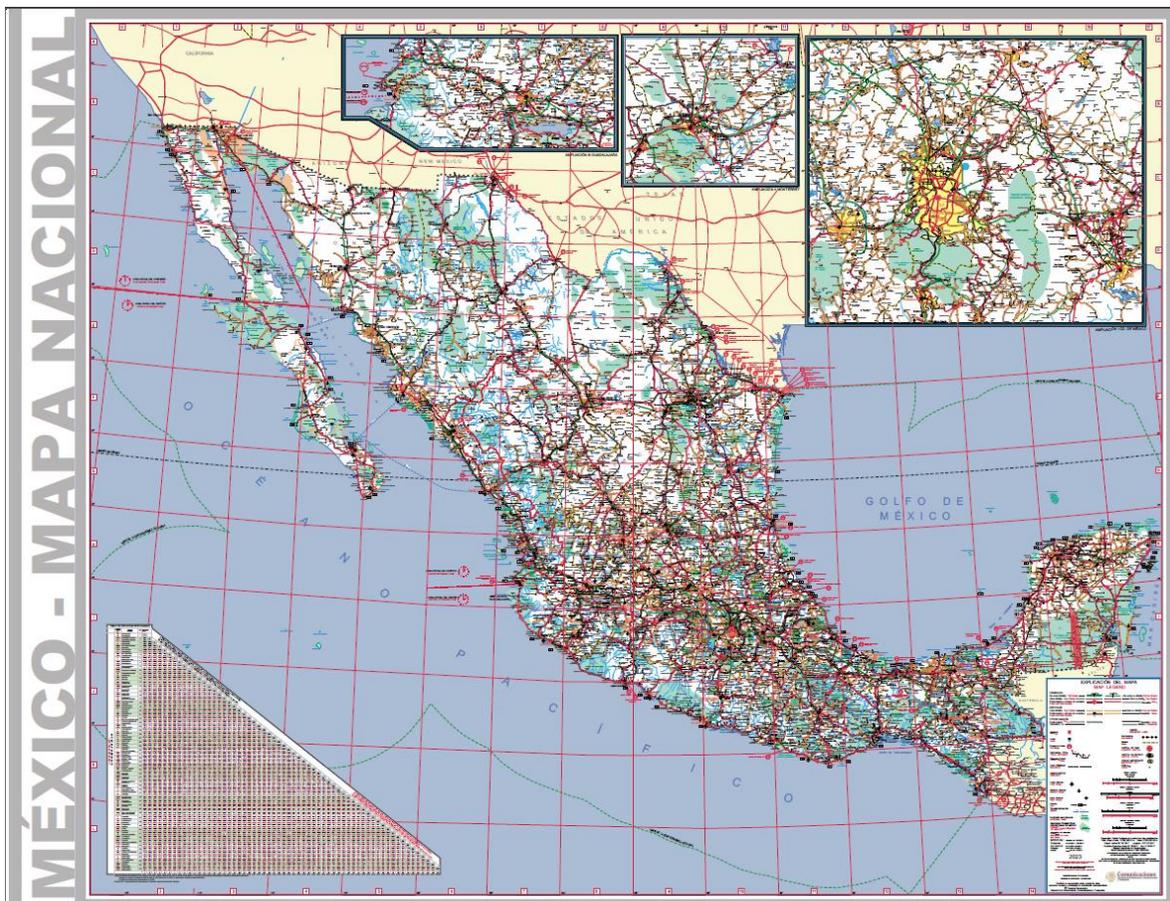


Figura 1. Mapa de la red nacional de caminos mexicana 2023.
(Secretaría de Infraestructura comunicaciones y Transporte 2023)

Es importante entender que el servicio de transporte carretero es un insumo que le suma valor a los bienes que se tienen que transportar, por lo que el valor final de los bienes es el precio que adquiere la carga en su destino. De esta manera, el precio final de un bien transportado, por ejemplo, una tonelada de jitomate se ve directamente influenciado por el precio que conlleva transportarlo, el cual depende de la calidad, distancia y seguridad vial; por lo que el precio final es la suma de su costo de producción, empaquetamiento, manejo y transporte.

Para medir la calidad que brinda el servicio prestado por una carretera en México o de un tramo de ella, se mide el promedio anual del tránsito diario (TDPA), la velocidad promedio de recorrido, la geometría que presenta, más los accidentes que podrían imputarse a la infraestructura y a su conservación (García et al., 2024)

Hay varias formas de medir el nivel de infraestructura de un país, en este caso al tratarse de infraestructura de transporte, se puede utilizar el índice creado por el Banco mundial, el Índice de desempeño logístico (IDL). Éste mide la facilidad para establecer nexos confiables en la cadena de suministro y los factores estructurales que permiten hacerlo, como la calidad de los servicios de logística, la infraestructura relacionada con el comercio y el transporte, y los controles fronterizos (*Colegio de Ingenieros Civiles de México, 2019*)

El IDL colocó a México en el año 2023 en la posición 66 de 139 países que contempla. Con lo que es claro que, a pesar de tener acceso marítimo y terrestre con gran potencial además de una extensa red de carreteras, el estado de la infraestructura en el país aún requiere de mayor desarrollo y mejoras en su mantenimiento.

Según el Foro nacional de infraestructura de transporte del CICM 2023, son distintas áreas las que requieren atención para lograr mejoras en la infraestructura de transporte mexicana, por un lado, a lo largo de la historia el presupuesto que se invierte a la mejora y mantenimiento de lo ya existente no ha sido suficiente, en el gobierno inmediatamente anterior (2019-2024) se ha trabajado para intentar mejorar esta situación, se ha asignado más presupuesto a las que se encuentran en peores condiciones y limitado a aquellas que se encuentran en mejores, con lo que se buscó homogeneizar el estado de la red carretera en donde no hubiese mejores o peores alcanzando un estado regular en la mayoría, sin embargo, estas condiciones tampoco son las óptimas.

México se enfrenta al desafío de mejorar la calidad y densidad de su infraestructura de transporte y aumentar su inversión en el sector del 1% del PIB a un rango de entre 5% y 7% (Cepal, 2020) con el fin de optimizar el desempeño logístico, elevar la calidad de la red vial y facilitar el comercio bilateral con Estados Unidos, considerando que más de la mitad del comercio entre ambos países se realiza a través de carreteras. (*Bosco Martí, 2024*)

Trabajar en mejores instrumentos legales es una opción que soluciona fallas en la cantidad de presupuesto asignado o el cómo se distribuye el que se tiene destinado a esta área, con el manejo adecuado del presupuesto se podrá invertir más en la operación y mantenimiento de nuestra infraestructura de transporte, pues una realidad

del país es que incluso las carreteras y autopistas de cuota están en malas condiciones. En resumen, la infraestructura de transporte en México debe alcanzar transparencia, planeación y competitividad.

2.2.2 Marco legal y regulatorio

El marco legal y regulatorio para la infraestructura de transporte en México está compuesto por una serie de leyes, reglamentos y organismos gubernamentales que establecen las normas y lineamientos para la planificación, construcción, operación y mantenimiento de los diversos sistemas de transporte.

En el año 2015, los estados miembros de las Naciones Unidas se unieron a la agenda 2030, México se rige bajo lo que estipula esta agenda, lo que significa que las normas y lineamientos aplicados en el país deben apegarse a construir infraestructuras resilientes al cambio climático y que impulsen el crecimiento económico y la estabilidad social (industrialización inclusiva), así como fomentar la innovación. (*Banco Mundial, 2017*).

La administración pública federal de México es quien se encarga de lo relacionado con infraestructura pues comprende tanto a los organismos centralizados como los paraestatales; se encuentra encabezada por el presidente de México, seguido por los titulares de las secretarías del estado mexicano (*Duarte, 2023*), por lo que a ella pertenece la SCIT que es la Secretaría de Comunicaciones y Transporte. La SCIT es a quien le atañe darle al país infraestructura de comunicaciones y transportes moderna y suficiente, que promueva la prestación de servicios de calidad y competitivos (*CEPAL, 2024*) mediante la implementación y creación de políticas públicas en el marco jurídico.

La construcción de una obra de infraestructura es considerada como una obra pública, que es la realizada por el Estado-Federación, entidad federativa, municipio, con un propósito de alcanzar un fin social, destinada al uso público o a la prestación de un servicio público, estas obras se financian con fondos públicos los cuales son recaudados mediante los sistemas tributarios del estado y son realizadas sin fines de lucro, no buscan generar ganancias financieras sino prestar un servicio útil a la comunidad.

Se consideran obras públicas a aquellas de uso y aprovechamiento generales como:

- Caminos
- Puentes
- Carreteras
- Presas
- Puertos aéreos y marítimos
- Canales de riego
- Pozos de agua
- Pozos petroleros
- Saneamiento de terrenos

Por citar algunos, en concreto, se consideran obras públicas los trabajos que tengan por objeto construir, instalar, ampliar, adecuar, remodelar, restaurar, conservar, mantener o modificar (*Duarte, 2023*) inmuebles como los anteriormente listados.

“Existen tres formas de gestionar la obra pública:

- a) Administración Directa. - Cuando se trata de obras de bajo costo y que no requieran de la contratación de externos para que la administración pública trabaje con equipo propio, como el mantenimiento de pavimento de las calles.
- b) Contrato de Obra Pública. - Implica la celebración de un contrato administrativo entendido como un negocio jurídico bilateral, donde el contratista mediante el pago de un precio realice los trabajos estipulados en el contrato.
- c) Concesión de Obra Pública. - En esta forma de gestión, la Administración Pública confiere la administración de la obra a un particular, así como su explotación durante un plazo determinado con el fin de que el particular recupere la inversión realizada, el importe de los intereses respectivos, la suma de los gastos de operación y mantenimiento y obtenga, además, una utilidad.

En este esquema, el concedente (El Estado) puede realizar la obra pública sin emplear sus recursos por medio de un contrato de obra pública aunado a la concesión de un bien del dominio público (que es la obra una vez concluida)” (*Sansón, 2016*).

En este camino, la realización de una obra pública puede llevarse por el Estado quien contrata a los trabajadores de forma directa haciéndose cargo de sus salarios o mediante un proceso de licitación, en el cual empresas privadas presentan sus propias ofertas de desarrollo. Todo lo relativo a la obra pública se encuentra reglado en la LEY de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.

Ley de Obras Públicas

Dentro de la Ley de obras públicas se establecen tres formas de adjudicarse una contratación para llevar a cabo una obra pública:

- 1. Licitación pública
- 2. Adjudicación directa
- 3. Invitación

La licitación pública es un proceso administrativo por el cual la Administración Pública elige como contratante a la persona física o jurídica que ofrece las condiciones más convenientes para el Estado (*Duarte, 2023*), precio, calidad, financiamiento y oportunidad además de eficacia y honradez. Entonces, la Administración Pública no hace ninguna propuesta, sino que la recibe por parte de los licitadores.

Al tratarse de un proceso administrativo, requiere de una serie de actos que se desarrollan en diferentes etapas, el incumplimiento de alguno de estos actos evitaría la conclusión de la decisión final por parte del Estado:

- 1. Autorización presupuestaria
- 2. Preparación de las bases o pliego de condiciones
- 3. Publicación de la convocatoria
- 4. Presentación de ofertas o propuestas
- 5. Apertura de ofertas
- 6. Admisión de ofertas
- 7. Adjudicación
- 8. Perfeccionamiento o formalización del contrato.

Asociaciones Público-Privadas, APPs

Según estudios del instituto de investigaciones jurídicas de la UNAM, la inversión pública no alcanza para atender la totalidad de los requerimientos de infraestructura, por lo que debe ser complementada con recursos privados. Aquí es donde entran en juego las Asociaciones Público-Privadas (APPs) que, conforme a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), los proyectos de APPs representan un esquema complementario al de la Obra Pública Tradicional para el desarrollo de proyectos de infraestructura.

Las APPs en México son mecanismos de colaboración entre el sector público y el sector privado para el desarrollo, operación y mantenimiento de infraestructura, así como de la prestación de servicios públicos. Estas asociaciones buscan aprovechar las fortalezas y recursos de ambos sectores para mejorar la eficiencia, calidad y financiamiento de proyectos públicos.

Características de las APPs:

Se caracterizan por promover la colaboración y el riesgo compartido, esto significa que tanto el sector público como el privado comparten los riesgos y beneficios que el proyecto genera incluyendo la inversión inicial, los costos de operación y los ingresos generados, además, el sector privado es el encargado de colaborar con la experiencia con la que cuenta, la calidad en la ejecución o la operación del proyecto, por otro lado el sector público establece el marco regulatorio, en este sentido la Ley de Asociaciones Publico-Privadas y el Reglamento de Asociaciones Publico-Privadas son los documentos base para los procedimientos, implementación y operación de este tipo de proyectos, mientras que la (SHCP) es quien se encarga de supervisar el financiamiento, al evaluar y aprobar un proyecto de APPs.

2.2.3 Estado actual de la infraestructura en México

México es un territorio cambiante, particularmente ha experimentado grandes transformaciones demográficas, económicas, sociales y políticas. Como consecuencia, la presión sobre la producción de bienes y servicios para la población ha sido enorme (*Facultad de Ingeniería, UNAM, s.a.*), impactando directamente a la infraestructura de transporte y la tasa de evolución de ésta.

Se desarrolla un fenómeno en donde el crecimiento poblacional crece más rápido que nuestra infraestructura, por lo que en nuestro país coexisten necesidades de conservación, modernización y expansión de la infraestructura que deben ser atendidas. Por esta razón, al estipular la creación de nuevos proyectos de infraestructura, estos deben ser pensados a futuro, adelantando los posibles escenarios según la tendencia que muestra el país y previniendo que el futuro no nos alcance, como sucedió en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) que se vio rebasado por la demanda y el crecimiento demográfico de la ciudad, situación que deja al aeropuerto sin muchas alternativas de soluciones en la actualidad.

Si bien ya existe infraestructura marítima, aérea, ferroviaria y carretera, esta no está en las mejores condiciones ni pensada para funcionar de una forma multimodal, en donde se pueda entrelazar el transporte marítimo, con un ferrocarril y una carretera, por ejemplo. Según el Maestro en ingeniería Oscar de Buen Richkarday (2023), con base en las condiciones actuales de infraestructura de transporte en México, los principales temas a atender durante los próximos años están:

- Mejoras al Marco regulatorio
- Planeación de la infraestructura
- Financiamiento de inversiones
- Mantenimiento integral de los acervos existentes
- Calidad de servicio permanente
- Sustentabilidad
- Seguridad vial
- Resiliencia ante el cambio climático
- Transición energética
- Tecnología e innovación
- Nearshoring
- Capacidad institucional

2.3 El Pilar Oculto: La Ingeniería Geológica en la Infraestructura

En el siguiente apartado, se destaca la relevancia que tiene la ingeniería geológica en las obras de ingeniería y su relación como consecuencia del crecimiento poblacional y las demandas que la sociedad actual requiere. Se mencionan conceptos básicos necesarios para entender esta disciplina, así como áreas de aplicación en el campo de la evaluación de riesgos y la construcción. Finalmente, se describe la geología del área de estudio y los fenómenos geológicos aquí desarrollados.

2.3.1 La Ingeniería Geológica

Los avances tecnológicos y científicos han permitido que la esperanza de vida del ser humano aumente, así como también la mejora de su entorno además de la capacidad para habitar cada vez más espacios diferentes y complejos en el planeta. Estas características han beneficiado y propiciado el aumento de la población humana cuyo crecimiento muestra una tendencia exponencial y de rápido aumento.

Los humanos, al demandar más espacios en dónde desarrollarse se han convertido en un agente importante de cambio de la superficie terrestre, gracias al incremento entre la interacción de las actividades humanas y el medio geológico donde se desenvuelven éstas. Así, la Ingeniería Geológica surge al inicio del siglo XX como respuesta a la necesidad de entender el medio en donde construimos, habitamos y nos desarrollamos con el fin de evitar y resolver algunos de los problemas más complejos que enfrenta nuestra sociedad dadas las condiciones ambientales y poblacionales que se viven actualmente como consecuencia del crecimiento urbano a nivel global. Se trata de ciencia aplicada a la ingeniería y al medio ambiente, en donde, de la mano de ciencias afines como la hidrogeología, la topografía, la geofísica y la geotecnia, la Ingeniería Geológica logra estudiar la respuesta de los suelos y rocas ante los cambios de condiciones del medio generados por las obras de ingeniería.

Es fundamental realizar un estudio exhaustivo del terreno antes de iniciar cualquier proyecto de infraestructura, considerando estudios geológicos aplicados a la ingeniería que evalúen cómo la escala de tiempo afecta el funcionamiento de la obra a largo plazo, con el fin de evitar accidentes en presas, puentes, carreteras o construcciones inmobiliarias. Además, es necesario analizar las repercusiones ambientales de estas construcciones y aplicar un enfoque multidisciplinario que incluya aspectos económicos, gestión, seguridad y riesgos. Hoy en día, las obras de ingeniería deben construirse bajo los principios del desarrollo sustentable y sostenible, tomando en cuenta los daños medioambientales existentes o los posibles a suceder, así como los procesos geológicos que pueden verse alterados por la expansión urbana o estos mismos repercutir en la funcionalidad de un proyecto, todo con el objetivo de prevenir daños futuros y optimizar recursos, mejorando la calidad de las construcciones en zonas geológicas adversas y no reguladas.

La importancia de la ingeniería geológica se manifiesta en dos grandes campos de actuación y ambos campos de aplicación tienen un gran impacto en el PIB de un país pues su relación con actividades económicas como la minería, electricidad, agua, construcción, etcétera es directa. El primero se refiere a los proyectos y obras de ingeniería en donde el terreno puede constituir el soporte, el material de excavación o

de almacenamiento de construcción. Dentro de este se incluyen obras de infraestructura, edificación, obras hidráulicas, marítimas, plantas industriales, explotaciones mineras, centrales de energía.

El segundo campo de actuación se refiere a la prevención, mitigación y control de los riesgos geológicos, así como del impacto ambiental que conlleva la realización de obras públicas, actividades industriales, mineras o urbanas. La importancia económica de este campo es difícil de calcular pues tiene repercusiones sociales y ambientales que dependen del nivel de daño y de la reducción de pérdidas para poder ser valoradas. (González et al., 2004)

2.3.2 Participación de la ingeniería geológica en proyectos de infraestructura carretera

La ingeniería geológica contribuye significativamente a la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de proyectos de infraestructura al proporcionar una comprensión e interpretación integral de los factores geológicos y geotécnicos involucrados, “por lo que la viabilidad y costo dependerán críticamente de las condiciones geológicas del sitio donde se construirá la obra civil” (Grijalva, 2013). Al analizar las estructuras geológicas presentes tales como fallas o fracturas con el objetivo de saber cómo repercuten éstas en el comportamiento geotécnico de la obra.

Además, se encarga de gestionar los riesgos geológicos al determinar y predecir el comportamiento del terreno durante la construcción y mantenimiento de la obra de infraestructura, en donde se toman en cuenta también aspectos como el papel que juega la presencia de agua, o el peso de la infraestructura de una ciudad y cómo afectan estos al terreno, lo que ayuda a mitigar riesgos y garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras. También, aporta soluciones constructivas que repercuten directamente en los costos de un proyecto pues con base en la naturaleza geológica de un sitio optimiza las inversiones para el adecuado planteamiento de las actividades constructivas.

En suma, las propiedades geotécnicas del material terrestre (suelos y rocas) así como la evaluación de diferentes peligros geológicos juegan un papel esencial en el diseño de estructuras de ingeniería como carreteras, puentes y áreas urbanas (Sheng, 2018), por lo que la necesidad de estudiar geológicamente el terreno como base de partida para los proyectos de grandes obras es indiscutible en la actualidad, y constituye una práctica obligatoria. (González et al., 2004)

2.3.3 Propiedades geológicas y geotécnicas.

a) Matriz y Macizo rocosos

En primer lugar, es necesario entender la diferencia entre macizo rocoso, matriz rocosa, suelos y rocas.

La matriz rocosa se visualiza como una masa de roca continua que presenta comportamiento anisotrópico. Cuando esta masa de roca es afectada por procesos tectónicos o atmosféricos, se generan discontinuidades o zonas de debilidad que producen su división en bloques generando diferentes macizos rocosos. La matriz rocosa se caracteriza con base en su composición, peso específico, resistencia y deformabilidad.

Por su parte, el macizo rocoso son los bloques de matriz rocosa junto con las discontinuidades presentes en ellos. Estos bloques se ven afectados por dichas discontinuidades lo que modifica sus características originales volviéndolas menos resistentes o mejorándolas, si estas discontinuidades son rellenadas posteriormente por materiales más resistentes o que infieren al bloque una mayor estabilidad mecánica, es decir, los macizos rocosos son medios discontinuos y anisótropos.

A pesar de que el macizo rocoso presenta características propias de la matriz rocosa que lo generó, existen más factores que determinan su comportamiento mecánico:

- Estructuras generadas por procesos tectónicos (como pliegues y fallas).
- Estructuras generadas por procesos sedimentarios.
- El estado de esfuerzos al que está sometido el sitio donde se encuentra.
- Factores hidrogeológicos y geoambientales (p.ej., zonas con mucha lluvia o zonas cálidas que afectan de diferente forma al macizo rocoso).

MATRIZ ROCOSA



**Imagen1: Vladimir Romin, 2013,
Sur de california**

MACIZO ROCOSO



**Imagen 2: Geomechanical
Consulting**

b) Clasificación geológica de rocas y suelos.

Los suelos y rocas son conceptualmente distintos a la matriz rocosa y al macizo rocoso. Sin embargo, pueden compartir composición en alguna de sus fases (si se trata de un suelo) o de las partículas que las conforman (si se trata de una roca), pero no se debe perder de vista que lo que los diferencia son los procesos que los originan como la erosión, meteorización, transporte, reacciones químicas, eventos tectónicos, diagénesis. Es importante entender que el concepto de suelo y roca es diferente desde

la perspectiva geológica con respecto a la perspectiva geotécnica, sin embargo, la geotecnia se apoya en la geología para lograr el estudio de suelos y rocas.

Rocas.

En geología las rocas son agregados de partículas minerales y se clasifican por su estructura granular, textura y origen (características genéticas):

Clasificación geológica de las rocas	
Rocas sedimentarias	Detríticas, no detríticas y químicas
Rocas ígneas	Intrusivas y extrusivas
Rocas metamórficas	Masivas o foliadas.

Tabla 2. Clasificación geológica de las rocas

Se considera roca a todo aquel material pétreo que cumpla con estas características y se encuentre en la corteza terrestre.

Suelos.

Es clave entender que las rocas se ven afectadas por procesos geológicos y ambientales al estar situadas en la superficie terrestre estos procesos físicos llevan al fracturamiento y alteración de la roca lo que posteriormente da origen a un suelo.

Los fragmentos de roca producidos por la meteorización y erosión son transportados a un lugar diferente al de su origen con lo que dependiendo del medio que los transportó y al ambiente en el que se depositan, se clasifican en:

Formación	Transporte	Depósito	Textura	Estructura	Consistencia
RESIDUALES	Ninguno	Insitu	Granular a coloidal	Fracturas de la roca madre	Blanda a dura
TRANSPORTADOS	Coluviales	Talud	Granular, gruesa y angulosa	Heterogénea	Suelta
	Aluviales	Abanicos	Granular, media y subangulosa	Heterogénea	Suelta a semicompacta
		Llanuras Terrazas Deltas	Granular fina a coloidal	Heterogénea, lenticular o estratificada	Suelta compacta
		Marinos Lacustres	Granular media a fina o coloidal	Homogénea estratificada	Suelta compacta Blanda a dura
	Eólicos	Dunas Loes	Granular, fina y uniforme	Homogénea	Muy suelta
	Glaciales	Morrenas Fluviales Marinos Lacustres	Granular, gruesa a coloidal	Heterogénea Estratificada	Compacta Blanda a dura
PIROCLÁSTICOS	Eólicos	Superficiales Marinos Lacustres	Granular gruesa a fina	Heterogénea o estratificada y homogénea	Suelta compacta
ORGÁNICOS	Ninguno o Aluviales	Residuales Marinos Lacustres	Coloidal o fibrosa	Estratificada	Muy blanda

Tabla 3. Clasificación geológica de los suelos.
(Tomado de Tamez González, Enrique, Ingeniería de cimentaciones)

La geología clasifica a las rocas y suelos con base en su composición, textura y estructura.

c) Clasificación geotécnica de rocas y suelos.

La clasificación geotécnica de rocas y suelos es necesaria ya que la clasificación geológica sólo hace referencia a su composición o textura mas no a sus propiedades físicas y mecánicas. Estas clasificaciones tienen el objetivo de hacer cuantitativas las cualidades de los suelos y rocas para que estos valores cuantitativos puedan ser empleados a la hora de hacer los cálculos de diseño.

Suelos.

Para la geotecnia, un suelo se genera a partir de la erosión y meteorización de la roca madre (que puede estar constituida por un macizo rocoso o por los distintos tipos de roca), estos procesos generan la disgregación de la roca madre en componentes más pequeños generando fragmentos de diferentes tamaños.

Si estos fragmentos no son transportados, es decir, el suelo permanece in situ, se le clasifica como suelo residual.

Si por el contrario son transportados, se les denomina suelo transportado.

Los suelos son un material complejo pues están conformados por partículas pequeñas que pueden tener una fuente de origen diversa o no, además incluyen cantidades variables de agua y aire en los poros existentes entre sus partículas. Con ello, un suelo se puede visualizar como un sistema multifase conformado por tres fases:

- Una de aire
- Una de agua
- Una sólida

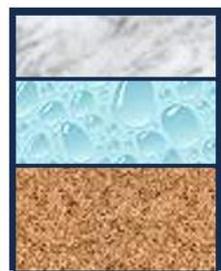
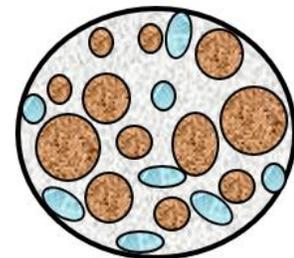


Diagrama de fases



SUELO

Figura 2. Composición de los suelos

Los suelos son clasificados con base en el tamaño de grano que los conforma bajo la siguiente escala:

SISTEMA CLASIFICACION USCS							
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)							
Tipo de Suelo	Símbolo	% pasa 5 mm.***	% pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP	
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3		
	GP			≤ 6	<1ó>3		
	GM		> 12				< 0.73 (wl-20) ó <4
	GC						> 0.73 (wl-20) ó >7
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3		
	SP			≤ 6	<1ó>3		
	SM		> 12				< 0.73 (wl-20) ó <4
	SC						> 0.73 (wl-20) y >7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC.							
*** respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm							
** Si $IP \cong 0.73 (wl-20)$ ó si IP entre 4 y 7 e $IP > 0.73 (wl-20)$, usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.							
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.							
$C_U = (D_{60}) / (D_{10})$				$C_C = (D_{30}^2) / (D_{60} \cdot D_{10})$			

Tabla 4. Clasificación geotécnica de los suelos.

(Annual Book of ASTM Standards, 1985)

La geotecnia clasifica a los suelos y rocas con base a sus propiedades mecánicas e hidráulicas.

Como lo muestra la Tabla 4, el sistema SUCS O USCS es un sistema que describe la textura y el tamaño de las partículas de un suelo.

2.3.4 Mecánica de rocas.

La mecánica de rocas estudia las propiedades de los materiales rocosos para entender cómo estas influyen en su comportamiento mecánico al aplicarse un sistema de fuerzas internas y/o externas con el objetivo de lograr un correcto diseño de estructuras en las obras de ingeniería.

Los macizos rocosos y las rocas suelen estar afectados por discontinuidades y zonas de debilidad por lo que la mecánica de rocas estudia las propiedades y comportamiento de la matriz de roca y de las discontinuidades presentes en ella. La presencia de discontinuidades marca la diferencia entre el campo de estudio de la mecánica de suelos y la mecánica de rocas.

La respuesta que tiene el medio rocoso ante un sistema de fuerzas que se es aplicado es que éste se deforma o rompe, por lo que, para lograr un diseño eficiente se toma en cuenta las dimensiones que tendrá la obra con respecto a la estructura del macizo rocoso y la distancia o frecuencia con la que aparece cada discontinuidad.

Un factor importante que afecta directamente la estabilidad y competencia del macizo rocoso es la presencia de agua ya que genera presiones y por ende modifica sus propiedades mecánicas.

Al realizarse una obra de ingeniería se pueden acelerar los procesos naturales por los que pasa una roca llevándolos a actuar en un periodo de tiempo corto lo que genera un decremento en la resistencia del macizo rocoso.

Para lograr entender como los procesos o factores anteriormente mencionados alteran la competencia mecánica de un macizo rocoso es necesario realizar pruebas de laboratorio que analizan:

- La naturaleza de la roca
- Resistencia ante la rotura.
- Deformación a corto y largo plazo.
- Influencia del agua en el comportamiento mecánico.
- Como se comporta ante la meteorización.
- Su comportamiento en función del tiempo. (*González et al., 2004*)

Tras analizar estas características se pueden definir la resistencia del material y su modelo de deformación. En la siguiente tabla se mencionan las propiedades estudiadas y los métodos que se utilizan para lograrlo:

	Propiedades	Métodos de determinación
PROPIEDADES DE IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN	Composición mineralógica Fábrica y textura Tamaño de grano Color	Descripción visual Microscopía óptica y electrónica Difracción de rayos x
	Porosidad (n)	Técnicas de laboratorio
	Peso específico (γ)	
	Contenido en humedad	
	Permeabilidad (coeficiente de permeabilidad, k)	Ensayo de permeabilidad
	Durabilidad Alterabilidad (índice de alterabilidad)	Ensayos de alterabilidad

PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia a compresión simple (σ_c)	Ensayo de compresión uniaxial Ensayo de carga puntual Martillo de Schmidt
	Resistencia a tracción (σ_t)	Ensayo de tracción directa Ensayo de tracción indirecta
	Velocidad de ondas sónicas (V_p, V_s)	Medida de velocidad de ondas elásticas en laboratorio
	Resistencia (parámetros c y Φ)	Ensayo de compresión triaxial
	Deformabilidad (Módulos de deformación elástica, estáticos o dinámicos: E, ν)	Ensayo de compresión uniaxial Ensayo de velocidad sónica

Tabla 5. Propiedades mecánicas y métodos de identificación en rocas

(Capítulo Mecánica de rocas, González Vallejo, 2004)

La mecánica de rocas clasifica a las rocas con base en su grado de calidad y en función de sus propiedades índice tanto del macizo rocoso como de las discontinuidades.

Para este fin se utilizan las clasificaciones geomecánicas de las cuales destacan RMR (Beniawski), Q (Barton) y el índice de RQD.

2.3.5 Mecánica de suelos

El estudio de la mecánica de suelos es necesario para lograr comprender la respuesta del terreno al realizar excavaciones, explosiones o aplicación de cargas o todo aquel proceso que una obra de infraestructura pueda implicar.

Esta respuesta depende de la composición del suelo y del tipo de acción a la cual sea sometido, si el material analizado es un macizo rocoso, la respuesta estará en función de la resistencia de la roca, la presencia de zonas alteradas y discontinuidades, si por el contrario el material analizado es un suelo, la respuesta cambia drásticamente pues se debe analizar bajo la perspectiva del comportamiento de las partículas que lo conforman.

De esta manera al analizar un suelo se debe tomar en cuenta la proporción de fase sólida presente, el tamaño y distribución de las partículas, el volumen de poros(huecos) y el tamaño de estos.

Así, la mecánica de suelos busca analizar:

- Los problemas de deformabilidad que introducen las cargas y acciones exteriores a los que se somete un suelo.
- La resistencia que presentan los suelos al ejercer estas acciones.
- Los problemas que puede generar el flujo de agua en el interior del suelo.

La mecánica de suelos realiza análisis de Permeabilidad, de tensiones efectivas, de consolidación, de resistencia al corte y de composición mineral para lograr elaborar una predicción completa de cómo se comportará un material geológico sometido a acciones humanas. En este caso de construcción de obras de infraestructura.

2.4 Aplicación de la Ingeniería Geológica

2.4.1 Estudios geológicos

Los estudios geológicos tienen el objetivo de definir las características geológicas y estructurales de un sitio mediante un conjunto de técnicas y procedimientos. En estos, la geología se apoya de otras disciplinas afines como la geofísica, sismología, paleontología e hidrografía (*Arvizu-Dávila, 2013*) así como de métodos indirectos como lo son la perforación o el levantamiento topográfico para conocer su historia geológica.

Los estudios geológicos brindan una base sólida para definir la viabilidad de una obra de infraestructura, pues es el paso previo para crear el diseño y modelo geotécnico para la construcción y ejecución de la obra.

Según el geólogo Gustavo Arvizu Lara (*Arvizu-Dávila, 2013*), la importancia de los estudios geológicos radica principalmente en su uso como herramienta fundamental para cumplir con los siguientes tres aspectos:

- a) Cumplir con los programas de trabajo
- b) Construir las obras con la calidad especificada y con los factores de seguridad adecuados, pero sin rebasar el presupuesto original y, en ambos casos, que el programa y el presupuesto estén razonablemente dentro del orden inicialmente proyectado
- c) La legislación en materia de transparencia y rendición de cuentas, la vigilancia del gasto público y presión social ante la construcción (*Arvizu-Dávila, 2013*)

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes creó una normativa para la construcción de infraestructura. Dentro de esta normativa se tienen contemplados como requisito para todo proyecto de infraestructura 3 tipos de estudios: Estudios topográficos, Estudios Geotécnicos y Estudios Geológicos.

La norma contenida en este documento que describe todo lo referente a los estudios geológicos en México es la N-PRY-CAR-1-03-001/00, esta establece que un estudio geológico realizado para la evaluación del trazo de una nueva carretera o mantenimiento de las existentes debe contener los factores geológicos que influyan en la definición del trazo o en su mantenimiento o daño, esos factores son:

- La relación suelo-roca
- Las características generales y espesores de aluviones en los cruces de ríos o arroyos que influyan en el costo de alcantarillas y puentes
- Las estructuras mayores (fallas, plegamientos, discordancias, estratificaciones)
- Las zonas potencialmente inestables
- Los sitios que por sus características geológicas sean potenciales bancos de material cercanos a la obra (SCT, 1999)

2.4.2 Excavaciones

Las excavaciones son la actividad empleada para genera un espacio, consisten en la remoción de tierra, roca y/o suelo con el fin de crear una cavidad que es aprovechada para la construcción de obras como minas, carreteras, casas, explotación de recursos energéticos, entre otras.

Los factores por considerar en una excavación son: estabilidad del material a excavar, el nivel de drenaje y control hidrológico del sitio, soportes y medidas de seguridad-

El papel de la ingeniería geológica en las excavaciones involucra un análisis detallado del tipo de suelo y roca que será excavado pues la estabilidad de una excavación depende de la competencia mecánica y propiedades geotécnicas del material excavado. En este sentido, es clave para la ejecución de proyectos que requieran de excavaciones ya que las condiciones geológicas pueden influir en la estabilidad de terraplenes, cortes por ejemplo. (Terzagui et al., 1996)

Galerías de drenaje.

Una galería al igual que un túnel es una obra que involucra una excavación subterránea, ésta que se encarga de conducir agua con el objetivo de liberar a la roca de las presiones hidrostáticas a las que está sometida para evitar que el ángulo de fricción interna de la roca sea mayor que el que ejerce el agua sobre del macizo rocoso y con ello la pérdida de cohesión por saturación de agua.

Se trata de una medida de estabilidad altamente eficiente para este fin, sin embargo, es de las medidas más costosas que pueden aplicarse ya que se trata de la construcción de una obra dentro de otra obra preexistente.

2.4.3 Riesgos geológicos

El riesgo geológico es la probabilidad de que un fenómeno natural, como sismos, deslizamientos, huracanes, erupciones volcánicas, entre otros; cause daños a personas, bienes o al medio ambiente debido a sus características, localización y frecuencia. El conocimiento de los riesgos geológicos es esencial para implementar medidas preventivas y minimizar su impacto.

La evaluación del riesgo requiere de una metodología que muestre la naturaleza y el grado de riesgo a través del estudio de la peligrosidad, susceptibilidad y vulnerabilidad (posibles amenazas). Es decir, requiere un enfoque integral que contemple conocimiento científico, planificación, regulación del uso del territorio, ingeniería y preparación previa al desastre (Lario, et. al. 2016)

El riesgo se calcula como el producto de la peligrosidad por la vulnerabilidad menos la capacidad de respuesta.

$$Riesgo = (Peligrosidad \times Vulnerabilidad) - capacidad\ de\ respuesta$$

Por otro lado, la susceptibilidad es la probabilidad de que se produzca un proceso geológico en una zona concreta y que está condicionada por la topografía, geología, meteorología y climatología. A su vez, la peligrosidad es la probabilidad de que se produzca un fenómeno natural con consecuencias negativas (Lario et al, 2016).

Los riesgos geológicos se pueden clasificar como:

- Riesgos volcánicos
- Riesgo sísmico
- Riesgo por avenidas e inundaciones
- Movimientos de ladera
- Riesgos costeros
- Tsunamis
- Riesgo en zonas kársticas
- Subsistencia de terreno

Riesgos por Deslizamientos de Ladera

Se trata de un tipo específico de movimiento caracterizado por superficies de rotura bien definidas y frecuentemente profundas y de escasa deformación en los materiales movilizados (Lario et al, 2016). Al ubicarse en laderas, a pesar de que el agente que dicta el movimiento es la gravedad, otros agentes como agua, viento y hielo ayudan a producir el deslizamiento.

Para que se desarrolle un deslizamiento de ladera, existen múltiples factores que crean el escenario perfecto para desarrollar este proceso geológico, de manera general se clasifican de la siguiente forma:

FACTORES CONDICIONANTES	FACTORES DESENCADENANTES
Características intrínsecas del terreno	Procesos que modifican el estado de esfuerzos, geometría del relieve o resistencia de los materiales. Se desarrollan una vez cumplido algún factor condicionante.
<ol style="list-style-type: none"> 1. Relieve 2. Características litológicas y sedimentarias 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vulcanismo 2. Precipitaciones 3. Actividad antrópica

<ul style="list-style-type: none"> 3. Estructura 4. Características hidrogeológicas 5. Vegetación 6. Geomorfología 7. Clima 8. Actividad sísmica 	<ul style="list-style-type: none"> 4. Deformación tectónica 5. Procesos de meteorización, erosión, inundación y sedimentación
--	---

Tabla 6. Factores que producen deslizamientos de ladera

(Lario et al., 2016)

Para que se produzca un deslizamiento de ladera tiene que producirse un desequilibrio entre las fuerzas desestabilizadoras (fuerza de corte (τ)) y las fuerzas estabilizadoras (Fuerza de resistencia al corte (Res)).

Entonces, los deslizamientos de ladera son movimientos naturales que deben entenderse como parte del medio geológico que está en continua evolución por lo que son inevitables, sin embargo, con estudios de susceptibilidad, peligrosidad y vulnerabilidad además de planificación territorial y legislación, es posible reducir en gran medida el riesgo que estos implican.

2.5 La Gestión de proyectos

En los párrafos siguientes se explora el concepto de proyecto y su concepción como un sistema. Dada su característica de ser sistemas, los proyectos requieren de una serie de herramientas y metodologías para lograr hacerlos realidad de la mejor manera. Se menciona la metodología que el Project Management Institute maneja en cuanto a la gestión de proyectos. Por otro lado, se establece la conexión que existe entre esta disciplina con la Ingeniería Geológica y cómo puede usarse ésta como herramienta para controlar y definir las tres áreas de conocimiento fundamentales de un proyecto: El alcance, el cronograma y los costos de un proyecto. Además, se aborda un área de conocimiento más puesto que es de las que más impacto tiene, la correcta aplicación de la ingeniería geológica de la mano de la gestión de proyectos: Los riesgos. Finalmente, se menciona el estado actual de la gestión de proyectos en el país.

2.5.1 ¿Qué es un proyecto?

En la ingeniería, un proyecto se define como una “serie de actividades complicadas y especiales que están correlacionadas entre sí: Estas actividades usualmente comparten un objetivo o propósito claros y, requieren del uso de recursos previamente diseñados, estar apegados a ciertos estándares, y a periodos de tiempo y plazos claramente especificados”. *(Sheng, 2018)*

Según la guía del PMI(Project Management Institute), “un proyecto se define como un esfuerzo temporal (con un inicio y fin definidos), que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único; para lograr este resultado es necesario cumplir con metas previamente establecidas mediante la producción de entregables” *(PMI, 2017)*.

Un proyecto puede involucrar a un solo grupo o a varios grupos de personas, así como a una o a múltiples áreas de una empresa u organización. En concreto, un proyecto busca dar una solución inteligente y pensada a un problema o necesidad planteada y para lograrlo requiere de diferentes acciones y operaciones que necesitan ser gestionadas para alcanzar los objetivos que éste plantea de manera positiva. Las operaciones y los proyectos difieren principalmente en que las operaciones son sucesivas y repetitivas mientras que los proyectos son temporales y únicos.

Los proyectos se pueden concebir como un **sistema** ya que están compuestos por procesos, es decir, compuestos de una serie de acciones que producen un resultado. Según el autor Carlos Uriegas Torres, un sistema “integra las demás disciplinas y las funde en un cuerpo coherente de teoría y práctica” (Uriegas, 2023) en otras palabras, el pensar un proyecto como un sistema nos permite ver no sólo los subsistemas o áreas que están contenidas en él sino también el cómo es la relación de éste con su entorno. Por su parte, la lógica de la gerencia de proyectos que plantea el PMBOK, establece que lo óptimo en todo proyecto es definir el alcance que tendrá éste, los tiempos pensados que se cree tomará cumplir con dicho alcance, así como el presupuesto y los recursos necesarios para ejecutarlo.

Los objetivos y propósitos de diferentes proyectos difieren significativamente entre sí por lo que cada uno necesitará de una planeación, estructura y gestión diferentes para lograr llevarse a cabo y cumplir con su alcance.

En términos prácticos, un proyecto es la creación de un nuevo sistema, que requiere ser delimitado(alcance) para así lograr establecer un presupuesto (el costo que conlleva crearlo), sin dejar de lado factores externos (ambiente) e internos(operaciones) que pueden influir en dicho proyecto.

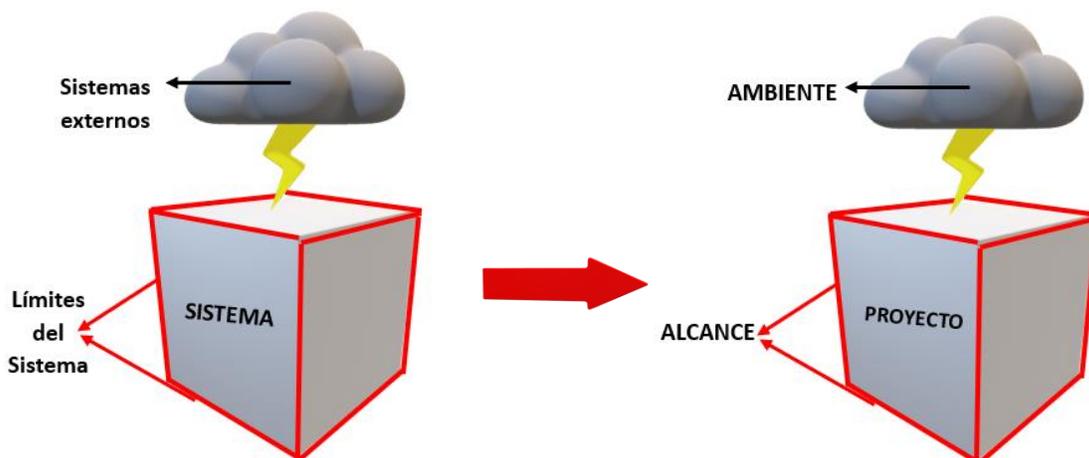


Figura 3. Proyecto igual a Sistema

2.5.2 Gestión de proyectos, una disciplina indispensable para la Ingeniería Geológica

La gestión de proyectos es el proceso donde se combinan sistemas, técnicas y personas para completar un proyecto dentro de las metas establecidas de tiempo, presupuesto y calidad, es decir, es administrar los procesos dentro de la organización para obtener los resultados deseados.

Es oportuno mencionar la diferencia entre la administración y la gestión de un proyecto. La administración está centrada en tareas operativas y de apoyo, mientras que la gestión está enfocada en la integración de la planificación, ejecución, supervisión y control del proyecto, además del liderazgo del equipo, coordinación de actividades y aseguramiento del cumplimiento de los objetivos del proyecto. (Solís, 2024)

El proyecto puede contar de partida, con los recursos económicos y financieros suficientes, el mejor equipo de trabajo, un diseño muy bien realizado, con alto nivel de detalle, sin embargo, si todos los esfuerzos y áreas que se ven involucrados en su ejecución no son conducidos y coordinados de una manera eficaz, sin el seguimiento al proceso constructivo además de una supervisión adecuada, será imposible llevar a cabo lo plasmado en el diseño, el costo del proyecto puede exceder la inversión original, aplazar el tiempo de conclusión de la obra o extender las diferentes etapas involucradas en su ejecución. Así, entre más grande y complejo sea el proyecto, más crítica es la función global de la gerencia de éste.

El PMBOK establece que lo óptimo para implementar la gerencia de un proyecto es establecer 5 grupos de procesos:

Grupo de procesos de Inicio	Grupo de procesos de Planificación	Grupo de procesos de Ejecución	Grupo de procesos de Monitoreo y Control	Grupo de procesos de Cierre
-----------------------------	------------------------------------	--------------------------------	--	-----------------------------

Tabla 7. Grupos de procesos de un proyecto

La planeación es un factor indispensable dentro de la gerencia de cualquier proyecto, se trata de una disciplina que administra la incertidumbre pues está orientada en pensar hacia el futuro (Figuerola, 2023), es decir, infiere la capacidad para prever por lo que la planeación es todo un proceso, no un evento único. Dentro de ésta, es crítica la creación de múltiples escenarios posibles a suceder para posteriormente lograr un control de los riesgos y tener un plan de acción en caso de requerirlo.

Por otra parte, además de los grupos de procesos previamente mencionados, es primordial trabajar en conjunto con estos grupos las 11 áreas de conocimiento que conforman los procesos contenidos en ellos:

Áreas de Conocimiento
1. Alcance del proyecto
2. Tiempo del proyecto (Cronograma)
3. Costos del proyecto
4. Calidad del proyecto
5. Riesgos del proyecto
6. Recursos humanos del proyecto
7. Adquisiciones del proyecto
8. Interesados del proyecto
9. Integración del proyecto
10. Comunicación
11. Factores externos(ambiente/entorno)

Tabla 8. Áreas de conocimiento de un proyecto.

(PMBOK, 2017)

En esta tesis solo se abordará lo que se considera como el “Project titanic”, las áreas de conocimiento cardinales de la gestión de proyectos: Alcance, Tiempos y Costos. Se les considera la parte fundamental del *Project Management* dado a que el Alcance delimita el tiempo del proyecto que a su vez determina el costo que tendrá este. “*scope leads to time, which then leads to cost*” (Richardson,2015) Además, también se abordará el área de Riesgos.

Alcance

La definición del alcance de un proyecto equivale a trazar con precisión las fronteras del sistema respectivo y todo aquello que no forma parte del sistema pero que influye sobre él, o sea que, se trata de todos los sistemas que interactúan con el proyecto (sistema principal)

Dicho de otra manera, el alcance incluye lo que sí abarca y lo que no incluye el proyecto, es decir, establece los objetivos operacionales en donde se plasman las metas cuantitativas y cualitativas del proyecto. Asimismo, establece los objetivos ambientales, es decir aquello que influye al sistema (proyecto) pero está fuera de él (Entorno), sin embargo, debe tomarse en cuenta para lograr cumplir con los objetivos operacionales.

Distinguir entre estos dos tipos de objetivos definidos en el Alcance es vital pues serán los que sentarán las bases para delimitar el proyecto. Si se toman en cuenta factores que salen del alcance, el proyecto se vería excedido lo que implica aumento en el costo o cancelación del mismo. Por otro lado, si en las fronteras se excluyen los factores del entorno*, se tendría un alto riesgo de no alcanzar los objetivos deseados.

“De acuerdo con los Objetivos operacionales planteados se elaborará el documento de declaración de alcance del proyecto y con base en éste, el de la Definición del Alcance por medio de la Estructura de División del Trabajo (EDT)” (Uriegas, 2003)

Objetivos Operacionales	Generan la Declaración del Alcance del Proyecto
Objetivos del entorno	Ayudan a delimitar el proyecto, definir el alcance.

Tabla 9. Objetivos operacionales y ambientales que conforman el alcance del proyecto.

Pie de Página. * La traducción literal proveniente del concepto “Environmental objectives” emitido en la Guía del PMBOK versión 6, sería factores ambientales, sin embargo, esta traducción se puede prestar a un error de entendimiento a lo que el concepto refiere. Por tal motivo en este escrito se le nombra como **“Objetivos o Factores del entorno”**

Una vez generada la concepción del proyecto y establecidos sus límites, es necesario crear una estrategia que plasmará los requisitos para lograr implementarlo. La estrategia del proyecto se deberá adoptar tomando en cuenta estos factores:

- El ambiente político
- Los requerimientos Financieros
- La complejidad del cambio

En términos de documentación generada en esta etapa, la declaración de alcance debe incluir:

- La justificación del proyecto.
- La descripción breve del producto (Sistema operativo)
- Los entregables del proyecto, a nivel sumario.
- Los objetivos (operacionales) del proyecto como criterios cuantificables que deben satisfacerse. (PMI,2015)

Estructura de división del trabajo (EDT)

La **EDT** es la herramienta que esquematiza y sintetiza el alcance del proyecto, a partir de él se puede proceder con la planeación y control del proyecto, quiere decir que la EDT muestra la **estructura del producto** derivado de la ejecución del proyecto (Figura 4).

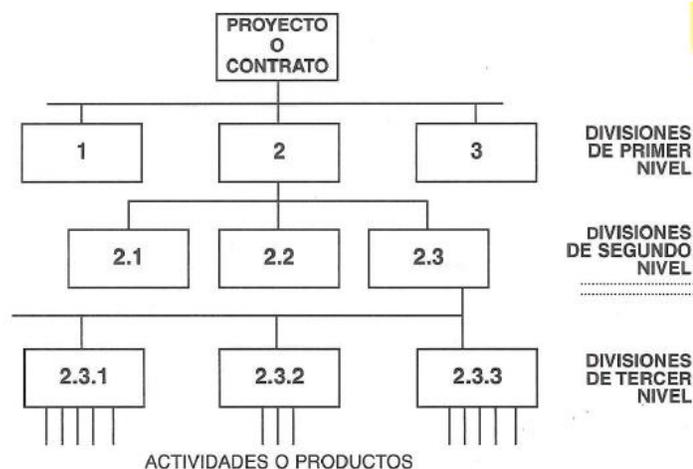


Figura 4. Estructura de División del Trabajo (EDT).

Tomado de Procesos de integración externa en la gerencia de proyectos (Uriegas, 2003, p.p.161)

Es la estructura de división de trabajo la que muestra el orden jerárquico de las tareas, servicios y facilidades necesarios para alcanzar los objetivos del proyecto, plasma la estructura del producto final.

Se considera la creación de la EDT como la estructura base y fundamental para implementar la gerencia a un proyecto pues con esta herramienta se logra elaborar el presupuesto, además, brinda la conexión entre el alcance con el cronograma y presupuesto de esta forma, recopilar y contabilizar los costos.

La EDT logra relacionar el alcance con el cronograma y presupuesto a través de medir y comparar avances del trabajo, la elaboración de reportes para el propietario o cliente y al hacer pronósticos de tiempo y costos.

También, su papel fundamental en un proyecto radica en que por medio de ésta se pueden asignar con precisión las responsabilidades para la ejecución de los trabajos por lo que en la creación de la EDT deben intervenir todos los miembros del equipo del proyecto quienes aportarán la experiencia de su especialidad. En esa misma línea, es una valiosa herramienta para aquellos que participan en el proyecto pues al plasmar toda esta información de manera visual y sintetizada, da un panorama completo del proyecto y permite a los integrantes de este visualizar el impacto y relación que tiene su trabajo con el de los demás.

Asimismo, y por las características antes mencionadas, también funge como medio de comunicación con los individuos o dependencias que están financiando el proyecto y con el cliente.

Una de las maneras de mostrar la EDT es mediante un organigrama en orden jerárquico en donde se muestren las actividades totales agrupadas en paquetes de trabajo (figura 5).

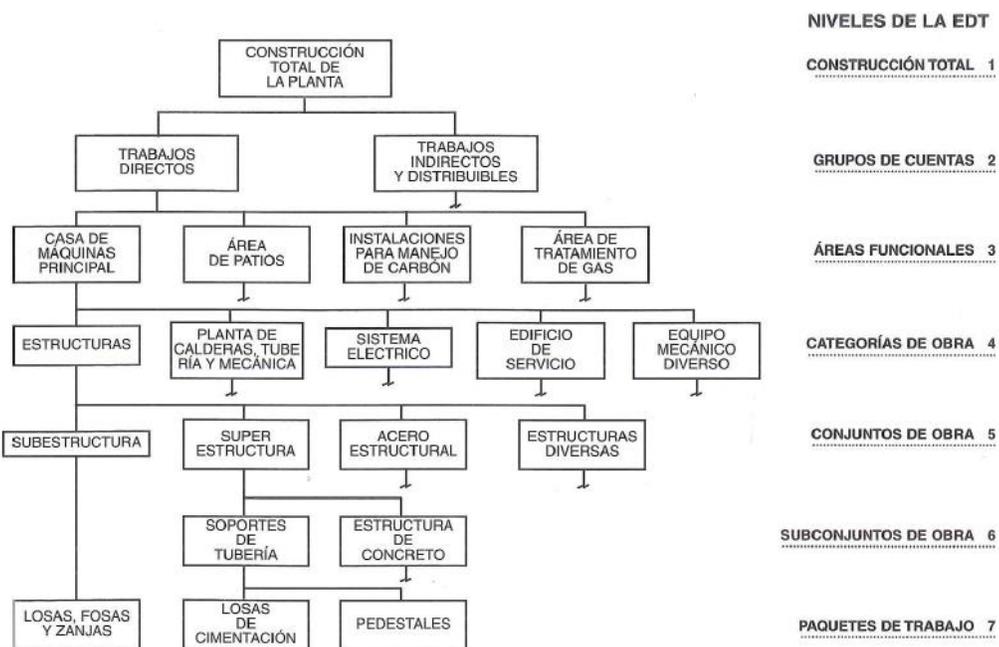


Figura 5. EDT por paquetes de trabajo. Tomado de *Procesos de integración externa en la gerencia de proyectos* (Torres, 2015)

Entonces el resultado que produce la definición del alcance y la Estructura de Desglose del Trabajo.

Por otro lado, en la etapa de creación del alcance, se debe generar otro documento que contenga el Plan de Administración del Alcance (Proyecto ejecutivo), el cual plasma los riesgos de alcance, establece las normas necesarias y los procedimientos para documentar y tramitar cualquier cambio en el alcance del proyecto.

Cronograma

A pesar de que el alcance es necesario no basta sólo con este para lograr la ejecución del proyecto. El cronograma es un área de conocimiento que asigna un plazo de tiempo a cada actividad o paquete de trabajo previamente definido en el alcance. Es de suma importancia establecer los tiempos en los cuales deberán emprenderse las diversas acciones necesarias y aquellos en que deben alcanzarse metas intermedias que conduzcan con seguridad a la meta final.

Es la herramienta más importante para determinar de qué manera deben desplegarse los recursos, es decir para el control de la ejecución aprovechando los recursos al máximo.

Según el PMBOK, “definir el cronograma proporciona una visión general de los siguientes procesos:

- a) Definición de las actividades: Identificación de las actividades específicas que deben realizarse a fin de producir los diversos entregables del proyecto.
- b) Secuencia de las actividades: Identificación y documentación de las dependencias entre actividades.
- c) Estimación de duraciones de actividades: Estimación del número de periodos de trabajo necesarios para realizar en forma completa cada actividad en particular.
- d) Desarrollo del programa: Análisis de las secuencias y duraciones de actividades y requerimientos de recursos, con objeto de crear el programa del proyecto.
- e) Control del programa: Control de los cambios del programa del proyecto”

Para construir el Cronograma es necesario tener previamente la lista de todas las actividades por realizar y agruparlas en paquetes de trabajos (EDT). Cabe señalar que esta lista debe actualizarse y ampliarse según sea el avance del proyecto.

“El primer proceso consiste en la determinación del programa de eventos clave, en el cual se fijan las fechas de inicio, terminación y cumplimiento de metas intermedias del proyecto y otros eventos trascendentes.

Eventos clave según Uriegas (2003):

- Iniciación y terminación de fases del proyecto.
- Compromisos y obligaciones con fecha determinada.
- Eventos externos con impacto en el proyecto.

- Entregas de componentes o partes del proyecto al usuario. Recepción de equipos y otros insumos clave.
- Autorizaciones de fondos.

Cálculo de los tiempos de las actividades

La duración de una actividad determinada depende fundamentalmente de la clase, cantidad y calidad de los recursos que se utilicen en ella. El responsable de planear las operaciones deberá decidir el número y tamaño de los equipos de trabajo que conviene utilizar, así como de las máquinas que sea apropiado emplear. La calidad de los recursos, medida por los conocimientos y habilidades de las personas que intervienen y la eficiencia de las máquinas utilizadas, es otro factor fundamental de la duración de las actividades.

Ruta crítica y holguras

La cadena de actividades, desde una inicial a una final, que tiene la duración total máxima, determina la duración del proyecto. Esta cadena de actividades que controla la duración del proyecto es de suma importancia para el cumplimiento de las metas de tiempo establecidas; se le denomina ruta crítica. Cada una de las actividades que la integran se llaman actividades críticas.

La holgura total indica el número de unidades de tiempo que la actividad puede demorarse o prolongarse, sin tener que retrasar la terminación del proyecto. Una demora dentro de la holgura total puede ocasionar demoras en actividades subsecuentes, pero no compromete el lapso de ejecución del proyecto. De esta manera es posible distinguir una demora seria de otra sin consecuencias graves

Calendario del proyecto y representación gráfica

El calendario de ejecución del proyecto requiere convertir los tiempos considerados en fechas de calendario.

En los cálculos de tiempos de las actividades, se supuso que no hay discontinuidad entre la terminación de una actividad, al final de un día, y el inicio de otra; los tiempos de descanso no se toman en cuenta.

Costos

Los proyectos se realizan en un ambiente de competencia, ya sea para con otras empresas que desean ejecutarlo o dentro de la misma empresa que requiere destinar esos recursos en otro proyecto. Por ello, es de vital importancia la óptima utilización de los recursos financieros asignados a un proyecto.

Según el PMBOK, “La administración de costos del proyecto incluye los procesos requeridos para asegurar que el proyecto llegue a su término dentro del presupuesto aprobado”

En general, la gestión de Costos de un proyecto puede ser dividida en 4 procesos fundamentales (tabla 10, figura 6):

Gestión de Costos		
Planeación de los recursos	Definir el tipo de recursos y la cantidad necesarios para llevar a cabo las actividades del proyecto. (Los recursos pueden ser personas, equipos y materiales)	Procesos de Planeación
Estimación de costos	Una vez determinada la cantidad y tipo de recursos, se genera una estimación (monto aproximado) del costo de estos	Procesos de Planeación
Presupuestación	Se relaciona la estimación anterior (Costo global) con los conceptos de trabajo individuales.	Procesos de Planeación
Control de Costos	Se establece la metodología para implementar el y llevar a cabo cambios en el presupuesto del proyecto conforme este lo requiera.	Procesos de Control

Tabla 10. Estructura general del área de costos de un proyecto

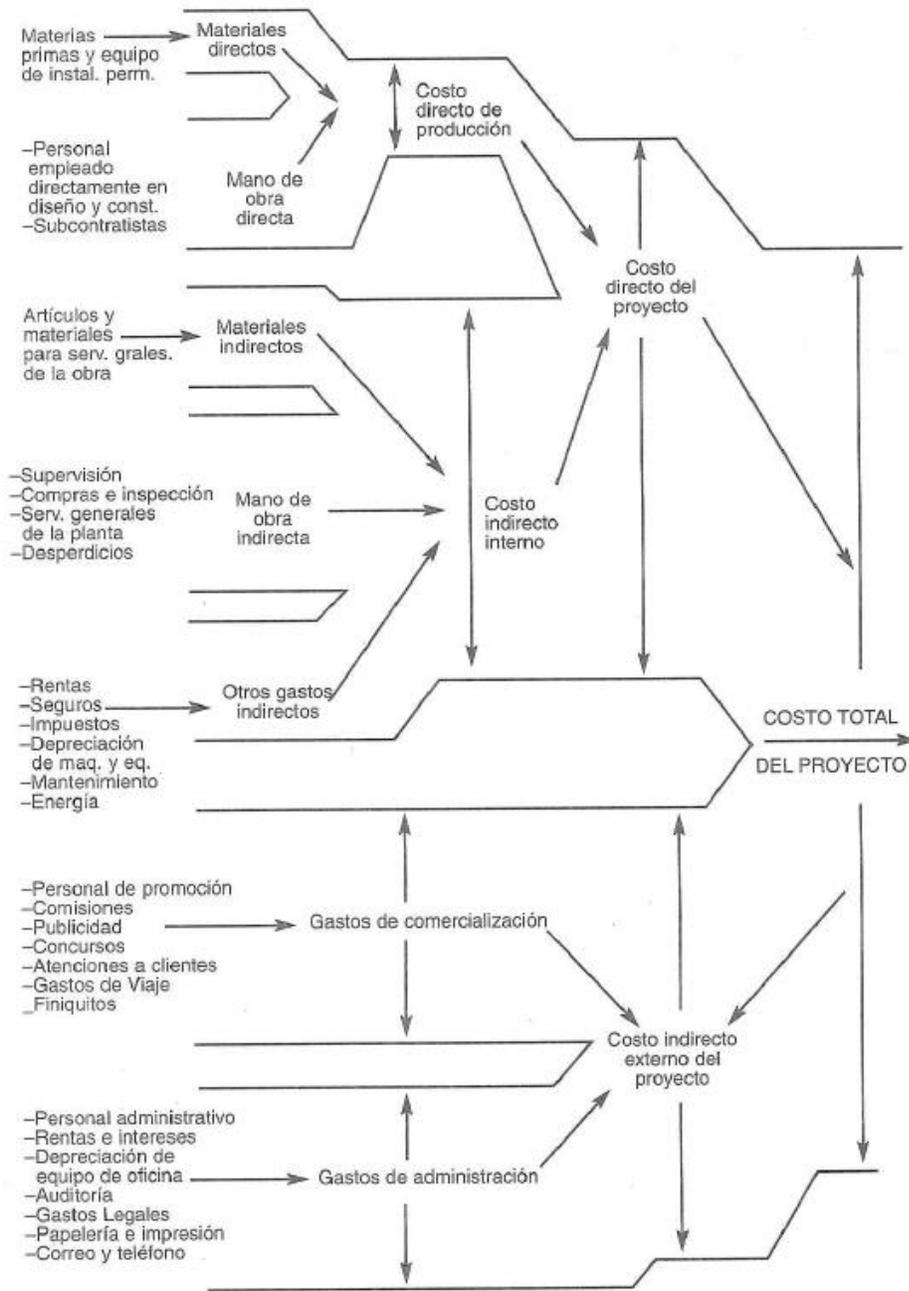


Figura 6. Composición de los costos de un proyecto.
(Uriegas, 2003, p.p. 256)

ESTRUCTURA DE DIVISIÓN DE LOS COSTOS

La estimación del costo total del proyecto es igual a la suma del costo de producción más los gastos de operación; Para lograr identificar los tipos de costos dentro de estas dos categorías es necesario generar la estructura de división de los costos (EDC).

Entonces, en la EDC cada uno de los elementos que componen a la EDT se substituye por el costo respectivo de los recursos necesarios para lograr el elemento.

La asignación de costos a los paquetes de trabajo contenidos en la EDT es el paso para obtener la estimación del proyecto (actividad necesaria), sin embargo, se requiere de generar el presupuesto para llevar con éxito el control de los costos del proyecto.

El proceso que marca la diferencia entre la estimación y el presupuesto es que en el presupuesto se establece la relación entre los tiempos y costos del proyecto con el monto que se le asigna a una persona o entidad para ejecutar el trabajo objetivo.

LÍNEA BASE PRESUPUESTAL DEL PROYECTO (LBP)

La LBP es la herramienta que ayuda a implementar el control de los costos del proyecto, se trata de un patrón de referencia en donde se reflejan las metas a cumplir y muestra las desviaciones indeseables que ponen en peligro la continuación del proyecto. El PMBOK la define como “la suma de los presupuestos aprobados para las diferentes actividades del cronograma” (*PMI, 2017*)

Por otro lado, la LBP permite realizar la asignación de responsabilidades, lo que marca la diferencia entre la estimación de costos (gasto necesario para realizar una actividad) y el presupuesto (monto asignado a una entidad o persona para lograr la ejecución del trabajo).

Riesgos

La gestión de riesgos en la gestión de proyectos es un proceso sistemático que busca identificar, analizar, evaluar y responder a eventos o condiciones inciertas que puedan influir de manera positiva o negativa en los objetivos del proyecto. Su propósito es minimizar los impactos negativos y maximizar las oportunidades, mediante la implementación de estrategias proactivas y soluciones adaptativas(figura 11).

El PMBOK establece como procesos al área de gestión de riesgos a:

1. Planificar la gestión de los riesgos	Define como se realizará la gestión de los riesgos
2. Identificar los riesgos	Se trata de reconocer los riesgos según cada actividad definida en la EDT así como identificar la fuente que los produce
3. Realizar el análisis cualitativo de los riesgos	Se evalúa el nivel de impacto y probabilidad de ocurrencia de los riesgos identificados
4. Realizar el análisis cuantitativo de los riesgos	Se analiza numéricamente el efecto que tienen sobre los objetivos del proyecto
5. Planificar la respuesta a los riesgos	Se elaboran estrategias para dar respuesta a los riesgos identificados
6. Implementar la respuesta a los riesgos	Se implementan las acciones creadas como respuesta ante el riesgo planteadas en el paso anterior
7. Monitorear los riesgos	Da seguimiento a la respuesta planteada a los riesgos identificados, monitorea para identificar y analizar nuevos riesgos, así como elaborar una lista de lecciones aprendidas

Tabla 11. Procesos de la gestión de riesgos

El proceso de identificación de riesgos consiste en construir una lista precisa, ordenada y completa que contenga los riesgos que se creen necesarios de tomar en cuenta.

Esta lista se obtiene al analizar los eventos de riesgo que pueden dar lugar en cada elemento de la EDT, así como las fuentes que los producen.

Los tipos de riesgos que pueden presentarse son:

- Técnicos
- De costo
- Combinación de ambos.

2.5.3 Gerencia de proyectos en México

Como se revisó en el apartado de infraestructura, la evolución de México ha pasado de una economía basada mayoritariamente en la agricultura con predominancia de zonas rurales a en la actualidad, el desarrollo de industria y con ello cada vez más zonas pobladas y urbanizadas. Por lo que, dado su crecimiento poblacional y su condición de ser un país en vías de desarrollo, implica que sus necesidades irán modificando sus niveles de servicio con el paso del tiempo.

Por otro lado, al tener como vecino territorial al mayor importador mundial, Estados Unidos, y la oportunidad que el Nearshoring con éste y la relocalización de empresas extranjeras plantea, además de la inminente revisión del T-MEC; *México está en un momento decisivo para transformar la concepción, financiamiento y ejecución de*

proyectos de infraestructura de movilidad. Es decir que, existe la oportunidad de contribuir a las transformaciones sociales, ambientales y económicas necesarias para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. (Bosco Martí, 2024)

En nuestro país, específicamente en el área de infraestructura de transporte, existen dos maneras de cuantificar y establecer las ventajas o desventajas que el invertir o no en desarrollo de infraestructura de transporte implican; Estas son la cuantificación del PIB así como la matriz de insumo-producto a nivel nacional, ambas son elaboradas por el Banco de México (BM). Con estos indicadores se puede medir el valor de los servicios de transporte y demostrar las ventajas socioeconómicas de incrementar las inversiones en infraestructura carretera puesto que reducen los costos de transporte de carga. Caso contrario sucede si se desarrolla una política de reducción del presupuesto en infraestructura carretera pues la falta de mantenimiento y operación, mejora, y creación de nuevas rutas produce la saturación de las carreteras y su deterioro con lo que los costos de transporte de carga se incrementan y con ello pierden su valor. (Robledo, 2024)

En México la SHCP, es la única facultada para aprobar la ejecución de cualquier proyecto de infraestructura por lo que para que la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte (SICT) realice un proyecto nuevo depende de la respuesta y presupuesto que la SHCP autorice. Por esta razón las iniciativas de cualquier proyecto deben iniciarse al menos con un año de anticipación para tener tiempo de convertirlas en proyectos ejecutivos, los cuales toman entre uno y varios años para su desarrollo según sea su complejidad.

Según el Ingeniero Luis Francisco Robledo Cabello (2024), debido a las políticas de adelgazamiento del sector público, se considera que la SICT no cuenta con el número necesario de profesionales para desarrollar un proceso de planeación y programación suficiente y ordenado, con buen fundamento técnico, social y económico, para seleccionar aquellos proyectos que mejor satisfagan las necesidades y lograr el aprovechamiento de las oportunidades del país, lo que ha dado lugar al desarrollo de proyectos que no obedecen a objetivos preestablecidos, *por lo que es deseable que se establezca dentro de la SICT una subsecretaría que se encargue del desarrollo de la planeación de la infraestructura para los cuatro modos de transporte, con visión a largo plazo. (Figuroa, 2024)*

La realidad en el presente es que según el ingeniero **Esteban Figuroa Palacios (2024)**, las obras que se desarrollan y se han desarrollado en el país cuentan con cierto nivel de planeación, si no, sería imposible concluir las, sin embargo, resultan mal muchas veces por malas decisiones políticas que implican estudios insuficientes que llevan a presupuestos optimistas lo que genera que, al finalizar la obra, los costos y tiempos se vean sobreelevados además de una mala calidad en la ejecución e incremento o falta de conciencia en el área de riesgos

Además, existe una evaluación de la frontera de participación privada que analiza las condiciones y capacidades del país para integrar eficazmente al sector en el desarrollo de proyectos de infraestructura. En esta evaluación el país obtuvo una puntuación general de 56.9 con puntuaciones destacadas en las áreas de Financiación y de

regulación de Instituciones, con lo que se posicionó entre los países en desarrollo con mejores entornos financieros y un marco normativo sólido que favorecen el cierre de proyectos. No obstante, requiere de un esfuerzo continuo para mejorar en las áreas de gestión de riesgos, monitoreo y supervisión de contratos, así como de evaluación del desempeño, donde obtuvo puntuaciones deficientes. *(Juárez, 2024)*

Dado este panorama, es claro que México enfrenta el reto de integrar la gerencia de proyectos en la gestión de sus obras de infraestructura para aprovechar las ventajas que ésta ofrece: la planeación, las políticas públicas adecuadas, el ejercicio profesional responsable y una gestión eficaz en todas las etapas del ciclo de vida de los proyectos. *(Juárez 2024)* De modo que las obras de infraestructura que se ejecuten contemplen todo este contexto de planear con visión a futuro, para que realmente tenga el impacto social deseado y sumen al desarrollo del país, en tanto que la implementación de gestión, los techos presupuestales así como las políticas públicas logren no ser un freno para hacer realidad los proyectos necesarios para el país.

CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDIO: Remediación de la Autopista Tijuana-Ensenada

En el siguiente capítulo se describe el contexto necesario para entender las causas que sentaron las bases para el origen del proyecto aquí estudiado: La construcción de una Galería de Drenaje como método de estabilización en la carretera Escénica Tijuana-Ensenada. Enseguida, se brinda la descripción del proyecto y las herramientas que fueron utilizadas para lograr su creación. Finalmente, se aborda el proyecto desde otra perspectiva, bajo la que plantea la metodología del PMI y su aplicación en éste.

3.1 Contexto

Baja California se ubica en la región noroeste de México. Limita al norte con los Estados Unidos de América, al Este con el Golfo de California y al Oeste y Sur con el Océano Pacífico.

Gracias a esta peculiar ubicación geográfica presenta tres tipos de clima y una interesante orografía que lo vuelve un destino turístico importante. Además, el estado cuenta con industria, agricultura, minería entre otras actividades económicas, por lo que el intercambio comercial que se desarrolla ha ido en aumento año con año. Dentro de los principales países con los que desarrolla este intercambio comercial se encuentran Estados Unidos, Canadá y Colombia (*Secretaría de economía, 2023*). Dado este escenario, estas fueron las razones socioeconómicas para que el estado de Baja California se viera obligado a desarrollar su infraestructura de transporte en las últimas décadas.

La red carretera está formada del tal manera que permite la intercomunicación del municipio de Ensenada con los otros municipios aledaños del Estado y las comunidades próximas de los estados vecinos (Muñoz, 2015); una de las principales vías y de las más importantes de la zona es la carretera escénica Tijuana-Ensenada la cual está incorporada a la red carretera transpeninsular. Se trata de una carretera de cuota que bordea las costas del pacífico mexicano y comunica a tres municipios: Tijuana, Rosarito y Ensenada.

La autopista Tijuana – Ensenada nace como una iniciativa para promover el crecimiento económico a través de atraer el turismo al presentarse como una carretera escénica, además de fungir como conexión para transportar los productos producidos en el estado. Con 95 km de extensión inició su operación en el año de 1967, concesionada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) al Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN) y operada por Caminos y Puentes Federales (*Secretaría de Comunicaciones y transporte, 2014*). Actualmente es la principal ruta de transporte comercial que llega hasta La Paz.

3.2 Geología del área de estudio

El área de estudio se ubica en el estado de Baja California, México y abarca los kilómetros 88+000, 89+000 y 90+000 de la ya mencionada carretera (Figura 7B). Este tramo está localizado específicamente en la región de la Bahía Salsipuedes, localizada al norte del país en el sector noroeste de la Península de Baja California. Se sitúa aproximadamente a 12 Km al NW de la Ciudad de Ensenada y está limitada al poniente por el Océano Pacífico.

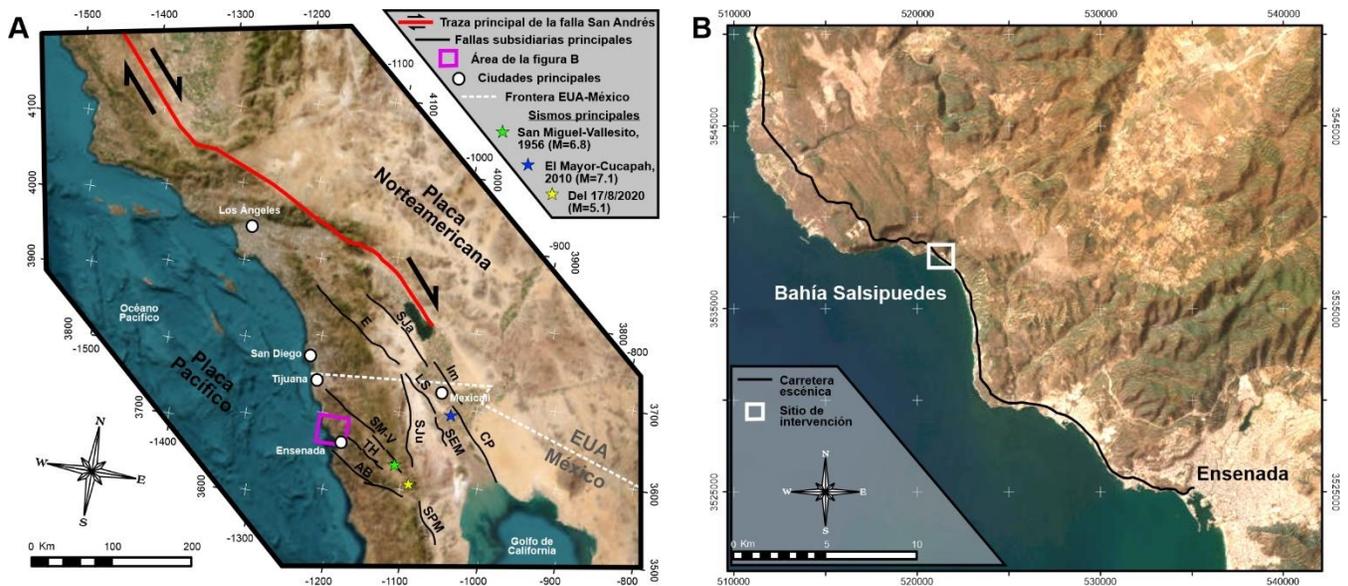


Figura 7. Mapa ubicación de la zona de estudio y sistema de fallas. (Modificado de González-Huizar y Fletcher, 2020) **A.** La línea roja indica la traza de la falla de San Andrés, las líneas negras muestran las fallas asociadas a la falla de San Andrés con la siguiente nomenclatura, **AB:** Falla Agua Blanca, **TH:** Falla Tres Hermanas, **SM-V:** Fallas San Miguel-Vallecitos, **SJu:** Falla Sierra Juarez, **SEM:** Sierra El Mayor, **Ls:** Falla Laguna salada, **E:** Falla Elisionere, **SJa:** Falla San Jacinto, **Im:** Falla Imperial, **CP:** Falla Cerro Prieto (Modificado de González-Huizar y Fletcher, 2020) **B.** Ubicación del área de estudio

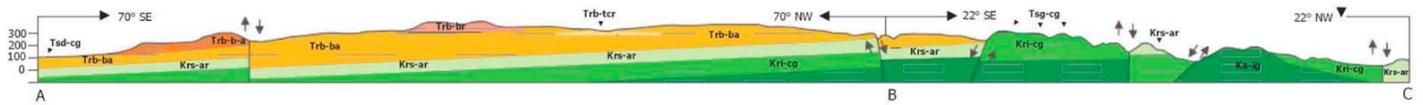
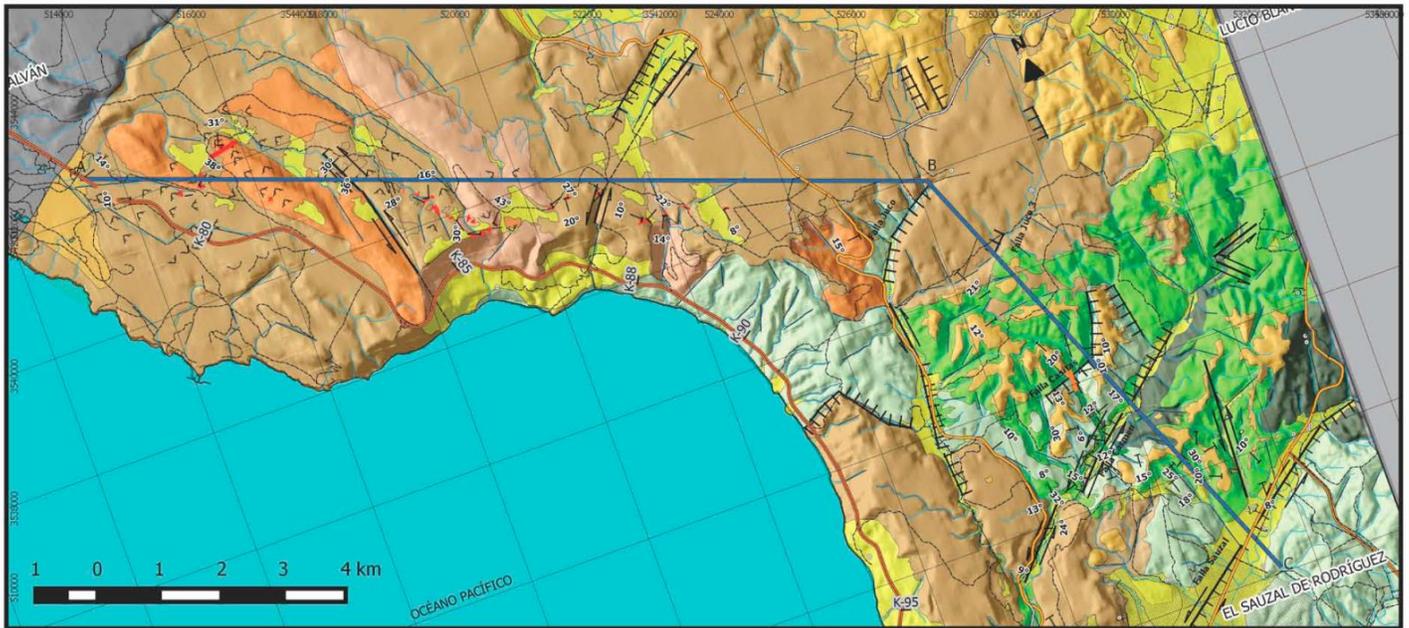
En general, las características geológicas de esta zona se pueden agrupar en dos dominios geológicos contrastantes, el dominio norte y el dominio sur:

El primero, distribuido en el sector norte y conformado por derrames de rocas volcánicas de composición de basalto a basalto-andesíticos, intercalados con brechas volcánicas y en menor proporción con depósitos piroclásticos de la misma composición. El segundo, se ubica en la porción sur y está conformado por sucesiones de rocas sedimentarias detríticas (conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas) con

intercalaciones de depósitos piroclásticos, en la base de toda la secuencia se tiene un cuerpo de ignimbritas.

En Salsipuedes afloran rocas sedimentarias y rocas volcánicas del Mesozoico y Cenozoico, que “se pueden separar en cuatro formaciones geológicas según su edad, tipo de roca y ambiente de depósito. En orden estratigráfico, las rocas más antiguas son de aproximadamente 140 Ma y pertenecen a la Formación Alisitos, corresponden a rocas vulcano-sedimentarias que se encuentran cubiertas discordantemente por rocas sedimentarias de la Formación Rosario del Cretácico Tardío; estas subyacen de forma discordante a rocas volcánicas y vulcanoclásticas de la Formación Rosarito Beach del Cenozoico, y por la secuencia sedimentaria clástica correspondiente a las Formaciones San Diego del Plio-Pleistoceno”.(Muñoz, 2015)

En este caso, la Formación Rosarito Beach es la que más destaca ya que se compone de diferentes flujos de basalto intercalados con rocas piroclásticas que componen a las partes topográficas más altas, es decir, la zona de mayor riesgo debido al nivel de fracturamiento y configuración en la que afloran los basaltos. Cabe señalar que estos presentan dos tipos de fracturas, las primeras, producidas cuando la lava se enfrió y que aparecen en múltiples direcciones y las segundas, producidas por las fallas regionales de la zona, por lo que el nivel de fracturamiento en los basaltos es alto, lo que genera que su configuración sea en bloques y que además de su porosidad las haga una roca permeable. Asimismo, la dirección de flujo de estos basaltos es en dirección al mar. Es decir, la litología de la Fm Rosarito Beach un arreglo estructural particular, por lo que su expresión geomorfológica se nota como un relieve volcánico de extensas mesetas, lomeríos y cerros.



LITOLOGIA				
ERA	PERIODO	ETAPA	UNIDAD LITOLOGICA	LITOLOGIA
CUATERNARIO	Pleistoceno	Formación San Diego	Oal Olr Oer Ota	Depósitos recientes, Aluvión, Suelos residuales.
			Tad-cg	Conglomerado heterotológico.
			Trb-b-a	Miembro superior. Basaltos
			Trb-br	
			Trb-ter Trb-ba	Miembro inferior, basaltos y brechas volcánicas y depósitos piroclásticos.
TERCIARIO	Paleoceno	Formación Ranzano Beach	Kra-ar	Miembro Superior Unidad de areniscas, limolitas y tobos.
			Kri-cg	Miembro inferior Conglomerados heterolitológicos.
			Ka-ig	Ignimbritas de coloración pardo-morada, con una matriz fina con líticos que van de angulosos a subredondeados y de tamaño variable.

SIMBOLOGIA	
	Sección 1
	Sección 2
	Sección 3
	Sección 4
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	
	Lineamiento
	Estructura secundaria
	Rumbo y echado
	Falla normal
	Superficie de deslizamiento
	Fractura local
	Flujo de derrames
	Falla con mecanismo combinado
	Falla lateral
	Estrato horizontal
	Continuidad de la falla
HIDROLOGÍA	
	Corriente de agua
	Cuerpo de agua

Figura 8. Mapa geológico-estructural del área de estudio. Tomado de "Análisis estratigráfico y estructural de la región Salsipuedes, Baja California", elaborado por Muñoz Hernández Selene Sarahí (2015)

3.2.1 Contexto Tectónico-Estructural de la Región

El contexto tectónico del área de Salsipuedes se distingue por estar cerca del límite de placas transformante que existe entre las placas Norteamericana y del Pacífico. Este límite es conocido como la falla de San Andrés (Figura 8) el cual consiste en un sistema de fallas regional con cinemática dextral dentro del que se encuentran otras estructuras de menor orden como la falla Agua Blanca o la falla Cerro Prieto.



Figura 9. Mapa de la Falla de San Andrés. En el mapa la línea roja sigue la traza de la falla y las flechas negras muestran la cinemática dextral. (Lynch, D., 2006)

Se ha demostrado que la región Salsipuedes “fue afectada por cuatro eventos de deformación que dieron a los sistemas de fallas y fracturas: 1) NW-SE que está asociado al sistema de fallas San Diego-Bahía Soledad y al sistema San Clemente-San Isidro, 2) El sistema E-W está asociado a la Falla Agua Blanca, 3) El sistema N-S, es una condición que predomina en toda el área, donde ocurrió extensión y 4) el sistema NE-SW que solo se presenta en las áreas donde predominan los basaltos de la Formación Rosario”. (Muñoz Hernández, 2015)

Por otro lado, la expresión geomorfológica producida por los sistemas de fallas se expresa con la formación de valles, bahías y puntas. (Muñoz Hernández, 2015) esta configuración del relieve dicta la dinámica de los procesos naturales que aquí se

desarrollan como la dirección de flujo de agua o la estabilidad o inestabilidad del terreno que también se ve afectada por la sismicidad existente.

La Figura 6, A define como es la interacción de la placa Norteamericana con respecto a la del Pacífico. La interacción de estas placas por un límite tectónico transformante (i.e., deslizamiento a rumbo de la falla) como consecuencia la generación de sismos en la región. Por esta razón, Baja California es considerada como una zona de alta actividad sísmica.(figura 10)

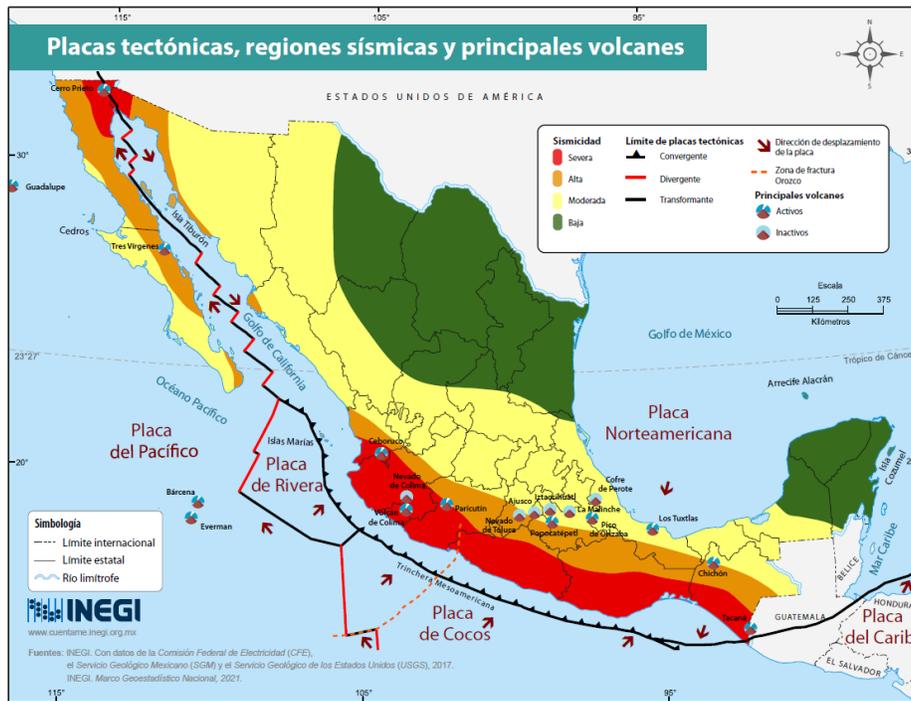


Figura 10. Zonas sísmicas de México (INEGI, 2017)

Como se observa en las figura 10, el límite entre placas observado se trata de un límite lateral derecho, estos límites se caracterizan por desarrollar estructuras muy específicas que se conocen como Estructuras de tipo Riedel

Las estructuras Riedel se tratan de un sistema de fallas laterales (contexto transcurrente) conformadas por una falla maestra (M) y varias fallas sintéticas (R y R') y antitéticas. (P Y P'), como se muestra en la figura 11.

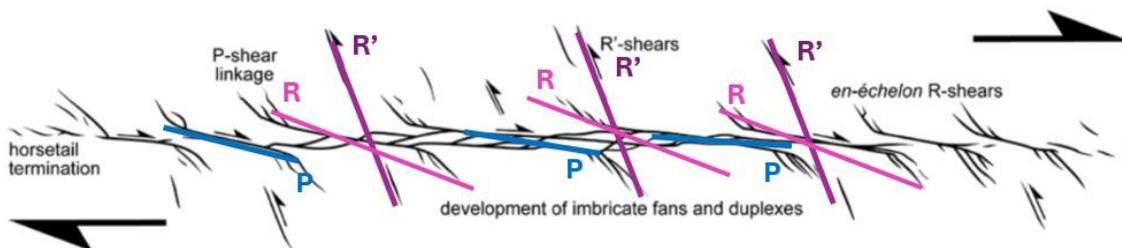


Figura 11. Sistema de fallas Riedel. En la figura se muestra el arreglo y la forma en que se conectan los diferentes sistemas de fallas que componen al sistema Riedel a lo largo de una zona de falla dextral. (Swanson 2006. *J. Struct. Geol.* 28 456-473)

Es fundamental entender y tener en cuenta esta característica ya que dicta el tipo de deformación y de factores de inestabilidad en el área de estudio debido a que la zona de estudio está enclavada en este tipo de límite tectónico transformante.

3.2.2 Contexto Hidrogeológico

Al inicio de la construcción de la carretera se tenía información geológica, sin embargo, no se tomaron en cuenta estudios que mostraran la capacidad de riesgo que podía generar el contenido y la dinámica del agua a largo plazo.

Los estudios más recientes contemplaron un análisis hidrogeológico del área en donde se entendió que en la bahía Salsipuedes se desarrollan dos tipos de “aguas”:

- a) La que llueve que es la responsable de generar los empujes, es decir la que genera el acuífero local y se libera en el mar.
- b) La que viene de la parte alta de la península y genera el acuífero regional.

Con este panorama se entendió que se tienen distintos niveles de flujo de agua (Distintos niveles freáticos).

La formación Rosarito Beach compuesta por una intercalación de basaltos altamente fracturados y permeables intercalados con depósitos piroclásticos, conforman una cadena de mesetas (planicies) y de altas pendientes. Asimismo, las zonas escarpadas son mínimas por lo que, no hay arroyos ni ríos, así, toda el agua de lluvia necesariamente se infiltra a la masa de roca y se libera en el mar. Este es el origen del agua tipo “a”. Por su parte, el agua tipo “b” se refiere a aquella que viene como producto de los sistemas de ríos y arroyos que vienen del Noroeste de la región que finalmente añade un nivel mayor de saturación de los basaltos permeables que produce la pérdida de cohesión y por ende de sus propiedades mecánicas.

Gracias a los estudios geológicos e hidrogeológicos posteriores a la emergencia ocurrida, se entendió este concepto de los dos tipos de aguas, lo que implica que, en un inicio cuando se construyó la autopista, no se había tomado en cuenta este panorama (el agua tipo b.) Con lo que fue imposible prever riesgos futuros y las implicaciones que tiene actualmente el nivel de agua que presenta la zona de construcción de la autopista. (*Santoyo, 2015*)

3.3 La emergencia

La carretera Tijuana-Ensenada ha tenido problemas desde su génesis pues desde antes de inaugurarse en el año 1967, ya se habían presentado deslizamientos que son visibles hasta la fecha en, por ejemplo, daños en la carpeta asfáltica (Signos más evidentes de afectaciones). A pesar de que desde el punto de vista de la mecánica de suelos es un error su construcción en la zona geográfica donde se ubica, desde el punto de vista económico, es un acierto, pues ha generado una derrama económica e intercambio comercial importante en la región.

Imagen 3. Deformación en la carpeta asfáltica de la carretera



En la fotografía se muestra el nivel de daño y distorsión en la carpeta asfáltica. (Fotografía propiedad de TGC GEOTECNIA S.A de C.V, 2015)

En diciembre del año 2013 se presentó un gran deslizamiento de 300 metros de longitud y 40 metros de profundidad (Sánchez, 2013) en la autopista a la altura de la bahía Salsipuedes en el kilómetro 93+000, este incidente interrumpió el tránsito vehicular en esta vía durante un año con todos los costos que esto implica.



Imagen 4. Deslizamiento del año 2013 en la carretera Tijuana-Ensenada. Fotografía por Lindero Norte, diciembre 2013.



Imagen 5. Dimensiones del deslizamiento del año 2013 en la carretera Tijuana-Ensenada. *Fotografía por Baja News, diciembre 2013*

En ese momento, se manejó la explicación por parte de protección civil de Ensenada que este deslizamiento estaba asociado a la falla de San Andrés. La justificación técnica que brindó el geólogo César Obregón Martínez Sanz es que "la fractura que existe tiene su origen en un desgaste de masa (deslizamiento) en esa zona que, se originó dadas las condiciones de permeabilidad y porosidad de las rocas presentes en la zona (sedimentarias cubiertas por rocas ígneas)", asimismo señaló que desde 30 años antes ya se había advertido el riesgo que implicaban estas condiciones para la carretera. (*El vigía, 2014*)

Tras el accidente ocurrido, se inició el estudio de siete sitios en esta misma bahía con la finalidad de entender la causa del incidente y así reducir el riesgo de que sucediera otro evento como el del año 2013. Los estudios demostraron signos de movimiento con una tasa de desplazamiento significativa en un periodo de tiempo corto, además de presencia de agua en los estratos a lo largo de la bahía por lo que el día 20 de julio del año 2015 se le denominó al fenómeno desarrollado en esta carretera con el dictamen oficial de Emergencia Técnica.

3.4 Estudios realizados

El gran deslizamiento de masa del año 2013, así como diferentes incidentes a lo largo de la autopista sentaron las bases para incentivar a las autoridades políticas respectivas a promover la realización de estudios para entender las causas que producen el movimiento en la bahía Salsipuedes y afectan a la carretera.

Los estudios realizados se hicieron con el objetivo de definir las condiciones geológicas e hidrogeológicas, así como las propiedades físico-mecánicas del suelo para componer la caracterización geotécnica del sitio.

Los estudios geológicos e hidrogeológicos demostraron que la roca presenta porosidad secundaria producida por el sistema de fallas existente, estos agrietamientos presentes a lo largo de la ladera que compone la carretera y a nivel regional crean el escenario perfecto para que se tenga un porcentaje mayor de infiltraciones de agua, que en la temporada alta de lluvias sobre todo, produce que saturen el material de falla, de esta forma se genera un ángulo de cohesión nula y un ángulo de fricción residual en el suelo lo que propicia el desarrollo de deslizamientos en masa del material.

La conclusión más importante que se obtuvo a partir de los estudios realizados fue que el error en la construcción y mantenimiento de la carretera recae en el papel que juega el agua como factor de inestabilidad, es decir, no se entendió el efecto que tendría el agua en la obra a largo plazo dado el contexto geológico estructural que presenta la región.

Los estudios que se realizaron en este proceso contemplaron estudios de exploración, geológicos, hidrogeológicos, geofísicos y una campaña de instrumentación, los cuales incluyen:

- Sondeos de exploración geológica
- Fotointerpretación
- Batimetría
- Sondeos de playa
- Inclínómetros
- Tubos de Observación
- Pruebas de corte directo
- Pozos a cielo abierto
- Estudios de oleaje y precipitación

De los estudios geológicos se indicó la presencia de varios agrietamientos en la carpeta asfáltica además de diferentes desplazamientos en los taludes centrales de la carretera, así como de la parte cercana a Ensenada donde la erosión a nivel de la cubierta fluvial es la que causa problemas de inestabilidad. Estos desplazamientos exhiben un movimiento claro que ha modificado la geometría de la carretera. También, se comprobó que sobre todo los estratos a nivel de playa presentaban saturación inminente, que influye en una baja en las propiedades mecánicas del suelo que contiene a la carretera. Así mismo, los basaltos que conforman el corte carretero descansan en posición desfavorable para la estabilidad de laderas y cortes que cuando se deslizan producen la formación de una especie de delta rocoso.

Se comprobó que, en la temporada alta de lluvias, el nivel de saturación en los estratos por el volumen de infiltración de agua relacionado con la cantidad y configuración de

fallas produce que las propiedades mecánicas del material disminuyan y se aceleren los movimientos de masas y se generen inestabilidades locales.

Con estudios de fotointerpretación, se identificaron los siguientes sistemas de fallas en los km 88+000,89+000 y 90+000:



Imagen 6. Superficies de falla en los km 88+000-90+000 de la carretera (TGC S.A de C.V, 2015)

La etapa de estudios para entender las causas de la emergencia, así como analizar la mejor solución a implementar en la carretera comenzaron en enero de 2014 y finalizaron en diciembre de 2015 por lo que tuvieron una duración de 1 año 11 meses.

3.5 Descripción del proyecto

Ante el incidente y tras catalogarse oficialmente como una Emergencia Técnica, se concluyó que eran estrictamente necesarios trabajos de estabilización en esta zona.

Se propuso una solución que consistió en el rediseño de un tramo de la carretera que abarca los kilómetros 88+000 hasta el 90+000, esta solución a su vez incluye el diseño de tres elementos: Bermas, pedraplén y galería de drenaje.

El 11 de agosto del año 2015 se presentó ante la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT la propuesta anterior para la estabilidad del sitio que consistiría en la construcción de los siguientes trabajos:

- Construcción de una galería de drenaje de 905.25 metros y 2.54 metros de diámetro.
- Construcción de un pedraplén en la zona de playa.
- Excavación y conformación de bermas en el cuerpo B de la Autopista Tijuana – Ensenada.

Las soluciones anteriores fueron propuestas con el fin de reducir los volúmenes de agua presentes en diferentes estratos del subsuelo que provocan la saturación de estos y por ende la disminución de sus propiedades mecánicas. Además de brindar mayor estabilidad a los taludes que conforman la carretera.

Los trabajos preliminares para comenzar con la excavación de la galería se iniciaron en el mes de octubre de 2015, sin embargo, se interrumpieron en febrero de 2016 para poder dar seguimiento al proceso de licitación del proyecto el cual concluyó en agosto de ese mismo año por lo que los trabajos preliminares se retomaron en septiembre de 2016. Según el portal Compranet, la inversión inicial para este proyecto fue de 39 millones de pesos. (*Compranet, 2016*)

En adelante, esta tesis se enfocará en la aplicación de la gestión de proyectos a la galería de drenaje.

3.5.1 Galería de drenaje

Gracias a los estudios y la campaña de instrumentación se demostró que el contenido de agua implicaba un riesgo alto para la carretera por lo que se aceleró el inicio de la obra, la empresa encargada del análisis geotécnico y geológico emitió las siguientes recomendaciones para la construcción de la galería de drenaje:

1. Aplicar un recubrimiento primario que funcione como anticorrosivo dado el nivel de agua y alta salinidad,
2. Establecer puntos de convergencia para mediante instrumentación monitorear el comportamiento y nivel de movimiento de las capas de roca durante la construcción,
3. Aplicar recubrimiento secundario para añadir mayor estabilidad y
4. Drenes auxiliares de 5 a 6 metros para aliviar las presiones hidráulicas sobre el terreno natural.

3.5.2 Diseño de la Galería

El diseño de la galería de drenaje se definió por medio de las condiciones geológicas y geotécnicas resultantes de la exploración realizada en el sitio durante la etapa de exploración, lo que resultó en el siguiente proceso constructivo:

- Diámetro de excavación de 2.54 metros.
- Excavación en ciclos de 1.22 metros.
- Instalación de tubos de enfilaje de 3" de diámetro y 12 m de longitud con avances de 300 cm.
- Colocación de anillos armados en tres segmentos a base de perfil H 4x4 de acero A-36 en cada ciclo de excavación.
- Colocación de recubrimiento primario de concreto lanzado
- Colocación de marcos de refuerzo
- Colocación de recubrimiento secundario de concreto lanzado en las zonas donde se construyan marcos de refuerzo

Tras el avance en la excavación, se fue colocando a su vez el sistema de ventilación e iluminación, así como el monitoreo de gases mediante la detección mínima de explosividad (LEL) monóxido de carbono y nivel mínimo de oxígeno con el fin de evitar cualquier percance que pusiera en riesgo la vida de los trabajadores que ingresaban al tunel a cada momento. El acarreo del material resultante de la excavación se retiró mediante una banda transportadora que se trasladaba a través de rieles hasta la parte trasera de la tuneladora, la cual con un sistema de bandas substraer el material del frente hasta ser volcado en el carretón y así poder ser retirado hacia el pie del portal.

Antes de iniciar con la excavación del túnel se definió una serie de trabajos preliminares necesarios que se conforman por la realización de:

- caminos de acceso
- Plataformas de trabajo
- Perforación
- Drenes auxiliares

3.5.3 Estructuras organizacionales reportadas

Con base en la información revisada y de acuerdo con la documentación solicitada por la dependencia a cargo, se estableció una división del trabajo de la siguiente manera:

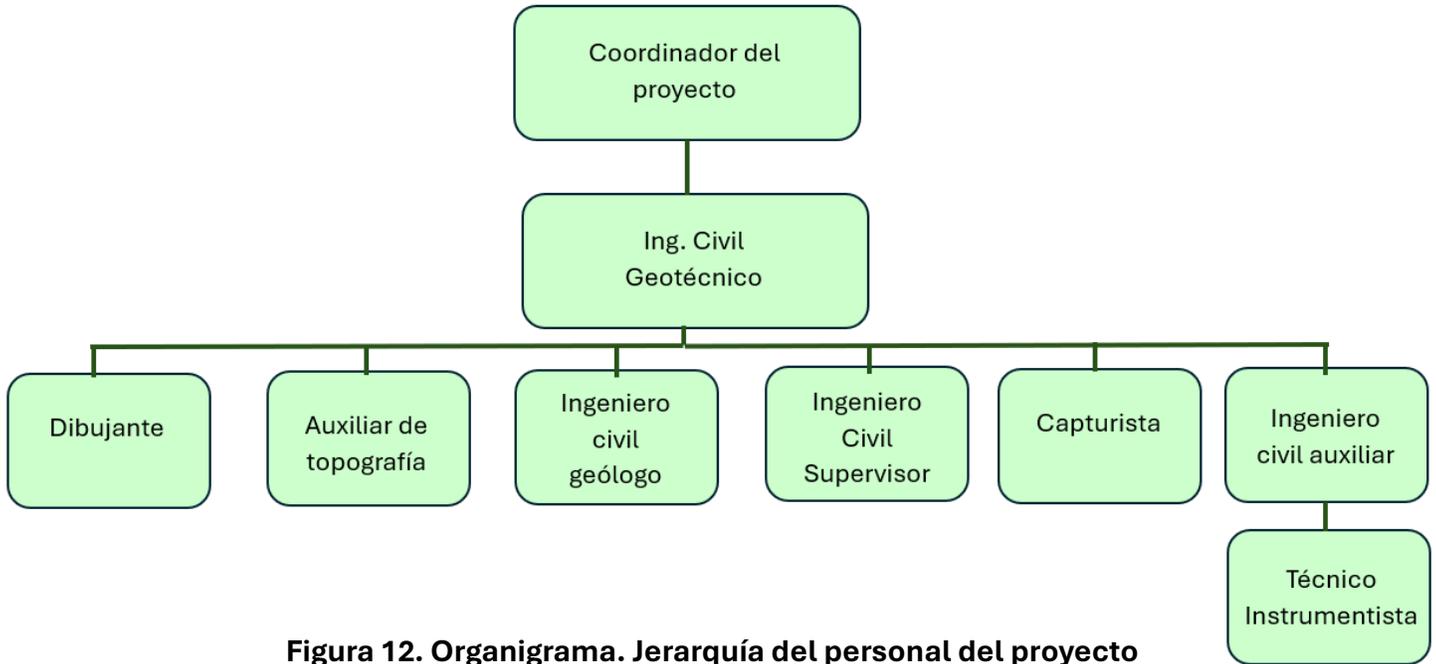


Figura 12. Organigrama. Jerarquía del personal del proyecto

Por otro lado, la empresa encargada de la construcción de la galería de drenaje definió 18 conceptos que muestran las actividades necesarias para lograr la ejecución de la Galería de Drenaje. Los conceptos definidos fueron los siguientes:

Concepto 1	Concreto lanzado en túnel, $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ TMA=15 mm de 10 cm de espesor, con 30 kg de fibra Dramex 65-35 por m ³ , incluye: materiales, mano de obra y herramienta. P.U.O.T.
Concepto 2	Concreto de revestimiento secundario en túnel, $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ TMA=15 mm de 10 cm de espesor por m ³ , incluye: materiales, mano de obra y herramienta. P.U.O.T.
Concepto 3	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ en revestimiento secundario, varillas de 3/8" y 1/2" de Ø, separación de acuerdo a proyecto. Incluye separadores, alambre para amarrar y dispositivos para garantizar su posición según detalles de proyecto. P.U.O.T.

Concepto 4	Suministro y colocación de tubo para enfilaje de 3" Ø, ced 40 y longitud L= 12.00 m, con una separación de 40cm. detalles según proyecto. Incluye barrenación, inyección, dispositivos de centrado en el barreno, materiales, equipo, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T
Concepto 5	Excavación en túnel de acuerdo a sección de proyecto para galería filtrante. Incluye: retiro de material fuera de la obra y todo lo necesario para su correcta ejecución, P.U.O.T
Concepto 6	Suministro y colocación de concreto hidráulico para construcción de zapatas en bóveda conforme a proyecto $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ TMA= 20 mm. Incluye aditivos y vibrado, así como cimbra, herramienta, materiales y todo lo necesario para su correcta ejecución . Incluye cimbrado y descimbrado. P.U.O.T.
Concepto 7	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ en zapata, de 3/8" y 1/2" de Ø, de acuerdo a proyecto. Incluye separadores, alambre para amarrar y dispositivos para garantizar su posición y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.
Concepto 8	Suministro y colocación de concreto hidráulico en cubeta de la bóveda $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ TMA= 20 mm de acuerdo a proyecto. Incluye aditivos, vibrado, cimbra, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.
Concepto 9	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ en cubeta de bóveda de 6/8" y 1" de Ø. Incluye separadores, alambre, dispositivos y todo lo necesario su correcta ejecución, P.U.O.T.
Concepto 10	Suministro y colocación de concreto hidráulico en marcos de refuerzo en bóveda $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ TMA= 20 mm de acuerdo a proyecto. Incluye aditivos, vibrado, cimbra, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecución. P.U.O.T.
Concepto 11	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ en marcos de refuerzo, varillas de 1/2" y 3/4" de Ø y estribos de 1/2"Ø. Incluye separadores, alambre para amarrar, dispositivos y todo lo necesario para su correcta ejecución . P.U.O.T.
Concepto 12	Dren de 2"Ø, ranurado envuelto en geotextil , para drenes locales de acuerdo a proyecto @ 10.00 m, tres piezas por estación según detalles de proyecto.

	Incluye: barrenación, material, colocación y todo lo necesario para su correcta ejecución P.U.O.T
Concepto 13	Suministro e instalacion de marco reticulado 2 secciones 95/6/8 de 3 barras, de acuerdo a seccion de proyecto, incluye; Suministro, fabricacion de angulos soldados y espaciadores a 1ml, mano de obra para la instalacion, equipo, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecucion.
Concepto 14	Suministro e instalacion de marco reticulado para bahia de descanso de acuerdo a seccion de proyecto, incluye; suministro, fabricacion, angulos soldados y espaciadores de 1ml, mano de obra para instalacion, equipo, herramienta y todo lo necesario para su correcta ejecucion.
Concepto 15	Excavacion en tunel de acuerdo a la seccion propuesta en zona de bahia para galeria filtrante, incluye; retiro de material fuera de la obra y todo lo necesario para su correcta ejecucion, P.U.O.T.
Concepto 16	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ANCLAS CON BARRAS DE 1-1/2" (#12) DE ACERO A36 DE 24 METROS DE LONGITUD, TENSADAS A 30 TON, INYECTADAS CON MORTERO DE F'c=200 KG/CM2, SEGÚN PROYECTO, INCLUYE: PERFORACIÓN, INSTALACIÓN, PLACAS, INYECCIÓN, TENSADO, MATERIALES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN, P.U.O.T.
Concepto 17	CONSTRUCCION DE CAMINO DE ACCESO PARA ABATIMIENTO DE MOGOTE, INCLUYE: CORTE, TERRAPLEN, EQUIPO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION
Concepto 18	ABATIMIENTO DE MOGOTE, INCLUYE: EQUIPO, RETIRO DE MATERIAL Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION
Concepto 19	RETIRO Y REINSTALACION DE EQUIPO EXISTENTE EN PORTAL NORTE POR SEGURIDAD PARA ABATIMIENTO DE MOGOTE, INCLUYE: MOVIMIENTO DE ALMACEN O CONTENEDOR, VENTILADOR, GENERADOR, COMPRESOR, BOMBA DE LANZADO, MICROPILOTEADORA SM5, ALPINE ABM330

Tabla 12. Catálogo de conceptos de la Galería de Drenaje

3.5.4 Medición de avance de obra

La forma de medir el avance en la construcción de la galería de drenaje fue mediante formatos en donde se reportó la siguiente información de manera semanal:

Se muestra el nivel de avance esperado según el proyecto ejecutivo en comparación al nivel de avance real, los metros de excavación por semana, el avance de la excavación anterior, el tipo y cantidad de maquinaria utilizada, evidencia fotográfica, además de un apartado con observaciones y otro en donde se mostraban los planos del diseño en donde se situaba el nivel de avance. Sin embargo, conforme se acercó el final de la obra, lo reportado en estos formatos así como la creación de los informes mensuales decayó o no se realizó.

Periodo:					Fecha:					
Concepto:					Responsable:					
	General		Cadenamiento		Avance					
Unidad	Cantidad	Proyecto	Obra	Hasta antes	En este	Acum	Anterior (%)	En este (%)	Acum (%)	
Observaciones:										
Evidencia fotográfica					Sección de la galería en donde se está realizando el trabajo					

Figura 13. Formato de medición de avance

3.5.5 Control de incidentes y tiempos de ejecución

De manera mensual se presentaron minutas de trabajo ante las dependencias a cargo, en donde se reportaba el nivel de avance de la obra, la desviación de tiempos y nivel de ejecución con respecto a lo planteado en el proyecto, así como los informes de incidentes ocurridos durante la ejecución y las recomendaciones a aplicar ante estos incidentes.

Además, entre las partes ejecutoras, se mantenía un reporte mediante correos electrónicos en donde también se realizaron los informes de incidentes ocurridos durante la ejecución y las recomendaciones a aplicar ante estos incidentes.

Dado a que la bahía Salsipuedes está ubicada en una zona de riesgo geológico y sísmico, la mayoría de los riesgos identificados fueron de tipo técnico.

No se tiene registro de un sólo documento oficial en donde se recopile la información de los eventos positivos o negativos que impactaron la construcción de la galería de drenaje definidos por actividad (concepto), sin embargo, se tiene prueba a través de la información reportada en las minutas de trabajo y correos electrónicos que efectivamente ocurrieron sucesos que impactaron de manera negativa el avance del proyecto.

La lista de eventos obtenida mediante la información anteriormente mencionada es la siguiente:

Colapso del túnel	Interrupción por procesos burocráticos
Falla estructural	Inundación de la galería de drenaje
Paro de actividades en la excavación	Avance de obra atrasado
Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	Avance de obra positivo
Desapego a lo planteado en el diseño	Error en la transmisión de comunicación entre los interesados
No realizar los trabajos pertinentes de estabilización en la excavación	Falta de supervisión y seguimiento al diseño original
Presencia inesperada de discontinuidades	Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas

Tabla 13. Lista de eventos identificados

3.5.6 Programa de trabajo

El programa de trabajo utilizado (figura 14), lleva un control y registro de las actividades definidas en el catálogo de conceptos y las relaciona con su costo y mes en el que se realizaron, asignándoles un monto según la fecha y cantidad del total usado.

Como se observa en la figura 14, este programa solo relaciona la actividad con el costo según el mes en que se realizó.

PROGRAMA GALERÍA FILTRANTE		\$144,364,296.48		PROGRAMA DE OBRA		19/09/2016	11/10/2016	16/10/2016	07/11/2016	16/11/2016	16/12/2016
CLAVE	DESCRIPCIÓN	UN	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE	30/09/2016	15/10/2016	31/10/2016	15/11/2016	30/11/2016	31/12/2016
1	Concreto lanzado en túnel, f'c=250 kg/cm ² TMA=15 mm de 10 cm de espesor, con 30 kg de fibra Dramex 65-35 por m3, incluye: materiales, mano de obra y herramienta. P.U.O.T.	M3	\$7,039.69	632.04	\$4,449,365.67				24.64	16.56	7.54
2	Concreto de revestimiento secundario en túnel, f'c=250 kg/cm ² TMA=15 mm de 10 cm de espesor por m3, incluye: materiales, mano de obra y herramienta. P.U.O.T.	M3								31.13	24.71
3	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo fy=4,200 kg/cm ² en revestimiento secundario, varillas de 3/8" y 1/2" de Ø, separación de acuerdo a proyecto. Incluye separadores, alambre para amarrar y dispositivos para garantizar su posición según detalles de proyecto. P.U.O.T.	KG									

Figura 14. Ejemplo del Programa de trabajo de la galería

De la figura 14, en la primer columna se haya el número de concepto, en la siguiente columna la descripción, las unidades de medida, el precio unitario la cantidad, el total y finalmente en color gris si señala el costo por semana en el orden en que aparecen sucesivamente de izquierda a derecha. Finalmente, en el recuadro amarillo se observa el presupuesto total calculado para la construcción de la galería de drenaje: \$144,364,296.48.

Cabe señalar que al final del proyecto el costo total fue de \$155,936,378.20

CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PMI A ESTE CASO DE ESTUDIO

A pesar de que el proyecto de obra de estabilización en la autopista de Tijuana-Ensenada presentó una estructura de administración base con diferentes tipos de documentos que establecieron la estructura implementada (demandados por la dependencia a cargo, SCT) a través de la descripción del proyecto se notó que no se aplicaron métodos de gestión al proyecto. En el siguiente capítulo se presenta una serie de estructuras organizacionales construidas a partir de lo que la gestión de proyectos plantea con el fin de comparar la diferencia del proceso para ejecutar el proyecto.

4.1 Alcance del proyecto

El primer paso es definir el objetivo que se busca para lograr delimitar el proyecto en cuestión, en este caso se buscó remediar la emergencia ocurrida a través de métodos de estabilización en autopistas, se implementaron tres medidas estabilizadoras de las cuáles el análisis aquí descrito sólo se enfoca en una de ellas, la galería de drenaje.

Objetivos del proyecto

Si se incluye:

- El diseño, colocación y monitoreo de instrumentos necesarios para el control correcto de la obra.
- Llevar a cabo las medidas correctivas para evitar otro incidente
- Implementar las medidas necesarias para mitigar el impacto ambiental por la construcción
- Definir los riesgos latentes en la zona mediante estudios de exploración e instrumentación
- El diseño y especificación del proceso constructivo, así como la construcción de la galería de drenaje.

No se incluye:

- La operación y mantenimiento del tramo carretero
- El monitoreo del nivel de desplazamiento y deformación en la carretera posterior a la construcción de la galería

4.1.1 Estructura de Desglose del Trabajo - EDT

Se optó por realizar una EDT general en donde se entienda la estructura que compone al proyecto general (Figura 14)

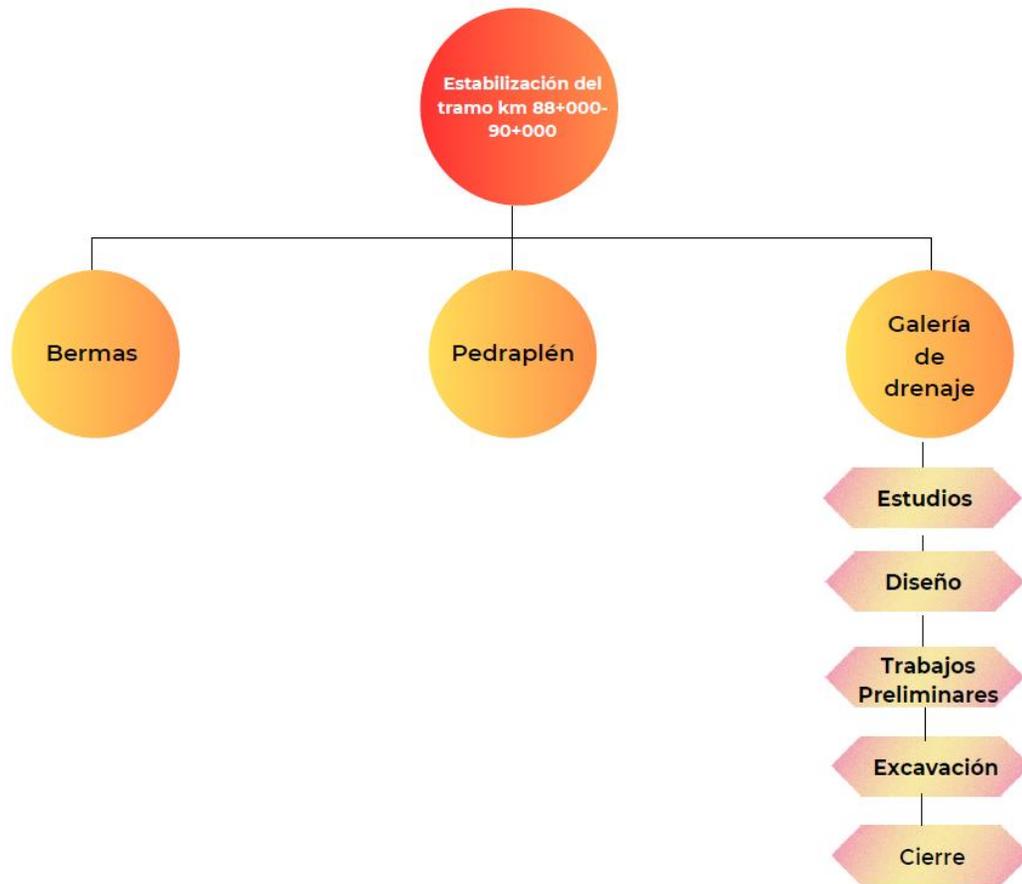


Figura 15. EDT General del proyecto

A pesar de que en el proyecto se describieron las actividades realizadas, no se definió una estructura de las actividades a realizar ni un desglose que relacione las tareas con el personal.

El proceso constructivo se dividió en 5 paquetes de trabajo de los cuales se desprenden las actividades necesarias para cumplir con cada paquete de trabajo. Estas actividades se definieron con base a la información contenida en la Tabla 12 y la descripción en la construcción de la galería de drenaje por parte de la empresa ejecutora. La EDT para el proyecto “Galería de drenaje” es la siguiente:

EDT DEL PROYECTO



Figura 16. EDT de la Galería de Drenaje

Factores del entorno

Como parte del alcance se identificaron los siguientes objetivos del entorno (Enviromental objectives): Definidos como aquellos factores que son ajenos al proyecto, pero repercuten en éste. Se identifican sobre todo los de la naturaleza del terreno en donde la autopista yace, así como la dinámica de los procesos naturales del lugar.

FACTORES NATURALES	
Zona de Fallas geológicas	Litología con baja competencia mecánica
Zona Sísmica	Temporadas de precipitación intensa
Zona tectónicamente activa	Pendientes pronunciadas
FACTORES POLÍTICOS	
Circulación de Mercancía internacional y de turistas americanos	Cercanía con la frontera con E.U.A.
Carretera administrada por dependencia de Gobierno	Tipo de contrato
FACTORES ECONÓMICOS	
Alto costo de estabilización	Estudios de Impacto ambiental necesarios por su cercanía al mar
Circulación de Mercancía internacional y de turistas americanos	Principal ruta de transporte terrestre de la zona para transporte de carga

Tabla 14. Factores del entorno del proyecto

4.2 Cronograma

Una vez definidos los paquetes de trabajo y desglosados en la serie de actividades correspondientes, se tiene en claro el proceso constructivo. Con lo que se puede establecer la conexión entre las tareas realizadas y el tiempo de duración. Con base en la información revisada se estableció el siguiente diagrama de Gantt el cual muestra las actividades con su tiempo de duración (Figura 16).

4.3 Riesgos

La tabla 13, muestra los eventos que se desarrollaron a lo largo del proyecto, los cuales involucran problemas en la comunicación entre los involucrados, el desapego a lo estipulado en el diseño de obra y eventos relacionados con la naturaleza geológica de la zona.

En el siguiente apartado se aborda, por un lado, un análisis más completo sobre la geología estructural del área de estudio haciendo énfasis en los riesgos geológicos, propone una perspectiva diferente a lo planteado en la fase de estudios propuesto ante la SCT.

Por otro, se realiza una evaluación de riesgos y su conexión con la correcta interpretación de la geología e hidrogeología del área como forma de mitigar riesgos técnicos directamente relacionados con estas causas. Asimismo, la evaluación de otro tipo de riesgos encontrados.

Para dicho fin, se utilizó la metodología Mosler que consiste en cuatro fases: 1. Definición del Riesgo, 2. Análisis del riesgo, 3. Evaluación del riesgo 4. Clasificación del riesgo.

4.3.1 Riesgo geológico

El paquete de trabajo 1 (Figura 15), es el que tiene como objetivo realizar una serie de estudios con la finalidad de conocer el comportamiento del terreno debido a las propiedades mecánicas del tipo de roca que lo compone, así como de entender el papel que juega el agua en el área de estudio.

La **imagen 6** muestra parte de los resultados obtenidos tras la exploración geológica y la fotointerpretación del área. Sin embargo, se encontró que esta imagen identifica como fallas, a las superficies de deslizamiento en masa que han ocurrido en ese tramo de la carretera, más no las trazas de las fallas locales.

En la **figura 17**, se plantea una nueva fotointerpretación de las fallas locales y su conexión con los sistemas de fallas regionales.

El recuadro blanco de la figura 17-D delimita el tramo de carretera en donde se construyó la galería de drenaje, asimismo, las líneas moradas muestran un sistema de fallas locales de rumbo NE-SW, las líneas rosas otro sistema de fallas de rumbo NW-SE y las líneas amarillas uno de rumbo N-S. Estos sistemas locales están asociados a un sistema regional (figura 17-C). La configuración que muestran es el patrón de las fallas Riedel (figura 17-B) que como lo muestra la figura 17-A, está provocado por el contexto transcurrente regional dominado por el límite tectónico de placas de Norteamérica y Pacífico.

Entonces, el área en donde se construyó la carretera, así como la galería de drenaje están construidas en una zona afectada por múltiples sistemas de fallas que además presentan orientación en favor de la pendiente del talud que conforma la carretera.

FALLAS TIPO RIEDEL EN EL ÁREA DE ESTUDIO

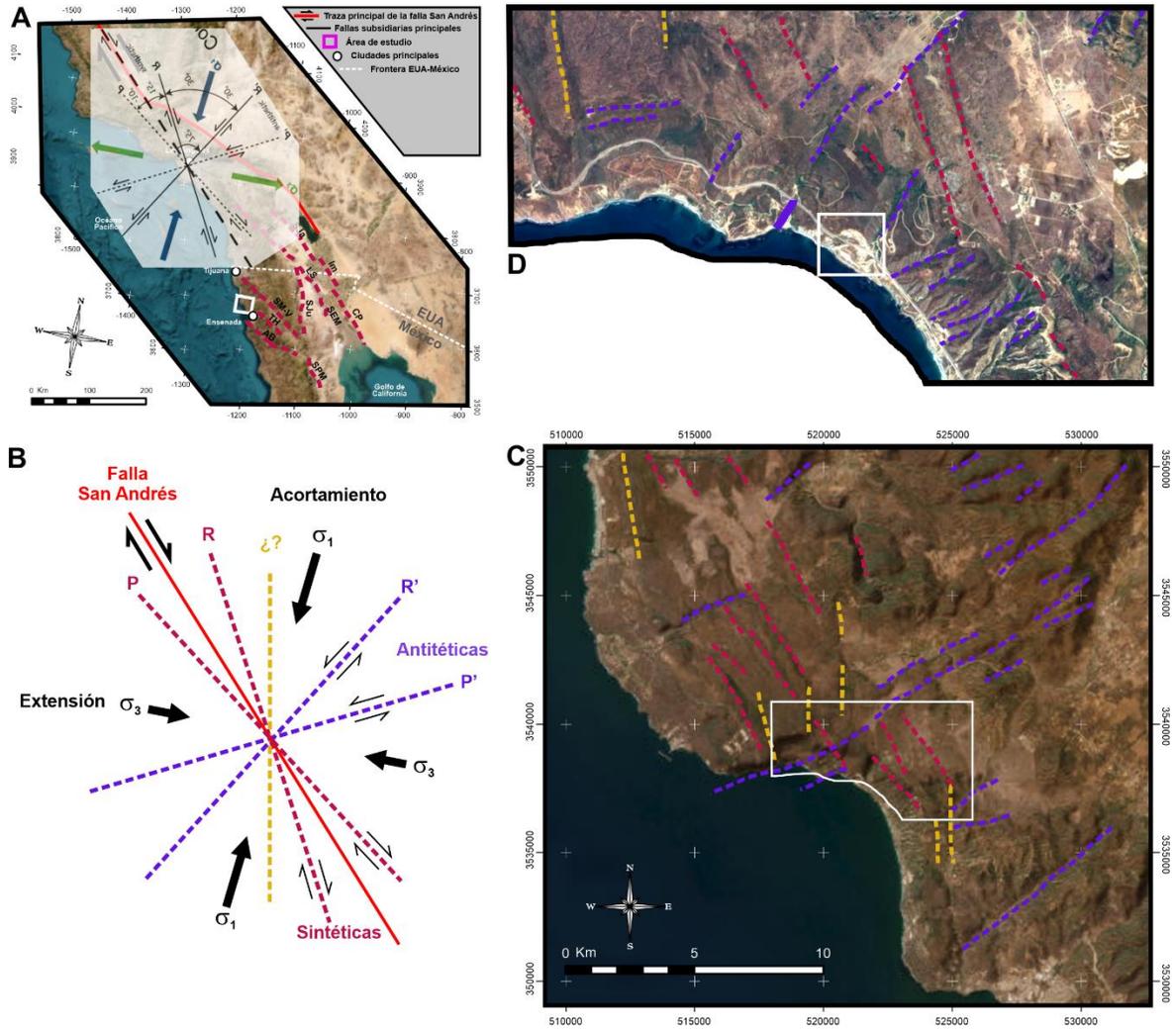


Figura 18. Estructuras Riedel y su relación con el área de estudio

Así, se identifica un primer grupo de riesgos potenciales:

- Deslizamientos de ladera inducidos por la familia de fallas en color rosa (Figura 17), paralelas al talud de la carretera
- Desprendimiento de bloques de roca
- Infiltración de agua producido por un control estructural (el flujo de agua sigue la traza de la falla)

4.3.2 Otros Riesgos

Ahora bien, se identificó que la mayoría de los eventos registrados (problemas) se desarrollaron en la etapa de ejecución, es decir, de la realización del paquete de trabajo 4 (Figura 15).

Al analizar la tabla 13 que muestra los eventos registrados en el proyecto, siete de ellos se pueden asociar a causas de naturaleza geológica e hidráulica, tres producidos por errores de gestión, organización y supervisión, dos por deficiencia en los interesados y uno por causas externas; lo que demuestra que la mayoría de los incidentes en el proyecto están ligados a riesgos geológicos. (Tabla 15).

Tabla 15. Eventos registrados y sus causas asociadas

Colapso del túnel	Interrupción por procesos burocráticos
Falla estructural	Inundación de la galería de drenaje
Paro de actividades en la excavación	Avance de obra atrasado
Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	Avance de obra positivo
Desapego a lo planteado en el diseño	Error en la transmisión de información entre los interesados
No realizar los trabajos pertinentes de estabilización en el tiempo estipulado durante la excavación	Falta de supervisión y seguimiento al diseño original
Presencia inesperada de discontinuidades	Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas

7	Eventos asociados a factores geológicos
4	Eventos asociados a errores de gestión, organización y supervisión
2	Eventos asociados a deficiencia en los interesados
1	Eventos asociados a causas externas

4.3.3 Metodología Mosler

Fase 1. Riesgos Identificados

1. Deslizamientos de ladera
2. Desprendimiento de bloques de roca
3. Infiltración de agua
4. Colapso del túnel
5. Falla estructural dentro de la galería
6. Paro de actividades en la excavación
7. Desapego a lo planteado en el diseño
8. Presencia inesperada de discontinuidades
9. Inundación de la galería de drenaje
10. Avance de obra atrasado
11. Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo
12. Error en la transmisión de información entre los interesados
13. No realizar los trabajos de estabilización pertinentes en el tiempo estipulado durante la excavación
14. Avance de obra positivo
15. Falta de supervisión y seguimiento al diseño original
16. Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas

Fase 2. Análisis de riesgos

En esta fase se busca hacer un análisis cualitativo de cada riesgo para asignarle un valor numérico y posteriormente realizar el análisis cuantitativo.

CRITERIO DE FUNCIÓN F

Primero se aplicará el criterio de función F que según el nivel de impacto le asigna un valor al riesgo que va del 1 al 5, siendo el 5 el de mayor impacto (Navarro, 2012):

Muy grave (5), grave (4), medianamente grave (3), levemente grave (2), muy levemente grave (1)

#	Riesgo	CRITERIO DE FUNCIÓN F	Valor
1	Deslizamientos de ladera	Muy grave	5
2	Desprendimiento de bloques de roca	Grave	4
3	Infiltración de agua	Grave	3
4	Colapso del túnel	Muy grave	5
5	Falla estructural dentro de la galería	Grave	4
6	Paro de actividades en la excavación	Grave	4
7	Desapego a lo planteado en el diseño	Medianamente grave	3
8	Presencia inesperada de discontinuidades	Medianamente grave	3
9	Inundación de la galería de drenaje	grave	4
10	Avance de obra atrasado	Medianamente grave	3
11	Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	Muy grave	5
12	Error en la transmisión de información entre los interesados	Muy grave	5
13	No realizar los trabajos de estabilización pertinentes en el tiempo estipulado durante la excavación	Grave	4
14	Avance de obra positivo	Muy levemente grave	1
15	Falta de supervisión y seguimiento al diseño original	Grave	4
16	Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas	Muy grave	5

Tabla 16. Criterio de función F

CRITERIO DE PROFUNDIDAD (P)

Se cuantifica el grado de perjuicio psicológico o reputacional que causa a la empresa: Perjuicio muy grave (5), perjuicio grave (4), perjuicio limitado (3), perjuicio leve (2), perjuicio casi nulo (1).

#	Riesgo	Criterio de profundidad P	Valor
1	Deslizamientos de ladera	Perjuicio muy grave	5
2	Desprendimiento de bloques de roca	Perjuicio limitado	3
3	Infiltración de agua	Perjuicio grave	4
4	Colapso del túnel	Perjuicio muy grave	5
5	Falla estructural dentro de la galería	Perjuicio grave	4
6	Paro de actividades en la excavación	Perjuicio limitado	3
7	Desapego a lo planteado en el diseño	Perjuicio limitado	3
8	Presencia inesperada de discontinuidades	Perjuicio limitado	3
9	Inundación de la galería de drenaje	Perjuicio grave	4
10	Avance de obra atrasado	Perjuicio limitado	3
11	Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	Perjuicio grave	4
12	Error en la transmisión de información entre los interesados	Perjuicio limitado	3
13	No realizar los trabajos de estabilización pertinentes en el tiempo estipulado durante la excavación	Perjuicio grave	4
14	Avance de obra positivo	Perjuicio casi nulo	1
15	Falta de supervisión y seguimiento al diseño original	Perjuicio grave	4

Tabla 17. Criterio de profundidad P

CRITERIO DE EXTENSIÓN (E)

Se cuantifica el alcance y repercusión del evento: Internacional (5), Nacional (4), Regional (3), Local (2), Individual (1).

Tabla 18. Criterio de extensión E

#	Riesgo	Criterio de Extensión E	Valor
1	Deslizamientos de ladera	Internacional	5
2	Desprendimiento de bloques de roca	Nacional	4
3	Infiltración de agua	Regional	3
4	Colapso del túnel	Internacional	5
5	Falla estructural dentro de la galería	Local	2
6	Paro de actividades en la excavación	Local	2
7	Desapego a lo planteado en el diseño	Local	2
8	Presencia inesperada de discontinuidades	Local	2
9	Inundación de la galería de drenaje	Local	2
10	Avance de obra atrasado	Local	2
11	Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	Local	2
12	Error en la transmisión de información entre los interesados	Local	2
13	No realizar los trabajos de estabilización pertinentes en el tiempo estipulado durante la excavación	Local	2
14	Avance de obra positivo	Local	2
15	Falta de supervisión y seguimiento al diseño original	Local	2

16	Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas	Local	2
----	---	-------	---

CRITERIO DE AGRESIÓN (A)

Se cuantifica la probabilidad de que el riesgo suceda: Muy alta (5), Alta (4), Media (3), Baja (2), Muy baja (1).

(Tabla 19)

CRITERIO DE VULNERABILIDAD (V)

Se cuantifica la probabilidad de que una vez ocurrido el riesgo, éste produzca daños: Muy alta (5), Alta (4), Media (3), Baja (2), Muy baja (1).

(Tabla 20)

Tabla 19. Criterio de agresividad A

#	Riesgo	Criterio de Agresividad A	Valor
1	Deslizamientos de ladera	Muy alta	5
2	Desprendimiento de bloques de roca	Muy alta	5
3	Infiltración de agua	Muy alta	5
4	Colapso del túnel	Media	3
5	Falla estructural dentro de la galería	Alta	4
6	Paro de actividades en la excavación	Alta	4
7	Desapego a lo planteado en el diseño	Media	3
8	Presencia inesperada de discontinuidades	Media	3
9	Inundación de la galería de drenaje	Media	3
10	Avance de obra atrasado	Alta	4
11	Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	Baja	2
12	Error en la transmisión de información entre los interesados	Media	3
13	No realizar los trabajos de estabilización pertinentes en el tiempo estipulado durante la excavación	Media	3
14	Avance de obra positivo	Baja	2
15	Falta de supervisión y seguimiento al diseño original	Media	3
16	Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas	Baja	2

Tabla 20. Criterio de vulnerabilidad V

#	Riesgo	Criterio de vulnerabilidad V	Valor
1	Deslizamientos de ladera	Muy alta	5
2	Desprendimiento de bloques de roca	Muy alta	5
3	Infiltración de agua	Muy alta	5
4	Colapso del túnel	Muy alta	5
5	Falla estructural dentro de la galería	Muy alta	5
6	Paro de actividades en la excavación	Muy alta	5
7	Desapego a lo planteado en el diseño	Muy alta	5
8	Presencia inesperada de discontinuidades	Muy alta	5
9	Inundación de la galería de drenaje	Muy alta	5
10	Avance de obra atrasado	Muy alta	5
11	Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	Muy alta	5
12	Error en la transmisión de información entre los interesados	Muy alta	5
13	No realizar los trabajos de estabilización pertinentes en el tiempo estipulado durante la excavación	Muy alta	5
14	Avance de obra positivo	Muy baja	1
15	Falta de supervisión y seguimiento al diseño original	Alta	4
16	Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas	Muy alta	5

CRITERIO DE SUSTITUCIÓN (S).

Tabla 21. Criterio de sustitución S

#	Riesgo	Criterio de Sustitución S	Valor
1	Deslizamientos de ladera	Muy difícilmente	5
2	Desprendimiento de bloques de roca	Sin muchas dificultades	3
3	Infiltración de agua	Difícilmente	4
4	Colapso del túnel	Muy difícilmente	5
5	Falla estructural dentro de la galería	Difícilmente	4
6	Paro de actividades en la excavación	Fácilmente	2
7	Desapego a lo planteado en el diseño	Difícilmente	4
8	Presencia inesperada de discontinuidades	Sin muchas dificultades	3
9	Inundación de la galería de drenaje	Sin muchas dificultades	3
10	Avance de obra atrasado	Fácilmente	2
11	Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	Muy fácilmente	1
12	Error en la transmisión de información entre los interesados	Sin muchas dificultades	3
13	No realizar los trabajos de estabilización pertinentes en el tiempo estipulado durante la excavación	Difícilmente	4
14	Avance de obra positivo	Muy fácilmente	1
15	Falta de supervisión y seguimiento al diseño original	Difícilmente	4

16	Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas	Muy difícilmente	5
-----------	---	------------------	---

El criterio de sustitución mide la facilidad o dificultad para sustituir la instalación dañada en caso de ocurrir:

Muy difícilmente 5, difícilmente, 4 sin muchas dificultades 3, fácilmente 4,

Muy fácilmente 5.

FASE 3 Y 4. EVALUACIÓN, CÁLCULO Y CLASIFICACIÓN DEL RIESGO

Después del análisis, se realiza la evaluación de la importancia del evento (I), los daños ocasionados (D) y la probabilidad de que ocurra (PR).

Finalmente se calcula ER, que es la cuantificación total del evento, este valor define el nivel de riesgo como se observa en la Tabla 22, con base en la siguiente escala:

Cuantificación del riesgo (ER)	Clase de riesgo
2 a 250	Muy bajo
251 a 500	bajo
501 a 750	Normal
751 a 1000	Alto
1001 a 1250	Elevado

Figura 19. Clase de riesgo

TIPO	COEFICIENTES ANÁLISIS DEL RIESGO						CÁLCULOS EVALUACIÓN DEL RIESGO					RIESGO
	F	S	P	E	A	V	I = (FXS)	D = (PXE)	C = (I+D)	PR = (AXV)	E = (CXPR)	
Deslizamientos de ladera	5	5	5	5	5	5	25	25	50	25	1250	Elevado
Desprendimiento de bloques de roca	4	3	3	4	5	5	12	12	24	25	600	Normal
Infiltración de agua	3	4	4	3	5	5	12	12	24	25	600	Normal
Colapso del túnel	5	5	5	5	3	5	25	25	50	15	750	Normal
Falla estructural dentro de la galería	4	4	4	2	4	5	16	8	24	20	480	Bajo
Paro de actividades en la excavación	4	2	3	2	4	5	8	6	14	20	280	Bajo
Desapego a lo planteado en el diseño	3	4	3	2	3	5	12	6	18	15	270	Bajo
Presencia inesperada de discontinuidades	3	3	3	2	3	5	9	6	15	15	225	Muy bajo
Inundación de la galería de drenaje	4	3	4	2	3	5	12	8	20	15	300	Bajo
Avance de obra atrasado	3	2	3	2	4	5	6	6	12	20	240	Muy bajo
Deficiencia e insuficiencia en el personal de campo	5	1	4	2	2	5	5	8	13	10	130	Muy bajo
Error en la transmisión de información entre los interesados	5	3	3	2	3	5	15	6	21	15	315	Bajo
No realizar los trabajos de estabilización pertinentes en el tiempo estipulado durante la excavación	4	4	4	2	3	5	16	8	24	15	360	Bajo
Avance de obra positivo	1	1	1	2	2	1	1	2	3	2	6	Muy bajo
Falta de supervisión y seguimiento al diseño original	4	4	4	2	3	4	16	8	24	12	288	Bajo
Avance en la excavación sin la aplicación de las medidas de estabilización recomendadas	5	5	4	2	2	5	25	8	33	10	330	Bajo

Tabla 22. Nivel de riesgo con método Modler

CAPÍTULO V. La necesaria aplicación de la Gestión a los proyectos de Ingeniería

1. A pesar de que el proyecto presenta una estructura base en cuanto a cómo fue organizado, y un programa de trabajo, así como de estar conformado por una serie de etapas que involucraron la creación del diseño, la realización de estudios, la construcción de la obra y la licitación del proyecto, no se definió una estructura organizacional clara.
2. Se utilizaron dos formatos para manejar el control del proyecto (figura 13 y figura 14), sin embargo, cerca de la conclusión de la obra, ni siquiera se implementó el formato de medición de avance (figura13). Además, el programa de trabajo no muestra relación con dicho formato por lo que no se llevó un control del proyecto adecuado. (figura14)
3. El programa de trabajo relaciona directamente los conceptos de la tabla 12 con su costo, sin embargo, en términos de tiempo no permite visualizar la ejecución de las actividades y avance de las mismas como en la figura 17.
4. No se definió un alcance claro que estableciera lo que, si y lo que no involucraba el proyecto por lo que definir las tareas a realizar, así como los materiales y maquinaria requeridos y el tipo de personal necesario para cada actividad mostró deficiencias.
5. Sin la definición del alcance del proyecto, así como del uso de una herramienta organizacional como la EDT, no fue posible establecer un control del avance de obra pues no se definieron los paquetes de trabajo para delegar y repartir las actividades realizadas en conjunto con el organigrama planteado.
6. Se realizaron estudios previos a la ejecución del proyecto, sin embargo, no fueron lo suficientemente completos para lograr un diseño adecuado de la galería de drenaje que previera eventos inesperados.
7. No se tuvo un control y estudio de riesgos ni registro de estos.
8. A pesar de que se realizó un presupuesto y el contratista implementó un programa de trabajo, la obra superó el presupuesto realizado por lo que factores como la falta de una buena supervisión, una correcta medición de avance y la definición precisa y clara de las etapas y actividades del proyecto pudieron ser las causas de esta diferencia en costos, sumado a los eventos inesperados registrados que definitivamente elevaron los costos del proyecto. (página 60)

CAPÍTULO VI. REFLEXIONES Y APRENDIZAJES

1. La base para lograr un control de costos, de tiempo, así como mitigación de riesgos y alcanzar el objetivo del proyecto, es establecer un alcance claro y completo. Además, el uso de activos organizacionales como los mostrados en las figuras 13, 15, 17 así como la tabla 22 demostraron ser útiles para cumplir con este cometido y llevar a cabo la gestión del proyecto.
2. La construcción de la galería de drenaje para la carretera de Tijuana-Ensenada, demostró tener una estructura base del trabajo, y a pesar de que contó con estudios, con un diseño, y la ejecución de la obra, parece haber cumplido sólo con las reglas establecidas por la dependencia a cargo (SCT) sin tomar los grupos de procesos que establece la gestión de proyectos: Inicio, Planeación, Ejecución, Monitoreo y Control y Cierre. Es decir, se construyó la obra y sobre la marcha se fue cumpliendo con lo que demandaba el proyecto sin tener una verdadera gestión y control del mismo.
3. La importancia de entender la geología y la estructural de un sitio, es indispensable para evaluar la viabilidad de una obra. En este proyecto, específicamente la falta de una correcta interpretación de la geología regional y estudio es la responsable de la mayoría de los eventos ocurridos en la Carretera escénica de Tijuana-Ensenada.

Desde la concepción de la carretera la omisión de una correcta comprensión de la geología del área de estudio no sólo como algo local si no comprenderlo como un sistema regional ha jugado un papel importante para que los riesgos ahí desarrollados sucedan y sigan sucediendo.

Queda en evidencia lo relevante que es invertir y realizar una correcta y completa campaña de estudios para lograr un diseño adecuado que tome en cuenta las características del sitio, y priorice la seguridad de un proyecto, así como manejar el control de costos al mitigar riesgos y errores técnicos en el mismo. Por ende, cumplir con el cronograma estipulado, así como apegarse lo mayor posible al diseño de la obra.

4. La ingeniería geológica es un agente de valor esencial en una amplia gama de proyectos de ingeniería, no limitándose únicamente a los de infraestructura. Su relevancia se manifiesta en diversas etapas de la gestión de proyectos, especialmente en la planeación, que es la fase fundamental dentro de los grupos de procesos establecidos por los métodos de gestión de proyectos. Al analizar los riesgos geológicos y proponer medidas de prevención y control, la ingeniería geológica no solo contribuye al diseño correcto de la obra y a la definición de objetivos claros, sino que también influye significativamente en el control de costos, plazos y riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Esto, a su vez,

impacta positivamente en la sociedad al garantizar la calidad y sostenibilidad del proyecto, reafirmando su papel central en la administración efectiva de proyectos.

5. A pesar de que desde la creación de la carretera se realizaron estudios que evidenciaron el nivel de riesgo geológico en la zona donde está construida la carretera, no fue hasta que ocurrió la emergencia, que mediante un ejercicio de prueba y error, se requirió de una nueva campaña de estudios que lo más importante que demostraron fue que no se pensó la obra a largo plazo, pues omitió factores causantes de riesgo alto como la orientación de las fallas, la configuración y tipo de deformación que tiene que ver con entender la geología del sitio como un sistema regional. Por lo que se queda como reflexión y recomendación la importancia de construir las obras con la perspectiva del factor de incertidumbre que involucra el futuro y la importancia de no saltarse u omitir ningún paso previo y fundamental antes de ejecutar un proyecto, la realización de estudios adecuados.
6. Esta carretera sirve de ejemplo para entender el estado de nuestra red carretera nacional, así como los procedimientos con los que se ejecutan la mayoría de las obras en nuestro país y la manera en que se administran. Deja ver que no se aplican métodos de gestión que ayuden al cumplimiento de los objetivos de un proyecto, por otro lado, la operación y mantenimiento o no se aplica o no se lleva a cabo pues el monitoreo y control de una obra se entiende como solucionar problemas cuando ya sucedió un evento, más no desde la perspectiva de la prevención, con lo que el gasto público destinado a infraestructura se desvía en estas obras de mantenimiento (más bien, solución de eventos), y no en la creación de nueva y mejor infraestructura o la modernización de la ya existente.
7. En este proyecto, se inició la construcción desde antes de generar la licitación del proyecto, por lo que una vez iniciada la obra, fue necesario interrumpirla por 6 meses, en donde se incrementaron los costos al mantener sueldos, y maquinaria en este lapso sin tener utilidad.
8. Por otro lado, a pesar de que existe un portal público para consultar el contrato y la información de un proyecto, en este no se encontró el proyecto aquí estudio por lo que el control de la información y reporte de gastos, así como de lecciones aprendidas no se pudo implementar.
9. Las ideas anteriores denotan la importancia de luchar por mejores instrumentos legales y mecanismos regulatorios en el área de licitaciones y procesos de obra que permitan la inversión en proyectos que si sean necesarios, así como que eliminen la interrupción de estos por procesos burocráticos.

Finalmente, reitero “La velocidad con la que funciona actualmente el mundo altamente impactado por la tecnología, así como el nivel de crecimiento demográfico y el cambio climático, generan un futuro cambiante e incierto con lo que, el único instrumento que nos puede ayudar a alcanzar los objetivos que una obra de infraestructura sostiene es el de un sistema de planeación”.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Infraestructura de transporte en México	9
Imagen1: Vladimir Romin, 2013, Sur de california	17
Tabla 2. Clasificación geológica de las rocas	18
Tabla 3. Clasificación geológica de los suelos.....	19
Tabla 4. Clasificación geotécnica de los suelos.....	21
Tabla 5. Propiedades mecánicas y métodos de identificación en rocas.....	23
Tabla 6. Factores que producen deslizamientos de ladera	27
Tabla 7. Grupos de procesos de un proyecto.....	29
Tabla 8. Áreas de conocimiento de un proyecto.	30
Tabla 9. Objetivos operacionales y ambientales que conforman el alcance del proyecto.	31
Tabla 10. Estructura general del área de costos de un proyecto	36
Tabla 11. Procesos de la gestión de riesgos.....	39
Tabla 12. Catálogo de conceptos de la Galería de Drenaje	57
Tabla 13. Lista de eventos identificados	59
Tabla 14. Factores del entorno del proyecto.....	64
Tabla 15. Eventos registrados y sus causas asociadas	68
Tabla 16. Criterio de función F	70
Tabla 17. Criterio de profundidad P	71
Tabla 18. Criterio de extensión E	72
Tabla 19. Criterio de agresividad A	74
Tabla 20. Criterio de vulnerabilidad V.....	75
Tabla 21. Criterio de sustitución S.....	76
Tabla 22. Nivel de riesgo con método Modler.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la red nacional de caminos mexicana 2023.	9
Imagen1: Vladimir Romin, 2013,	17
Imagen 2: Geomechanical Consulting	17
Figura 2. Composición de los suelos	20
Figura 3. Proyecto igual a Sistema	28
Figura 4. Estructura de División del Trabajo (EDT	32
Figura 5. EDT por paquetes de trabajo.....	33
Figura 6. Composición de los costos de un proyecto	37
Figura 7. Mapa ubicación de la zona de estudio y sistema de fallas.....	43
Figura 8. Mapa geológico-estructural del área de estudio.	45
Figura 9. Mapa de la Falla de San Andrés.	46
Figura 10. Zonas sísmicas de México	47
Figura 11. Sistema de fallas Riedel.....	47
Imagen 3. Deformación en la carpeta asfáltica de la carretera	49
Imagen 4. Deslizamiento del año 2013 en la carretera Tijuana-Ensenada.	49
Imagen 5. Dimensiones del deslizamiento del año 2013 en la carretera Tijuana-Ensenada.....	50
Imagen 6. Superficies de falla en los km 88+000-90+000 de la carretera	52
Figura 12. Organigrama. Jerarquía del personal del proyecto.....	55
Figura 13. Formato de medición de avance	58
Figura 14. Ejemplo del Programa de trabajo de la galería	60
Figura 15. EDT General del proyecto.....	62
Figura 16. EDT de la Galería de Drenaje.....	63
Figura 17. Diagrama de Gantt de la galería de drenaje	65
Figura 18. Estructuras Riedel y su relación con el área de estudio	67
Figura 19. Clase de riesgo.....	77

BIBLIOGRAFÍA

- ✦ Arvizu Lara, Gustavo; Dávila Serrano, Moisés (2013). Geología Aplicada a la construcción de Infraestructura. (1ª Ed) Fundación Prociencias de la Tierra FECIT.
- ✦ Banco Mundial (2023). El Banco Mundial publica el índice de desempeño logístico 2023, Comunicado de prensa. Consultado en: https://lpi.worldbank.org/sites/default/files/2023-04/LPI_Press_release_Spanish.pdf
- ✦ *Bosco Martí. Transformando la infraestructura: el potencial de la inversión privada en la región.* Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM), Revista Número 655 agosto 2024
- ✦ CEPAL, Naciones Unidas (2024). Agenda 2030 en América Latina y el Caribe. Plataforma Regional de Conocimiento, consultado en: <https://agenda2030lac.org/es/ods/9-industria-innovacion-e-infraestructura>
- ✦ CFI, (2024). Public Infrastructure, capítulo de infraestructura. Consultado en: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/economics/public-infrastructure/>
- ✦ Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, 1985, pp. 395-408
- ✦ Colegio de Ingenieros Civiles de México (2023). III FORO NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE, CICM oficial. Videoconferencia consultada en: <https://www.youtube.com/watch?v=FQNpgLoqlss>
- ✦ Colegio de Ingenieros Civiles de México (2019). Situación actual de la infraestructura en México, CICM Oficial. Videoconferencia consultada en: <https://www.youtube.com/watch?v=YM00rOT6IRA>
- ✦ De Buen Richkarday, Oscar (1 de Junio 2023). Dinámicas demográficas y su impacto en la infraestructura del transporte. 3er Foro Nacional de Infraestructura de transporte. Videoconferencia consultada en: <https://www.youtube.com/watch?v=FQNpgLoqlss>

- ✦ De Buen Richkarday, Oscar (2012). INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE. Instituto de investigaciones jurídicas, UNAM. Consultado en: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2816/7.pdf>
- ✦ Duarte Rionda, Enrique, (2023). Banco Mundial publica el índice de desempeño logístico 2023; México cae en picada. T21, logística. Artículo consultado en: <https://t21.com.mx/logistica-2023-05-12-banco-mundial-publica-indice-desempeno-logistico-2023-mexico-cae-picada/>
- ✦ El Vigía, Ensenada, (Enero 2014). Mega derrumbe en Escénica Tijuana Ensenada, consultado en <https://www.youtube.com/watch?v=jpxlQBnoZFK>
- ✦ Facultad de Ingeniería, Tecnologías e innovación, (2023). EL MACIZO ROCOSO Y SU CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA, UNIDAD III. Universidad de Aconagua, Imagen “MACIZO ROCOSO” consultada en: <https://geomecanicaymecanica.com/macizo-rocoso/>
- ✦ Facultad de Ingeniería (2018). DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO TÚNEL EMISOR ORIENTE. Escrito consultado en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/569/A6.pdf?sequence=6#:~:text=La%20propuesta%20consisti%C3%B3%20en%20la,Oriente%20y%20el%20de%20Occidente.>
- ✦ Facultad de Ingeniería. (Sin año). Ingeniería Geológica, perfil de egreso. UNAM. Consultado en: https://www.ingenieria.unam.mx/programas_academicos/licenciatura/geologica.php
- ✦ Figueroa palacios, Esteban. Abril 2023.Planeación de la Infraestructura: Un proceso de toma de decisiones bajo incertidumbre, Canal CICM Oficial. Consultado el 8 de noviembre de 2024 de <https://www.youtube.com/watch?v=EvNqrZnQg-o&t=1536s>
- ✦ García Ochoa, David (2017). “El singular metro de Doha”, TYPESA. Artículo consultado en: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/typsa-casodeexito-final.pdf>

- ✦ Gobierno de la Ciudad de México. (2019). Acuerdo Nacional de Inversión en Infraestructura en Sector Privado: Plan Nacional de Desarrollo México 2019-2024 (1.a ed., Vol. 1)
- ✦ Gobierno de la Ciudad de México, (2024). ¿Cómo Invertir?, PLANEACIÓN NACIONAL (s. f.). Consultado de:
<https://www.proyectosmexico.gob.mx/como-invertir-en-mexico/planeacion-nacional/>
- ✦ Gobierno de la Ciudad de México, (s.a.). Secretaría de Comunicaciones y Transportes, ¿Qué hacemos?, Consultado en: <https://www.gob.mx/sct/que-hacemos>
- ✦ Gobierno de la Ciudad de México, (2024). Ley de Asociaciones Público-Privadas (LAPP), Proyectos México. Consultado en:
[https://www.proyectosmexico.gob.mx/como-invertir-en-mexico/regulacion-general/#:~:text=Las%20asociaciones%20p%C3%ABblico%2Dprivadas%20\(APP,en%20los%20que%20se%20utilice](https://www.proyectosmexico.gob.mx/como-invertir-en-mexico/regulacion-general/#:~:text=Las%20asociaciones%20p%C3%ABblico%2Dprivadas%20(APP,en%20los%20que%20se%20utilice)
- ✦ González de Vallejo Luis I., Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo. (2004). INGENIERÍA GEOLÓGICA, Editorial PEARSON EDUCACIÓN.
- ✦ Gonzalez-Huizar, H., Fletcher, J. M., 2020, Baja quakes highlight seismic risk in northern Mexico, Temblor, <http://doi.org/10.32858/temblor.116>
- ✦ Grupo imagen (Diciembre 2013), Colapsa tramo en carretera escénica Ensenada-Tijuana, Reportaje consultado en:
<https://www.youtube.com/watch?v=LV6rfKCYaWE>
- ✦ Infobae (2022). Por qué se derrumbó la mina El Pinabete según Protección Civil, Consultado en:
<https://www.infobae.com/america/mexico/2022/09/06/por-que-se-derrumbo-la-mina-el-pinabete-segun-proteccion-civil/#:~:text=Seg%C3%ABAn%20la%20Coordinadora%2C%20el%20origen,el%20ingreso%20excesivo%20de%20agua>
- ✦ Juárez Camarena, Moisés. (Agosto 2024) Debe asegurarse el control de calidad de la calidad de las construcciones. Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM). Revista Número 655.

- ✦ Kerzner, Harold (2017). Project Management: A system approach to planning, scheduling, and controlling. Editorial Getty Images INC. (12va ed)
- ✦ Lario, Javier, et al. Introducción a los riesgos geológicos, UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2016. *ProQuest Ebook Central*,
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/unam/detail.action?docID=4824241>
- ✦ Lynch, D., 2006, The San Andreas Fault, <https://geology.com/articles/san-andreas-fault.shtml>
- ✦ Muñoz Hernández, Selene Sarahí (Mayo 2015). Tesis “Análisis Estratigráfico y Estructural de la Región Salsipuedes, Baja California”. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- ✦ Navarro Francisco, (2012). El análisis de riesgos: método Mosler. Inesem bussines school. Recuperado de
<https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/el-analisis-de-riesgos-metodo-mosler/#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20Mosler%20no%20es,comprende n%20mayor%20o%20menor%20riesgo.>
- ✦ Project Management Institute. (2017). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (guía del PMBOK) (6.ª ed.). Project Management Institute.
- ✦ Uriegas Torres, Carlos (2003). El Sistema de Gerencia de Proyectos. Sin Editorial(1ª Ed)
- ✦ Richardson, Gary L. (2015). Project Management Theory and Practice, Second Edition. Editorial Taylor & Francis Group, LLC.
- ✦ Robledo, Cabello, Luis Francisco. (Agosto 2024) Planeación de carreteras para el bienestar y el desarrollo económico de México. Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM). Revista Número 655.
- ✦ Ronin, Vladimir (Sin 2016) DEPÓSITOS NATURALES DE PUZOLANA (CENIZA VOLCÁNICA) SITUADOS AL SUR DE CALIFORNIA, ESTADOS UNIDOS. Imagen” MATRIZ ROCOSA” recuperada de:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Puzolana#/media/Archivo:EMC_Cement_Natural_Pozzolan_Deposits_\(Southern_California\).jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Puzolana#/media/Archivo:EMC_Cement_Natural_Pozzolan_Deposits_(Southern_California).jpg)

- ✦ Sansón Trejo, Mariana (2016). Tesis “La inobservancia de la Ley de Obras Públicas y servicios relacionados con las mismas”. Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM
- ✦ Santoyo Villa, Enrique. Diciembre 2025. Estabilización de un tramo de la autopista Tijuana-Ensenada, Canal CICM Oficial. Consultado el 7 de agosto de 2024 de <https://www.youtube.com/watch?v=tQprl2D7fOs>
- ✦ Secretaría de Industria y comercio, (1963). Censo poblacional del estado de Baja California, México D.F. INEGI.
- ✦ Secretaría de Comunicaciones y Transporte, (2019). Normativa para la infraestructura de transporte, Gobierno de México. Consultado de: <https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#>
- ✦ Sheng Zhaohan, (2018). FUNDAMENTAL THEORIES OF MEGA INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION MANAGEMENT. Editorial Springer
- ✦ Solís Yépez, Oscar. (19 de agosto de 2024). “Tendencias globales de la Gerencia de Proyectos”, Colegio de Ingenieros Civiles de México, Documento PDF
- ✦ Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica (Marzo 2012) “TÚNEL EMISOR ORIENTE: ANÁLISIS, DISEÑO Y COMPORTAMIENTO”. No. 223. Página 22 a la 32. Revista consultada en: <https://www.smig.org.mx/archivos/revista-trimestral-smig/revista-geotecnia-smig-numero-223.pdf>
- ✦ Karl Terzaghi, Ralph B. Peck, Gholamreza Mesri (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley, tercera edición.

