



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE LA CONSTRUCCIÓN

NUEVAS TECNOLOGÍAS (InSAR) PARA EL MANTENIMIENTO, LA
SUPERVISIÓN, OPERACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURA PÚBLICA Y
LA SOLUCIÓN A LOS CONFLICTOS QUE SE PRESENTAN

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
EMMANUEL RIVERA GUTIÉRREZ

TUTOR PRINCIPAL:
M.I. LUIS ARMANDO DÍAZ INFANTE CHAPA, FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX., OCTUBRE 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Meza Puesto Jesús Hugo
Secretario: Ing. Casar Marcos Guillermo
1 er. Vocal: M.I. Díaz Infante Chapa Luis Armando
2 do. Vocal: M. en I. Narcia Morales Carlos
3 er. Vocal: M. en I. Macuil Robles Sergio

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO

TUTOR DE TESIS:

M.I. LUIS ARMANDO DÍAZ INFANTE CHAPA

FIRMA

(Segunda hoja)

Dedicatorias:

A mi Madre por darme la vida, permitiéndome cumplir este logro y brindarme su constante apoyo y amor.

A mi Padre por todo el apoyo económico, sus constantes palabras de aliento y amor.

A mis hermanos, amigos y en especial a Pamela por creer en mí y apoyarme.

Agradecimientos:

Al CONACYT por considerarme apto para el apoyo económico durante el transcurso de la maestría.

A mi maestro Luis Armando Díaz Infante Chapa, por apoyarme durante el transcurso del desarrollo de este trabajo de tesis.

A los maestros e ingenieros que transmitieron todos sus conocimientos disponibles y experiencias vividas a lo largo de toda la maestría, en especial al doctor Jesús Hugo Meza Puesto, el cual inició con el apoyo en este trabajo de tesis, esperando se encuentre de la mejor manera.

INDICE

Lista de Imágenes 1

Lista de Gráficas..... 2

Lista de Tablas..... 3

Resumen..... 4

Abstract..... 4

INTRODUCCIÓN..... 5

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 7

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN. 8

 Generales 8

 Particulares..... 8

HIPÓTESIS 9

I. Marco Teórico..... 10

 I.I. Supervisión 10

 I.II Función de la Supervisión en las Obras Públicas 11

 I.III Supervisor de Obra 14

 I.IV Herramientas de la Supervisión de Obra 19

II. Marco Legal Aplicable a la Supervisión de Obra 21

 II.I Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas..... 21

 II.II Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas
..... 22

III. La Importancia de la Supervisión de Obras..... 29

 III.I Relación Entre la Supervisión y la Construcción de Obras..... 29

 III.II Conflictos Presentes en la Supervisión de Obra 32

 III.III El Mantenimiento de las Obras y su Relación con la Supervisión de Obras 37

III.IV La Gerencia de Proyectos en la Supervisión de Obra	43
III.V La Importancia de la Enseñanza de la Supervisión en la Licenciatura	48
IV. Supervisión Externa para el Constante Mantenimiento y Buena Operación de las Obras.....	53
IV.I Qué es la interferometría.....	53
IV.II Herramientas preventivas para la supervisión y la salvaguarda de la infraestructura	55
IV.III Técnica InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), para la supervisión de deformaciones.....	65
IV.IV Aplicación de la Técnica InSAR para la obtención de datos de deformación en las zonas aledañas a la autopista de Texcoco.	75
V. CONCLUSIONES.....	87
BIBLIOGRAFIA	89

Lista de Imágenes

Imagen 1 Ciclo de Deming (Elaboración Propia)	11
Imagen 2: Fotografía aérea del colapso de la línea 12 del metro CDMX (Sáenz Guzmán, 2021).....	40
Imagen 3 Diagrama del Socavón en el Paso Exprés Cuernavaca (UNIV, 2017)	42
Imagen 4 Central Hidráulica Coca Codo Sinclair, (BBC News Mundo, 2019).....	46
Imagen 5: Fases de la Gerencia de Proyectos.....	46
Imagen 6 Arreglo simplificado del interferómetro de Michelson. (Wikipedia, La enciclopedia libre, 2022)	53
Imagen 7 Diagrama Ejemplo de Ondas. (Apple Inc., 2022)	54
Imagen 8 Reubicación de Arroyo. (Morken Group, 2022)	56
Imagen 9 Distribución de los Sensores de Fibra Óptica. (Morken Group, 2022).....	57
Imagen 10 Deformación diferencial de la primaria España en calle San Jerónimo, Centro. (El Punto Crítico, 2017)	59
Imagen 11 Hundimiento de la Ciudad de México. (Laboratorio de Geoinformática, Instituto de Ingeniería, UNAM, 2015)	60
Imagen 12 Estaciones Piezométricas en el Valle de México (SRH, CAVM, CHCVM, GRAVAMEX, CNA, SEMARNAP). (Laboratorio de Geoinformática, Instituto de Ingeniería, UNAM, 2015).....	61
Imagen 13 Captura LiDAR de Majadahonda en Madrid, Fuente de los datos PNOA. (Soto, 2021).....	62
Imagen 14 Componentes del Sistema LiDAR. (Soto, 2021)	63
Imagen 15 El Puente Conmemorativo de los Veteranos de Guerra Corea en el Centro de Nashville, Tennessee. Modelo de la base de datos de 8 puntos por metro cuadrado de un QL1 LiDAR. (LidarMag-Editor, 2023)	64
Imagen 16 Imagen SAR de Los Humeros y el Cofre de Perote, en Puebla-Veracruz. (Santos Basurto, 2015).....	67
Imagen 17 Dirección del Pulso del Radar. (European Space Agency, 2014)	68
Imagen 18 Principio de Medición InSAR. (Di Giandomenico, 2022).....	69
Imagen 19 Penetración Superficial de las Bandas X, C y L. (Gómez Martín, 2021)	70

Imagen 20 Interferograma de la CDMX que muestra las zonas que presentan subsidencia del terreno. (Geofísica UNAM, 2022)	71
Imagen 21 Interferograma Creado Mediante El Uso De Dos Imágenes de SAR. (Organización de las Naciones Unidas, s. f.)	72
Imagen 22 Adquisición de Datos Satelitales con Geometría Ascendente y Descendente. (Hermosilla Díaz, 2016).....	72
Imagen 23 Mapa generado de peligro de fallamiento a partir de mapas de subsidencias y gradientes horizontales, (Modificada de Cabral Cano et al., 2011).	75
Imagen 24 Ubicación del Tramo en Operación del CEM. (Circuito Exterior Mexiquense, 2023).....	77
Imagen 25 Área mapeada con el InSAR (CEM) obtenida de Google Earth.	78
Imagen 26 Ubicación del puente dentro del CEM obtenida de Google Earth.	79
Imagen 27 Puntos de interferograma que muestra las subsidencias. (Imagen proporcionada por Inersia).....	80
Imagen 28 Punto de estudio dentro del tramo carretero. (Imagen proporcionada por Inersia)	80
Imagen 29 Nube de puntos de la deformación del puente en el CEM. (Imagen proporcionada por Inersia).....	82
Imagen 30 Mapeo y unión de los puntos dentro de la estructura. (Imagen proporcionada por Inersia).....	83
Imagen 31 Selección de punto sobre la estructura. (Imagen proporcionada por Inersia) ..	84
Lista de Gráficas	
Gráfica 1 Curva “S” Avance Físico-Financiero (G-INPRO, 2016)	12
Gráfica 2 Grafica de análisis de impacto por categorías (Auditoría Superior de la Federación, 2012).	33
Gráfica 3 Distribución de frecuencias de incidencia de las causas de fallas en la etapa “Acabado exterior”, clasificadas por área.	50
Gráfica 4 Distribuciones de frecuencia de incidencia de las causas de las fallas divididas por áreas. (Audeves Pérez et al., 2013)	50
Gráfica 5 Ley de Sitter. (Londoño, 2022).....	55
Gráfica 6 Evolución de la Deformación de la Geomalla. (Morken Group, 2022)	57

Gráfica 7 Deformación del punto de estudio de marzo a septiembre del 2021. (Imagen proporcionada por Inersia) 81

Gráfica 8 Deformación del punto de estudio en el CEM de marzo a septiembre del 2021. (Imagen proporcionada por Inersia) 84

Lista de Tablas

Tabla 1 Comportamiento de la Ley de Sitter. (Londoño, 2022) 56

Tabla 2 Principales Bandas del Sistema RADAR, (Gómez Martín, 2021) 69

Resumen

La presente investigación aborda la utilidad de la supervisión externa dentro de las obras de ingeniería civil, puntualizando el hecho de que algunas metodologías son obsoletas y existen brechas dentro de la normatividad aplicable que permite la mala praxis de esta. Se muestra que la implementación de nuevas herramientas tecnológicas podrían ser una buena opción para contrarrestar los efectos negativos y se puedan cumplir los objetivos y necesidades que se presentan las obras de infraestructura antes, durante y después de la ejecución de los trabajos, evitando vicios manteniendo un monitoreo constante para la detección de subsidencias que marquen un importante riesgo para las estructuras y la población que las utilizan.

Abstract

This research addresses the usefulness of external supervision within civil engineering works, pointing out the fact that some methodologies are obsolete and there are gaps within the applicable regulations that allow malpractice. It is shown that the implementation of new technological tools could be a good option to counteract the negative effects and the objectives and needs that the infrastructure works present before, during and after the execution of the works can be met, avoiding vices while maintaining a constant monitoring to detect subsidence that poses a significant risk to the structures and the population that uses them.

INTRODUCCIÓN

La supervisión es uno de los trabajos que se desarrolla durante todo el proceso de la ejecución de una obra de infraestructura, sin importar el tipo. La supervisión externa desarrolla sus responsabilidades cuando un cliente, privado o gubernamental (federal, estatal o municipal), lleva a cabo el desarrollo de un proyecto ejecutivo en el cual se desee poseer un control detallado en cada una de las etapas de la construcción.

En la mayoría de las ocasiones, la supervisión no se desarrolla de manera adecuada, debido a la falta de interés y ética profesional, en México el gobierno realiza innumerables esfuerzos por tratar de ocultar la verdad que se ha desarrollado a través de los años y es indiscutible que la codicia y la falta de empatía hacia el bien común nunca dejará que el desarrollo de la infraestructura en el país pueda competir con la del primer mundo. Es por ello que etapas en la ejecución y el mantenimiento como lo es la supervisión, son clave para el éxito indiscutible del cumplimiento de la calidad en cada uno de los procesos constructivos, la salvaguarda y longevidad de las estructuras del país.

Concientizar acerca de la utilidad de la supervisión y su participación en el mantenimiento a las generaciones por venir es una tarea que se debe realizar, debido a que es parte de la función del control total de la obra, donde se genera en conjunto con otras partes involucradas que van ligadas estrechamente durante todo el proceso de la obra y durante su vida útil. Es por ello que ha sido una actividad de la cual muchos desconocen su verdadero alcance y la gran importancia que tiene, pues algunas de las funciones consisten en manejar los recursos económicos de manera adecuada, recordando que los principios de cualquier proyecto para poder ejecutarlo deben cumplir con ser el más económico y viable para su construcción.

Cuando mencionamos la palabra “obra” en el campo de ingeniería civil, solo nos concentramos en los procesos constructivos que se llevan a cabo durante la ejecución de los trabajos dejando de lado todos los procesos administrativos que acompañan al mismo, debiendo recordar que las obras se componen siempre por

una planeación, programación, proyecto ejecutivo, procesos constructivos, entrega-recepción, finiquito, operación, supervisión y mantenimiento. Hablando de las últimas dos, el principal objetivo es la vigilancia del cumplimiento adecuando dentro de la ejecución y operación de una obra con los lineamientos legales y normativos, especificaciones generales y particulares y procedimientos constructivos, calidad de los materiales, pruebas de laboratorio entre otros requisitos, de acuerdo a lo establecido en el proyecto, con la obligación de cumplir con las expectativas de la parte que financia el proyecto, manteniendo la calidad con la cual se construyó la obra para poder alargar su vida útil programada e inclusive más allá.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La supervisión de obra es una de las etapas primordiales para el correcto desempeño de una obra durante su vida útil, sin embargo, no siempre se ejecuta de la mejor manera, en su mayoría la supervisión es usada de manera correctiva, cuando en realidad es una función preventiva. El cuestionamiento es ¿por qué sucede? esto en mayor parte, se debe a la falta de planeación en las obras, a través de la ejecución de los trabajos influyen diversos factores que pueden traer una mala eficiencia en diferentes puntos como pueden ser: plazo de ejecución, sobrecostos, mala relación entre la supervisión, superintendencia y la residencia de la obra, mala calidad de los materiales y la ejecución de los trabajos entre otros. Investigaciones anteriores elaboradas por estudiantes de posgrado de la UNAM indican que la mayoría de los problemas son de naturaleza humana como la inexperiencia, *“Cuando la experiencia de un supervisor de obra es insuficiente entorpece los trabajos, pues carece de habilidad para comprender e interpretar los procesos constructivos que llevan al buen fin la obra”*, (Porrás Godínez, 2013), sin embargo, no queda del todo claro puesto que, independientemente de los errores humanos que son aceptables hasta cierto punto, se ha perdido la objetividad de la supervisión ignorando los límites de las responsabilidades de dicha actividad y sus funciones, que trabajos debe realizar, cómo debe realizarlos, qué normativas deben ser aplicadas y sobre todo, el carácter que se debe tener para poder categorizar la importancia de las decisiones que se tomen durante el proceso y vida útil de una obra y haga que se lleven a cabo, manteniendo siempre una fundamentación clara y precisa del porque se tomaron dichas decisiones y acciones.

La posible falta de actualización dentro de las metodologías de la supervisión externa puede ser un factor vital y por ello la implementación de tecnologías que ayuden a mantener una correcta ejecución de los objetivos por la cual es contratada es necesaria. Monitorear las estructuras y el suelo donde se desplantan son parte primordial para mantener su funcionalidad y seguridad, sin embargo, a la fecha no existe la implementación de dicha metodología.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Generales

Introducir a la supervisión de obras a la gestión del mantenimiento por medio del sistema InSAR, para generar planes de acción preventivos y no correctivos a la infraestructura existente y por construir, definiendo los alcances bajo el marco legal aplicable para las obras públicas identificando los puntos críticos donde la supervisión comente errores, para conocimiento del lector.

Particulares

Generar un antecedente documental sobre impactos negativos de la supervisión de importancia en las etapas de las obras públicas, detectando un posible patrón en los errores identificados.

Hacer énfasis en la mala praxis dentro de la supervisión de obra pública, para concientizar al lector teniendo como posible resultado una mejoría en las prácticas de los procesos de supervisión.

Identificar los principales puntos de conflicto que llevan a cometer errores en la supervisión de obra pública.

Introducir una nueva tecnología y software donde se enfatice el mantenimiento de las obras dentro de la supervisión que es casi escasa en México, para el correcto funcionamiento, seguridad y operación de la infraestructura.

HIPÓTESIS

1. La implementación de nuevas tecnologías para auxiliar a la supervisión de obra civil puede mejorar el desempeño, funcionalidad y longevidad de la infraestructura, generando planeación para su adecuado mantenimiento permitiendo una reducción de costos.
2. La contratación y capacitación de ingenieros o personal afín a la construcción en nuevas tecnologías para el monitoreo de la construcción, mejoraría el desempeño y resultados dentro los trabajos de supervisión.
3. El desconocimiento de la importancia y el gran impacto que tiene la supervisión externa directamente en la ejecución de los trabajos, así como el desconocimiento del marco legal aplicable a la misma, ocasiona vicios en el desempeño del ingeniero supervisor.

I. Marco Teórico

I.I. Supervisión

Para poder entender, primero definiremos la supervisión, pues se entiende como: “mirar desde arriba”, “mirar de lo alto” (del latín *super*, “sobre”). Si se entiende de manera más simple, es observar o vigilar algo a cierta distancia, al final es muy importante reconocer que el proceso de supervisión es una forma de aprendizaje, adiestramiento y desarrollo de destrezas y habilidades.

Y una de las principales funciones es el mejoramiento de la calidad de los servicios, esta es la parte importante de la supervisión que las obras requieren.

De acuerdo con Margaret Williamson, la supervisión es un *“proceso dinámico de orientación/capacitación, mediante el cual los trabajadores directamente responsables de la ejecución de alguna actividad o proyecto específico reciben en el marco institucional de su ejercicio profesional la ayuda de otro responsable designado para ese fin...”* (Aguilar Idáñez, 1994).

Modificando lo anterior a la supervisión de obras, podemos dividir en supervisión interna y externa, éstas se diferencian en el papel que se desempeña en la ejecución de una obra, es decir, cuando se habla de supervisión interna, quiere decir que los trabajos son ejecutados por profesionistas afines a la carrera que trabajan para la misma dependencia u organización que ejecuta los trabajos de construcción. Mientras que la supervisión externa, como su nombre lo dice, es aquella empresa que es contratada por una dependencia u organización, la cual no pertenece a la misma.

Sin embargo, el enfoque inicial sigue siendo el mismo, la esencia reside en la vigilancia de la ejecución de los trabajos, conforme a una programación candelarizada de los trabajos, un control de la calidad de acuerdo con la normatividad aplicable y seguimiento de los procesos constructivos de acuerdo a las especificaciones generales y particulares del proyecto. Con el objetivo de cumplir los alcances del proyecto, cumpliendo con la función del auxiliar directo

de la obra para solventar cualquier contratiempo en los trabajos que pueda presentarse y así permitir un avance para terminar en el tiempo establecido.

Si se analiza con más detalle, se podría considerar una mejora continua, que también se conoce como el ciclo de Deming, donde se tiene la acción de planificar, hacer, verificar y actuar. El proceso de la supervisión es muy similar, pues tiene actividades de gestión, vigilancia, planificación, control y evaluación, en las cuales se podrían añadir la prevención y el mantenimiento, considerando la corrección, aunque no es deseada para la supervisión.

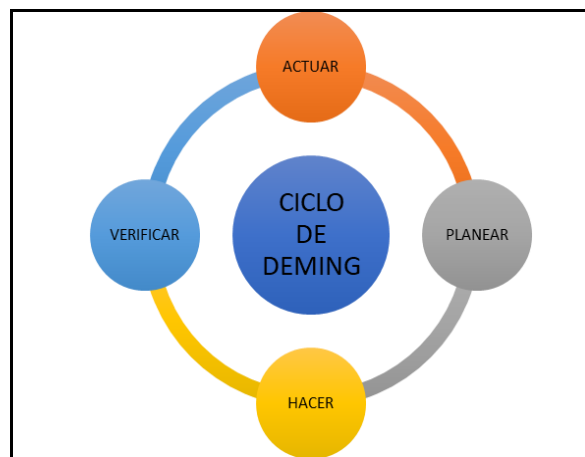


Imagen 1 Ciclo de Deming (Elaboración Propia)

I.II Función de la Supervisión en las Obras Públicas

La supervisión de obra puede ser un factor determinante tanto para el éxito, como para el fracaso de un proyecto.

Las dependencias como la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte (SICT), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Petróleos Mexicanos (PEMEX), poderes Estatales, Municipales, entre muchos otros que existen en nuestro país, generan grandes obras a lo largo de toda la República, hoy en día la selección de las empresas constructoras se realiza por medio de concursos publicando licitaciones a nivel nacional e internacional dentro de la plataforma conocida como CompraNet y no es diferente con la supervisión.

En teoría en los procesos de licitación de manera resumida, consisten en elegir una empresa que cuente con la experiencia y capacidad en obras similares y cuente con personal capacitado para ejecutar dichas actividades, de acuerdo con lo estipulado en la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPYSRM), su Reglamento, la normativa que la dependencia o entidad utilice y considere vigente, las especificaciones generales y particulares y en su complemento las Normas Oficiales Mexicanas (NOM'S).

En los proyectos de construcción, la supervisión se realiza a través de un equipo altamente orientado a la función administrativa, y hace uso principalmente del ejercicio de la autoridad, la delegación de funciones y la utilización de los medios de comunicación entre un equipo humano. La supervisión es responsable de que el tiempo, proceso y la calidad de la ejecución correspondan con los programados, planeados y estipulados en el proyecto y sus modificaciones debidamente autorizadas por las autoridades competentes y el personal administrativo de la empresa, pero aún más importante tener un control de los gastos, representándolos con tablas y gráficas de concentrado conocidas llamadas avance físico-financiero o curvas S de la obra.



Gráfica 1 Curva "S" Avance Físico-Financiero (G-INPRO, 2016)

Para desempeñar exitosamente la supervisión de una obra es necesario realizar una serie de actividades programadas, ordenadas y sistematizadas.

Estas actividades deben tener una orientación principalmente “preventiva” para evitar trabajos que se ejecuten por segunda vez que incrementan tanto el costo, como el tiempo de ejecución. Las acciones preventivas están orientadas a la revisión de los requisitos de las actividades antes que éstas se ejecuten, para contemplar y considerar todos los posibles escenarios que pongan en desventaja el curso planeado y programado de los trabajos.

Por otro lado, la verificación del trabajo ejecutado es la principal función en las obras públicas. En el caso de que dichos trabajos no cumplan con los requisitos del proyecto en cuanto a calidad y funcionalidad, se deberán realizar acciones correctivas, sin embargo, dentro de la supervisión dichas acciones no son bien vistas, debido a la pérdida de recursos económicos y de tiempo.

Para poder realizar la supervisión, verificación, gestión y control de los trabajos ejecutados, se requiere de tener cierta información y realizar ciertas acciones que se enlistan a continuación:

1. Control del proyecto y especificaciones

Para lo cual es necesario la recopilación de la información del proyecto, estos documentos son:

- El proyecto actualizado de la obra, este deberá ir firmado por las partes representantes de la dependencia y la empresa contratista, donde se debe mostrar los alcances.
- Las especificaciones generales y particulares aplicables a la dependencia y en caso de no contar, el proyecto deberá incluirlas.
- El programa general actual y aplicable a la obra, esto en caso de existir convenios modificatorios a la misma y los programas tanto de la maquinaria, mano de obra y suministro de insumos.
- El contrato de obra.

- El catálogo de conceptos, acompañado de los precios unitarios, análisis costo-horario de la maquinaria, listado de insumos, catálogo de la mano de obra, donde se muestre análisis, cantidad, especificaciones y costo de cada uno.

Entre otra información que se requiera para poder ejecutar la supervisión de manera ininterrumpida.

2. Control de programas

Una vez que se tengan los programas de obra, es necesario llevar un control preciso de avance físico-financiero de los trabajos, es decir, verificar que la obra se ejecute de acuerdo a lo planeado, en las fechas establecidas, para prevenir atrasos de obra.

3. Control de presupuesto

Llevar un análisis sobre el monto del contrato que ha sido ejercido contra el monto por ejercer y revisar dicho avance financiero contra el avance físico.

4. Normas de Seguridad e Higiene de la obra

Se vigilará y controlará que se cumpla con la seguridad e higiene en los trabajos de acuerdo con la normativa aplicable para cada uno de los trabajos.

I.III Supervisor de Obra

En el área de ingeniería civil, es común pensar que lo más importante es la experiencia técnica y que el conocimiento es lo más relevante para poder ejecutar de manera adecuada cualquier trabajo, sin embargo, el ingeniero supervisor debe contar con ciertas habilidades que complementen su formación técnica, algunas que destacan son: habilidades interpersonales, valores y actitudes positivas. Con el equilibrio y combinación de estas habilidades o aptitudes dependerá el desempeño, de acuerdo con lo siguiente

que comenta, “*cumplir con los objetivos del proyecto con base en costos sociales y/o malas relaciones humanas no puede considerarse como un adecuado desempeño del profesionalista.*” (Solís Carcaño, 2004), es decir, las malas relaciones en el ambiente laboral no se pueden considerar como una buena práctica, ya que la ética siempre formará parte primordial en la formación de un profesionalista, por otra parte, el ingeniero supervisor es el vínculo de comunicación con distintos departamentos de la obra, por lo que poner el ejemplo de respeto, equidad, igualdad y honestidad es parte de sus funciones.

Cuando un ingeniero es entrevistado para iniciar a laborar en cualquier puesto, los entrevistadores en su mayor parte se enfocan en el conocimiento técnico que este posee, así como, curriculum laboral. Pero para un supervisor, la experiencia técnica básica necesaria es:

- Conocimiento básico de los materiales.
- Experiencia en procesos constructivos.
- Noción de rendimientos de mano de obra, maquinaria y equipo.
- Conocimiento de la programación general de los trabajos y saber interpretarla.
- Conocimiento sobre la lectura de planos y cuantificación.
- Uso de programas computacionales de ingeniería (software)
- Manejo de conflictos internos y externos de obra
- Organización para la elaboración de los reportes de obra.

Para proyectos más especializados, se requiere del conocimiento de áreas en específico, como estructuras metálicas, cimentaciones, instalaciones eléctricas, instalaciones hidráulicas, sanitarias, aire acondicionado, etc., y aquellos

candidatos con mayor conocimiento, deberían ser elegidos para poder ocupar los puestos de supervisión.

Los conocimientos técnicos son primordiales y esenciales, pero el perfil de ingeniero supervisor de obra necesita de habilidades complementarias, es decir, habilidades interpersonales, esto se debe a que el supervisor, sociabiliza con obreros, superintendentes, residentes, dirigentes de las dependencias, empresas constructoras e incluso con locatarios vecinos al sitio de los trabajos, es por ello, que para poder controlar y dirigir la obra requiere de ciertas habilidades como: liderazgo, negociación, trabajo bajo presión, comunicación asertiva, toma de decisiones y una buena administración del tiempo y los recursos en general. Lo anterior es para poder administrar al recurso más importante que tiene en sus manos, el humano, debe tener la capacidad para influenciar de manera positiva al personal relacionado directamente con la obra, para tener la capacidad de ejercer la autoridad que su puesto requiere, y esto solo sucederá en el momento que pueda guiar las conductas del personal a su cargo para el pro de la obra.

Otra habilidad sumamente importante es el trabajo en equipo, recordemos que las obras deben ser vistas como un sistema el cual se compone de pequeños subsistemas, a los que se conocen comúnmente como frentes de trabajo, los cuales tienen sus encargados ya sean residentes u otros supervisores que tienen objetivos propios, el ingeniero supervisor deberá generar una comunicación asertiva y hacer uso de la negociación para poder generar un ambiente laboral funcional y sano donde todos se sepan que comparten un objetivo común, realizando mesas de trabajo donde puedan solucionarse dudas sobre el proyecto, prevenir cualquier problema y en todo caso realizar las correcciones antes de que sea tarde.

Como ejemplo, se puede presentar el caso de la obra del Tren Interurbano México-Toluca, el cual tuvo conflictos sociales con comuneros de la zona que creo un atraso considerable en uno de los frentes de trabajo, los cuales se encontraban inconformes por falta de cumplimiento en las negociaciones con la

Secretaría encargada, por lo tanto el supervisor debía ejercer negociaciones importantes para poder llegar a acuerdos y tener pleno conocimiento de todos los sucesos y tomar las acciones correspondientes en conjunto con los encargados, para poder salvaguardar los intereses de los involucrados.

En 1964, Jacob Feld, reconocido investigador de las fallas estructurales de los edificios de concreto observó que, en muchos casos las causas de los colapsos no provienen de la insuficiencia en el diseño, sino de la falta de competencia de la supervisión, y escribió: “*La supervisión competente y estricta, casi inamistosa, parece ser la clave del problema de cómo prevenir fallas*”. (Feld Jacob, 1964).

Una vez que se han tocado los dos puntos anteriores, se puede ingresar a un tema que se considera importante mencionar, podría decirse que es el punto de quiebre entre un buen o mal desempeño del supervisor, que son los **valores y actitudes**, la supervisión de obra depende mucho de la ética profesional, y en la Ciudad de México, sobre todo en las obras públicas, la corrupción es un tema que se escucha en toda la extensión del país, y la falta de honradez, fidelidad y profesionalismo, se hace notoria. Se debe recordar que las obras públicas son para beneficio de la comunidad y los recursos empleados provienen del pago de los impuestos de los ciudadanos, por lo que hacer un buen uso de los recursos, supervisando que se generen obras funcionales y de la calidad esperada, evitando relaciones que propicien un mal desempeño ético y profesional es responsabilidad de los prestadores de servicios.

La única manera de que la ejecución de los trabajos de una obra no cumpla con la calidad, se debe a la complicidad por parte de la supervisión con la empresa encargada de la construcción. Los puntos más evidentes donde esto podría suceder son las excavaciones de obra dando más volumetría de la ejecutada, en la consideración de los kilogramos de acero utilizados en los elementos armados o la calidad del concreto, también el cambio de maquinaria especificada por alguna más económica o tipo de procesos constructivo, por

ejemplo, usar un concreto hecho en obra cuando se solicita un premezclado, entre algunos otros, es cuando las especificaciones de proyecto pueden ser no cumplidas.

No se debe olvidar que es responsabilidad del supervisor evitar errores en los procesos constructivos, velar por la calidad y cumplir con lo presupuestado evitando incremento de costos, sin embargo, esto no siempre se cumple.

De acuerdo con una encuesta realizada en la investigación de Solís Carcaño, R. G. (2004), el 14% de la población mencionó como la principal debilidad la falta de actitud positiva hacia el trabajo, que por lo regular es provocado por la insatisfacción de las percepciones económicas y la inseguridad laboral, pues la profesión de la ingeniería civil, incluyendo a la supervisión, por lo regular el personal es contratado por un periodo de tiempo y no de manera permanente. Esto no es causante para que los profesionistas recurran a la inmoralidad y hacer de lado su profesionalismo.

Por otra parte, el manejo de los conflictos y la comunicación asertiva son temas importantes, pues los conflictos son inevitables durante la ejecución de la obra, por diferencia de opiniones, de intereses y, sobre todo, por errores causados por la empresa constructora, dependencia o en su caso la misma supervisión.

Tener un ambiente cordial y profesional, ayuda a propiciar un ambiente de buenas relaciones con cualquier interacción humana, sin tomar partido de ninguna de las partes, pues el supervisor debe ser completamente imparcial.

Lo anterior debido de que la labor del supervisor es detectar errores en la ejecución de trabajos ajenos, haciéndolo notar de manera ética, es decir, no ofender, criticar o alardear de sus capacidades y conocimientos, sino, para el bienestar de la obra.

Al igual que se detectan errores en la ejecución, también es bueno reconocer los trabajos bien ejecutados, que por lo regular son omitidos.

Es preferible utilizar todos los medios de comunicación para la solución de conflictos como, por ejemplo, la bitácora de obra, oficios, minutas, etc., el medio verbal es el más utilizado en la obra, pero solo debe utilizarse para dar instrucciones y brindar información que no sea importante para el desarrollo, calidad y costo de los trabajos, esto se debe a que la comunicación escrita y oficial que se mencionó formara parte del expediente de la obra y la supervisión.

I.IV Herramientas de la Supervisión de Obra

El ingeniero supervisor cuenta con una responsabilidad y una jerarquía muy significativa, ya que, como se mencionó anteriormente, la supervisión forma la función de ser los ojos de la dependencia en la obra. En las obras cada uno de los trabajos, volúmenes, rendimientos de mano de obra y maquinaria, ingreso y egreso de maquinaria cambios al proyecto, cambios en los procesos constructivos, cuantificaciones de materiales, camiones de volteo, y cualquier partida que deba tener un estricto control para su cobro, deben de contar con el visto bueno del supervisor.

La herramienta más representativa en una obra, de acuerdo a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y su Reglamento, es la bitácora de obra electrónica, o convencional de acuerdo a solicitudes por parte de las dependencias, en ella la supervisión debe llevar un registro y anotaciones sobre lo antes mencionado, añadiendo todas las juntas de trabajo que se lleven a cabo y los acuerdos ahí pactados, avances físicos y financieros, control de calidad en cada una de las pruebas elaboradas (concreto, granulometría, acero, etc.) y cumplimiento de la normatividad de seguridad e higiene.

Otra herramienta son los expedientes de obra, el expediente se conforma con toda la documentación que se genera durante el desarrollo de las obras públicas y de los servicios relacionados con las mismas, desde el inicio de su contratación y hasta la entrega al área encargada de su operación. Y es regulado por La Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las

Mismas (LOPSRM). Se deben crear informes fotográficos, gráficos donde se muestre con claridad el avance de la obra, el control de los gastos generados, trabajos extraordinarios fuera de catálogo original, operación de maquinaria, entre algunos otros.

El principal objetivo es tener en un archivo todos los antecedentes de la o las obras y servicios que se ejecutaron en el área de trabajo y tener información oportuna y confiable de todas las mismas que se realicen, desde su contratación hasta su puesta en operación, es parte de las responsabilidades de la supervisión y sobre todo si se trata de una obra en la cual se haya ejecutado un monto muy grande, porque será la manera por la cual se podrá comprobar que el recurso fue empleado de la manera más eficiente o no.

Al llevar un control tan específico de los trabajos, el supervisor debe ser uno de los participantes que más conocimientos tenga dentro de la obra, por lo que está obligado a estudiar el proyecto y su programación, esto con el objetivo de crear una planeación de las acciones a tomar y conocer todos y cada uno de sus alcances y responsabilidades en la obra, y formar un equipo de trabajo fuerte, con habilidades y conocimientos que puedan hacer más simple el trabajo y tener la posibilidad de omitir errores potenciales.

II. Marco Legal Aplicable a la Supervisión de Obra

II.I Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas

La supervisión de obra pública se rige por medio de una normatividad, en la cual las entidades y dependencias están obligadas a apearse y cumplirla sin omisión alguna.

Recordando que de acuerdo con el Artículo 21 del Código Civil Federal, menciona lo siguiente:

“La ignorancia de las leyes no excusa su cumplimiento; pero los jueces teniendo en cuenta el notorio atraso intelectual de algunos individuos, su apartamiento de las vías de comunicación o su miserable situación económica, podrán, si está de acuerdo el Ministerio Público, eximirlos de las sanciones en que hubieren incurrido por la falta de cumplimiento de la ley que ignoraban, o de ser posible, concederles un plazo para que la cumplan; siempre que no se trate de leyes que afecten directamente al interés público.”

Por lo anterior, cabe mencionar que de acuerdo con el Artículo 31 fracción XII, menciona lo siguiente:

“...los licitantes presenten un escrito en el que su firmante manifieste, bajo protesta de decir verdad, que cuenta con facultades suficientes para comprometerse por sí o por su representada ...”

En resumen, los funcionarios públicos y los prestadores de servicios deben contar con las facultades necesarias para poder ejercer los puestos de trabajo de manera debida, por lo que el Artículo 21 del Código Civil Federal es totalmente aplicable a cada uno de los involucrados en la ejecución de la obra pública.

En base a lo anterior el Artículo 53 de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, menciona:

*“Las dependencias y entidades establecerán la residencia de obra o servicios con anterioridad a la iniciación de las mismas, la cual deberá recaer en un servidor público designado por la dependencia o entidad, quien fungirá como su representante ante el contratista y será el responsable directo de la **supervisión**, vigilancia, control y revisión de los trabajos...”*

Cuando el residente es el encargado de la supervisión, se conoce como supervisión interna, donde el control de la ejecución de los trabajos, vigilar el cumplimiento del proyecto, el cumplimiento de las especificaciones y la normatividad aplicable es responsabilidad de un supervisor perteneciente a la misma entidad o dependencia.

II.II Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas

La Ley de Obras Públicas, tiene su reglamento, en el cual explica de manera más explícita los artículos de esta, sin embargo, se hace del conocimiento que la Ley sigue teniendo jerarquía superior sobre su Reglamento.

De acuerdo con el apartado: **SECCIÓN I: DE LOS RESPONSABLES DE LOS TRABAJOS**

En anexo al Artículo 53 de la LOPSRM, se anexa el Artículo 112 párrafo primero del Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, el cual menciona lo siguiente:

*“El titular del Área responsable de la ejecución de los trabajos designará al servidor público que fungirá como residente, debiendo tomar en cuenta los conocimientos, habilidades y capacidad para llevar a cabo la **supervisión**, vigilancia, control y revisión de los trabajos; el grado académico; la experiencia en administración y construcción de obras y realización de servicios; el desarrollo profesional y el conocimiento en obras y servicios similares a aquéllos de que se hará cargo. La designación del residente deberá constar por escrito.”*

Lo anterior indica que el profesionista en el cual tendrá la responsabilidad de la supervisión y demás actividades, debe tener las capacidades intelectuales y técnicas, que deben ser consideradas para la contratación del personal de la dependencia.

En anexo, se encuentra el Artículo 113 fracción I y II, 114, 115 y 116 del Reglamento, donde marcan estrictamente cuales son las funciones de aquellos funcionarios y prestadores de servicio que ejecuten la supervisión de obra.

“Artículo 113.- Las funciones de la residencia serán las siguientes:

I. Supervisar, vigilar, controlar y revisar la ejecución de los trabajos;

II. Tomar las decisiones técnicas correspondientes y necesarias para la correcta ejecución de los trabajos, debiendo resolver oportunamente las consultas, aclaraciones, dudas o solicitudes de autorización que presente el supervisor o el superintendente, con relación al cumplimiento de los derechos y obligaciones derivadas del contrato...”

Entre otras fracciones del artículo.

*“Artículo 114.- En atención a las características, complejidad y magnitud de los trabajos **el residente** podrá auxiliarse por **la supervisión** en términos de lo dispuesto por el segundo párrafo del artículo 53 de la Ley, la cual tendrá las funciones que se señalan en este Reglamento, con independencia de las que se pacten en el contrato de supervisión.*

Cuando no se cuente con el auxilio de la supervisión, las funciones a que se refiere el artículo 115 de este Reglamento estarán a cargo de la residencia.”

Es aquí, cuando la supervisión se convierte en interna, ya que personal de la dependencia o entidad, llevará acabo las funciones antes mencionadas.

“Artículo 115.- Las funciones de la supervisión serán las que a continuación se señalan:

I. Revisar de manera detallada y previamente al inicio de los trabajos, la información que le proporcione la residencia con relación al contrato, con el objeto de enterarse de las condiciones en las que se desarrollará la obra o servicio y del sitio de los trabajos, así como de las diversas partes y características del proyecto, debiendo recabar la información necesaria que le permita iniciar los trabajos de supervisión según lo programado y ejecutarlos ininterrumpidamente hasta su conclusión;

II. Participar en la entrega física del sitio de la obra al superintendente y proporcionar trazos, referencias, bancos de nivel y demás elementos que permitan iniciar adecuadamente los trabajos;

III. Obtener de la residencia la ubicación de las obras inducidas y subterráneas y realizar con el contratista el trazo de su trayectoria;

IV. Integrar y mantener al corriente el archivo derivado de la realización de los trabajos, el cual contendrá, entre otros, los siguientes documentos:

a) Copia del proyecto ejecutivo, incluyendo el proceso constructivo, las normas, las especificaciones y los planos autorizados;

b) Matrices de precios unitarios o cédula de avances y pagos programados, según corresponda;

c) Modificaciones autorizadas a los planos;

d) Registro y control de la Bitácora y las minutas de las juntas de obra;

e) Permisos, licencias y autorizaciones;

f) Contratos, convenios, programas de obra y suministros, números generadores, cantidades de obra realizadas y faltantes de ejecutar y presupuesto;

g) Reportes de laboratorio y resultado de las pruebas, y

h) Manuales y garantía de la maquinaria y equipo;

V. Vigilar la adecuada ejecución de los trabajos y transmitir al contratista en forma apropiada y oportuna las órdenes provenientes de la residencia;

VI. Dar seguimiento al programa de ejecución convenido para informar al residente sobre las fechas y las actividades críticas que requieran seguimiento especial, así como sobre las diferencias entre las actividades programadas y las realmente ejecutadas, y para la aplicación de retenciones económicas, penas convencionales, descuentos o la celebración de convenios;

VII. Registrar en la Bitácora los avances y aspectos relevantes durante la ejecución de los trabajos con la periodicidad que se establezca en el contrato;

VIII. Celebrar juntas de trabajo con el superintendente o con la residencia para analizar el estado, avance, problemas y alternativas de solución, consignando en las minutas y en la Bitácora los acuerdos tomados y dar seguimiento a los mismos;

IX. Vigilar que el superintendente cumpla con las condiciones de seguridad, higiene y limpieza de los trabajos;

X. Revisar las estimaciones a que se refiere el artículo 130 de este Reglamento para efectos de que la residencia las autorice y, conjuntamente con la superintendencia, firmarlas oportunamente para su trámite de pago, así como comprobar que dichas estimaciones incluyan los documentos de soporte respectivo;

XI. Llevar el control de las cantidades de obra o servicio realizados y de las faltantes de ejecutar, cuantificándolas y conciliándolas con la superintendencia; para ello, la supervisión y la superintendencia deberán considerar los conceptos del catálogo contenido en la

proposición del licitante a quien se le haya adjudicado el contrato, las cantidades adicionales a dicho catálogo y los conceptos no previstos en el mismo;

XII. Llevar el control del avance financiero de la obra considerando, al menos, el pago de estimaciones, la amortización de anticipos, las retenciones económicas, las penas convencionales y los descuentos;

XIII. Avalar las cantidades de los insumos y los rendimientos de mano de obra, la maquinaria y el equipo de los conceptos no previstos en el catálogo de conceptos contenido en la proposición del licitante a quien se le haya adjudicado el contrato, presentados por la superintendencia para la aprobación del residente;

XIV. Verificar que los planos se mantengan actualizados, por conducto de las personas que tengan asignada dicha tarea;

XV. Analizar detalladamente el programa de ejecución convenido considerando e incorporando, según el caso, los programas de suministros que la dependencia o entidad haya entregado al contratista, referentes a materiales, maquinaria, equipos, instrumentos y accesorios de instalación permanente;

XVI. Coadyuvar con la residencia para vigilar que los materiales, la mano de obra, la maquinaria y los equipos sean de la calidad y características pactadas en el contrato, vigilando que la superintendencia presente oportunamente los reportes de laboratorio con sus resultados;

XVII. Verificar la debida terminación de los trabajos dentro del plazo convenido;

XVIII. Coadyuvar en la elaboración del finiquito de los trabajos, y

XIX. Las demás que le señale la residencia o la dependencia o entidad en los términos de referencia respectivos.”

“Artículo 116.- Cuando la supervisión sea realizada por terceros, las dependencias y entidades observarán, además de los lineamientos a que se refiere el segundo párrafo del artículo 53 de la Ley, las siguientes previsiones:

I. Las funciones señaladas en el artículo anterior, así como las que adicionalmente prevean las dependencias y entidades para cada caso particular, deberán ser congruentes con los términos de referencia respectivos y asentarse en el contrato que se suscriba, y

II. Tanto en los términos de referencia como en el contrato deberán especificarse los productos o los documentos esperados y su forma de presentación. Entre los documentos señalados, deberán incluirse los informes que serán presentados con la periodicidad establecida por la convocante, los cuales serán el respaldo de las estimaciones correspondientes y deben contemplar como mínimo los siguientes aspectos:

a) Las variaciones del avance físico y financiero de la obra;

b) Los reportes de cumplimiento de los programas de suministro de materiales, mano de obra, maquinaria y equipo;

c) Las minutas de trabajo;

d) Los cambios efectuados o por efectuar al proyecto;

e) Las pruebas de laboratorio realizadas o por realizar en la ejecución de los trabajos;

f) Los comentarios explícitos de las variaciones registradas en el periodo, en relación a los programas convenidos, así como la

consecuencia o efecto de dichas variaciones para la conclusión oportuna de la obra y las acciones tomadas al respecto, y

g) La memoria fotográfica.”

De acuerdo a lo anterior, se muestra que la responsabilidad de la supervisión es amplia y se requiere del involucramiento de los funcionarios o en su caso de los prestadores de servicio para el caso de las empresas privadas en cada etapa de la obra, no solo de la construcción, sino también en lo administrativo, por otra parte, es importante destacar las distintas áreas en las cuales se debe estar involucrado, desde proyecto, estimaciones para pago, avances físicos, el gasto ejercido conocido como avance financiero, incluso en calidades de materiales, recordando que la supervisión también tiene el poder de autorizar aquello que puede ser procedente o no dentro de una construcción.

III. La Importancia de la Supervisión de Obras

III.I Relación Entre la Supervisión y la Construcción de Obras

La supervisión de los trabajos requiere de un grupo de trabajo experimentado en cada una de sus tareas, desde el ingeniero que está en el sitio de los trabajos hasta aquel que hace el trabajo administrativo en oficina, *“ya en la obra, la labor de supervisión dependerá de la complejidad del proyecto, desde verificar el trazo, alineamiento y niveles, hasta actividades complejas que impliquen habilidad y criterio y experiencia”*. (Carpio Utrilla, 2003), en adición a lo anterior, el supervisor y su equipo deben tener pleno conocimiento del proyecto y revisar que la ejecución de los trabajos se haga de acuerdo con lo estipulado en el mismo y todas las especificaciones que el proyectista indique, manteniendo actualizado todo el documental de la obra desde inicio a fin. Esto es necesario porque detrás del proyecto, existe un análisis ingenieril del cual se obtuvo un diseño donde se estipulan los materiales con sus especificaciones, características y la forma en cómo deben ser empleados durante el proceso, el cual fue propuesto, revisado y autorizado por las partes involucradas. Para poder realizar lo anterior, se debe tener en cuenta la construcción de una red de comunicación eficiente y eficaz entre la residencia, superintendencia y supervisión, donde todas las partes estarán enteradas de lo que sucede en la obra. La necesidad de mantener a todos enterados es con el objetivo de que se tenga el conocimiento de todo lo que sucede en la obra, para facilitar la toma de decisiones y las aportaciones de cada uno de los involucrados sean eficientes y con objetividad, debemos recordar que en el capítulo anterior, se indicó que hablando de obras públicas la Ley y su Reglamento es quien las rige, y si existieran inconvenientes o en su caso conflictos dentro de los trabajos, la Ley buscará a los responsables inmediatos de dichas acciones, es por esta razón la importancia de los expedientes de obra, pues ayudan a deslindar la responsabilidad en caso serios e incluso graves.

El supervisor debe tener conocimiento general sobre la ingeniería civil, sin embargo, no es experto en todas las áreas existentes, por lo cual debe

apoyarse y obtener todos los planos, el catálogo de conceptos con sus respectivos precios y las cantidades o volúmenes a ejecutar de cada uno, con los cuales podrá iniciar el desarrollo de la obra revisando la planeación y programación de la obra y en el caso de que surja cualquier duda antes y durante la ejecución deberá solventarse por medio de la bitácora de obra y un escrito, oficio o minuta de las juntas de trabajo que se lleven a cabo cuando sea posible. “En obras importantes, deben celebrarse en forma regular, sesiones de trabajo donde asistan los representantes de las partes involucradas, los principales contratistas y los responsables de trabajos tales como de estructura, instalaciones, etcétera.” (Carpio Utrilla, 2003).

En base a lo anterior las juntas de trabajo en su mayor parte son llevadas a cabo para resolver problemas técnicos, como por ejemplo: seguimiento de los trabajos, incumplimiento de la calidad, cambios en el tipo de suelo a excavar, inestabilidad del suelo, solicitudes de pruebas de calidad, cambios en el trazo original para obras de gran extensión, especificaciones que no se pueden ejecutar por condiciones reales del sitio, características de la maquinaria no idóneas para los trabajos, descubrimiento de vestigios arqueológicos, obras inducidas por mencionar algunos, pero también pueden ser para resolver problemas administrativos, como la liberación del derecho de vía (LDDV), manifestaciones sociales, mitigación de impacto ambiental, suspensiones de obra, avances y atrasos de obra, avance total del gasto efectuado, dependiendo de la complejidad del problema que se esté presentando, las juntas podrán extenderse en más de una hasta que el conflicto sea solventado. Es por ello que tener un expediente soporte del proceso en la obra es importante y necesario, por las causas que se comentan a continuación, “...*el informe de la junta indica quién o quiénes son los responsables, y por cuanto tiempo ha estado pendiente ese asunto, estableciéndose así responsabilidades.*” (Carpio Utrilla, 2003), es decir que un expediente conformado con toda la información disponible y en orden, se convierte en el historial de la obra y al momento de investigar y leer los documentos que se contienen, cualquier involucrado podrá, a pesar de no estar presente desde el

inicio de la obra, tener conocimiento de los hechos conforme a la línea del tiempo, el estado actual de la obra y el por qué se encuentra en ese estado.

Los controles de obra se forman a través de los reportes, minutas, oficios, etc., que se comentaron anteriormente, pero de las responsabilidades individuales del supervisor, se deben efectuar reportes diarios para llevar un control interno, "...estos indicarán qué trabajo se realizó, dónde se llevó a cabo y el número de trabajadores asignados al proyecto..." "...deben contener los siguientes datos: fecha, el clima, la temperatura al inicio de jornada y la de la tarde, nombre del informante, el número de trabajadores que realizan cada actividad y las áreas donde se está realizando el trabajo..." (Carpio Utrilla, 2003).

Lo anterior forma parte fundamental en la obra pública para el método de pago que se aplicará a la supervisión que es a través de la formulación de estimaciones y la unidad de pago, puede ser de varias maneras, sin embargo, las más comunes son por medio de informes o jornales, esto quiere decir, que la dependencia o entidad dentro de su convocatoria estipulará el periodo de tiempo y la forma en el cual el informe será elaborado, es decir, diario, semanal, quincenal o mensual, en ocasiones pueden solicitarse por cada uno de los periodos mencionados, en el cual se tendría un control más detallado de los avances, atrasos de la obra y sus razones.

Como se debe recordar y se comentó al inicio de este trabajo, la supervisión son los ojos de los funcionarios a cargo de las dependencias o entidades, por lo que la razón de la existencia de los reportes, es tener un control y panorama extenso donde se elabora un inventario del personal involucrado, el trabajo que se está ejecutando, en que turno se está trabajando, la duración de dicho turno, materiales usados, equipo y maquinaria en uso, en espera o detenida, revisión del avance de acuerdo al programa de ejecución del contrato y trabajos faltantes por ejecutar.

Por último, parte esencial donde la supervisión tiene un protagonismo más interesante, es la función de autorización y validación de todos los elementos

que pueden proceder para pago, es por ello que un buen desempeño durante la supervisión de los trabajos es necesario o podrían caer en omisiones que pudieran crear una violación a la ley y por ende sanciones que el marco legal aplicable crea conducentes.

En conclusión, la relación entre la obra y la supervisión está estrechamente ligada y no pueden separarse, en la existencia de los trabajos de construcción la supervisión siempre será parte del proceso, desde la construcción de una casa hasta de obras de gran magnitud, sin importar quien la ejecute, ya sea, una empresa o algún funcionario público.

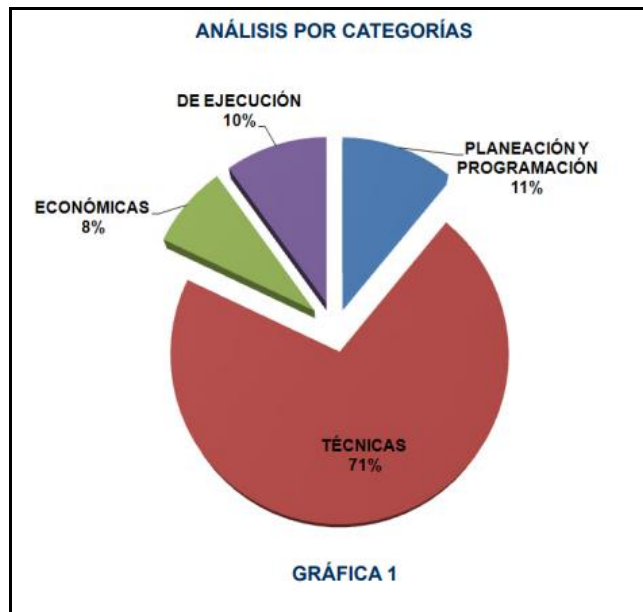
III.II Conflictos Presentes en la Supervisión de Obra

En México de acuerdo con datos recabados en el año 2012, se mencionó que el presupuesto de egresos de la federación destina entre un 15 al 20% para el desarrollo de nueva infraestructura, sin embargo, por lo regular las obras incrementan su plazo y monto estipulado de ejecución. “El desarrollo de los proyectos de infraestructura no es un proceso exclusivamente técnico económico, por lo que advertir las causas que generaron los incrementos de montos y retrasos en su ejecución, implica revisar también los procesos de toma de decisiones, **supervisión de las obras** y capacitación de los responsables, para evitar la generación de prácticas opacas que no propician el desarrollo económico deseado en el país.” (Auditoría Superior de la Federación, 2012).

Por lo anterior, vemos que la supervisión de las obras es uno de los puntos importantes a revisar para entender por qué las obras no están teniendo el desarrollo que el país espera, gran parte de esta causa son los cambios que se producen en la ejecución de los trabajos “...principales proyectos de infraestructura realizados por diferentes entidades fiscalizadas, tuvieron modificaciones recurrentes respecto de las previsiones originales, que generaron incrementos importantes en el monto de inversión y prórrogas en el plazo de contratación...”, “...con la consecuente repercusión social y

económica de no contar con las obras y servicios en el plazo y monto contratados.” (Auditoria Superior de la Federación, 2012).

En la siguiente gráfica se muestra cómo se divide en porcentajes el impacto de las categorías que tenían una mayor influencia negativa dentro de la obra, tomando en cuenta desde la planeación y programación hasta la ejecución:



Gráfica 2 Grafica de análisis de impacto por categorías (Auditoria Superior de la Federación, 2012).

Con esto podemos observar que el aspecto técnico, tiene una influencia mayor en el incumplimiento eficiente, eficaz y económico de las obras.

De acuerdo con la Auditoria Superior de la Federación (ASF), las causas técnicas son la insuficiencia en el desarrollo de proyectos, falta de ingeniería de detalle, imprecisiones del sitio de los trabajos por falta de mecánica de suelos, estudios topográficos, geológicos y ambientales, entre otros. Falta de claridad en las especificaciones generales y particulares, bases de licitación incompletas entre muchos otros conflictos, que a pesar de que el marco legal aplicable indica que, para poder iniciar con la ejecución de los trabajos, todo lo anterior debe estar definido, muchas de las obras se ejecutan incluso con menos información.

Cuando los proyectos inician con este tipo de deficiencias, la supervisión no tiene una tarea fácil por ejecutar. Mantener un expediente completo es parte de sus obligaciones, sin embargo, cómo puede realizar esta tarea cuando los encargados de tener un proyecto completo no lo proporcionan en tiempo y forma, pero a su vez exigen el cumplimiento de sus obligaciones contractuales, es cuando los integrantes del equipo empiezan a tener omisiones, causando que existan vacíos en la información con la que se trabaja, propiciado un colapso en la veracidad de los trabajos subsecuentes en términos de calidad en los materiales y procesos constructivos, sobre todo en la información que soporta el cobro de los trabajos en cuestión.

Esta cadena crea actos sin ética, donde la corrupción forma parte del desarrollo de las obras de infraestructura, y se elaboran informes de seguimiento de la obra sin soporte o fundamento alguno, es entonces cuando los reportes parte del trabajo que debe entregar la supervisión tiene errores y al realizar una comparativa con lo que sucede o sucedió en la obra, no existen similitudes. "...la importancia de las tareas de supervisión, en todas sus modalidades, a lo largo de las distintas etapas del proyecto de infraestructura. Sin ellas, los compromisos y las metas de corto plazo difícilmente se cumplirán y, al final del proceso, se comprometerá la oportunidad y el impacto positivo de las obras públicas para la sociedad." (Auditoria Superior de la Federación, 2012).

Por otra parte, la supervisión depende de la autorización de la residencia para poder ejecutar alguna acción, sin embargo, y de acuerdo con lo siguiente: "Los problemas técnicos que surjan durante la ejecución de la obra y que están al alcance de la supervisión..." "... la supervisión los debe resolver de inmediato para evitar que la obra se "SUSPENDA" por falta de información..." (Sánchez Gutiérrez, 1993), esto ayuda a acortar los tiempos de respuesta, no dando oportunidad a la empresa contratista de justificar los atrasos de acuerdo a su programación, recordando que el fin de la supervisión es preventiva y no correctiva.

Por otra parte, los contratos públicos de supervisión que se ofertan, se consideran de propuestas económicas muy bajas, “La supervisión de obras a diferencia de la empresa constructora cobra en su precio directo la mano de obra (a sus técnicos), lo cual repercute directamente en su precio...” (Porrás Godínez, 2013), en México las convocatorias para este tipo de trabajos se estiman en un 5% del monto total del contrato de construcción, esto está sujeto a que el monto sea insuficiente para poder armar un equipo competente, encaminando a un involucramiento escaso de los supervisores y sus empresas, por lo que no ejerce la responsabilidad a la cual está obligada por Ley, pero cuando los conflictos provienen desde la elaboración de un proyecto ejecutivo es imposible fincar alguna responsabilidad legal. Incluso en la Ley existen artículos que no guardan congruencia con lo que se les exige a las empresas, por ejemplo, artículo 111 párrafo tercero del Reglamento de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, que dice, “*Cuando la supervisión se realice por terceras personas, el residente podrá instalar dicha supervisión con posterioridad al inicio de los trabajos.*” Si la obra y los procesos de construcción han iniciado sin la supervisión de obra, cuál sería la razón para contratar una empresa supervisora, si a falta de la supervisión externa, la residencia de obra realiza la supervisión interna de los trabajos y puede llevar un exacto control de esta.

De lo anterior, se expone el caso de la construcción del nuevo patio de operaciones ferroviarias de carga con conexión a las vías de ferrocarril de las Líneas “H” y “Ts”, que se dio con el proyecto de la Ampliación de la Línea 1 del Tren Suburbano Lechería-Jaltocán-AIFA, en el Estado de México, con el objetivo de conectar la Ciudad de México con el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles. En dicha obra la supervisión externa se contrató aproximadamente cuatro meses después de la fecha de inicio de los trabajos, esto produjo que se llevara a cabo por la residencia de obra y se autorizaran los pagos de las estimaciones de trabajos que no se habían ejecutado en su totalidad, debido al desconocimiento, desinterés y poco tiempo para analizar la información, y de acuerdo con los términos de referencia del contrato de

supervisión, se omitieron las responsabilidades que la Ley indica, por ejemplo al no revisar el proyecto ejecutivo desde el inicio propicio que la Liberación de Derecho de Vía no se llevaron a cabo, ocasionando que los terrenos por donde el trazo de la vía pasa no pudieran ser utilizados, ocasionando un atraso en la programación, aparte la calidad de los materiales y los procesos constructivos no fue la ideal por falta de la supervisión. Estos ejemplos demuestran algunos conflictos que se pueden presentar en la ejecución de los trabajos, en este caso el recurso presupuestal no se ejerció de acuerdo con los marcos legales y en el peor de los casos pueden caer dentro de actos de corrupción.

En ocasiones, las obras se ven envueltas en eventos fortuitos los cuales se refiere a sucesos que no están previstos dentro de la planeación de los trabajos, como, por ejemplo, manifestaciones sociales, desastres naturales o cualquier suceso del cual no es responsable ninguna de las partes, lo que ocasiona una suspensión parcial o total de los trabajos. En estos periodos de suspensión, los cuales deben evitarse a toda costa, los trabajos se detienen, pero en algunas ocasiones la empresa supervisora sigue trabajando, por ejemplo, en la obra de la construcción del túnel ferroviario portal poniente al portal oriente del km 036+150 al km 040+784, se llevó a cabo una suspensión en el portal oriente, donde los locatarios no estaban de acuerdo con la construcción, en términos generales los trabajos se detuvieron y la supervisión tuvo una función importante asistiendo a la residencia para poder realizar el pago de los gastos no recuperables que la empresa constructora tuvo durante dichos periodos, ayudando a tener un acuerdo justo para ambas partes.

Por otra parte, en otras obras que tuvieron la misma situación, la empresa constructora detuvo actividades en su totalidad, y la supervisión continuó laborando y cobrando estimaciones de acuerdo con su programa, en donde en su documentación reportaban “trabajos inactivos”, los reportes eran pagados de la misma forma que si estuvieran trabajando con el ritmo previsto. Esto no es funcional para el cliente, el rendimiento del recurso económico no es el esperando y se podrían considerar pérdidas que nunca se podrán recuperar,

por lo que suspender ambas empresas, tanto construcción y supervisión podría ser efectivo, pues el objeto del contrato no se vería afectado.

Otros conflictos menos técnicos en la supervisión se presentan en la interacción entre la residencia de obra, la superintendencia (contratista) y la empresa supervisora. Todos tienen objetivos y metas distintas que puede crear un conflicto de intereses, mientras la empresa constructora desea tener las mayores ganancias posibles, la residencia prefiere que se hagan la mayor cantidad de trabajos pagando lo menos posible, es entonces cuando la supervisión puede quedar en medio de una disputa que no podría resolver con facilidad, pudiendo caer en una pérdida de jerarquía laboral creando que las otras partes hagan caso omiso sobre las indicaciones emitidas.

En ocasiones las constructoras no aceptan que la supervisión se involucre en sus procesos, como anteriormente se comentó, los ojos de la entidad en la obra para tener conocimiento de las malas acciones, es la supervisión, mediar y buscar la manera en que la supervisión y la superintendencia tengan una colaboración llevadera y sana es complicado, pero no imposible. Es tarea de la supervisión realizar un plan de trabajo para que las partes involucradas se consideren parte de un equipo que tendrán un objetivo común, cumplir con el objeto para el cual fueron contratados, en el tiempo establecido y lo mas cerca posible del monto que fueron contratados.

III.III El Mantenimiento de las Obras y su Relación con la Supervisión de Obras

“El objetivo de la supervisión es lograr que la obra se ejecute dentro del programa establecido, la calidad de obra especificada y el costo contratado.”
(Cortés, 2020).

Anteriormente se ha comentado cómo funciona, para qué sirve y conflictos presentes en la ejecución de la supervisión. En la mayor parte de las bibliografías y tesis encontradas, se habla de la supervisión como la actividad de vigilar el cumplimiento de todas las especificaciones de un proyecto, desde el recurso económico autorizado por la federación para ejercer hasta la calidad

que se requiere en los materiales y los trabajos. Teniendo la capacidad de solventar problemas de manera inmediata y dándose a la tarea de prever aquellos que pudieran presentarse, tomando la iniciativa de modificar el proyecto de ser necesario, pero el mantenimiento es un tema que no muy comúnmente se explora.

Por otra parte, los alcances de la supervisión dependen de la forma en que haya sido contratada, cuando es por medio de obras públicas sus alcances son aquellos que se indican en la Ley, sin embargo, si es contratado por medio de un privado, el contratante de los servicios será aquel que le dé los alcances de acuerdo a sus necesidades, pero el objetivo sigue siendo el de vigilar que se cumpla el proyecto ejecutivo en tiempo y forma con el recurso asignado, sin embargo, la supervisión podría en todo caso continuar más allá de la planeación, programación, ejecución y conclusión (finiquito) de los trabajos, puede ser participe del seguimiento y mantenimiento de las obras, un término que en la construcción de las obras no es habitualmente utilizado.

El monitoreo y mantenimiento de las obras es algo que no se lleva a cabo en México, las obras que reciben un mantenimiento se podría decir “cotidiano” son la infraestructura carretera y la hospitalaria, y sin embargo, las calles de nuestro país se encuentran en un estado muy deplorable y los hospitales federales como el IMSS y el ISSSTE, son muy antiguos y a pesar de su condición siguen dando miles de consultas al año, la infraestructura es muy importante para el país por ejemplo las carreteras y autopistas son clave para el crecimiento económico del país por el movimiento que generan alrededor de la República y los hospitales, por lo menos en la Ciudad de México se encuentra el más antiguo de toda América, el Hospital de Jesús que tiene aproximadamente 500 años, dicho hospital fue fundado en 1524 por Hernán Cortés y a pesar de ser uno de los hospitales más antiguos sigue brindado cerca de 40 mil consultas. Por lo tanto, se puede asumir que el mantenimiento no solo ayuda a conservar estructuras importantes, sino también la historia del país, de ahí su importancia.

El mantenimiento puede definirse como: *“las acciones y trabajos que deben realizarse, continua o periódicamente, de forma sistemática, para proteger los trabajos físicos de la acción del tiempo y del desgaste de su uso y funcionamiento, asegurando el máximo rendimiento de las funciones para las que han sido construidos.”* (de obras civiles, 2019). El mantenimiento puede ser ordinario, preventivo y correctivo. En México, el mantenimiento ordinario no forma parte de las acciones a tomar, la mayor parte del recurso como se mencionó anteriormente, es destinado a la construcción de nueva infraestructura, más bien, la mayor parte de los trabajos de mantenimiento realizados por el gobierno entran dentro de la clasificación de correctivos, quiere decir, que cuando algún edificio, carretera, línea de metro o ferrocarril, hospital, escuela, etc., sufre daños que no pueden ser ignorados, realizan contrataciones para dar reparación y mantenimiento correctivo a la instalación en general.

Un claro ejemplo, fue la línea 12 del metro en la Ciudad de México, donde el 4 de mayo de 2021 un tramo colapso entre las estaciones de Tezonco y Olivos, dejando muertos y varios heridos por el accidente, los reportes finales del Gobierno de la Ciudad de México mencionaron el colapso se debió a omisiones en los procesos constructivos e incumplimiento de la calidad en la ejecución de los trabajos. Sin embargo, reportes de los vecinos cerca del lugar del accidente y víctimas comentaron que la falta de mantenimiento en las estructuras causó el accidente, a pesar de haber avisado a las autoridades anteriormente, *“Digamos que el tiempo, el uso, el agua, van a erosionar cualquier construcción y cualquier estructura. Este es el caso y eso se pudo arreglar con esfuerzo, con dedicación, con una revisión de las estructuras y tomar el mantenimiento como una responsabilidad para la sociedad, aseguró Tomás Andrade”* (Rodríguez, 2022).



Imagen 2: Fotografía aérea del colapso de la línea 12 del metro CDMX (Sáenz Guzmán, 2021)

Con el tiempo, las construcciones empiezan a presentar un desgaste y por ende deformaciones, ambos efectos son causados por la acción del uso y las fuerzas externas actuando en ellas. La vida útil de una edificación es relativa, depende del diseño y del uso al que estará destinado, por lo regular las edificaciones se plantean con una vida útil aproximada de entre 50 a 70 años. Esto depende del mantenimiento que se le dé o haya dado a lo largo de su vida y los eventos naturales que haya sufrido. De acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal con su última reforma del 2021, en su Artículo 148 se dicta lo siguiente, *“Se considerará como estado límite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga”*. Y de acuerdo con la definición de deformación se comenta que *“Podemos definir la deformación de un elemento estructural como una alteración del estado físico debido a una fuerza mecánica externa, a una variación de temperatura, a un cedimiento de apoyos, etc.”* (F. Morales, 2013).

Entonces se dice que una estructura tiene un estado limite antes de que surja la falla, ésta provocada por las deformaciones que se crean a través de una alteración en su forma original por la aplicación de fuerzas externas. Para

prevenir sucesos como el de la línea 12, se requiere de la supervisión e inspección continua de las estructuras, dicha inspección depende del tipo de estructura de la que se trate, por ejemplo, la continuidad de la supervisión e inspección de la salvaguarda de un hospital no sería la misma que para un edificio residencial o empresarial, a su vez, no sería el mismo monitoreo requerido para una carretera, vías férreas, líneas del metro, ductos de gas o gasolina o plantas petroleras, esto se debe a que sus deformaciones no solo son por las cargas, sino por desplazamientos que el terreno va teniendo con el transcurso de los años, provocando deformaciones considerables, existen diversos fenómenos y pero aquel que afecta más a la Ciudad de México y en los últimos años a varios estados de la República son provocados por las fuerzas sísmicas o las corrientes marítimas para el caso de una estación petrolera o cualquier estructura suspendida o en contacto con el mar.

A través de los años las tecnologías han ayudado a la ingeniería a tener un mejor control de las obras y la técnica InSAR es una de ellas, que se comentará más adelante. Con ayuda de estas herramientas se puede dar un mejor monitoreo al terreno donde se desplantan las obras y a la estructura misma con el objetivo de poder tener acciones preventivas y no correctivas por parte de las supervisiones y el personal a cargo del mantenimiento de la infraestructura del país, el beneficio que se obtiene es el de un ahorro económico, actuar de manera preventiva ayuda a tomar acciones controladas, esto significa conocer los alcances de las acciones a tomar, por lo tanto, un consumo controlado de tiempo y de dinero, en vez de tener acciones correctivas donde las incertidumbres de lo que sucedió y el por qué, lo que puede suceder y cuanto costarán las reparaciones, siempre están presentes y al no tener un plan de acción definido las operaciones entorpecen la toma de acciones rápidas para el supervisor. Una obra que se llevó a cabo en el periodo presidencial 2012 a 2018 que ejemplifica de manera clara lo comentado, es la construcción del libramiento Paso Express Tlahuica, donde en el año de 2017 se produjo un accidente consecuencia de una falla estructural del cuerpo de terraplén del libramiento, formada por una socavación

del terreno en la cual se perdieron dos vidas. Con anterioridad se habían reportado notables hundimientos visibles en la capa rodante, por lo que las autoridades atendieron el problema inyectando concreto para solucionar el problema, sin embargo, el problema no fue solucionado y causaron un tapón de concreto dentro de la tubería.

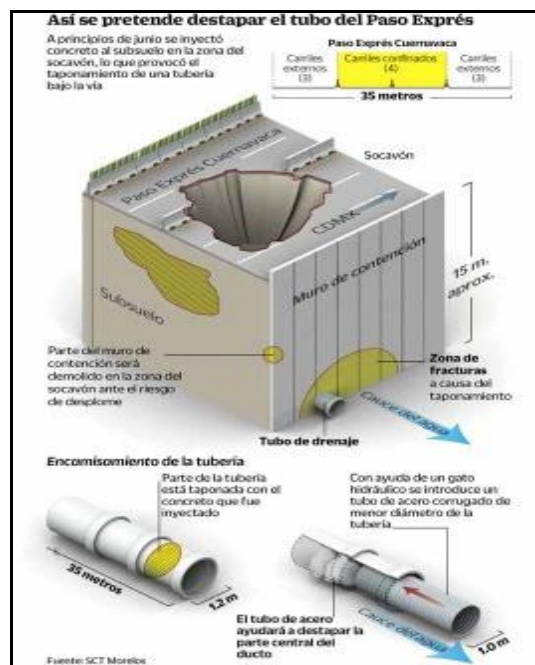


Imagen 3 Diagrama del Socavón en el Paso Expres Cuernavaca (UNIV, 2017)

En este accidente una vez más la negligencia por parte de las autoridades correspondientes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la empresa contratista y la supervisión externa, al no querer realizar el cambio de una tubería que se encontraba en la barranca, que ya había cumplido con su vida útil, ocasiono que teniendo el peso en exceso del material de relleno y los muros de contención que se colocaron sobre de ella fracturaran a la misma y al momento de que las autoridades inyectaran el concreto obstruyeron por completo la tubería, agregando las precipitaciones extraordinarias durante el periodo, el flujo empezó a desbordarse por la fractura de la tubería arrastrando el material de relleno, causando el socavón y la falla. Como resultado se obtuvieron costos por reparación que ascendieron aproximadamente a un poco más de 140 millones de pesos, incluyendo la indemnización a los afectados.

Estos ejemplos, ayudan a entender la importancia del mantenimiento y de la necesidad de una mejor cultura para la supervisión de las obras, tomar mejores acciones, y no solo por cuidar el cumplimiento y buen uso del recurso monetario, sino por cuestiones éticas donde la infraestructura es parte fundamental del uso cotidiano de la población, la mala calidad y negligencias pone en riesgo inminente la seguridad del usuario, dando como resultado en el peor de los escenarios la pérdida de la vida.

III.IV La Gerencia de Proyectos en la Supervisión de Obra

De acuerdo con la publicación del Ing. Figueroa Palacios y el Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. del 2020 en su revista IC Ingeniería Civil, el desarrollo los proyectos de infraestructura en el mundo se encuentran en constante investigación y críticas por parte de la sociedad, todo debido a las evidentes y en algunas ocasiones exorbitantes desviaciones en los costos y el tiempo que se requiere para construirlos. Todo apunta a una mala planeación, que en ocasiones no es considerada importante, pero se ha demostrado que es necesaria para dimensionar los riesgos y administrar los sobrecostos y las extensiones de los plazos de ejecución.

Sin embargo, no hay que perder de vista uno de los aspectos fundamentales de los proyectos que es la funcionalidad, la razón por la que estos se crean y diseñan, surgen de la necesidad, por ejemplo, la autopista del sol, de México a Acapulco, es un proyecto que de acuerdo a investigaciones sufrió la banca rota, debido a que no se tuvo el tránsito esperado, sin embargo, la conexión entre Acapulco y la Ciudad de México incremento un desarrollo turístico que nadie pudo prever, dicho lo anterior, el proyecto al final tuvo un sobrecosto exponencial, pero la función fue totalmente cumplida, dejando atrás dicho fracaso. Pero que los fracasos sean opacados de acuerdo con el desarrollo y funcionalidad que un proyecto provee no quiere decir que sea correcto tener sobrecostos y extensiones en plazo de una manera no controlada.

Una de las materias que ayudaría a mantener este tipo de problemas a raya sería la gerencia de proyectos, la cual no forma parte de algo diferente a la

supervisión de obras, son muy similares entre sí, la diferencia es el nivel de especialización y las herramientas empleadas para llevar un control más riguroso e identificar con mayor facilidad los puntos críticos que podrían crear un conflicto y entorpecer el avance en la ejecución de los trabajos, pudiendo analizar la viabilidad del proyecto.

De acuerdo con el Instituto Europeo de Posgrado, se define la gerencia de proyectos como la metodología para plantear un proyecto a lo largo de diferentes fases que van desde su inicio hasta su fin. El encargado de gestionar los proyectos es el Project Manager o director de proyectos, que es el encargado de elaborar el plan, controlar y monitorizar cada uno de los pasos.

Para realizar estas acciones, se requiere de la elaboración de una planificación, donde se gestionará el tiempo, las acciones y recursos, formando una plantilla de trabajo capaz de colaborar de forma eficiente con la gestión.

Los factores más relevantes en la gestión de los proyectos son las siguientes:

Gestión de los Costos: que se resume en realizar un presupuesto de cuánto costará aproximadamente la ejecución de la obra. Con el objetivo de considerar el más eficiente que sea al mismo tiempo el más económico posible.

Gestión de la calidad: esta parte se encarga de controlar el cumplimiento de la calidad que el proyecto requiere y de no cumplirla tomar acciones para encaminar al proyecto a subsanar los errores cometidos. Se requiere del conocimiento de las normas aplicables.

Gestión de los recursos: independientemente de la gestión del recurso material y de mano de obra, el tiempo es un recurso que no se puede recuperar, por lo que generar una programación y realizar que se cumpla es el objetivo de esta gestión.

Gestión de la comunicación: tener una comunicación con todos los involucrados en el proyecto es primordial, pues cada uno deberá tener pleno conocimiento de lo que sucede en la obra.

Gestión de los riesgos: por lo regular los riesgos son impredecibles y es imposible saber qué consecuencias traen consigo, sin embargo, el gestor tendrá que analizar el proyecto incluso antes de ejecutarlo y generar diversos escenarios que le permitan formular soluciones preventivas en caso de que surjan dichos riesgos.

Las actividades parte de las gestiones que se acaban de describir, al compararlas con las que tiene la supervisión, nos daremos cuenta que son similares y tienen los mismos objetivos, sin embargo, el gestor realiza el trabajo desde el análisis y estudio del proyecto y aunque el supervisor de obras está obligado a realizar las mismas acciones, en la obra pública no tiene la misma facilidad de participar en la elaboración del proyecto, más bien, recibe un proyecto elaborado y sobre la marcha se realizan las acciones de modificación, aunque no siempre son bien recibidas por los residentes y superintendentes, debido a que requieren de cambio de proyectos y por obviedad un cambio en la planificación del gasto, lo que requiere de más trabajo y un incremento de costos. En cambio, la gestión de proyectos no solo supervisa de acuerdo con las responsabilidades que le indica la ley, teniendo una divergencia en las acciones proactivas y propositivas que se toman.

Un claro ejemplo, es la obra de la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, que se generó en Ecuador con la participación de la CFE y participación mexicana para la gerencia del proyecto, la cual tenía el objetivo de fortalecer los diferentes grupos de ingeniería (estudios, diseños y construcción), que tuvo desarrollo del año 2011 al 2017, el proyecto se construyó por parte de una empresa china Sinohydro Corporation, ejerciendo un monto de 2,240 millones de dólares (mdd), aunque existía diferencial de culturas entre orientales y occidentales donde la manera de ejecutar trabajos era a prueba y error sin alguna experiencia en megaproyectos e inicialmente no aceptaban las

instrucciones por parte de la gerencia, no tuvo impacto para la ejecución de los trabajos donde se obtuvo una notoria reducción en el incremento del costo esperado, donde solo incrementó un 13.2% y el plazo de ejecución en un 16.1%, donde se consideró un resultado satisfactorio a pesar de las deficiencias del proyecto y la zona geológica donde se desarrolló.



Imagen 4 Central Hidráulica Coca Codo Sinclair, (BBC News Mundo, 2019)

Con este caso ejemplo, se demuestra que la gestión de proyectos puede ayudar a mitigar los impactos negativos dentro de una obra, sino se realiza en un cien por ciento si puede reducirlo considerablemente.

Para generar dichos cambios debemos entender que la gestión maneja 4 fases básicas, que son el comienzo, planificación, ejecución y cierre, pero la diferencia puntual es el seguimiento y evaluación del desarrollo del proyecto.

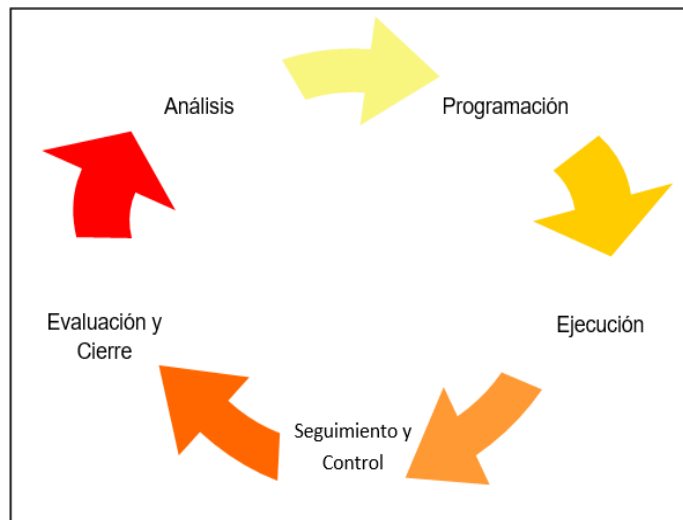


Imagen 5: Fases de la Gerencia de Proyectos.

El **análisis** del proyecto nos permitirá conocer los alcances, riesgos, costos y plazos de ejecución

La **programación** no es diferente a la que comúnmente se conoce, es la planificación del uso de los recursos a través del tiempo, para saber cuánto y en qué momento se usarán.

La **ejecución** es el inicio de los trabajos donde el gestor tiene que realizar las acciones para que la programación se cumpla.

El **seguimiento y control**, es la generación de informes de todo lo que ocurre en la obra, avance financiero, avance físico y rendimiento de cada uno de los frentes de trabajo, para controlar el desarrollo de los trabajos.

La **evaluación y cierre** del proyecto, se realiza una recopilación de todo el expediente para posteriormente hacer una evaluación profunda, para identificar si los resultados se ejecutaron de acuerdo con la planificación en un inicio y que tan similar fue. Un paso que no se menciona pero que es objetivo de la evaluación, es la retroalimentación, es sin duda, una de las etapas más importantes debido a que se genera una inspección de las acciones que se tomaron a través de la ejecución, analizando las razones causantes de los desvíos o incumplimiento de lo planificado, ayudando a la toma de acciones en base a experiencia para próximos proyectos.

Algunas de las responsabilidades que un gerente de proyectos adquiere son:

1. La supervisión y dirección de proyectos de construcción.
2. Revisión del proyecto en profundidad para programar entregas y calcular los costos.
3. Supervisión de todas las obras en sitio y a distancia, para el cumplimiento de las normas, seguridad y especificaciones del proyecto.
4. Coordinar y dirigir a los trabajadores de obra y subcontratistas.

5. Cumplir las condiciones contractuales de ejecución.
6. Revisar a diario el progreso de los trabajos.
7. Elaborar informes internos y externos relativos al estado del trabajo.
8. Planificar con previsión para prevenir problemas y resolver cualquiera que surja.
9. Analizar, gestionar y mitigar riesgos.
10. Garantizar que se cumplen los estándares de construcción de calidad y el uso de técnicas de construcción adecuadas.

Como se puede apreciar, las diferencias entre la supervisión y la gestión no son evidentes, realizan los mismos trabajos y tienen las mismas responsabilidades, sin embargo, el supervisor gestiona los trabajos, mientras el gerente supervisa y maneja todo lo relacionado con el proyecto, estando involucrado en cada una de las áreas de especialización.

La gerencia se auxilia en distintos tipos de metodologías para poder hacer más fácil su trabajo, es por ello que probablemente la supervisión de los trabajos en materia de obra pública deba cambiar y solicitar gerentes, esto podría traer un incremento en los contratos para la supervisión de las obras, sin embargo, es preferible un incremento de contratos que un incremento por malas ejecuciones, falta de calidad y poca planeación y programación de los trabajos.

III.V La Importancia de la Enseñanza de la Supervisión en la Licenciatura

En la mayor parte de los casos los recién egresados de ingeniería civil no tienen la experiencia en los trabajos que se les pueden ofrecer, por ejemplo, las empresas de supervisión de obras son aquellas que debido al monto por el cual son contratadas, son las primeras en reclutar personal con poca experiencia laboral que por lo regular son los jóvenes de recién egreso universitario, debido a que el pago de nómina es más barato en comparación

con un ingeniero senior el cual puede exigir un sueldo superior. Esto implica que la capacidad para poder ejecutar los trabajos no siempre se realice con el mejor desempeño, ocasionando errores y una deficiencia en los reportes finales de la supervisión, realizando una cadena donde los trabajos de construcción se ven afectados, como se mencionó anteriormente.

Para poder generar un cambio que trascienda, las universidades tanto públicas como privadas, tienen la obligación que impartir cursos dentro de la carga curricular que permita al alumno conocer y saber emplear la supervisión de obras y como gestionarla, por ejemplo la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), tiene como materia optativa la Supervisión de Obras dentro de su oferta académica y es cierto que no todos los ingenieros o profesionistas que se dediquen a la construcción realizarán trabajos de supervisión, sin embargo, como se ha mostrado a lo largo de este trabajo de tesis, el conocer las responsabilidades y los alcances del supervisor y las consecuencias que puede conllevar una mala práctica son importantes, por lo que hacer que la materia se convierta en obligatoria podría beneficiar no solo el desempeño de los alumnos en el campo laboral, sino también incrementar el prestigio de las universidades del país, este cambio es reciente, pues alumnos de generaciones pasadas, afirman nunca haber tenido una materia optativa de ese estilo.

Muchos autores y estudios sobre el desempeño de las obras civiles o privadas aseguran que los errores y la constante inconformidad por parte de los clientes se debe a la falta de calidad notoria en los trabajos concluidos, por ejemplo: *“...las causas más representativas que incidieron en la manifestación de fallas durante la construcción de las viviendas estudiadas, caen en las áreas de organización y supervisión...”* (Audeves Pérez et al., 2013),

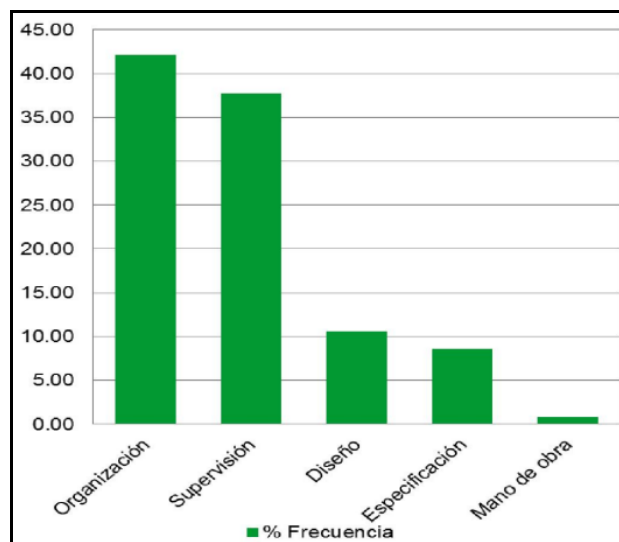
Por ejemplo, en el estudio citado, se realizó un gráfico donde plasmaron diversos desempeños en distintos trabajos como el que a continuación se muestra:



Gráfica 3 Distribución de frecuencias de incidencia de las causas de fallas en la etapa “Acabado exterior”, clasificadas por área. (Audeves Pérez et al., 2013)

La gráfica nos muestra que el mayor porcentaje de incidencia para las causas de falla se refiere al rubro de la supervisión, y aunque suponiendo que para distintos rubros no cuente con el mayor porcentaje de incidencia, no quiere decir que sea correcto. Este es un claro ejemplo de lo que la falta de experiencia, capacitación y en algunos casos el desinterés puede provocar en la obra, recordemos que estas fallas se traducen en pérdida de dinero.

En la gráfica siguiente, se muestra las partes que componen a la obra y su porcentaje de incidencia dentro de la misma:



Gráfica 4 Distribuciones de frecuencia de incidencia de las causas de las fallas divididas por áreas. (Audeves Pérez et al., 2013)

La organización y la supervisión son los rubros que más afectan el buen desarrollo de las obras, al final puede entenderse que, por falta de planeación para ejecutar la obra, en este caso del rubro habitacional, la supervisión sufre las repercusiones creando complicaciones en el desarrollo de sus actividades, al convertirse en una actividad correctiva y no preventiva como debería ser.

De acuerdo con las estadísticas y estudio generado, se puede concluir que tomar con más seriedad la importancia de los trabajos de organización, planificación, programación y supervisión de los trabajos, para poder iniciar una corrección es necesaria la implementación de mejores programas y profesores más calificados para dar este tipo de clases en la formación de los futuros ingenieros. Es responsabilidad de las instituciones formar profesionistas más preparados y calificados para desarrollar sus actividades de la mejor forma posible, aun cuando no se cuente con la experiencia en el campo laboral.

Un testimonio de experiencia ocurrido en el año 2017 después del sismo que afectó a la zona centro de México, específicamente en el estado de Morelos donde se abrieron muchas vacantes de trabajo para atender la emergencia que se vivía en la zona, en particular el Instituto Estatal de Infraestructura Educativa del Estado de Morelos (INEIEM), como su nombre lo indica tiene la responsabilidad de atender a las escuelas de todos los niveles, la institución hizo una contratación considerable de ingenieros y personal afín a la construcción para supervisar la demolición, rehabilitación, reubicación y reconstrucción de planteles que se vieron afectados a lo largo de todo el Estado. Los profesionistas tenían asignados entre 5 a 15 planteles aproximadamente cada uno, y cabe mencionar que a pesar de no ser un Estado con mucha extensión territorial el tiempo no era suficiente para poder atenderlos a todos, las actividades a desempeñar abarcaban desde realizar los levantamientos para definir los trabajos a ejecutar hasta realizar todos los trabajos de residencia y supervisión de las obras.

El personal contratado en su mayoría tenía la edad de entre 25 a 35 años, donde no se tenía la experiencia mínima necesaria para ejecutar los trabajos, pues en la zona no había registro de un evento de la magnitud que se vivía en ese momento, agregando al problema una poca organización, planeación en los trabajos y el desconocimiento de los alcances del recurso que se había otorgado por parte de los titulares de la dependencia, sin mencionar la presión social y política, trajeron múltiples incertidumbres y errores en los conceptos de los catálogos que se consideraban, en términos generales, los trabajadores no tenían un procedimiento definido a seguir para ejecutar los trabajos y se habían realizado las contrataciones por parte de la institución, causando, suspensiones, manifestaciones y por ende modificaciones en el plazo y monto del contrato.

Un ejemplo contundente fue la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), la cual se demolió y construyó el nuevo edificio de la facultad de arquitectura el cual se tenía planeado un año de construcción y se extendió a 3 años finalmente, aumentando su monto hasta los 460 millones de pesos, debido a falta de proyecto, planeación, supervisión y el mantenimiento de edificio antes del siniestro.

Esto ayuda a ejemplificar la necesidad de este tipo de asignaturas dentro de la formación universitaria, debido que en gran parte de los egresados formarán parte de una obra de construcción y tener este tipo de conocimientos básicos es fundamental para poder atender las necesidades de la población en tiempo y costo determinado.

Anteriormente se mencionó otras actividades de la supervisión, una de ellas es el mantenimiento, realizar un plan de acción para mantener en buen estado para reducir el riesgo de algún incidente es necesario. *“Con esto se logra una reducción de los riesgos de las patologías en las edificaciones y aumentando la vida útil del mismo y por lo que los costos serán mínimos.”* (Arencibia Fernández, 2007).

IV. Supervisión Externa para el Constante Mantenimiento y Buena Operación de las Obras

IV.I Qué es la interferometría

Albert A. Michelson fue el pionero en crear el primer interferómetro en el año de 1887, (ver imagen 4) el cual consiste en una fuente de luz en este caso un láser, un divisor de haz o interferómetro, un par de espejos y un patrón de interferencia o pantalla, el láser o haz de luz se divide en dos al pasar por el interferómetro, tomando direcciones diferentes para rebotar en espejos que hacen que se superpongan hasta llegar al patrón de interferencia. Él fue el primero en manejar el concepto de interferometría y como uno de los resultados de este invento, ayudó a obtener la capacidad para medir la velocidad da luz.

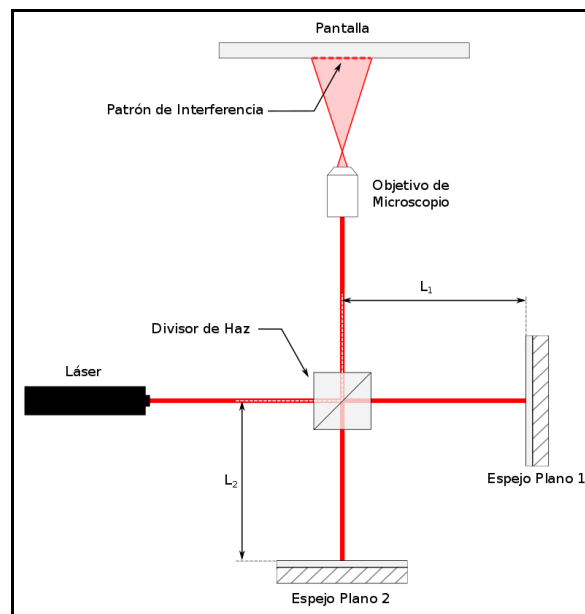


Imagen 6 Arreglo simplificado del interferómetro de Michelson. (Wikipedia, La enciclopedia libre, 2022)

La interferometría es un método el cual utiliza la combinación de diferentes fuentes de luz para obtener una mejor resolución en la imagen, donde la base es la interferencia de ondas, este fenómeno sucede cuando dos o más ondas se superponen, es decir una se coloca encima de la otra, para crear una más grande, de igual, mayor o menor amplitud, existiendo dos tipos la destructiva o constructiva.

La diferencia yace al momento de superponer y las ondas se encuentren en fase, es decir que las crestas de las ondas coincidan para así sumar su amplitud, dando una amplitud máxima o se encuentren en desfase, es decir, la cresta de una onda se encontraría con el valle de la otra restándose las amplitudes, volviéndose nulas o sea cancelándose. Esto sucedería solo si las ondas tienen la misma frecuencia.

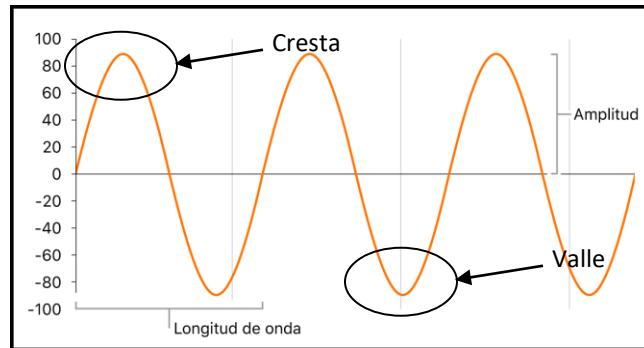


Imagen 7 Diagrama Ejemplo de Ondas. (Apple Inc., 2022)

Entonces, la interferometría se encarga de sumar la interferencia constructiva y destructiva para poder obtener una interferencia neta.

Con ayuda de este método y a su modificación para diferentes áreas de la ciencia y tecnología, debido a su alta precisión para poder obtener mediciones menores al tamaño de una longitud de onda, se ha utilizado por ejemplo, en la astrología es para la medición de estrellas y en la metrología óptica para la medición de curvas de los lentes y espejos. Actualmente existen compañías en los Estados Unidos de América que crean interferómetros de gran magnitud para poder medir las ondas gravitacionales, como por ejemplo LIGO, por sus siglas en inglés: Observatorio de Ondas Gravitacionales por Interferometría Laser, con el objetivo de probar la existencia de dichas ondas y confirmar la teoría de la relatividad.

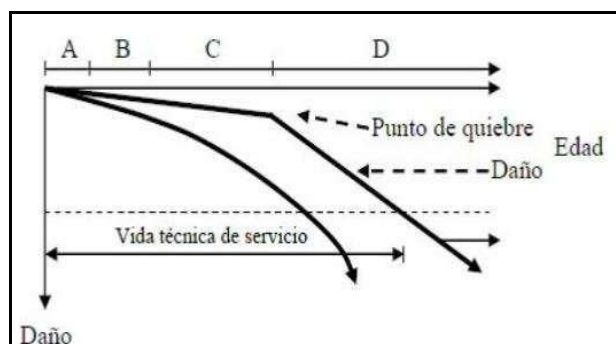
La ingeniería civil no es un caso aislado, la interferometría se adaptó para obtener beneficios para el monitoreo de los desplazamientos de la infraestructura y el terreno donde se desplantan, teniendo la capacidad para medir las subsidencias.

IV.II Herramientas preventivas para la supervisión y la salvaguarda de la infraestructura

En la Ciudad de México se han mostrado en los últimos años eventos catastróficos donde se han involucrado la pérdida material, económica y sobre todo vidas humanas, la falta de supervisión y como resultado el mantenimiento inexistente, ha demostrado ser causa principal de apertura a los accidentes, esto demuestra que la supervisión y los planes de mantenimiento preventivo es la manera de asegurar una vida útil longeva a cualquier tipo de infraestructura.

Gracias a los grandes avances tecnológicos que se han desarrollado y mejorado a través del tiempo, diversas herramientas han surgido las cuales permiten hacer estudios de monitoreo y supervisión para medir las deformaciones antes, durante y una vez finalizada una construcción y del terreno donde son desplantadas. Cuando una construcción es finalizada, es necesario tomar en cuenta que una parte del presupuesto destinado sea utilizado para el monitoreo y constante mantenimiento de la infraestructura, puesto que al igual que un cuerpo humano, las estructuras envejecen y van perdiendo la resistencia con la cual fueron diseñadas, sin embargo, “no se tienen registros históricos de seguimiento, evaluación, mantenimiento y reparación de las estructuras asociados a los costos de las intervenciones y a los resultados obtenidos. Este vacío histórico hace que los costos de mantenimiento sigan siendo muy altos.” (Londoño, 2022).

La Ley de los Cinco o también conocida como Ley de Sitter establece cuatro fases:



Gráfica 5 Ley de Sitter. (Londoño, 2022)

Donde:

“A” es el periodo de diseño, “B” es el proceso de iniciación en desarrollo sin presentar daños, “C” el proceso de deterioro que comienza y “D” es el proceso de deterioro propagándose por toda la estructura.

En la cual dicta que, un dólar gastado en la fase A equivale a 5 en la B, 25 en la C y 125 en la D, es decir un 500.00% más entre cada etapa.

Fase	Estado de la estructura	Costo asociado en dólares
A	Buena	1
B	Mantenimiento preventivo	5
C	Reparación y mantenimiento	25
D	Rehabilitación	125

Tabla 1 Comportamiento de la Ley de Sitter. (Londoño, 2022)

Con esto queda un panorama más claro de la necesidad e importancia del monitoreo de la infraestructura, el cual debería ser parte de todas las planificaciones en un proyecto ejecutivo de construcción.

Uno de los sistemas creados para el monitoreo de estructuras para la medición de deformaciones es a través de fibra óptica que de acuerdo con la empresa argentina Morken Group, la cual, durante la construcción de un túnel de 27 km de extensión, se realizó la reubicación de un arroyo implicando la construcción de un muro de contención como se muestra a continuación:

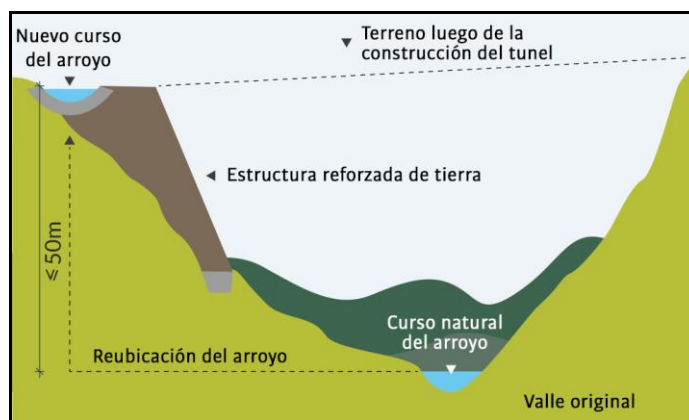


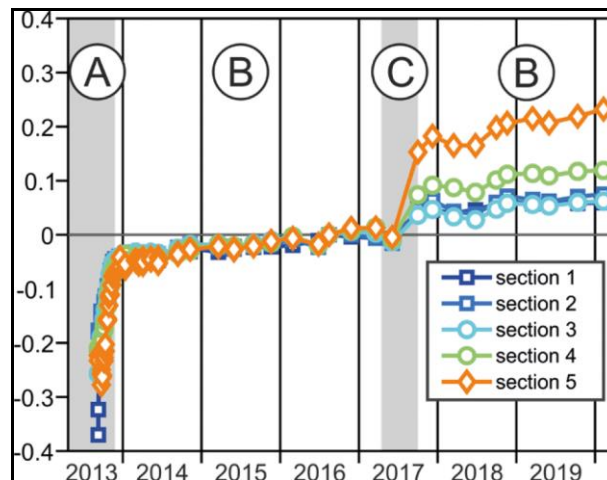
Imagen 8 Reubicación de Arroyo. (Morken Group, 2022)

Se utilizó una geomalla anclada a la estructura en la cual se colocaron sensores de fibra óptica, desplegándose en 4 sectores de la estructura (ver imagen 9), utilizando el análisis de dominio de frecuencia óptica de Brillouin se pudieron obtener lecturas continuas de desplazamiento, erosión y cambios de temperatura con una precisión de $100 \mu\epsilon$ (microstrain), obteniendo la capacidad de medir el aumento de tensión.



Imagen 9 Distribución de los Sensores de Fibra Óptica. (Morken Group, 2022)

De acuerdo con los resultados capturados por el sistema de la compañía, se generó un gráfico (ver gráfica 6) desde el inicio de la construcción del muro de contención hasta años después de su conclusión, en el cual puede verse el comportamiento de este.



Gráfica 6 Evolución de la Deformación de la Geomalla. (Morken Group, 2022)

La fase “A” se inicia en el año 2013, el cual fue cuando la construcción inicio, mostrando un incremento en las tensiones por el incremento de carga que se

generaba por el depósito de material de relleno para el muro, posteriormente en la fase "B" hay un periodo de asentamiento en el terreno por lo cual el incremento de tensión es casi nulo. Sin embargo, en la fase C hubo un incremento repentino de tensiones considerables, al presentarse este suceso la empresa realizó la investigación correspondiente para conocer el origen de los incrementos y resulto que posteriormente se realizaron trabajos para incrementar la calzada del camino para facilitar el tránsito de vehículos más grandes y pesados, presentando un asentamiento de nuevo en los años subsecuentes, lo cual señala que no hubo peligro o daño importante en la estructura de contención.

Como conclusión podemos asimilar que el sistema a base de fibra óptica ayuda a monitorear de manera continua cualquier anomalía presentada en las estructuras, siendo el caso ejemplo de un talud, sin embargo, podría ser utilizado en cualquier tipo de infraestructura. Como desventajas notables del sistema puede presentar algunos problemas en la toma de lecturas debido a que el sistema está compuesto por sensores que al requerir estar de manera física incluso durante los procesos constructivos, puede ser dañado con facilidad, requiriendo de reparaciones o sustituciones de todo el sistema, teniendo que originar costos por la sustitución de las partes dañadas, por otra parte se muestra la notoria necesidad de la empresa para poder ejecutar este tipo de monitoreos, lo que se intuye se esperen grandes costos por este tipo de trabajos de supervisión.

Otro sistema que se generó en México con ayuda del grupo de Geoinformática de la Coordinación de Geotecnia del II UNAM, encabezado por el doctor Gabriel Auvinet y los maestros Édgar Méndez y Moisés Juárez, consistió en una serie de trabajos de recopilación y de análisis orientados a poner en marcha el SIMOH, (Benítez, 2015). El Sistema de Monitoreo de la Piezometría y de los Hundimientos del Valle de México por Extracción de Agua Subterránea (SIMOH) la propuesta del sistema surge de la sobre explotación de los mantos acuíferos por la demanda en crecimiento exponencial de agua

potable para abastecer a la población y se basa en la recopilación de mediciones piezométricas en varios bancos de nivel repartidos por la Ciudad de México para poder crear una base de datos que permita analizar el comportamiento de la subsidencias, con el objetivo de ayudar a futuras construcciones de infraestructura a tomar en cuenta este problema, también otro de los objetivos es dar soluciones a las afectaciones que la infraestructura existente está sufriendo por el hundimiento del Valle de México, como por ejemplo todo el sistema de drenajes y tuberías que transportan diferente material, puesto que al existir un cambio de niveles, las pendientes originales de diseño se ven modificadas disminuyendo la velocidad de descarga, con riesgo de posibles inundaciones y la necesidad de construcciones de cuartos de bombeo auxiliares, por otra parte, las líneas del transporte colectivo metro también sufren deformaciones derivado de los cambios de nivel en los desplantes en el terreno natural afectando los cimientos y por tanto los niveles de los rieles por donde transitan los vagones de dicho transporte comprometiendo la seguridad del usuario, y no menos importante la edificación y los caminos de la ciudad que se encuentran en la zona del lago muestran cambios notorios (ver imagen 10).



Imagen 10 Deformación diferencial de la primaria España en calle San Jerónimo, Centro. (El Punto Crítico, 2017)

Este sistema funciona a través de mediciones realizadas a lo largo de toda la Ciudad, donde se obtienen los niveles de los asentamientos de bancos de

nivel y la variación de presiones hidráulicas en el subsuelo las cuales son registradas a través de aproximadamente 100 piezómetros instalados a diferentes profundidades (ver imagen 12), en los cuales de acuerdo a las investigaciones obtenidas por los especialistas del departamento de geotecnia de la UNAM, puede obtenerse gráficos que ayudan a comprender el comportamiento a lo largo de los años y modelos en 3D que permiten observar más vívidamente el comportamiento del Valle de la Ciudad. La última lectura oficial registrada es desde 1862 a 2015 donde el SIMOH indicó un hundimiento regional que rebasaba los 13.50 m de profundidad.

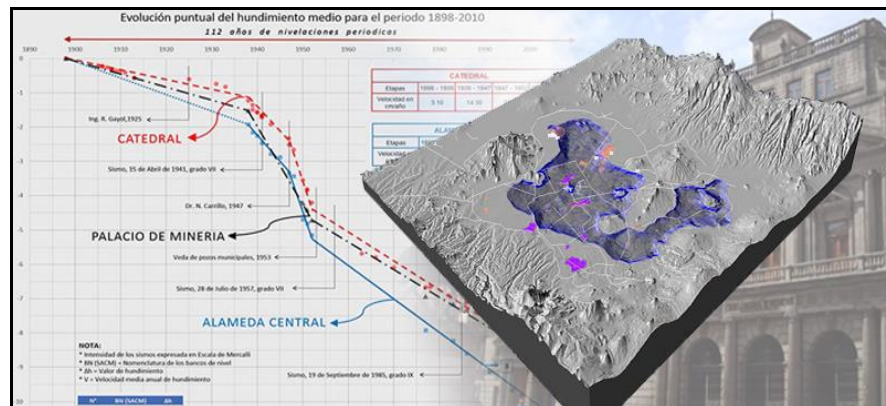


Imagen 11 Hundimiento de la Ciudad de México. (Laboratorio de Geoinformática, Instituto de Ingeniería, UNAM, 2015)

Sin embargo, esta idea tiene una desventaja notoria debido a la alta necesidad de un equipo de trabajo continuo, puesto que los resultados que este tipo de sistemas proporcionan no son de manera inmediata, se requiere de una supervisión y constante monitoreo de los instrumentos repartidos en la Ciudad de México, creando altos costos de operación en la necesidad de equipo tecnológico, transporte y mano de obra. Y de acuerdo con las investigaciones realizadas, la página oficial del SIMOH no ha presentado cambios algunos en el proceso de la investigación por lo que podría asumirse que se encuentra desactualizado o probablemente descontinuado o cancelado.

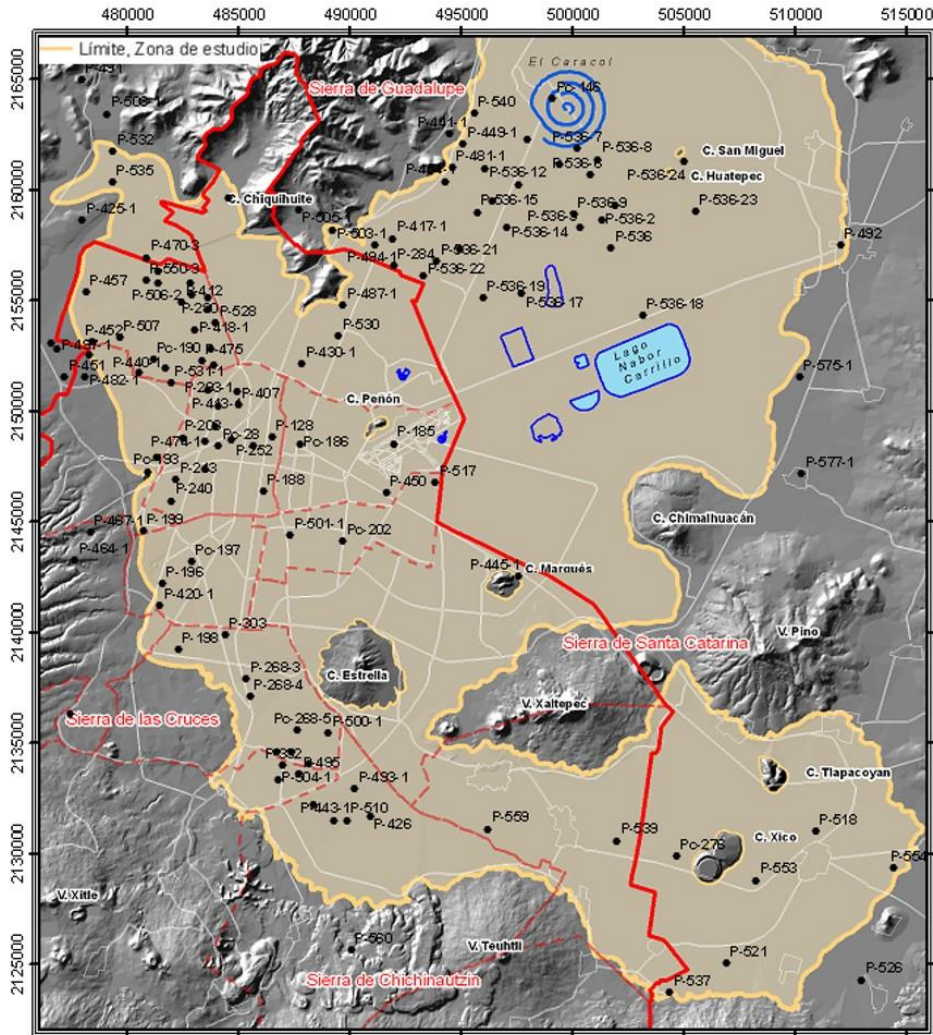


Imagen 12 Estaciones Piezométricas en el Valle de México (SRH, CAVM, CHCVM, GRAVAMEX, CNA, SEMARNAP). (Laboratorio de Geoinformática, Instituto de Ingeniería, UNAM, 2015)

Otros sistemas se han propuesto para poder tener una correcta medición de las subsidencias. En el último decenio se han propuesto diferentes métodos para medir la subsidencia en forma indirecta. Se destacan las técnicas de interferometría radar (InSAR) y de barrido LiDAR (Sistema de Teledetección con Luz Láser), (Auvinet et al., 2017). Esta última resulta de particular utilidad para detectar detalles topográficos del terreno difícilmente apreciables con otras técnicas; se está calibrando y ya es utilizada para obras importantes en el valle. (Auvinet et al., 2019).

LiDAR (de sus siglas en inglés “Light Detection And Ranging”), es una tecnología que permite medir distancias desde un emisor láser a un objeto o superficie. (Soto, 2021), la forma en la que operar este sistema es a través de láseres, similares a los que cualquier catedrático utilizaría para señalar algo en su presentación de clase.

El puntero emite un haz de luz que se refleja y rebota en el objeto de interés regresando al punto de origen, en el trayecto del haz de luz el dispositivo tiene la capacidad de medir el tiempo con que este viaja y de acuerdo con la fórmula básica de física, podemos conocer la distancia $d=(v*t)/2$, donde la velocidad es considerada con el valor de 300,000.00 km/s que es la velocidad de la luz en el vacío y la fórmula se divide entre dos para considerar los dos viajes que el haz de luz realiza, del puntero al objeto y del objeto al puntero.

El proceso anterior ocurre miles de veces por segundo, y cada vez que la luz toca un objeto o una superficie rebota y vuelve al dispositivo emisor registrando las coordenadas XYZ del punto exacto en el que rebotó la luz, (Soto, 2021). Lo que se obtiene con este sistema es bien conocido como retornos o puntos muy similares a los de un levantamiento topográfico, pero en este caso se puede dibujar la superficie de una ciudad entera como se puede observar en la imagen 13.



Imagen 13 Captura LiDAR de Majadahonda en Madrid, Fuente de los datos PNOA. (Soto, 2021)

El sistema está compuesto por un emisor o scanner LiDAR, que va en movimiento sujeto a un dispositivo o transporte volador, el cual podría ser un dron, avión, avioneta o helicóptero, con esto sería posible poder capturar en tercera dimensión una ciudad con facilidad. El LiDAR es acompañado en todo momento por un sistema GPS el cual nos ayudará a obtener las coordenadas y conocer la posición exacta de cada uno de los retornos o puntos del láser con precisiones centimétricas.

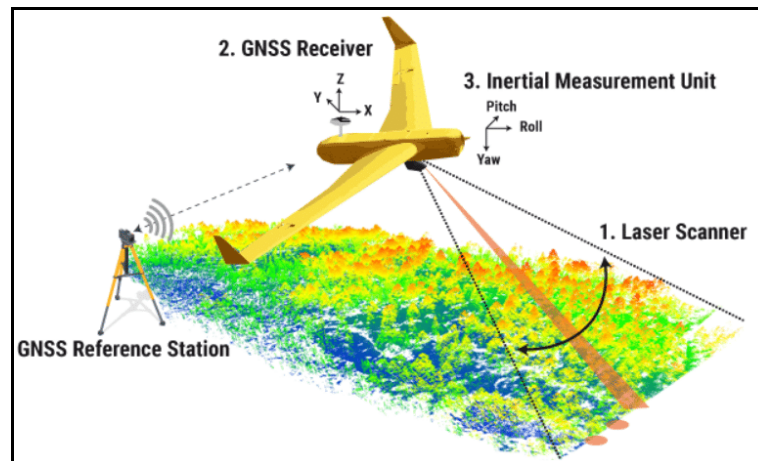


Imagen 14 Componentes del Sistema LiDAR. (Soto, 2021)

A pesar de ser un sistema excepcional por las diversas funciones y levantamientos que puede generar, presenta desventajas por la precisión de los retornos que captura debido al método por el cual son obtenidos, los aviones, drones, avionetas o helicópteros, son un medio de transporte que se mantiene en constante movimiento por las ráfagas de viento, el tránsito aéreo o simplemente la fauna de aves afectando la verdadera trayectoria del haz de luz, además, de acuerdo con el objeto que toque el haz es la manera en que se provocará el rebote, de acuerdo con el licenciado ambiental Javier Soto, especialista en el sistema LiDAR, si el láser rebota en un elemento sólido como una azotea o el suelo el resultado será un solo retorno, sin embargo, en la vegetación como un bosque, podrá regresar varios rebotes pudiendo medir incluso las hojas hasta llegar al final a la superficie sólida que sería el suelo.

La manera de poder percibir las superficies y los niveles son de acuerdo a los colores, cada sistema tiene una gama de colores los cuales puede ayudar a identificar con ayuda del número de rebotes podemos identificar las superficies compactas y aquello que es vegetación o superficies no solidas.



Imagen 15 El Puente Conmemorativo de los Veteranos de Guerra Corea en el Centro de Nashville, Tennessee. Modelo de la base de datos de 8 puntos por metro cuadrado de un QL1 LiDAR. (LidarMag-Editor, 2023)

En la imagen anterior, se muestra un levantamiento capturado con la tecnología LiDAR de una superficie donde se encuentra un puente conmemorativo en Nashville, Tennessee en Estados Unidos de América y se puede apreciar que en la zona bajo el puente se encuentra una gran mancha de color negro, donde solo se muestran ligeras manchas azules, esta ausencia de color significa que existe agua debajo del puente, como se muestra en la imagen a un lado, esto significa que el haz de luz del láser no se puede rebotar en las extensiones de agua.

Estos avances tecnológicos están incrementando de manera exponencial ayudando y auxiliando a las construcciones por venir y tener un control más marcado dentro de las supervisiones y monitoreos una vez terminadas las construcciones. Uno de los métodos es mezclar las extensiones de rebotes o puntos con un sistema de modelaje conocido como BIM (Building Information Modeling), con la cual se obtiene una herramienta que ayuda a monitorear el control de calidad en tiempo real y en la toma de decisiones inclusive en la transición de la construcción de la obra civil.

Un sistema similar al LiDAR, es el InSAR que por sus siglas en inglés significa: Tecnología de Radar interferométrico de Apertura Sintética, este sistema será uno de los enfoques principales de este trabajo, el cual se estudiará y se comentará en el siguiente subcapítulo.

IV.III Técnica InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), para la supervisión de deformaciones

La tecnología fue desarrollada en la década de los 90, resultado de la investigación y avances en el campo de la física, electrónica, el procesamiento digital de señales y el procesamiento de imágenes, la cual fue mezclada con el Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual se podría considerar como una base de datos de las transformaciones que ha tenido la superficie de la tierra a través de los años para reunirlos, gestionarlos y analizarlos. En conjunto son capaces de detectar el movimiento del suelo derivado por fenómenos geológicos, en zonas urbanas, industriales y naturales. Anteriormente solo era utilizado para monitoreo de los deslizamientos, pero hoy en día la tecnología InSAR es utilizada a nivel mundial debido a que cada vez se requieren mediciones más precisas, por ejemplo, para obtener deformaciones tectónicas o sísmicas como las que se han presentado últimamente en el país. En el año 2017 se presentó un sismo en el Estado de Morelos en el cual nunca se habían registrado movimientos telúricos, este fenómeno movió y afectó de manera significativa las estructuras de varios Estados. El InSAR es posible de proporcionar lecturas precisas de dichos movimientos con precisiones milimétricas, permitiendo conocer el estado actual de las placas tectónicas que existen en la zona, también es posible detectar preerupciones volcánicas, desplazamiento de taludes, estabilidad de los edificios e infraestructura, minería y cualquier superficie u objeto que pueda verse afectado por hundimientos o deformaciones.

Este sistema puede ser utilizado para conocer las condiciones en las que se encontraban las áreas donde ahora se alojan estructuras, de igual manera puede detectar el estado actual del terreno donde se desplantarán futuras estructuras, ayudando a los ingenieros supervisores a elaborar un plan de

acción para mantener un control y mantenimiento adecuado y periódico a las obras.

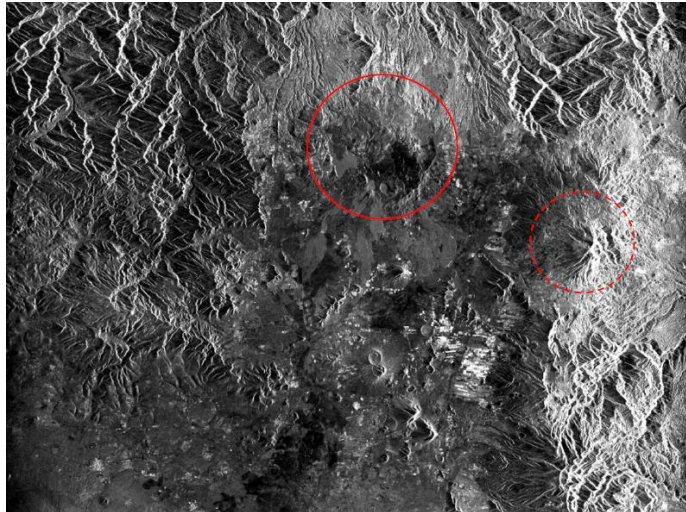
Al iniciar con la medición del área de interés, cuando un punto presenta un desplazamiento, la distancia entre el radar hacia la tierra cambia dejando un precedente en la base de datos, que con ayuda de un algoritmo especial es detectado conociendo la cantidad desplazada y en el tiempo en el que se desplazó.

De acuerdo con el nombre del sistema, se utilizan satélites con sensores de radar con los cuales se pueden tener imágenes claras de la superficie del terreno, presentando dificultades en las zonas boscosas y muy accidentadas (rugosas), dichos satélites se encuentran rodeando a la tierra en orbitas polares cercanas a la tierra que oscilan entre los 500 a 800 km sobre la superficie dependiente de la plataforma que porte al sensor.

Los sensores de radar emiten ondas electromagnéticas con una frecuencia específica (GHz) dentro del dominio de microondas (cm) y analizan las señales reflejadas. Una imagen SAR es una combinación de información de amplitud y fase. Los datos de amplitud dependen de los parámetros del sensor y las propiedades físicas del objetivo y definen la cantidad de energía retrodispersada por cada píxel de la superficie del suelo. La información de fase está relacionada con el viaje de la señal entre la antena del radar y el objetivo en la superficie del suelo. La técnica InSAR se basa en la medición de fase y comparación de datos de imagen. (Di Giandomenico, 2022).

La calidad de una imagen SAR depende de dos variables, la amplitud y su fase, la amplitud se forma a partir de los datos de intensidad de la energía retrodispersada por la señal del sensor al impactarse con la superficie a estudiar, por ejemplo por lo regular cuando la señal choca con objetos sólidos y muy bien definidos como los edificios o algún cerro, se tendrán como resultado amplitudes mayores debido a la alta rugosidad y la retrodispersión se genera de manera eficiente, sin embargo, en lugares con superficies planas

y suaves como puede ser el caso de un lago, las amplitudes son bajas puesto que la retrodispersión no se realiza de manera adecuada presentándose en la captura pobre de datos. La amplitud por lo general se presentará en tonos grises en el SAR.



**Imagen 16 Imagen SAR de Los Humeros y el Cofre de Perote, en Puebla-Veracruz.
(Santos Basurto, 2015)**

La calidad de la imagen se muestra a través de los colores, cuando se presenta el color blanco y definida, similar a la distribución de las raíces de un árbol quiere decir que la captación del sensor a través de la señal es bastante buena, en cambio en terrenos planos o muy rugosos presentan tonos oscuros por falta de información debido a que la inclinación del satélite no permite obtener toda la información de la superficie del terreno.

De acuerdo con el satélite que se utilice, es el tamaño y la calidad del punto o píxel de la imagen capturada, por ejemplo, de acuerdo con la empresa Geostock pueden ser de $3 \times 3 \text{ m}^2$ para el tipo COSMO-SKYMED y de $5 \times 20 \text{ m}^2$ para el SENTINEL.

La fase por otro lado está ligada a la radiación de energía electromagnética, haciendo que la señal vaya y regrese al sensor receptor la cual formará una matriz o arreglo de números complejos. El SAR es capaz de medir la distancia de ida y vuelta de la señal electromagnética emitida, al tomar en cuenta dos

distancias la resultante por lo regular es dividida en dos y sometida a alguna técnica InSAR para que los datos que se encuentran aleatorios tomen la forma real de la captura y se vuelvan útiles para el ingeniero, más o menos como jugar un cubo de Rubik o un rompecabezas.

El radar y el SAR registran el tiempo que tarda un pulso en volver, su intensidad y la fase de la microonda. Estas señales de fase producen un interferograma entre dos captaciones de datos del SAR. El radar interferométrico (InSAR) se utiliza para medir las elevaciones del terreno. (European Space Agency, 2014), a diferencia de los altímetros comunes el sistema InSAR envía pulsos de manera lateral, ayudando de esta manera a obtener la imagen clara de diferentes objetos sobre la superficie en cualquier lapso, ayudando a descartar aquellos que no sean de interés.

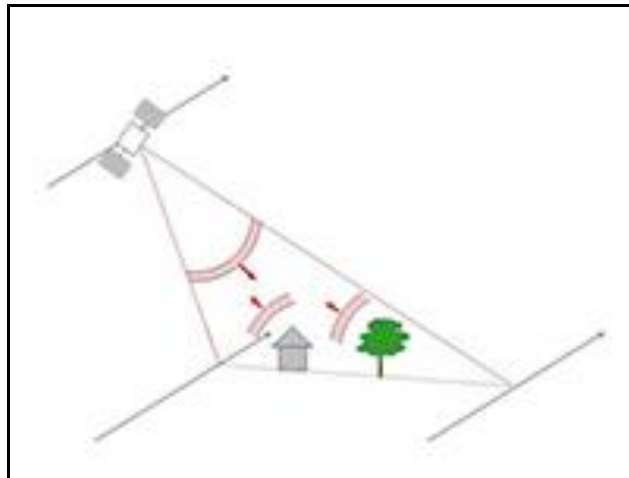


Imagen 17 Dirección del Pulso del Radar. (European Space Agency, 2014)

Los pulsos de los radares apuntan lateralmente forman líneas de imagen (dimensión de distancia). Otra dimensión de la imagen (dimensión de acimut) se forma mediante el movimiento y la dirección del sensor, que envía y recibe continuamente pulsos de radar. (European Space Agency, 2014)

A modo de poder explicar de manera gráfica cómo funciona el InSAR se puede ver en la imagen 16 el procedimiento el cual consiste en obtener una primera medición o adquisición de datos (R1), posteriormente en el intervalo que se desee estudiar, ya sea de 8, 11, 16, 24 y 35 días, meses o años, se

obtiene una segunda medición (R_2) para poder detectar una posible diferencia en las distancias del sensor-objetivo (ΔR), como se mencionó al inicio del capítulo, la manera de obtener dichos datos es por medio de la longitud de onda, la cual al presentar una diferencia en la fase de onda se obtiene un desplazamiento entre las mediciones (λ), la separación entre dichas fases se conoce como ΔR a través del incremento de tiempo (Δt), como el desplazamiento puede ser obtenido en mm o cm, el incremento de la distancia puede ser medido con la misma precisión.

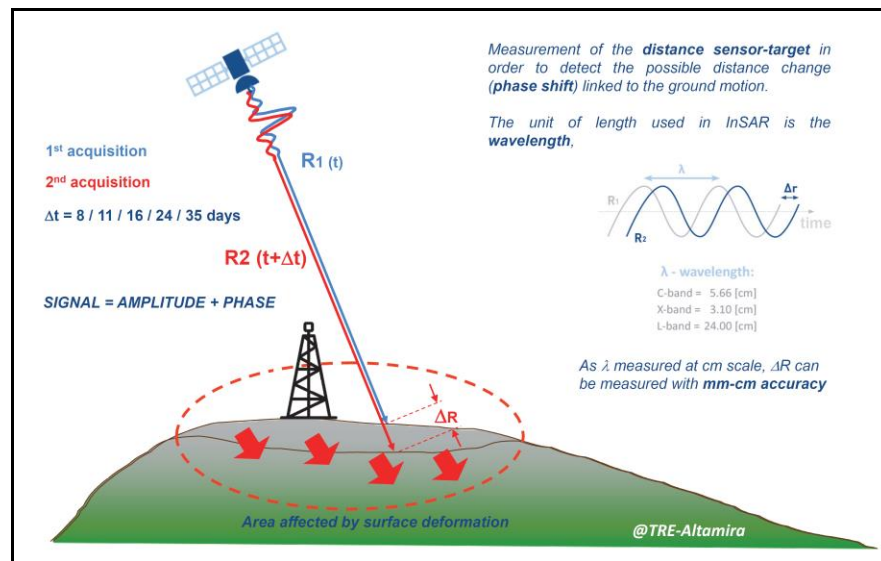


Imagen 18 Principio de Medición InSAR. (Di Giandomenico, 2022)

La longitud de onda define la interacción de la señal con la superficie, proporcionando información acerca de si esta es lisa o rugosa. En función de su longitud de onda, se dice que un satélite Radar trabaja en una determinada banda (Tabla 1). (Gómez Martín, 2021)

BANDA	LONGITUD DE ONDA EN (CM)	FRECUENCIA (GHz)
Ku	1.70 - 2.40	18.0 – 12.50
X	2.40 – 3.80	12.50 – 8.0
C	3.80 – 7.50	8.0 – 4.0
S	7.50 – 1.0	4.0 – 2.0
L	15.0 – 30.0	2.0 – 1.0
P	30.0 – 100.0	1.0 – 0.3

Tabla 2 Principales Bandas del Sistema RADAR, (Gómez Martín, 2021)

Es importante tener en cuenta dichas frecuencias de operación ya que estarán estrechamente relacionadas con la resolución espacial y la penetración del frente de ondas. A mayor longitud de onda, mayor será la penetración y, por tanto, menor la resolución espacial (Figura 17).

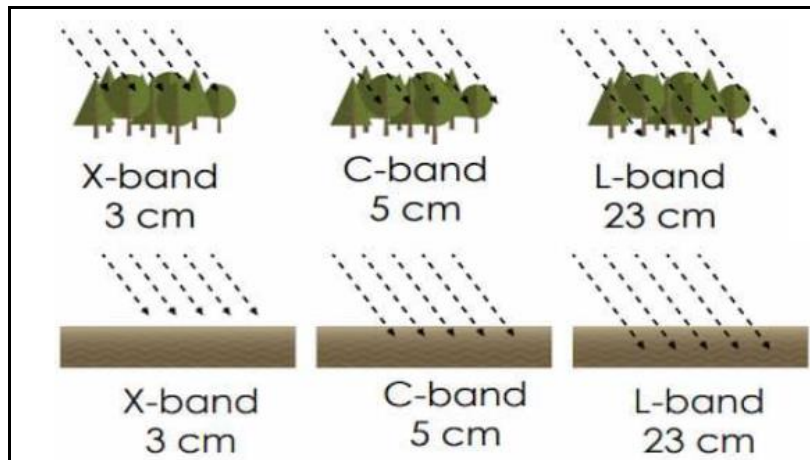


Imagen 19 Penetración Superficial de las Bandas X, C y L. (Gómez Martín, 2021)

El sistema cuenta con una técnica de teledetección activa, esto quiere decir que el sistema es capaz de tener su iluminación propia y las características que tienen las señales electromagnéticas hacen al sistema operativo a través de cualquier tipo de condición y clima. El interferograma se obtiene de las diferencias de la fase de dos imágenes obtenidas de la misma zona en momentos diferentes a través del SAR, resultando un mapa de contornos o bandas que indica el cambio en la distancia entre la superficie observada y el instrumento de radar.

La Interferometría de Radar de Apertura Sintética (InSAR) permite detectar los cambios en la superficie terrestre con una precisión milimétrica lo que convierten a esta técnica en un sistema aproximadamente continuo de muestreo, a diferencia de otras técnicas como los métodos tradicionales o incluso los sistemas satelitales como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Los departamentos de geofísica de la UNAM, estudian el comportamiento de subsidencias dentro de la Ciudad de México, que como se mencionó

anteriormente, se deben a la sobre explotación de los mantos acuíferos, provocando deformaciones en las estructuras de la Ciudad Capital del país, la gama de colores del interferograma nos muestra un comportamiento ya sea de subsidencia o levantamiento, cada ciclo de color de amarillo a rojo representa un movimiento de 2.8 cm del suelo lejos del satélite. (Ver imagen 19)

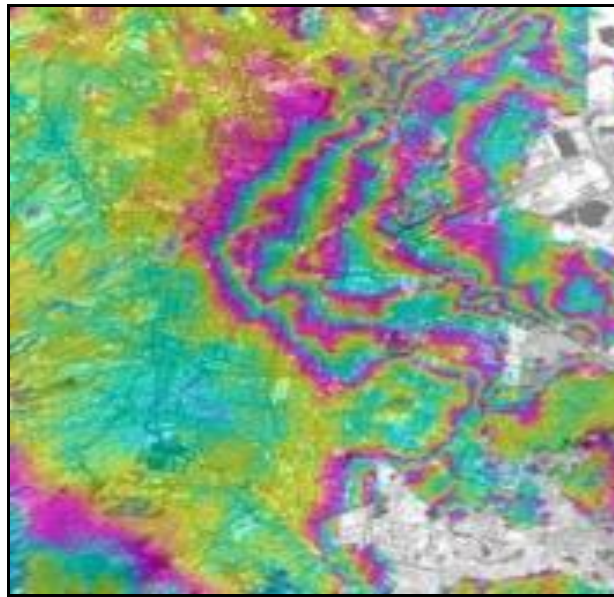


Imagen 20 Interferograma de la CDMX que muestra las zonas que presentan subsidencia del terreno. (Geofísica UNAM, 2022)

La secuencia de colores rojo-amarillo-azul de las franjas desde el centro del patrón indica que el objetivo se alejó del satélite y, en el orden inverso, azul-amarillo-rojo indica que el objetivo se movió hacia el satélite. Si el satélite viaja desde el Norte hacia el Sur (órbita descendente), el objetivo se aleja del satélite cuando hay un hundimiento o un movimiento hacia el oeste, y hacia el satélite si hay un levantamiento o un movimiento hacia el este. (Organización de las Naciones Unidas, s. f.), en cambio si es de manera ascendente se refleja de manera inversa, hundimiento hacia este y acercamiento hacia el oeste.

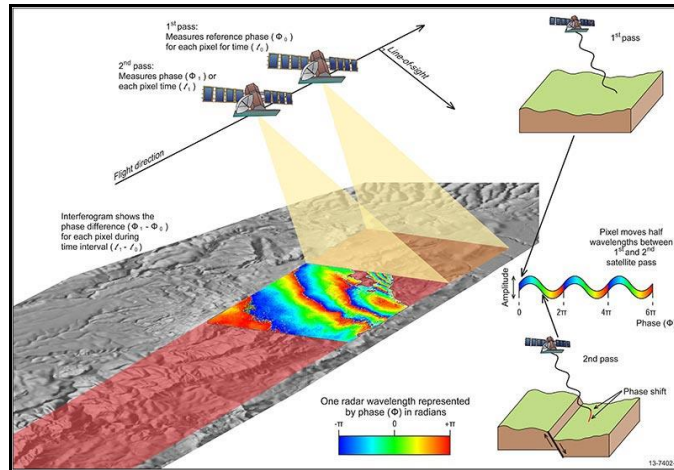


Imagen 21 Interferograma Creado Mediante El Uso De Dos Imágenes de SAR. (Organización de las Naciones Unidas, s. f.)

En La gama de la ingeniería civil, es muy importante tener la noción y las funciones del sistema, debido a la gran utilidad que posee, puesto que ayuda a conocer y monitorear todas aquellas anomalías o deformaciones que se van desarrollando a través del tiempo de una obra de infraestructura en cualquiera de sus fases, es decir, planificación, diseño o construcción. Con la ayuda del sistema satelital InSAR, podemos obtener en cualquier orientación la lectura de datos, ya sea ascendente de sur a norte o descendente de norte a sur.

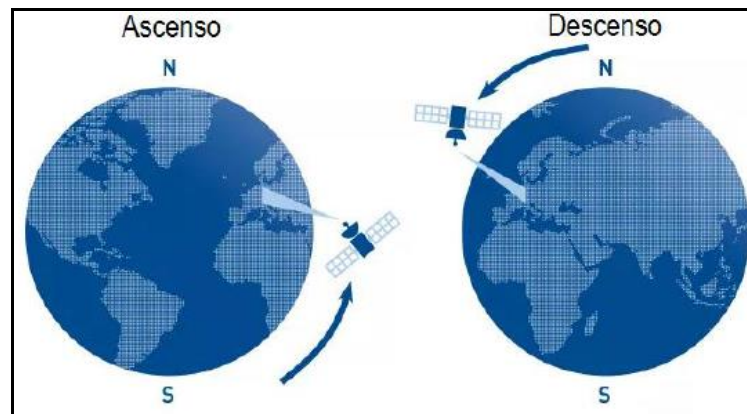


Imagen 22 Adquisición de Datos Satelitales con Geometría Ascendente y Descendente. (Hermosilla Díaz, 2016)

Gracias a esta tecnología la Sociedad Geológica Mexicana, ha hecho investigaciones para poder estudiar el comportamiento del hundimiento que se ha presentado en la Ciudad de México, y como principales ventajas de esta

metodología, encontraron que brinda una visión sinóptica del proceso de hundimiento y permite generar productos que poseen una alta resolución espacial que difícilmente puede ser obtenida con métodos convencionales.

El problema principal, como se había mencionado anteriormente, es la explotación del agua subterránea para abastecimiento a la población es el principal factor que ocasiona un potencial daño a la infraestructura del país, poniendo en riesgo la seguridad del usuario o edificaciones vecinas debido a la probable falla y colapso de las estructuras por la deformación ocasionada por las subsidencias que la Ciudad presenta a causa de la reducción en la presión de poro dentro de las arcillas que se encuentran dentro del suelo. Es por ello que el estudio a fondo de esta metodología es esencial para crear planes de protección, de la manera en que se lleva a cabo la extensión territorial y del uso de suelo, acompañado con un plan de mantenimiento periódico a las estructuras primordiales del país, como son todos los sistemas de transporte colectivo, uno de ellos que se ha mencionado es el Sistema de Transporte Colectivo Metro, pues ya ha notado ser una de las estructuras que en los últimos años ha presentado diversas fallas y accidentes que provocan la pérdida material, económica y de vidas, en el cual puede existir una responsabilidad por las deformaciones en el sistema debido a su mala calidad en los procesos constructivos, pero también por las deformaciones que el subsuelo o las áreas de desplante de las vías del metro pueden sufrir debido a las subsidencias.

De acuerdo con el trabajo de investigación de Cabral Cano et al. (2011), indica que desde el uso de la tecnología SAR en el 96 se presentaron datos que rebasaron los -370 mm/año en la zona oriente, en el centro histórico se detectaron tasas de hundimiento de los -92 a -115 mm/año, y dichas tasas se encontraron muy cerca de las reportadas en los años 50 con tasas de -400 mm/año, en dicha ocasión se tomaron acciones de mitigación donde la veda de extracción de agua del centro de la Ciudad fueron implementadas, orillando

al gobierno actual de esos años a buscar una nueva manera de abastecer la demanda de agua de la población.

Las ventajas de los mapas generados a partir del análisis InSAR, en especial los de gradiente horizontal, radican en que es posible detectar movimientos diferenciales que generan esfuerzos de cizalla en la superficie del suelo, en estructuras civiles o en ductos y tuberías subterráneas, (Cabral Cano et al., 2011). Sin embargo, los mapas que se obtienen de gradiente de subsidencia, no nos indican un riesgo potencial puesto que solo indican el comportamiento geológico que la tierra presenta, por lo que solo funcionan de manera predictiva ayudando a detectar la posible existencia de generarse un riesgo de daño severo a la infraestructura.

En la siguiente figura, podemos ver la combinación entre los mapas de subsidencia y de gradientes horizontales con un periodo de 2005 a 2006 de la Ciudad de México, con el objetivo de centrar las posibles zonas que tendrían más probabilidades de fallamiento, clasificándolos como bajo, medio y alto, dichas zonas tuvieron marcado subsidencias de -360mm/año.

La imagen muestra una mayor concentración de riesgo en la zona del Aeropuerto Internacional y Bosques de Aragón que zona aquellos asentamientos que se originaron en zonas lacustres, también considerando la Delegación Gustavo A. Madero donde se encuentra el Cerro conocido como del Tepeyac, zona donde se encuentra la vieja y nueva Basílica de Guadalupe, donde se conocen las deformaciones que ha sufrido el viejo templo.

En las zonas de alto riesgo, la existencia de diversas estructuras que van desde transporte público, casa habitaciones, edificaciones comerciales, etc., no permiten generar un plan de reestructuración debido a la cercanía entre cada una de las construcciones. Estos acontecimientos son evidencia de la gran responsabilidad que la supervisión de obra tiene a su cargo, la calidad de las construcciones dependen del estricto cumplimiento de todos los

reglamentos y leyes que apliquen al campo de la ingeniería civil, para poder proporcionar un bajo riesgo en adversidades que no pueden ser controladas por el poder humano, como es el caso de las subsidencias que por el incremento de carga en la presión de poro, pueden crear fallas y deslaves en épocas de precipitaciones extraordinarias.

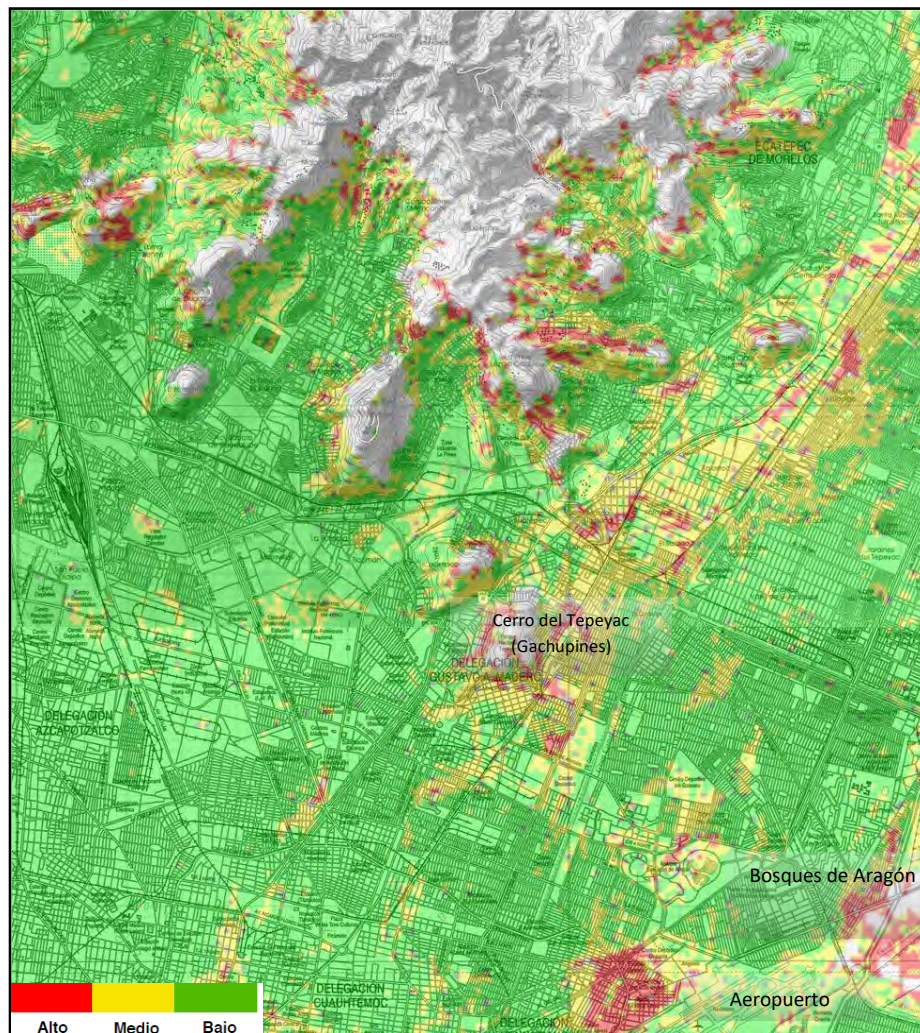


Imagen 23 Mapa generado de peligro de fallamiento a partir de mapas de subsidencias y gradientes horizontales, (Modificada de Cabral Cano et al., 2011).

IV.IV Aplicación de la Técnica InSAR para la obtención de datos de deformación en las zonas aledañas a la autopista de Texcoco.

Durante el estudio de este sistema se realizaron análisis con ayuda de la empresa Inersia, la cual su cede principal se encuentra en Barcelona, pero tiene presencia en México y otras partes del mundo.

Inersia utiliza licencias para el uso de sistema satelital tipo Sentinel y los de alta resolución, la cual permite utilizar medidas InSAR con precisión en un rango de 3 a 5 mm en la lectura de las deformaciones ocasionadas por las subsidencias, la cual es considerada una precisión de excelente calidad dentro de las mediciones que los sistemas satelitales proporcionan.

Los datos históricos que se pueden encontrar datan del año 2015, lo cual puede crear gráficos del comportamiento de deformación en las zonas de interés a través de los años dando la oportunidad de analizarla y estudiarla.

La periodicidad con la que la captura de datos puede ser en rango semanal, mensual, semestral, anual, etc. Proveyendo la medición de infraestructura en general como puentes, viaductos, líneas ferroviarias, carreteras y autopistas, aeropuertos y presas, también infraestructura lineal como gaseoductos y oleoductos las cuales podrían ser de mucha utilidad para el monitoreo de la infraestructura de PEMEX, además es posible el monitoreo constante durante las etapas del proceso de construcción para poder mantener un claro enfoque en el comportamiento del terreno natural ante el asentamiento por la sobrecarga y liberación de los esfuerzos naturales a las que se sometía el subsuelo, dándole la capacidad al equipo de construcción y a la supervisión de dar un mejor reporte de seguimiento de la obra y análisis del comportamiento de la estructura de la que se trate, como por ejemplo los taludes, que son los elementos que más inestabilidad presentan, teniendo un alto riesgo de falla y deslizamiento.

La calidad de imagen que se proporciona es de 3x3 m², cubriendo un rango de 200 km² de imagen satelital, teniendo algoritmos inteligentes para poder integrar sistemas de alerta temprana, lo cual es muy funcional para ser predictivos a cualquier adversidad o accidente posible.

Al realizar la captura de los datos de la deformación del suelo con imágenes de radar (InSAR), se realiza un análisis detallado de cada uno de los puntos que presenten un riesgo, detectando alertas de posibles desplazamientos en

los puntos estudiados. De igual manera a pesar de la precisión de las lecturas, la información puede ser correlacionada *in situ* con distintos métodos más tradicionales. Con ayuda de diferentes softwares para visualizar los resultados en 3D, facilitan la visualización de las nubes de puntos que se obtienen en formato GIS-DXF-Shapefile-CSV, siendo los más reconocidos y usados en el medio.

Para el análisis de estudio de esta tesis y ejemplificación del uso del InSAR, se tomó en consideración el Circuito Exterior Mexiquense, que se clasifica con la nomenclatura A4, la cual cuenta con 4 carriles, 2 por sentido, la cual conecta con Puebla, Morelos, Hidalgo, Toluca y Querétaro, contando con una longitud total de 110.78 kilómetros, concesionada a Concesionaria Mexiquense, S. A. de C. V., el último TDPA ponderado reportado en enero del presente año fue de 41, 853 vehículos. La inversión para dicho circuito fue aproximadamente de más de 3 mil millones de pesos y actualmente se plantea una inversión por parte del Estado de México de más de 7 mil millones para la conexión del Circuito Exterior Mexiquense (CEM) con el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (AIFA).



Imagen 24 Ubicación del Tramo en Operación del CEM. (Circuito Exterior Mexiquense, 2023)

Con la tecnología InSAR se realizó las capturas de dos estructuras dentro del CEM, que contó de un tramo carretero que se contempla aproximadamente a partir del km 48 dirección Parque Ecológico Lago de Texcoco a la caseta Las Américas y un Paso Inferior Vehicular (P.I.V.) aproximadamente cerca de la caseta de cobro Entronque Circuito Exterior Mexiquense en el km 14+480.



Imagen 25 Área mapeada con el InSAR (CEM) obtenida de Google Earth.



Imagen 26 Ubicación del puente dentro del CEM obtenida de Google Earth.

En las imágenes 25 y 26, se muestran las áreas de estudio donde en dichas imágenes obtenidas de Google Earth, se puede apreciar que ambas zonas se encuentran muy cerca del Lago de Texcoco, zona natural y protegida donde se encuentran algunos vestigios de lo que en su momento sería el Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM), el cual fue cancelado y reubicado por el gobierno actual.

Para obtener una medición de las subsidencias se tomó una muestra del año 2021 que se muestra en la imagen 27, en la tabla que se aprecia del lado izquierdo, se encuentra la gama de colores que muestra la representación gráfica del comportamiento del suelo, que van desde los diferentes tonos azules a rojos. El comportamiento que se observa era el esperado de acuerdo al territorio, el cual se encuentra en una zona lacustre.

En el área del depósito de evaporación solar “El Caracol”, Ciudad Azteca 1ra Sección y el Parque Ecológico Lago de Texcoco son las unidades vecinas a la construcción de la autopista en cual de acuerdo a la clasificación proporcionada por la gama de colores se puede determinar una subsidencia que va de -6 a -18 cm, lo que quiere decir que se ha desarrollado un hundimiento en el periodo de marzo a septiembre de 2021, quedando una muestra de manera semestral, en la imagen se puede concluir que toda la zona presenta la deformación.

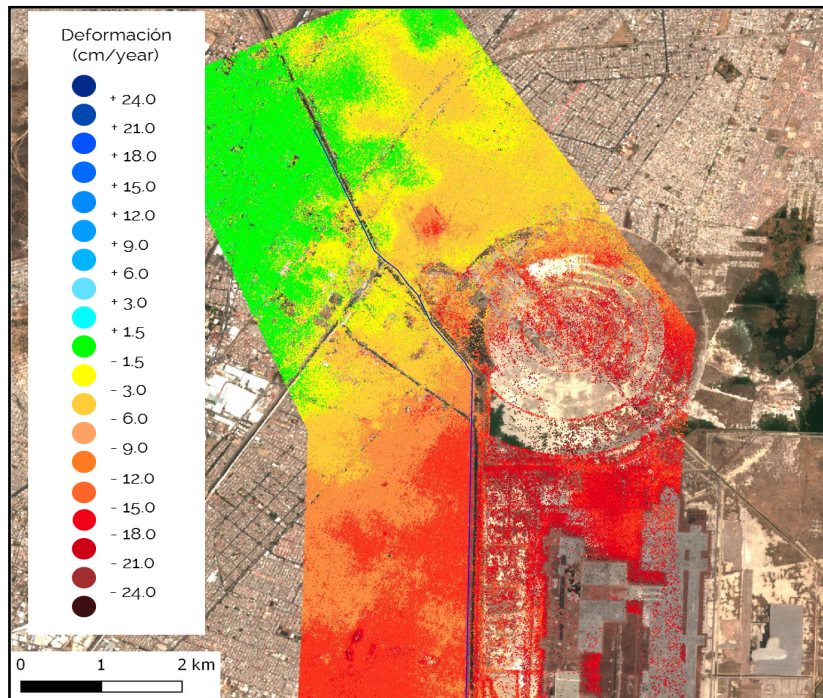


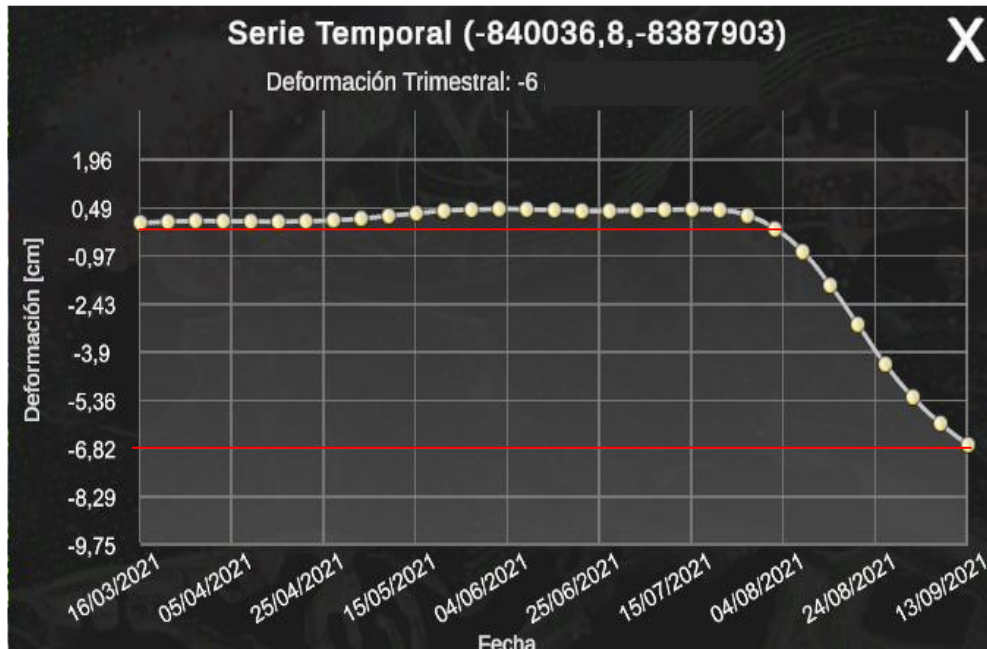
Imagen 27 Puntos de interferograma que muestra las subsidencias. (Imagen proporcionada por Inersia).

Esta nube de puntos aparte de dar un panorama general de la zona como se mencionó, ayuda a tener información de cualquier punto en específico dentro de la captura de puntos. Para este caso, se seleccionó un punto dentro del tramo carretero donde se presenta una concentración de subsidencias negativas.



Imagen 28 Punto de estudio dentro del tramo carretero. (Imagen proporcionada por Inersia)

Al realizar graficar el comportamiento se obtuvo la siguiente curva de deformación:



Gráfica 7 Deformación del punto de estudio de marzo a septiembre del 2021. (Imagen proporcionada por Inersia)

La gráfica muestra que, de marzo a septiembre de 2021 se tuvo una deformación exponencial en los últimos dos meses de 6 cm, iniciando en el mes de agosto de 2022 con una lectura de 0.82 cm y curiosamente se puede observar que de acuerdo con las lecturas dentro del periodo existió una dilatación muy pequeña y después volvió a deformarse.

Dichas deformaciones son muy probablemente producto de la sobre explotación del agua en la zona del lago de Texcoco, sin embargo, la verdadera razón de la formación de una subsidencia súbita no es posible de detectar sin un estudio a fondo, que ayude a identificar el principal factor causante de estos fenómenos ya sean naturales o causados por el hombre.

En la imagen 29 se muestra una nube de puntos modificada para mostrar únicamente las proyecciones de interés dentro del puente que se encuentra próximo a la plaza de cobro del Entronque – Peñón.

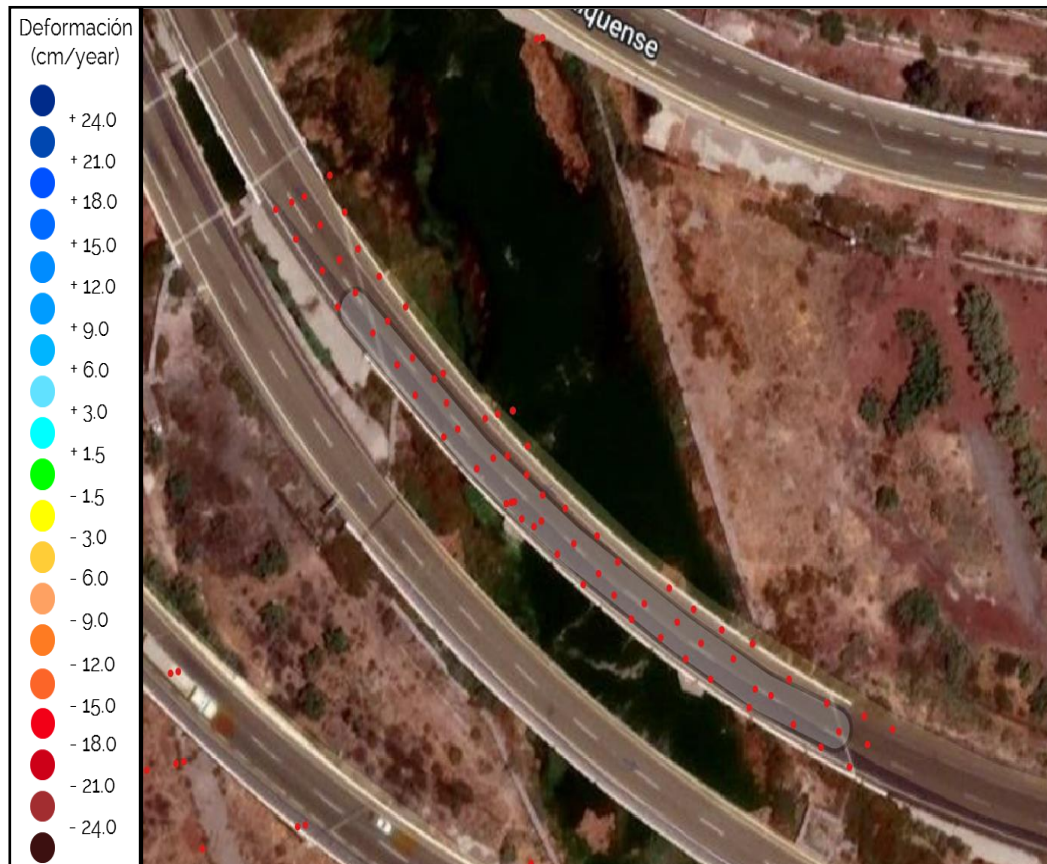


Imagen 29 Nube de puntos de la deformación del puente en el CEM. (Imagen proporcionada por Inersia)

El tramo de la estructura que se seleccionó se encuentra un puente que cruza un cuerpo de agua en las cercanías del lago de Texcoco, en la imagen 25 se aprecia una vista en tercera dimensión obtenida del Google Earth.

Con ayuda del satélite se pudo realizar una captura de puntos importantes dentro de la estructura, su particularidad es debido a su cercanía al cuerpo de agua y al terreno más inestable que se encuentra en los límites entre la Ciudad de México y Estado de México, como bien se sabe la mayoría de los materiales encontrados ahí son orgánicos, arcillosos y expansivos, lo que es muy desfavorable para el desplante de las construcciones sin importar su dimensión y complejidad.

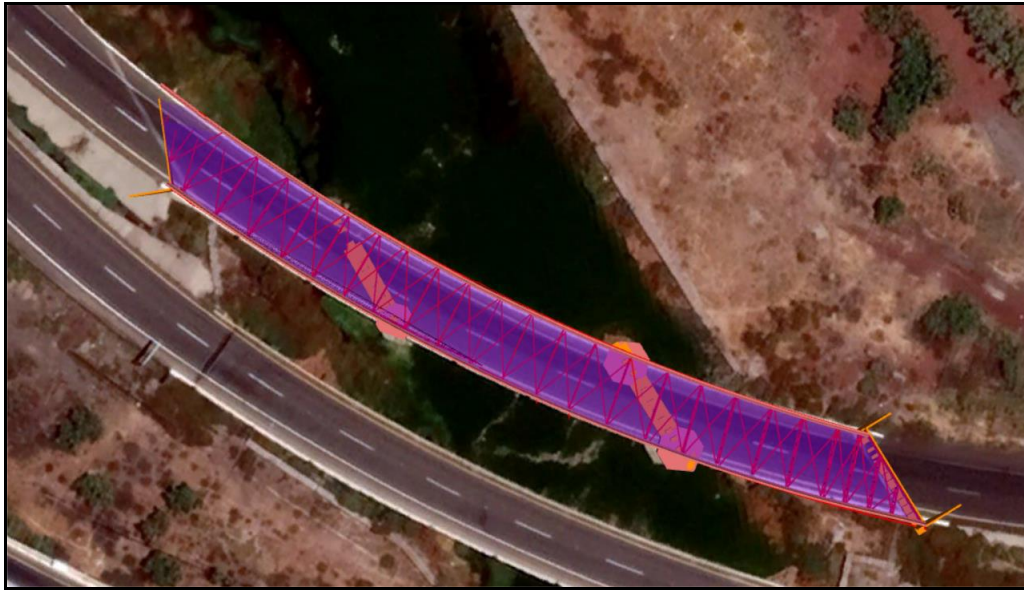


Imagen 30 Mapeo y unión de los puntos dentro de la estructura. (Imagen proporcionada por Inersia)

Una vez obtenidos los rebotes o puntos dentro del puente, se utilizó un software que ayudo a formar una malla de puntos sombreando el área de análisis, se ejecuta de esta manera debido a que el análisis de una estructura se ejecuta como si fuera un solo cuerpo, puesto que la deformación en un punto afectara a los demás puntos y sus deformaciones por venir, por otra parte, en la imagen 30 se puede apreciar los cabezales y columnas que soportan la estructura en un color naranja.

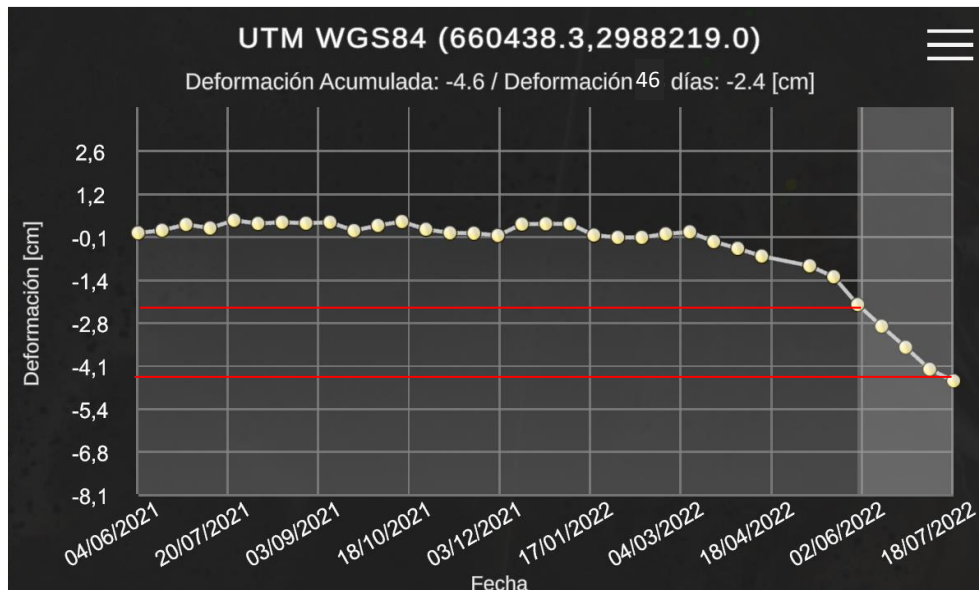
De acuerdo al análisis anterior se realiza la misma acción para seleccionar un punto dentro del cabezal que se encuentra al lado izquierdo de la imagen para ejemplificar la situación actual de la estructura. Al igual que en la autopista se puede analizar cualquier punto que se desee de los disponibles en la malla para estudiar el comportamiento de cada uno de ellos.

En la imagen 31 se presenta a continuación el punto que se seleccionó para obtener el gráfico de deformación.



Imagen 31 Selección de punto sobre la estructura. (Imagen proporcionada por Inersia)

Al obtener el gráfico con ayuda del WGS84 el cual es un sistema de referencias de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto sobre la tierra, podemos ver el siguiente comportamiento del punto seleccionado dentro del periodo de junio de 2021 a julio de 2022:



Gráfica 8 Deformación del punto de estudio en el CEM de marzo a septiembre del 2021. (Imagen proporcionada por Inersia)

El punto de estudio muestra una deformación de 2.4 cm a inicios de junio de 2022 y posteriormente de 4.6 cm para el 18 de julio de 2022, es decir aproximadamente en 1.7 cm en 46 días.

Esta deformación no es favorable para la estructura, sin embargo, a escasos metros de la zona del lago de Texcoco, podría ser comprensible la subsidencia causando la deformación, probablemente la cimentación a base de pilotes para las columnas fueron diseñadas como cuerpos a base de carga por punta y fricción lateral. Otra posible razón podría ser lo que de acuerdo con Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica: un caso muy común es el de las estructuras proyectadas en zonas de rellenos construidos sobre depósitos compresibles (accesos de puentes, edificios industriales en áreas inundables, estructuras portuarias, etc.) en el que la fricción negativa (aquella ejercida por el subsuelo al “colgarse” de los pilotes en su movimiento descendente) puede anular gran parte de la capacidad de carga útil de dichos pilotes. (Correa Rachó & Órgano Oficial de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C., 2021).

Algunas de las razones pudieron ser que durante la ejecución de los trabajos se pudo omitir la calidad que se requería dentro de estudios de mecánica de suelos y geotécnicos, para el tipo de estructura con las características presentadas, dentro de la zona y tipo de suelo en el que se encuentra, en el peor de los casos la palabra “Corrupción” puede ser sonada en obras ingenieriles que implementan grandes cifras de dinero. Para ello la implementación de este tipo de herramientas es más sencillo para poder minorizar todas las acciones y vicios negativos para saber el origen de la razón de las subsidencias y deformaciones.

Cualquiera que fuera el caso por el cual la estructura presenta una deformación, no podemos dejar de lado la supervisión y calidad de los procesos constructivos que presentan las estructuras con dicha complejidad, por ello es importante mantener la relevancia de la importancia del constante monitoreo para identificar subsidencias importantes, prediciendo

deformaciones una vez construida la infraestructura de cualquier tipo, por lo que el InSAR podría ser aquella herramienta que ayude a disminuir los conflictos que se presentan, haciendo hincapié una vez más que el sistema permite medir las anomalías que el subsuelo presente incluso durante el proceso de ejecución de los trabajos.

V. CONCLUSIONES

La supervisión a pesar de no parecer una parte esencial al tratarse de un servicio externo que se brinda a la obra es un auxiliar a las residencias de obra y las empresas contratistas que brindan sus servicios para construir cualquier tipo de infraestructura, la función principal es la de tener un control y formar un expediente completo que ayude a tener un panorama de los pagos, cobros, ajustes de costos, avances físicos-financieros, conflictos sociales y de los mismos trabajos por modificaciones de cualquier índole, planos as built, mecánica de suelos, etc., sin embargo, aún se siguen haciendo trabajos de una manera muy tradicional y falta un profundo análisis de nuevas herramientas que auxilien a la supervisión y residencias de obra en general, es necesario mencionar que la tecnología siempre intentará beneficiar más a la infraestructura, nuevos programas de diseño, monitoreo e incluso aquellas que ayuden a manejar de manera más óptima los recursos económicos. Pero como se vio a lo largo de este trabajo es necesario modificar el marco legal aplicable e implementar planes educativos innovadores que permitan iniciar a los futuros ingenieros con diversos enfoques para poder desarrollar técnicas que solo en campo son posibles de conocer.

Después de realizar la investigación y elaborar ciertos estudios con ayuda de la empresa Inersia, podemos obtener claramente las siguientes ventajas de la medición de subsidencias vía satelital:

1. Este sistema ayuda a que la supervisión de las obras antes, durante y después de su construcción, sea de manera preventiva por lo que;
2. Al analizar las deformaciones del suelo ayudará a obtener una mejor optimización en los mantenimientos, reparaciones, desarrollos de proyectos y mejores interpretaciones en los estudios geotécnicos, al mantener un historial de la naturaleza geológica ayudando;
3. Eventualmente que, al tener la información del punto anterior, los gobiernos y las administraciones responsables del mantenimiento de la infraestructura

sean capaces de disminuir considerablemente el riesgo de cualquier accidente, detectando a tiempo una acelerada deformación en cualquier punto cercano o dentro de la infraestructura de interés.

4. Por otra parte, al conocer estos picos acelerados de deformación ayuda a concentrar de mejor manera los recursos al estudio de las zonas más vulnerables, investigando, analizando y detectando los posibles focos de origen a las deformaciones.
5. Para finalizar el costo-beneficio de este tipo de sistema es considerable, debido a que el satélite Sentinel-1 proporciona imágenes sin costo alguno en la banda C con la resolución antes mencionada, las cuales son importantes debido a que el número de imágenes requeridas para hacer un análisis completo ronda entre las 30 a 60, y los costos por imagen son de aproximadamente de 20 a 30 mil pesos, sin incluir la computadora y el personal capacitado requerido para la interpretación de la información, podría ascender hablando en números generales de los \$200,000.00 a \$1,000,000.00 de pesos aproximadamente y no requiere de instalaciones pues es un sistema de monitoreo remoto. Esto en comparación con el gasto que se ha generado a lo largo de los años por accidentes creados por mal diseño, deformaciones, entre otros fenómenos, en donde los gastos generados son 10 o 20 veces mayores al costo por un monitoreo InSAR, regresando al caso de la línea 12 del metro la cual ha reportado aproximadamente \$800,000.00 de pesos en la reparación más gastos por indemnización, pudieron haber sido evitados con ayuda de este tipo de herramienta.

En el país se requiere de un cambio en la opinión pública y mejores planes de desarrollo que permitan mantener a la población con servicios dignos y sobre todo seguros, es por ello que realizar contratos o programas en donde personal capacitado y experto en supervisión sea capacitado en este tipo de herramientas para tener un monitoreo constante y poder tener planes de acción preventivos y no correctivos.

BIBLIOGRAFIA

Aguilar Idáñez, M. J. (1994). *Introducción a la Supervisión* (Argentina ed.). LUMEN.

Solís Carcaño, R. G. (2004). La supervisión de obra. *Ingeniería*, 8(1).
<https://www.redalyc.org/pdf/467/46780106.pdf>

Feld Jacob. (1964). “Lessons from Failures of Concrete Structures”. ACI, Detroit. Pág. 52.

Ley De Obras Públicas Y Servicios Relacionados Con Las Mismas. Diario Oficial De La Federación.

Reglamento De La Ley De Obras Públicas Y Servicios Relacionados Con Las Mismas. Diario Oficial De La Federación.

Porras Godínez, D. H. (2013). Supervisión de obra: conflictos y posibles soluciones [Tesis de Maestría en Ingeniería]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Carpio Utrilla, C. (2003). La administración en la supervisión de la obra y el control de calidad. Área de Investigación Administración y Tecnología para el Diseño de la UAM. Recuperado 5 de octubre de 2022, de https://administracionytecnologiaparaeldiseno.azc.uam.mx/publicaciones/2003/3_2003.pdf

Informe Individual del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2020, Trabajos de Construcción y Obras Complementarias del Tramo 3 del Tren Interurbano México-Toluca, en la Ciudad de México, Auditoría De Cumplimiento a Inversiones Físicas: 2020-0-09100-22-0359-2021 359-DE

Auditoria Superior de la Federación. (2012, marzo). PROBLEMÁTICA GENERAL EN MATERIA DE OBRA PÚBLICA. En Informes de la Auditoria Superior de la Federación. Recuperado 6 de octubre de 2022, de https://www.asf.gob.mx/Section/46_Informes_y_publicaciones

Informe Individual del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2021, Ampliación de la Línea 1 del Tren Suburbano Lechería-Jaltocán-AIFA, en el Estado de México, Auditoría De Cumplimiento a Inversiones Físicas: 2021-0-09100-22-0286-2022

Sánchez Gutiérrez, R. (1993). SUPERVISIÓN TÉCNICA Y ADMINISTRATIVA DE OBRAS [Tesis de Licenciatura]. Instituto Tecnológico de La Construcción, A.C.

Guerrero Texcotitla, A. E. (S. F.). Metodología Para La Correcta Supervisión De Obra [Tesina De Licenciatura]. Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior De Ingeniería Y Arquitectura Unidad Tecamachalco.

Cortés, R. (2020, 23 julio). El rol de la supervisión en obras de infraestructura. Moviliblog. Recuperado 10 de octubre de 2022, de <https://blogs.iadb.org/transporte/es/el-rol-de-la-supervision-en-obras-de-infraestructura/>

Gobierno de México. (2018, 7 septiembre). 344. Se ubica en México el hospital más antiguo de América. Prensa de la Secretaría de Salud. <https://www.gob.mx/salud/prensa/344-se-ubica-en-mexico-el-hospital-mas-antiguo-de-america#:~:text=El%20Hospital%20de%20Jes%C3%BAAs%20fue,de%20la%20poblaci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20necesitada.>

Hvac&R, R. M. (2015, 10 diciembre). El ciclo de vida de las edificaciones y su importancia ambiental, operativa y financiera. Recuperado 11 de octubre de 2022, de <https://www.mundohvacr.com.mx/2015/12/el-ciclo-de-vida-de-las-edificaciones-y-su-importancia-ambiental-operativa-y-financiera/>

de obras civiles. (2019, 15 julio). Mantenimiento. Recuperado 11 de octubre de 2022, de <https://mantenimiento.win/mantenimiento-de-obras-civiles/>

Guzmán, C. S. (2021, 19 octubre). Colapso en Línea 12 del Metro fue originado por errores en construcción: Fiscalía CDMX. NOTICIAS | Capital 21, de <https://www.capital21.cdmx.gob.mx/noticias/?p=27897>

Rodríguez, R. (2022, 4 mayo). Un año del colapso en la Línea 12 del metro de la Ciudad de México: qué pasó y cómo avanzan las investigaciones. CNN, de <https://cnnespanol.cnn.com/2022/05/03/colapso-linea-12-metro-ciudad-de-mexico-orix/>

F. Morales, R. (2013). DEFORMACIONES DE LAS ESTRUCTURAS. UNIVERSIDAD DE MENDOZA. <https://core.ac.uk/download/pdf/268219527.pdf>

Qué es la gerencia de proyectos | IEP. (s. f.), de <https://www.iep-edu.com.co/que-es-gerencia-de-proyectos/>

Kourmentza, E. (2020, 6 febrero). Descripción del puesto: Gerente de construcción (m/h/x). Recruiting Resources: How to Recruit and Hire Better, de <https://resources.workable.com/es/gerente-de-construccion-descripcion-del-puesto>

Pensemos S.A. (2021, 14 mayo). Herramientas Gerenciales, de <https://pensemos.com/herramientas-gerenciales/>

Audeves Pérez, S. A., Solís Carcaño, R. G., Álvarez Romero, S. O. & Martínez Álvarez, A. (2013). CAUSAS DE FALLAS CONSTRUCTIVAS PRESENTADAS EN PROYECTOS VIVIENDAS. Compilación artículos de administración y tecnología para la arquitectura, 117-133.

https://administracionytecnologiaparaeldiseno.azc.uam.mx/publicaciones/comp_2013/06.pdf

Figuroa Palacios, E. J. & Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. (2020, marzo). Planeación: Las desviaciones en los proyectos y sus causas. IC Ingeniería Civil, 606(Año LXIX), 20-24.

Duque Ruiz, R. & Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. (2020, marzo). Planeación: Gerencia de Proyecto en el PH Coca Codo Sinclair, Ecuador. IC Ingeniería Civil, 606(Año LXIX), 30-34.

BBC News Mundo. (2019, 25 febrero). Coca Codo Sinclair: los problemas de la multimillonaria represa que China construyó en Ecuador, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-47144338>

Arencibia Fernández, J. M. (2007, abril). Conceptos fundamentales sobre el mantenimiento de edificios. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 1(1), 1-8. <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193915927005.pdf>

¿Qué son los mecanizados de precisión? (2020, 29 enero). Mecánica Curiel. <https://mecanicacuriel.com/2020/01/29/que-son-los-mecanizados-de-precision/>

Interferómetro de Michelson. (2022, 2 septiembre). Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Interfer%C3%B3metro_de_Michelson

Otras propiedades de las ondas. (s. f.). Apple Support. <https://support.apple.com/es-mx/guide/mainstage/lgsife418f71/mac>

Interferometría. (2017, 17 diciembre). [Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=3mQSNS65B9c>

G-INPRO. (2016, 14 septiembre). Como Se Reprograma Un Proyecto Con Project o Primavera P6 | G-INPRO. G-INPRO | Gestión e Ingeniería de Proyectos. <https://g-inpro.com/como-se-reprograma-un-proyecto-con-project-o-primavera-p6/>

UNIV. (2017, 5 agosto). «Incumple SCT plazo para peritaje de socavón». www.noroeste.com.mx. <https://www.noroeste.com.mx/nacional/incumple-sct-plazo-para-peritaje-de-socavon-NTNO1094229>

Londoño, C. (2022, 8 julio). INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO. 360 EN CONCRETO. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/inspeccion-y-mantenimiento-de-estructuras-en-concret/>

Morken Group. (2022, mayo). MONITOREO DE MOVIMIENTO DE SUELOS Y DEFORMACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE EL SENSEO DISTRIBUIDO CON FIBRA ÓPTICA.

https://www.morkengroup.com/case_study/monitoreo-de-movimiento-de-suelos-y-deformacion-estructural-mediante-el-senseo-distribuido-con-fibra-optica/

Auvinet, G., Méndez, E., & Juárez, M. (2019). Hundimiento regional en el Valle de México. *Geotecnia*, 252, 21-24. <https://smig.org.mx/archivos/revista-trimestral-smig/revista-geotecnia-smig-numero-252.pdf>

Benítez, V. (2015, mayo). Sistema de Monitoreo de la Piezometría y de los Hundimientos del Valle de México por extracción de Agua Subterránea. Instituto de Ingeniería, UNAM. <http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/Mayo2015/Paginas/SistemadeMonitoreodelaPiezometria.aspx>

Laboratorio de Geoinformática, Instituto de Ingeniería, UNAM. (2015). SIMOH. Sistema de Monitoreo de la Piezometría y de los Hundimientos del Valle de México por Extracción de Agua Subterránea. <http://proyectos2.iingen.unam.mx/SIMOH/default.aspx>

El Punto Crítico. (2017, 20 julio). Hundimientos en CDMX podrían colapsar construcciones. <https://www.elpuntocritico.com/world/94-ciudad/149079-hundimientos-en-cdmx-podr%C3%ADan-colapsar-construcciones>

Soto, J. (2021, 28 enero). ¿Qué es un sistema LiDAR? Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sistema-lidar/>

LidarMag-Editor. (2023, 19 enero). Tennessee Feasts on 3DEP. LIDAR Magazine. <https://lidarmag.com/2022/12/23/tennessee-feasts-on-3dep/>

YellowScan. (2021, 17 diciembre). Sistemas de mapeo de UAVs LiDAR para Ingeniería Civil. <https://www.yellowscan-lidar.com/es/applications/civil-engineering/>

Di Giandomenico, S. (2022, 20 diciembre). Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) technology. Geostock. <https://www.geostockgroup.com/en/interferometric-synthetic-aperture-radar-insar-technology/>

European Space Agency. (2014, 26 febrero). Radar de apertura sintética (SAR). ESA Eduspace. https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_ES/SEMVKXF64RH_0.html

Geofísica UNAM. (2022). InSAR. CARDI. <http://cardi.geofisica.unam.mx/card/styled-2/index.html>

Detektia. (2022, 5 diciembre). InSAR Radar interferométrico de apertura sintética. <https://detektia.com/insar/>

- Gómez Martín, E. (2021). Interferometría de imágenes radar de apertura sintética aplicada al estudio de deformación superficial del terreno: región de Bío-Bío, Chile. [Tesis de Maestría]. Universidad de Salamanca.
- Hermosilla Díaz, D. E. (2016). Interferometría Radar De Apertura Sintética (InSAR) Aplicada Al Estudio Del Movimiento En Laderas Aledañas Al Volcán Calbuco Con Ayuda De Imágenes Sentinel-1A [Tesis Para Optar Al Título De Ingeniero En Aviación Comercial]. Universidad Técnica Federico Santa María Academia De Ciencias Aeronáuticas.
- Organización de las Naciones Unidas. (s. f.). Aplicación de datos del mes: Mapeo de Deformación del Terreno Usando DInSAR | UN-SPIDER Knowledge Portal. Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge Portal. <https://un-spider.org/es/enlaces-y-recursos/fuentes-de-datos/daotm-mapeo-deformacion-dinsar>
- Santos Basurto, R. (2015). Interferometría de Radar de Apertura Sintética (InSAR) aplicada a una caldera volcánica: Los Humeros Puebla - México [Tesis para obtener el título de ingeniero geofísico]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cabral Cano, E., Díaz Molina, O., & Delgado Granados, H. (2011). Subsistencia y sus mapas de peligro: Un ejemplo en el área nororiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, 63(1), 53-60.
- InSAR | Inersia Monitoring | Barcelona. (s. f.). Inersia Monitoring. <https://www.inersiamonitoring.com/>
- Circuito Exterior Mexiquense. (2023). Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares. <https://saascaem.edomex.gob.mx/circuito-exterior-mexiquense>
- Correa Rachó, J. J. & ÓRGANO OFICIAL DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, A. C. (2021). Pilotes telescópicos. Geotecnia, 261, 13-15. <https://www.smig.org.mx/archivos/revista-trimestral-smig/revista-geotecnia-smig-numero-261.pdf>
- Guzmán Acevedo, G. M., Quintana Rodríguez, J. A., Gasca Zamora, H. M., Carrión Viramontes, F. J., Martínez Trujano, Hernández Figueroa, J. A., Hernández Guzmán, A., Valenzuela Delgado, J. I., & Anaya Díaz, M. (2020). Análisis del potencial de tecnología satelital InSAR para el monitoreo de la infraestructura carretera (Vol.593).<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt593.pdf>