



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Planeación y logística de los  
estudios de Geotecnia**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Dario de Jesús Ramírez Taxis

**ASESOR DE INFORME**

Ing. Marcos Trejo Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I. EL ESTUDIO DE GEOTECNIA DENTRO DEL PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL .....	2
I.I EL PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL .....	2
I.II EL ESTUDIO DE GEOTECNIA COMO UNO DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS .....	3
CAPÍTULO II. EL ESTUDIO DE GEOTECNIA .....	5
II.I OBJETIVO Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA.....	5
II.II AUSENCIA DEL ESTUDIO .....	6
II.III RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	6
II.IV ESTRUCTURA DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA .....	8
II.V TRABAJOS DE CAMPO .....	9
II.V.I TRABAJOS PREVIOS .....	9
II.V.II EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA, MUESTREO Y PRUEBAS DE CAMPO.....	10
II.VI LABORATORIO .....	17
II.VII ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	22
CAPÍTULO III. LA RELACIÓN CON EL CLIENTE PARA UNA PLANEACIÓN EFECTIVA. 24	
III.I EL CLIENTE DE UN DESPACHO DE GEOTECNIA .....	24
III.II MODELO DE LA RELACIÓN CON EL CLIENTE .....	25
III.III CANALES DE COMUNICACIÓN CON EL CLIENTE .....	26
III.IV RELACIÓN CON EL CLIENTE DURANTE LA GESTIÓN DEL ESTUDIO .....	27
III.V RELACIÓN CON EL CLIENTE EN EL DESARROLLO DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA.....	28
CAPÍTULO IV. PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA.....	29
CAPÍTULO V. LA PLANEACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE GEOTECNIA .....	37
V.I CARACTERÍSTICAS DEL PLAN DE ESTUDIO .....	37
V.II DEFINICIÓN DE ALCANCES Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA.....	38
V.III PLANEACIÓN DE LA PROPUESTA TÉCNICA DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA ....	38
V.III.I CAMPAÑA O PROGRAMA DE TRABAJOS DE CAMPO .....	39
V.III.II PROGRAMA DE PRUEBAS DE LABORATORIO .....	44

V.IV PLANEACIÓN DE LA PROPUESTA ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA .....	45
CAPÍTULO VI. LOGÍSTICA DE LA EJECUCIÓN DE LOS ESTUDIOS DE GEOTECNIA .....	48
VI.I LA LOGÍSTICA EN UN DESPACHO DE GEOTECNIA .....	48
VI.II LOGÍSTICA EN LA EJECUCIÓN DE UN ESTUDIO DE GEOTECNIA.....	49
CONCLUSIONES .....	56
REFERENCIAS.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estudios básicos de un proyecto de ingeniería civil.	3
Figura 2. Fases de un estudio geotécnico.	8
Figura 3. Pruebas de laboratorio de Geotecnia.	17
Figura 4. Modelo de negocio de un despacho de Geotecnia.	24
Figura 5. Ejemplo de propuesta económica o cotización de un estudio de Geotecnia.	32
Figura 6. Ejemplo de programa de trabajos de un estudio de Geotecnia.	33
Figura 7. Descripción de las secciones de una propuesta técnica económica para particulares.	36
Figura 8. Descripción de las secciones de la propuesta técnica económica presentada en una licitación pública.	36
Figura 9. Tipo de terreno de acuerdo con la prueba SPT.	40
Figura 10. Separación entre puntos de exploración.	41
Figura 11. Criterios de selección de métodos de exploración de acuerdo con el tipo de terreno.	42
Figura 12. Aplicación de los métodos de exploración más usuales de acuerdo con la consistencia y tamaño de las partículas.	43
Figura 13. Criterio de selección de pruebas de laboratorio para su ensayo.	45
Figura 14. Conceptos de trabajo para una propuesta económica de un estudio de Geotecnia.	47
Figura 15. Procesos y actividades logísticas en un estudio de Geotecnia.	48
Figura 16. Elaboración de la estrategia logística de un estudio de Geotecnia.	50

## **OBJETIVO DEL TRABAJO**

El presente trabajo escrito tiene como objetivo describir la función que desempeña la planeación en los estudios de Geotecnia, hacer recomendaciones para llevar a cabo el plan de un estudio geotécnico y elaborar una propuesta técnica económica de los trabajos y detallar sobre la logística que un despacho de Geotecnia debe implementar para la correcta ejecución del plan de actividades, además, se destaca la importancia de la planeación y la logística junto con la comunicación efectiva con el cliente como procesos clave para cumplir con los objetivos y alcances del estudio.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo describe el papel que tienen la planeación y la logística en las etapas de un estudio de Geotecnia, destaca los aspectos que hacen relevantes a estos dos procesos en el desarrollo de uno de los estudios básicos más importantes para un proyecto de ingeniería.

En los primeros capítulos se contextualiza a la investigación geotécnica dentro de la etapa de estudios básicos de un proyecto de ingeniería, se detalla sobre la información que se obtiene al estudiar el subsuelo y se describen los trabajos de cada una de las etapas de desarrollo.

Se analiza el modelo de negocios de un despacho de Geotecnia, a partir de este análisis se destaca a tres procesos fundamentales para la realización de los objetivos del despacho en cada estudio: la planeación, la logística y la comunicación con el cliente. Se argumenta sobre la importancia de la buena relación con el cliente durante la gestión y el desarrollo de todas las etapas del estudio de Geotecnia,

Se describe la función de la propuesta técnica económica como parte de los trabajos de gestión, se detalla el proceso de elaboración de los tres bloques principales que conforman una propuesta (propuesta técnica, propuesta económica y programación de los trabajos), además se presentan las dos modalidades de propuesta utilizadas en la práctica profesional: la presentada ante clientes particulares y la generada para participar en una licitación pública, se describen los elementos que componen a cada sección y se hacen recomendaciones de su elaboración.

En los capítulos más importantes de este trabajo se sugieren criterios para poder planear los trabajos de campo, para elaborar un programa de pruebas de laboratorio y para diseñar una estrategia logística que sea eficiente en la etapa de ejecución de los trabajos, estas sugerencias se hacen con fundamento en la práctica profesional, las recomendaciones de manuales y reglamentos, las normas usadas y los fundamentos geotécnicos y geológicos teóricos.

Finalmente se describen las actividades y los procesos logísticos que un despacho geotécnico debe implementar en el desarrollo del plan de actividades de un estudio geotécnico típico.

## **CAPÍTULO I. EL ESTUDIO DE GEOTECNIA DENTRO DEL PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL.**

La ingeniería civil se encarga de resolver problemas de impacto social a partir de la transformación del medio natural, los ingenieros civiles se encargan de aplicar sus conocimientos en la solución de estos problemas a través del desarrollo y construcción de vivienda, de espacios para esparcimiento, de vías de transporte, de infraestructura para generación y distribución de energía, obras para captar recursos, etcétera.

Ejemplos típicos de las obras civiles y de infraestructura que los ingenieros desarrollan, son las vialidades, puentes, túneles, vasos de almacenamiento, sistemas de abastecimiento de agua, plantas de potabilización, redes de tuberías, edificios, canales, aeropuertos, etc.

La ingeniería civil participa en todas las etapas de una obra de infraestructura: la planeación, el diseño, la organización, la construcción, la operación y la conservación, para la correcta ejecución de estas fases es fundamental desarrollar un proyecto de ingeniería civil que describa el proceso y los medios empleados para desarrollar la obra.

### **I.I EL PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL**

El proyecto de ingeniería civil es un documento en el que se especifica a detalle el proceso y los medios necesarios para poder ejecutar la obra, cada proyecto de ingeniería es distinto de todos los demás, cada uno se distingue por su grado de detalle y su alcance. Para garantizar la integridad de la obra es fundamental desarrollar todas las fases productivas que son necesarias para la correcta ejecución.

- **Fase 1. Ingeniería básica:**

El propósito es reunir, procesar y analizar la información base que será relevante durante el desarrollo del proyecto, además de otros aspectos que son de interés como: requerimientos del cliente, las características del sitio y la normatividad vigente (Haaz, 2014).

La ingeniería básica define los lineamientos generales y las ideas básicas del proyecto, los cuales son los ejes de desarrollo del proyecto ejecutivo o ingeniería de detalle, para la ejecución de los planos constructivos. Se incluyen los siguientes estudios básicos o preliminares: topográfico, hidrológico e hidráulico, geológico y geotécnico, riesgo sísmico, impacto ambiental, entre otros. Los estudios básicos describen “qué se va a hacer”.

- **Fase 2. Análisis:**

El objetivo de esta fase es explorar diversas alternativas de solución con base en la interpretación de la información obtenida en los estudios preliminares de ingeniería básica, para poder seleccionar la solución más adecuada para cumplir con los requerimientos y aspiraciones previamente planteados.

- **Fase 3. Anteproyecto:**

En esta etapa del proyecto, se define a detalle la configuración del espacio y la forma que tendrá la obra, también se definen los sistemas estructurales y constructivos, para lo cual se producen

dibujos, maquetas, cálculos y simulaciones que tienen revisiones con el afán de hacer retroalimentación y llevar a cabo los ajustes pertinentes (Haaz, 2014).

Se requiere la colaboración de especialistas de las áreas de la ingeniería involucradas en forma de consultoría.

- Fase 4. Proyecto ejecutivo o ingeniería de detalle.

Consiste en el desarrollo de los documentos gráficos y escritos que contienen toda la información a detalle necesaria para la ejecución de la obra. La colaboración con los profesionales especialistas en áreas específicas de la ingeniería (p.e. especialistas en Geotecnia) es de gran importancia en esta etapa puesto que detallar las especificaciones es vital, ya que realizar cambios posteriores puede resultar muy costoso (Haaz, 2014).

Los documentos desarrollados en esta etapa son de alto contenido técnico y deben cumplir con lo que la normatividad aplicable requiere para que la ejecución de la obra pueda ser aprobada. El proyecto ejecutivo describe “cómo se va a hacer”.

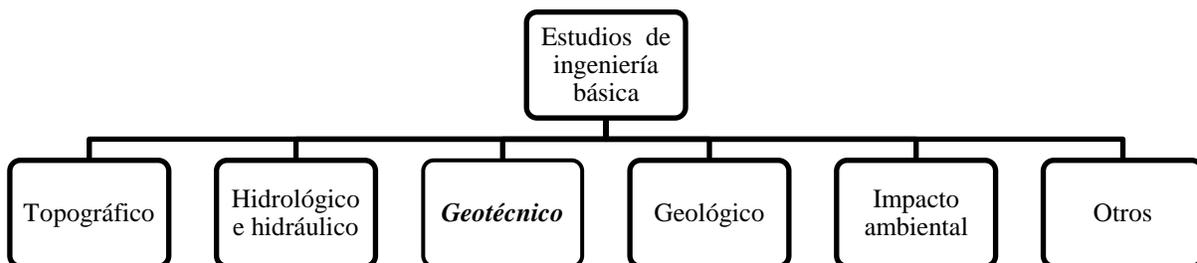
- Fase 5. Ejecución y supervisión de obra:

Se trata de ejecutar lo plasmado en los documentos técnicos así como de vigilar que el proyecto se materialice de acuerdo a lo previamente establecido, y, de ser necesario, realizar los ajustes o cambios derivados de los imprevistos de la obra (Haaz, 2014).

La correcta supervisión de una obra garantiza que el desarrollo del proyecto sea de forma integral y satisfactoria, evitando distorsiones que en el largo plazo se traduzcan en perjuicios en términos económicos.

## I.II EL ESTUDIO DE GEOTECNIA COMO UNO DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS

Los estudios de ingeniería básica son fundamentales para el desarrollo de una obra civil o de infraestructura porque a través de ellos se obtienen los datos base del proyecto que dan forma al mismo y son útiles para la toma de decisiones acertadas, los datos obtenidos en esa primera etapa son el sustento de las siguientes fases del desarrollo de un proyecto. Los estudios de ingeniería básica corresponden a distintas áreas de la ingeniería civil, algunos de ellos se muestran en el esquema de la Figura 1 (Haaz, 2014).



**Figura 1. Estudios básicos de un proyecto de ingeniería civil.**

Es claro que todas las obras civiles y de infraestructura tienen apoyo sobre el suelo, por lo tanto, las propiedades físicas y mecánicas del terreno influyen directamente sobre la estructura, en consecuencia, la estabilidad y el funcionamiento dependen del comportamiento del suelo en el sitio, por esta razón, es necesario realizar un estudio geotécnico.

El estudio del suelo, como parte de la primera etapa de un proyecto de ingeniería civil, permitirá determinar el tipo de estructura que soportará la construcción para que cumpla con la funcionalidad y con los requerimientos de seguridad necesarios y también arrojará los datos que permitan conocer el comportamiento del terreno sobre el que se apoyará la obra, en el caso de que el motivo del estudio sea una revisión, el estudio aportará la información geotécnica básica para poder revisar. El estudio de Geotecnia E.G. forma parte de los estudios preliminares, implica un análisis integral del suelo en el terreno de estudio y aporta datos que aplicados de manera correcta, permitirán un apropiado diseño y permitirán conocer las características del suelo para tomar decisiones correctas.

A continuación se enlistan algunas de las aplicaciones que los E.G. tienen en distintas obras civiles y de infraestructura:

- Diseño de procedimientos de excavación y construcción de cimentaciones, desarrollados para cualquier tipo de edificación.
- Revisión de la estabilidad de taludes en vialidades.
- Diseño de muros de retención.
- Mejoramiento de suelos en terrenos desfavorables.
- Elaboración de procedimientos de renivelación de edificios.
- Diseño de túneles para carreteras, ferrocarriles, entre otros.

En conclusión, los E.G. permiten tener una idea clara de las condiciones y las características del suelo, esta información es muy útil para el diseño de una obra de ingeniería o para la revisión de una ya construida. La obtención de información adecuada referente al suelo, contribuye a que se cumpla el objetivo de la obra; el buen uso y la adecuada aplicación de los datos resulta en garantía de seguridad, funcionalidad y en prevención de gastos extra por mantenimiento correctivo.

## **CAPÍTULO II. EL ESTUDIO DE GEOTECNIA**

La Geotecnia es la rama de la ingeniería que estudia el comportamiento y las propiedades de la capa superficial del terreno compuesta por suelo y rocas, y aplica estos conocimientos al desarrollo de obras civiles y de infraestructura (Tamez, 2001, p.3).

Estudiar un sitio desde el punto de vista de la Geotecnia permite al ingeniero geotecnista dar las recomendaciones necesarias para el correcto desarrollo de una obra con base en los resultados y conclusiones del análisis.

El E.G. es un estudio de ingeniería básica en el que un equipo de trabajo encabezado por el ingeniero geotecnista, recolecta, analiza y evalúa la información del sitio en el que se construirá la obra, los alcances de la investigación dependen del tipo de proyecto y de su magnitud. La información se puede obtener mediante consulta y como resultado de la exploración y de las pruebas de laboratorio de Geotecnia. Al documento en el que se presentan y describen el conjunto de trabajos y análisis geotécnicos del sitio se llama reporte del estudio de Geotecnia o geotécnico.

La elaboración de un E.G. implica obtener información suficiente respecto del suelo por un procedimiento lo más simple, completo y económico posible y a través de éste conocimiento consolidar una idea clara del estado del suelo y de su comportamiento ante casos particulares, a través de esta investigación es posible conocer las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo, además de determinar su composición estratigráfica.

Es alto el impacto de un E.G. en el desarrollo de una obra, a partir de él se toman decisiones que repercuten en las siguientes etapas de la obra, por tal motivo es fundamental que la investigación sea suficiente y adecuada.

### **II.1 OBJETIVO Y CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA**

El objetivo del estudio de Geotecnia es determinar las condiciones estratigráficas y las propiedades físicas y mecánicas del suelo en el sitio de estudio mediante un plan o programa de exploración y laboratorio acordes a la magnitud del proyecto, para obtener los datos y elementos geotécnicos necesarios para el diseño de las obras civiles y de infraestructura, en condiciones estática y bajo sismo. La planeación es muy importante para que se cumpla el objetivo de un E.G., planeares indispensable en el momento de elaborar el plan o programas de trabajos.

El E.G. debe tener las siguientes características para cumplir con el objetivo:

- Congregar información suficiente y adecuada para conocer las propiedades y el comportamiento del suelo del sitio de estudio.
- Ser una de las bases para la toma de decisiones técnico-económicas para una correcta ejecución de una obra civil o de infraestructura.
- Tener información sobre el suelo del sitio que sea útil durante todas las etapas de desarrollo del proyecto y de las fases de la obra, sobre todo en las etapas de diseño y construcción.
- Identificar problemas de diseño y construcción previsibles desde el punto de vista de la Geotecnia.

## II.II AUSENCIA DEL ESTUDIO

Omitir el E.G. para disminuir costos y asumir suposiciones de los parámetros geotécnicos no es una ventaja económica, puede tener consecuencias en la estabilidad de la estructura con gastos de mantenimiento correctivo posteriores para reparar acciones que pongan en riesgo la seguridad o alteren el correcto funcionamiento de la estructura (Sowers, 1979).

En el peor de los casos, la ausencia del E.G. puede repercutir en el colapso de la estructura o en la necesidad de demolerla, puesto que el diseño no considera las condiciones del suelo del sitio.

Son numerosos los casos desfavorables en obras civiles y de infraestructura que tienen origen en la ausencia del estudio del suelo, el evitar la realización de un E.G. es una práctica común en el sector de la construcción que debe revertirse, a favor de garantizar la seguridad y funcionalidad de las obras.

En la mayoría de los casos el costo ocasionado por la incertidumbre de no tener datos certeros es mayor que el costo de realizar una investigación geotécnica adecuada, por esta razón, llevar a cabo un E.G. es la mejor opción desde el punto de vista económico.

## II.III RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

Antes de dar inicio al estudio de Geotecnia, durante el proceso de gestión o en la etapa previa, debe hacerse una investigación para recopilar información del sitio, dicha información será la base para realizar la planeación del E.G. estos datos permitirán tener una idea de las características geológicas, geotécnicas y del medio físico del terreno. Además de los datos técnicos que se recopilen, se debe obtener información sobre la ubicación del sitio de estudio, los servicios que existen en la localidad, formas de acceso al sitio, vías de comunicación, disponibilidad de servicios como agua y energía eléctrica, entre otros, que son indispensables para llevar a cabo la planeación de la logística de los trabajos.

La recopilación de información se debe hacer recogiendo datos disponibles del sitio en medios físicos o electrónicos y de datos que pueden obtenerse haciendo un recorrido o visita de campo, este compendio de información debe incluir datos de otras áreas de la ingeniería que son indispensables para planear el E.G., es necesario recopilar fotografías del sitio (aéreas, panorámicas, etc.), documentos de cartografía, entre otros de gran utilidad.

Las fuentes de información de la investigación previa son: sitios web, publicaciones, informes especializados, mapas, planos, fotografías e información pública, el cliente puede aportar la información que tienen en su poder. Algunas de las instituciones mexicanas que publican información geotécnica se enlistan a continuación:

- Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica (SMIG), a través de estratigrafía en literatura técnica.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)
- Instituto de Ingeniería, UNAM
- Instituto de Geología, UNAM
- Instituto de Geografía, UNAM

Además de estas instituciones, existe otras que permiten enriquecer la información previa, a continuación se enlistan los organismos públicos y privados que proporcionan datos de las distintas áreas de la ingeniería involucradas:

- Geología: Servicio Geológico Mexicano.
- Sísmica: Comisión Federal de Electricidad (CFE), Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), etc.
- Predicción de mareas y planos de referencia: CICESE, Secretaría de Marina, Servicio Mareográfico Nacional, etc.
- Herramientas en internet: Google Earth, artículos, cartas, etc.

La importancia de la recopilación de la información radica en que a partir de los datos obtenidos, el equipo de trabajo del E.G. podrá diseñar el plan de exploración y hacer un primer esquema de las características y de los problemas que puedan existir en el subsuelo del sitio.

Cabe mencionar que en la actualidad existen herramientas tecnológicas que facilitan la búsqueda y el acceso a la información requerida, las tecnologías de la información y comunicación han hecho posible que a través de sitios web y aplicaciones en dispositivos móviles se puedan consultar de forma libre fotografías aéreas y a nivel de superficie de una gran cantidad de rincones de nuestro planeta, además de poder acceder a bases de datos con distintos artículos y reportes técnicos como ya se mencionó.

El ingeniero geotecnista deberá hacer todo lo posible para realizar un recorrido o visita de campo al sitio de estudio para recopilar información *in situ* y realizar un reconocimiento y clasificación superficial del suelo del sitio.

- Visita de campo

La visita o recorrido de campo es una actividad realizada por el equipo de trabajo del estudio de Geotecnia, encabezada por el ingeniero geotecnista y consiste en acudir al sitio de investigación, hacer el reconocimiento visual del terreno e identificarlas características del lugar.

Las características que se buscan identificar en la visita de campo son:

- Topografía general del sitio o terreno de estudio.
- Geología del lugar: tipos de rocas en la superficie, estructuras geológicas, perfiles típicos.
- Geomorfología: relieve, origen de las geoformas, etc.
- Edificaciones y otras estructuras en las colindancias, identificación del tipo de las mismas y del posible comportamiento.
- Revisar las condiciones de acceso al sitio y los permisos necesarios para ingresar.
- Servicios disponibles (tomas de agua, energía eléctrica).
- Aspectos importantes para la logística del E.G.
- Otros aspectos que se consideren importante para cada caso particular.

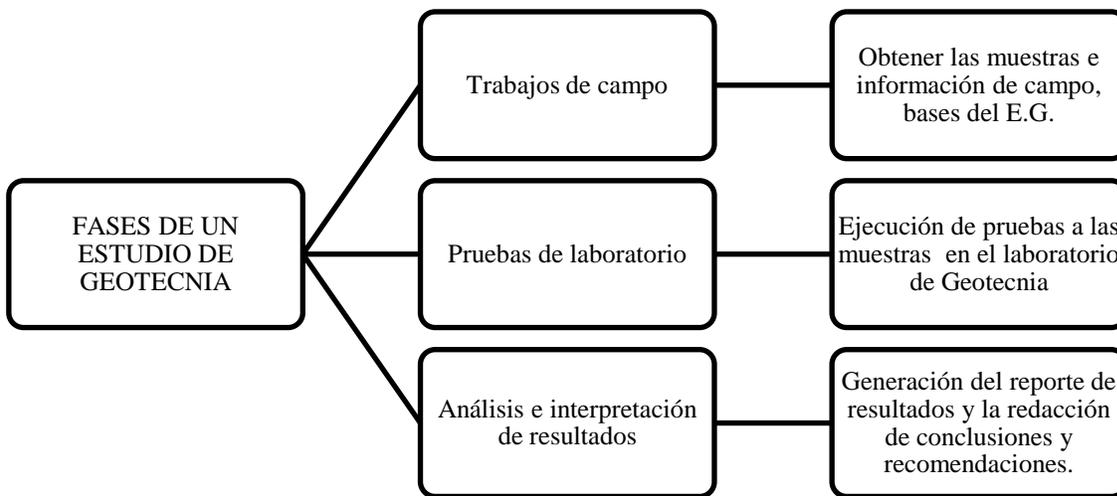
Es recomendable que durante la visita de campo se elaboren esquemas que representen las condiciones del sitio de estudio y se tomen fotografías y filmaciones para tener una memoria de respaldo y de consulta.

La cantidad y detalle de las visitas de campo dependerán de las características y dimensiones del proyecto, esta decisión depende del ingeniero geotecnista.

Es importante mencionar que el desarrollo de la informática y de las tecnologías de la información y comunicación ha facilitado el acceso a varios datos que tradicionalmente se obtenían a través de una visita al sitio, de modo que en una alta cantidad de casos, esta información puede obtenerse en el despacho de Geotecnia desde una computadora con acceso a internet; sin embargo, debe verificarse que las fuentes de esta información sean confiables y se encuentren vigentes, en todo caso es recomendable verificar que los datos sean correctos en el momento de arribar al sitio.

#### II.IV ESTRUCTURA DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA

La estructura de un E.G. se compone de tres bloques: trabajos de campo, pruebas de laboratorio, y análisis e interpretación de resultados o etapa de gabinete, en el siguiente esquema se relatan someramente las actividades realizadas en cada una de las fases.



**Figura 2. Fases de un estudio geotécnico.**

Antes de comenzar a describir las fases que componen un estudio de Geotecnia, cabe mencionar que previo al inicio de los trabajos, se lleva a cabo una fase preliminar de gestión y planeación en la que el despacho de Geotecnia y el cliente negocian su relación comercial o en el caso en el que el cliente es una dependencia de gobierno se inicia con el proceso de licitación, el cliente presenta la solicitud del servicio (o en caso de que el cliente sea una dependencia gubernamental, esta publicará las bases de una licitación) y el despacho genera una propuesta técnica - económica. La asignación de un estudio a un despacho de Geotecnia implica que el cliente ha aprobado la propuesta técnica - económica y ambos pactan mediante la firma de un acuerdo o contrato.

Coloquialmente se conoce como “etapa o trabajos de campo” a la fase de exploración y muestreo del suelo debido a que durante esta fase las actividades son realizadas en el sitio o terreno de estudio, el equipo de exploración y muestreo se traslada a ese lugar para realizar los trabajos requeridos. Los trabajos de exploración y muestreo son el punto de partida de un E.G., es una etapa fundamental porque se obtienen los datos de sitio y las muestras de suelo y roca que serán el fundamento del estudio.

Es conocida la etapa de pruebas de laboratorio como simplemente “fase de laboratorio”, en esta etapa, las muestras obtenidas en campo son sometidas a una serie de pruebas en un laboratorio de Geotecnia acondicionado con equipo e instrumentos apropiados para determinar las características y propiedades del suelo y de las rocas del sitio de estudio.

En el ámbito de la ingeniería geotécnica, se conoce como “etapa de gabinete” a la fase de análisis e interpretación de resultados de un E.G., es en este tercer momento del estudio en el que se realizan las actividades en la oficina de Geotecnia, el trabajo lo encabeza el ingeniero geotecnista respaldado por colaboradores técnicos, se toma como base la información obtenida en las etapas anteriores para llevar a cabo el diseño, redactar las recomendaciones, sugerir el procedimiento o hacer conclusiones.

En los tres apartados siguientes se detallará sobre las tres etapas que componen la estructura de un E.G.

## II.V TRABAJOS DE CAMPO

Para poder elaborar el estudio de Geotecnia, es importante contar con datos verdaderos, confiables y abundantes respecto al suelo del sitio de interés, este compendio de información, permite tener una idea clara y exacta de la estratigrafía y las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo.

Para contar con información del subsuelo, es necesario llevar a cabo la exploración del terreno, el muestreo y realizar pruebas *in situ*, a estas actividades en conjunto se les conoce como trabajos de campo puesto que estas operaciones son desarrolladas en el lugar de interés, el personal experto se traslada al sitio de estudio para ejecutar el plan o programa de exploración y muestreo.

En esta primera fase de los E.G. debe garantizarse la calidad de la información recopilada en campo, la calidad involucra los siguientes aspectos (Tamez, 2001):

- 1) La confiabilidad de los datos obtenidos
- 2) Grado de detalle de la información
- 3) Precisión adecuada, en la realización de pruebas *in situ*
- 4) Claridad

Con respecto a la calidad de la información obtenida en los trabajos de campo, el Prof. Arthur Casagrande afirmaba que: “La calidad de las conclusiones prácticas de un E.G. no podrá ser nunca mejor que la calidad de las muestras de suelos o rocas y de la información obtenida de los estudios de campo en que se basa” (Tamez, 2001, p.66).

Garantizar la calidad de la información geotécnica de campo y de las muestras es de vital importancia, puesto que es la base del estudio y son fundamentales en la toma de decisiones para el desarrollo del proyecto, esta calidad puede lograrse empleando a personal calificado en la ejecución de los trabajos y bajo una supervisión responsable.

A continuación se describen las actividades clasificadas como trabajos de campo.

### II.V.I TRABAJOS PREVIOS

Las actividades previas permiten planear los trabajos de campo, incluyen la recopilación de información y la visita al sitio. Estas actividades se han mencionado en este trabajo anteriormente,

por la importancia en la fase de trabajos de campo se retoman en esta sección y se describen a continuación:

- Hacer un compendio de la información geotécnica y geológica existente del sitio de estudio, esta actividad corresponde a la llamada “recopilación de información” que debe realizarse antes del inicio del E.G.
- Visita al sitio de estudio por el ingeniero geotecnista para verificar y ampliar la información, así como inspeccionar las condiciones actuales del terreno y de las colindancias y detectar cualquier elemento útil (instalaciones de servicios públicos) o que pueda interferir con la exploración. Es recomendable que acuda también un ingeniero geólogo asesor.
- Planear la campaña de exploración geotécnica que incluye los trabajos de campo necesarios, esta deberá contar con un programa de las actividades que integran al mismo, la realización debe llevarse a cabo tomando como base la información y datos obtenidos previamente.

## II.V.II EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA, MUESTREO Y PRUEBAS DE CAMPO

Los métodos o procedimientos de exploración geotécnica tienen como objetivo obtener en campo la información que permita conocer las características geotécnicas del sitio, a continuación se enlistan algunas de estas propiedades (Sowers, 1979):

- Origen y clasificación geológica de los suelos y de las rocas.
- Estratigrafía del lugar.
- Clasificación geotécnica de los suelos de cada estrato.
- Estructura y consistencia natural de los materiales de cada estrato.
- Profundidad del nivel freático.

Los trabajos de campo están estrechamente vinculados entre sí, los métodos de exploración geotécnica hacen posible realizar el muestreo del suelo y de las rocas a través de la extracción de ejemplares de cada uno de los estratos, algunos métodos de exploración geotécnica incluyen la realización de pruebas de campo para medir valores *in situ*.

El muestreo es una tarea importante porque es necesario obtener ejemplares de suelo para poder ejecutar pruebas en el laboratorio, muestrear es posible a través de las técnicas de exploración, las muestras geotécnicas que se obtienen en los trabajos de campo, por lo general se clasifican de acuerdo al grado de alteración de las mismas, bajo este criterio existen tres tipos de muestras: muestras alteradas, inalteradas y semi inalteradas.

- Muestras inalteradas (MI).

Este tipo de muestras no sufren alteraciones en su estructura ni en su contenido de humedad. En los sondeos se extraen muestras inalteradas mediante el hincado de tubos con máquinas perforadoras a presión que son conocidos como tubos Shelby (TS) y en los pozos a cielo abierto se extraen muestras cúbicas labradas a través del tallado de bloques dentro de las excavaciones.

Las muestras inalteradas son útiles para llevar a cabo pruebas mecánicas en el laboratorio de Geotecnia.

- Muestras alteradas (MA).

Son muestras que sufren modificaciones en su estructura y en su contenido de humedad pero conservan su composición mineralógica y granulométrica. Permiten la determinación de pruebas índice o la realización de pruebas de compactación en el laboratorio, son obtenidas de manera continua en la prueba de penetración estándar SPT mediante un muestreador o recuperadas en cada uno de los estratos encontrados en la excavación de pozos a cielo abierto.

- Muestras semi inalteradas.

Son muestras que conservan, el menos teóricamente, las mismas propiedades que el terreno tiene *in situ*, pero que debido al procedimiento de extracción se induce una alteración en las paredes del ejemplar muestreado. Son obtenidas a través de los sondeos con barril Denison.

Por otra parte, realizar pruebas en campo durante la exploración permite verificar la estratigrafía del sitio y elaborar un modelo geotécnico completo, además es posible correlacionar los datos medidos con las propiedades mecánicas de los suelos siempre y cuando los instrumentos para efectuar las pruebas estén bien calibrados y las correlaciones sean válidas y confiables.

Las pruebas de campo deben ser realizadas tomando en cuenta las normas aplicables y los procedimientos estandarizados, pueden efectuarse de forma continua o selectiva en los estratos del subsuelo. Las pruebas de campo tienen las siguientes aplicaciones: las pruebas SPT y la prueba dinámica de cono (DCP) permiten medir el número de golpes para penetrar las capas de suelo con un dispositivo, la prueba estática de cono permite medir la resistencia a la penetración de un cono mecánico o eléctrico, la prueba presiométrica permite conocer la respuesta esfuerzo-deformación del suelo y la presión límite, la prueba de la veleta mide la resistencia al cortante del suelo, las pruebas geofísicas logran medir la velocidad de propagación de ondas en el suelo.

Los métodos de exploración son los procedimientos que se usan para fines de conocimiento geotécnico del sitio de estudio. Para el muestreo y la medición de parámetros, se agrupan en dos categorías: métodos directos y métodos indirectos.

Los **métodos directos** de exploración geotécnica permiten conocer las condiciones geotécnicas y geológicas del sitio de estudio de forma directa, mediante la observación de las características en el lugar, la medición de parámetros en el terreno y a través del muestreo.

En esta categoría se agrupan aquellos métodos que suministran un registro continuo y representativo de muestras, también se encuentran los que permiten el acceso directo al suelo y que hacen posible examinar y registrar directamente la estratigrafía. Los métodos directos más usados en el campo de la Geotecnia se describen a continuación:

- Sondeos de penetración estándar (SPT).

Este método de exploración es muy empleado para determinar la resistencia a la penetración en los estratos del suelo por medio del número de golpes necesarios para hincar un muestreador metálico.

El procedimiento para ejecutar la prueba de penetración estándar, así como el equipo y los aspectos relacionados están normalizados, en México se cumple con la norma NMX-C-431-ONNCCE-2002 ; el procedimiento consiste en realizar una penetración en el subsuelo usando un penetrómetro dinámico, este se compone de una masa de 63.5 kg que se deja caer libremente desde una altura de

76.2 cm, a continuación se introduce un muestreador que se hinca 15 cm, se cuenta el número de golpes N para lograr que el muestreador se hinque 30 cm (Liu y Evett, 2004).

La prueba de penetración estándar se realiza de manera conjunta con muestreo inalterado continuo, el muestreador utilizado en la prueba SPT recibe el nombre de tubo partido, este permite recuperar muestras del suelo alterado por el hincado del muestreador, el tramo de muestreo en México mide 60 cm. El material debe ser extraído del tubo partido y colocado en bolsas dobles de polietileno selladas, no sin antes describir el material en el registro de campo. Es usual que cada muestra se identifique con etiquetas en las que se anote el nombre de la obra, la fecha, el sitio y la profundidad de la que fue extraída la muestra, la identificación es sumamente importante para el manejo de las muestras en el laboratorio.

Existe un gran número de correlaciones que permiten conocer varios parámetros o propiedades del suelo conociendo los datos registrados en la prueba de penetración estándar, es una forma indirecta de conocer los valores de dichos valores.

- Muestreo con tubo Shelby.

Se realiza alternadamente con los sondeos de penetración estándar, es usado en las perforaciones hechas en suelos blandos y cohesivos, a través de él es posible obtener muestras inalteradas de suelo (también conocido como tubo de pared delgada), el procedimiento para lograr esto consiste en hincar a presión un tubo de acero sin costura en el suelo del sitio de estudio: en el momento de muestrear el suelo, usualmente se espera un lapso de tiempo pertinente (30 minutos a 1 hora) para que el suelo se adhiera al tubo y la muestra no se pierda. El tubo Shelby debe hincarse en el suelo a una velocidad constante de entre 15 y 30 cm por minuto (Liu y Evett, 2004).

El muestreo con tubo Shelby está normalizado por la ASTM D-157, se recomienda que los tramos de muestreo midan 1 m. Los tubos utilizados para el muestreo deben ser de pared delgada, de 3 a 4" de diámetro y tener un extremo afilado.

Existe una variante del tubo de pared delgada para suelos duros y compactos, en este caso se utiliza el tubo dentado para obtener mejores muestras con menor alteración, la única diferencia que tiene con el tubo de pared delgada es que la parte inferior del tubo tiene 8 dientes de corte dispuestos simétricamente que miden entre 0.8 y 1.0 cm de altura y 3 cm de base, la velocidad del hincado debe ser constante de aproximadamente 1.0 cm/s.

- Muestreo con barril Denison.

Por medio de este método es posible obtener muestras de tipo semi inalterada del suelo, el muestreador es un barril doble giratorio que opera a rotación y a presión (por esta razón se induce cierta alteración en la muestra). El barril Denison consta de dos tubos concéntricos que actúan de manera independiente: el tubo exterior gira para cortar el suelo mientras que el interior (Shelby) permanece sin girar y por presión recibe la muestra; el tubo interior de pared delgada puede ser de 2.5 a 4" de diámetro. La longitud de muestreo usual en México es 1 m (Tamez, 2001).

El tubo interior está unido a la cabeza del barril Denison a través de un balero (cojinete de bolas) que se encuentra en el extremo superior del tubo, con este mecanismo se logra que el tubo exterior gire independiente, en el extremo inferior el tubo interior está provisto de una zapata afilada y el tubo exterior de una broca dentada que al rotar corta el suelo, la zapata afilada generalmente sobresale de la broca: en ocasiones el tubo interior lleva una trampa de canasta arriba de la zapata para asegurar que la muestra no se salga del muestreador.

El muestreo se realiza de la siguiente forma: la máquina de perforación aplica carga vertical para hincar la zapata en el suelo haciendo que la muestra entre en el tubo Shelby, mientras esto ocurre, el tubo exterior gira cortando el material que ha quedado fuera del tubo interior

Cuando el barril es usado sobre el nivel freático, el material de corte es transportado hasta la superficie usando aire comprimido, que se hace circular a través de las barras de perforación y entre ambos tubos concéntricos, conservando de esta forma el contenido de agua natural del suelo. Por debajo del nivel freático el aire comprimido es sustituido por agua o lodo bentonítico.

El muestreador Denison es útil para obtener muestras de materiales con un amplio rango de consistencias, desde los suelos duros hasta las rocas blandas, es usado para obtener especímenes de suelo cuya consistencia no es suficiente para soportar los esfuerzos de torsión inducidos con métodos de muestreo en rocas. Es importante tomar en cuenta que en las tobas blandas y en suelos con baja resistencia a la compresión los esfuerzos torsionantes que produce el muestreo causan una alteración muy alta en las muestras y hasta la destrucción total de las mismas.

- Muestreo con brocas de diamante o de carburo de tungsteno.

Este tipo de muestreo se efectúa para la obtención continua de núcleos de roca. Para llevar a cabo este tipo de sondeos se requiere el uso de equipo de perforación que sea capaz de explorar y obtener muestras a profundidades importantes.

Para llevar a cabo esta modalidad de exploración se utiliza un barril muestreador que está provisto en el extremo inferior de la pieza de una broca de diamante o de carburo de tungsteno. Aunque existen varios diseños de barriles muestreadores, como menciona Tamez (2001), el más adecuado para obtener muestras que sean útiles desde el punto de vista geotécnico es el doble barril giratorio, este permite recuperar la máxima longitud posible de muestra de la roca, según la intensidad del fisuramiento y grado de alteración de la roca perforada por el barril.

El doble barril giratorio está formado de dos tubos concéntricos unidos a una cabeza superior, la corona de corte es una broca provista de cristales de diamante o provista de fragmentos de carburo de tungsteno, esta se atornilla al extremo inferior del muestreador, sobresaliendo del tubo interior de 1 a 5 cm, el barril muestreador gira por acción de una máquina a rotación y es insertado en el subsuelo por acción de una fuerza vertical transmitida por medio de barras metálicas huecas de perforación por las que circula agua a presión que enfría la corona y extrae el material cortado a la superficie (lava). Con el giro la broca labra un cilindro de roca que se introduce en el tubo interior a medida que ocurre la penetración del muestreador, al extraer el barril con una muestra, una trampa cónica impide que la barra de roca salga.

Es recomendable que el barril tenga un diámetro interior no menor de 57 mm, con el fin de reducir el deterioro de las muestras que se producen en los muestreadores de diámetro menor. La longitud de los tramos de muestreo a través de este método oscilan entre 1 y 1.5 m, los tubos usados para alojar a los núcleos de roca reciben las denominaciones AX, BX, EX Y NX.

- Exploración con brocas helicoidales.

Permite definir el perfil estratigráfico en suelos granulares y algunos tipos de arcilla, las muestras obtenidas en este tipo de sondeos son alteradas. Los tramos de muestreo miden 1.5 m, los diámetros de los muestreadores varían de 4 a 8 pulgadas, la punta del muestreador tiene una cuchilla para cortar el suelo conforme penetra en los estratos.

- Sondeos mixtos,

Consiste en la exploración del suelo combinando la prueba de penetración estándar y los distintos métodos de muestreo en barrenos, la profundidad a la que se aplica cada modalidad de muestreo podrán ser determinados sobre la marcha de la exploración o con base en los datos geológicos y geotécnicos recabados en la fase de investigación previa

- Excavación de pozos a cielo abierto.

La norma mexicana que corresponde a los pozos a cielo abierto es la NMX-C-430-ONNCCE-2002. Los pozos a cielo abierto son excavaciones realizadas para llevar a cabo una exploración superficial o somera, permiten obtener muestras inalteradas de la más alta calidad de los estratos de la excavación, es posible observar directamente la estratigrafía en el suelo y definir con gran detalle cada uno de los estratos, obtener muestras representativas alteradas de los materiales del subsuelo. Y realizar pruebas de resistencia al corte in situ por medio del torcómetro de bolsillo.

Una característica de la excavación de los pozos a cielo abierto es la versatilidad para la ejecución, la excavación puede llevarse a cabo con o sin el uso de equipo mecánico. Cabe mencionar que haciendo uso de equipo mecánico ofrece ventajas, como mayor eficiencia, rapidez y comodidad en la ejecución.

El muestreo de las muestras inalteradas consiste en labrar muestras cúbicas a mano, su forma se asemeja a un cubo de suelo que debe ser protegido con manta de cielo y una mezcla de brea y parafina para conservar las propiedades del espécimen, estas muestras deben ser identificadas correctamente para su manejo posterior en el traslado y el laboratorio.

Las muestras alteradas son recolectadas en cada estrato del pozo a cielo abierto con el fin de elaborar perfiles estratigráficos de los pozos excavados. Determinar las propiedades índices de los materiales y llevar a cabo la clasificación de acuerdo con el SUCS. Las muestras se pueden tomar a medida que avanza la excavación o después de que la brigada de exploración la haya terminado; para realizar el muestreo se abre una ranura vertical de sección uniforme de 20 cm de ancho por 15 de profundidad y se extrae el material representativo de cada estrato. El material se puede colocar en costales de tejido cerrado o en bolsas de polietileno.

- Sondeos con cono eléctrico:

Los sondeos con cono eléctrico tienen como objetivo determinar la variación con la profundidad de la resistencia de punta del suelo, el dispositivo con el que se realiza la prueba contiene una punta cónica instrumentada y se introduce a presión con ayuda de una máquina perforadora en el suelo usando varias barras, este aparato mide de forma continua la resistencia necesaria para penetrar en el suelo a una velocidad constante (ASTM D-6441-94) y con este valor se pueden establecer correlaciones empíricas con la resistencia al corte de las arcillas y con su compresibilidad (Tamez,2001).

Algunas desventajas de la prueba de cono eléctrico son las siguientes: el sistema es complicado y delicado por lo que se requiere de operadores calificados y sensibles al funcionamiento defectuoso del aparato, en México los conos usuales pueden penetrar suelos de resistencias bajas, cualquier estrato de resistencia media a alta puede provocar daño en las celdas eléctricas, en suelos resistentes se requiere de doble tubería para recurrir al empleo de la prueba SPT para atravesar estas capas de suelo y finalmente, la aplicación de este método requiere de sondeos geotécnicos convencionales para calibrar los resultados (Tamez,2001).

- Pruebas de cono dinámico (DCP).

Los sondeos con cono dinámico permiten determinar la resistencia del suelo a través del hincado con golpes de este instrumento.

La prueba de cono dinámico es un método de exploración de suelos que consiste en el hincado de un penetrómetro con la punta cónica, el número de golpes para el avance de la perforación en determinada profundidad, permite calcular la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

La interpretación de los datos arrojados en este procedimiento de exploración permite identificar cambios en la estratigrafía del sitio en el que se realizó el sondeo, además a través de correlaciones obtenidas en la práctica, se pueden inferir otras propiedades mecánicas.

Los **métodos indirectos** consisten en mediciones indirectas de propiedades físicas de los suelos y de las rocas, estos métodos corresponden a procedimientos de exploración geofísica, los principales métodos geofísicos son los siguientes: geosísmico, geoeléctrico, gravimétrico y magnetométrico. Estos métodos se caracterizan por ser realizados mayoritariamente desde la superficie o a profundidad mediante sistemas e instrumentos.

Los métodos geofísicos permiten explorar áreas extensas a fondo, a través de tendidos lineales o sondeos puntuales, requieren menor tiempo de elaboración en comparación con la exploración directa y el costo es menor, sin embargo, los resultados que se obtienen con estos métodos requieren ser interpretados por el ingeniero geotecnista; es importante aclarar que los métodos geofísicos siempre deben ser calibrados y verificados con sondeos de naturaleza geotécnica.

Los métodos geofísicos más aplicados en los estudios del subsuelo son:

- Sísmica de refracción.

Este método se basa en el hecho de que la velocidad de las ondas sísmicas que viajan a través del material que conforma el subsuelo está relacionada con la densidad y la elasticidad del material, en un material de mayor densidad la velocidad a la que se mueven las ondas sísmicas a través de él también es mayor (Liu y Evett, 2004).

El método de sísmica de refracción mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de estas a diferentes puntos de observación. El procedimiento se ejecuta con base en la norma ASTM D 5777-95, consiste en colocar en la superficie una serie de sensores (geófonos) en línea recta a distancias conocidas, formando un tendido sísmico o línea de refracción, a una distancia conocida del extremo del tendido se ubica el punto de disparo y desde ahí se generan ondas sísmicas con ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos, estas ondas inducen vibraciones en el terreno que se propagan por el subsuelo y son detectadas por los sensores del tendido, los registros de cada geófono tienen información de la respuesta del terreno en función del tiempo y son conocidos como sismogramas (Liu y Evett, 2004).

La profundidad de exploración depende del tipo de fuente activa (generador de ondas sísmicas), con el uso del martillo se puede alcanzar una profundidad de 30-50 m; el método requiere de zonas con suficientes extensión para ser desarrollado puesto que la longitud del tendido está relacionada directamente con la profundidad de alcance de la investigación (Liu y Evett, 2004).

En este método los sismogramas se analizan para obtener el tiempo de llegada de las ondas, tanto onda de compresión P (más comúnmente usada) como onda S a cada geófono desde el punto de disparo. El análisis e interpretación de los datos permite calcular las velocidades longitudinales  $v_p$  y determinar módulos geotécnicos (módulo de Young y coeficiente de Poisson) que permiten caracterizar y clasificar los suelos, detectar los estratos duros o rocosos y generar una estratigrafía o modelo geotécnico del subsuelo a lo largo del tendido (Liu y Evett, 2004).

- Sísmica de reflexión.

El fundamento de este método es que cuando una onda sísmica incide en una discontinuidad que separa dos medios, una fracción de la energía incidente se propaga al segundo medio y el resto se refleja de regreso al primer medio.

La prueba de sísmica de reflexión vertical requiere de la instalación de una serie de geófonos a lo largo de una línea de tendido y se registra la vibración del terreno inducida por un medio conocido.

El análisis de las señales obtenidas en la prueba en campo permite conocer las discontinuidades que definen la estructura del subsuelo, este método es requerido en los estudios de Geotecnia para detectar fallas en las profundidades.

Otra de las aplicaciones de la sísmica de reflexión es el reconocimiento y medición de elementos de subestructura existentes, información requerida para llevar a cabo revisión estructural y geotécnica de obras en pie.

- Down-Hole.

Es también un método sísmico, consiste en generar ondas sísmicas en la superficie mediante golpes horizontales y verticales en una placa ubicada de 1 a 3 m de un pozo o barreno en el que se ha colocado una sonda que en el extremo tiene un geófono triaxial, este sensor percibe las ondas P y S y registra su tiempo de llegada; es posible calcular las velocidades de propagación de las ondas a distintas profundidades en el barreno.

Este método permite estimar los módulos elásticos dinámicos de las distintas capas del subsuelo como la relación de Poisson, módulo de Young, entre otros, además, a través de los resultados es posible definir una estratigrafía y evaluar las características geotécnicas de cada estrato, identificar posibles zonas de falla o fracturamiento en rocas. Los resultados pueden ser aplicados en el diseño de obras civiles bajo acciones sísmicas.

- Sondeos eléctricos verticales

Es un método muy empleado en la localización de las aguas subterráneas y para detectar las formaciones geológicas en la profundidad. Se usa un cuadripolo para inyectar corriente eléctrica en el terreno y para medir la resistividad aparente del terreno, se obtienen valores de resistividad en profundidad.

- Método geoelectrico

Este método se utiliza para detectar de forma indirecta algunas características de los suelos y las rocas que existen en el subsuelo del sitio a partir de la medición de la resistividad, esto es posible a partir de la inducción de una corriente eléctrica (Liu y Evett, 2004).

Las características que pueden ser detectadas se enumeran a continuación: tipo de material, profundidad del nivel de aguas freáticas, espesor y profundidad de los estratos, estructuras geológicas existentes, etcétera.

- Método gravimétrico y método magnetométrico

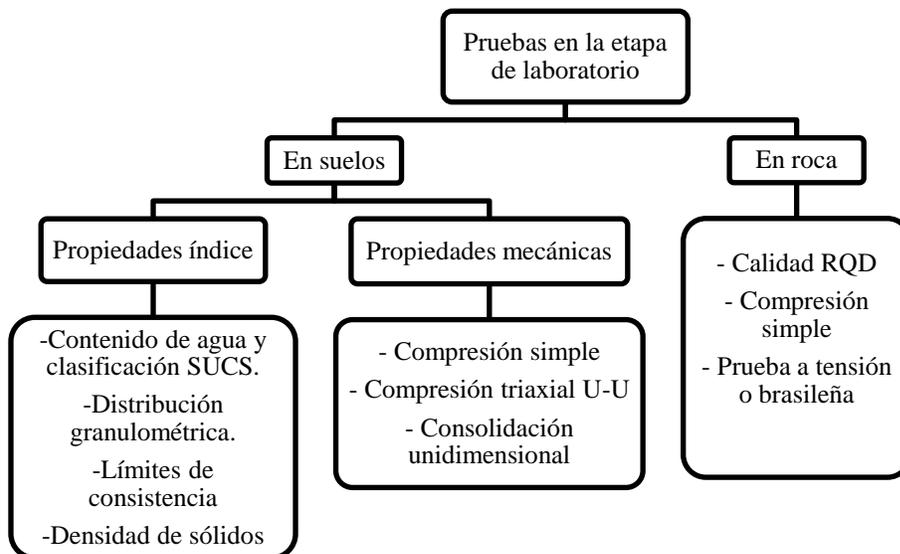
Son dos métodos cuya aplicación en la Geotecnia ha ido creciendo en los últimos años. La ventaja que ofrecen estos métodos es que proporcionan resultados aproximados en forma rápida y económica. Los principales usos de estos métodos son: la detección de cavernas, cavidades y túneles, la determinación de la densidad de fracturamiento y uniformidad del medio, la verificación del subsuelo en edificaciones ya construidas.

## II.VI LABORATORIO

El laboratorio de Mecánica de Suelos es el lugar en el que se obtienen los datos definitivos de las condiciones y propiedades físicas del suelo, es una etapa del estudio en la que se realizan las pruebas necesarias a las muestras obtenidas de la exploración del suelo en el sitio.

El laboratorio y la fase de exploración y muestreo son actividades estrechamente ligadas, El muestreo se encuentra regido de manera anticipada por los requerimientos solicitados a las muestras obtenidas por el plan de pruebas de laboratorio, por otro lado, el programa de pruebas de laboratorio debe estar definido en términos de la naturaleza de los problemas que se suponga puedan resultar del suelo presente en el terreno del sitio, el cual no puede conocerse a detalle sin efectuar el muestreo correspondiente. Del correcto balance de este ciclo de actividades depende el éxito de un plan desarrollado para un estudio de Geotecnia.

En el siguiente esquema se desglosan las pruebas que se realizan en un laboratorio de Geotecnia para determinar las propiedades de los suelos y de las rocas muestreadas.



**Figura 3. Pruebas de laboratorio de Geotecnia.**

En los suelos, a través de las pruebas de laboratorio es posible conocer las propiedades índice y las propiedades mecánicas.

Las **propiedades índice** permiten clasificar las muestras en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que clasifica a los suelos como arena, grava, arcilla, limo y las posibles combinaciones según corresponda. Clasificar los materiales muestreados de forma correcta permite crear el modelo geotécnico del subsuelo, fundamental para valorar las características de resistencia y deformación del terreno estudiado.

Las propiedades índice de los suelos que comúnmente se determinan en un laboratorio comercial de Geotecnia son las siguientes: clasificación del SUCS, contenido de agua, distribución granulométrica, límites de consistencia y densidad de sólidos. Las muestras más utilizadas para determinar estas propiedades son las obtenidas a través de la prueba de penetración estándar (SPT).

- Contenido de agua:

La prueba se realiza con base en la norma ASTM B4318. La prueba se realiza en el laboratorio de Geotecnia con la finalidad de determinar la cantidad de agua que posee una muestra de suelo, existen formas rápidas para obtener este parámetro, pero es recomendable tomar los procedimientos estandarizados en las normas vigentes para poder llevar a cabo la prueba (Tamez, 2001).

El contenido de agua (también denominado contenido de humedad), es la relación entre la cantidad de agua que posee una muestra de suelo con respecto al peso seco de los sólidos de la misma muestra de suelo. La expresión que define a esta propiedad índice es la siguiente:

$$\omega = \frac{W_W}{W_S} \times 100\%$$

Para llevar a cabo la prueba se requieren los siguientes equipos o materiales: horno eléctrico, balanza, charola, una cápsula, una espátula y un cristal de reloj. El procedimiento incluye una serie de pasos que buscan secar la muestra de suelo y registrar los pesos del suelo húmedo y del suelo seco para poder calcular el porcentaje de agua que contiene el suelo.

La prueba tarda 24 horas, que es el tiempo en que se logra secar la muestra de suelo por completo en el horno, el número de pruebas simultáneas que pueden realizarse dependerá de la capacidad del horno.

- Clasificación de acuerdo con el SUCS:

Para llevar a cabo este procedimiento es necesario contar con los datos del análisis granulométrico de la muestra y conocer los límites de consistencia.

La clasificación se hace de acuerdo al Sistema Único de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual deriva directamente del Sistema de Clasificación de Aeropuertos, propuesto en 1942 por el Dr. Arthur Casagrande, en la universidad de Harvard, y orientado hacia obras aeroportuarias, (Juárez y Rico, 1977).

Este sistema clasifica a los suelos en grupos con propiedades mecánicas e hidráulicas semejantes con base en los siguientes conceptos:

- Los suelos están formados por partículas cuyos tamaños pueden variar en amplios intervalos, entre estos se encuentran intervalos de tamaños que reciben el nombre de: gravas, arenas, arcillas y limos.
- Las propiedades de los suelos son originadas por cómo interactúan sus partículas entre ellas, esta interacción depende de: la **granulometría** dada por la proporción relativa de los diferentes tamaños de las partículas y la **plasticidad** que es una propiedad física química de las partículas coloidales contenidas en la fracción más fina del suelo. (Tamez)

El SUCS divide a los suelos en dos grandes grupos de acuerdo a su distribución granulométrica: la fracción gruesa (conformada por las partículas mayores a la malla #200 de 0.074 mm) y el segundo grupo es la fracción fina (conformada por todas aquellas partículas menores a la malla 200).

Se considera un suelo grueso cuando el 50% del peso de una muestra queda retenido en la malla 200. Los suelos gruesos pueden ser de dos tipos: gravas o arenas. Las gravas y las arenas se separan con la malla #4 (4.76 mm), se considera como grava a todo el material que es retenido en dicha malla: el material que pasa por la malla #4 y es retenido en la malla #200 es una arena.

Cuando el 50% del peso total de la muestra pasa por la malla #200, se dice que el suelo es fino, de acuerdo a la granulometría los suelos finos se subdividen en tres grupos: limos, arcillas y suelos orgánicos. Para clasificar a los suelos finos y calificar la plasticidad que presentan es necesario consultar la carta de plasticidad que es posible leer conociendo los límites de consistencia de la muestra a clasificar.

Cada grupo de suelos se designa por un símbolo formado por literales que tienen los siguientes significados.

G: Grava (Gravel)	C: Arcilla (Clay)
S: Arena (Sand)	L: Baja plasticidad (Low plasticity)
W: Buena graduación (Wellgraded)	H: Alta plasticidad (High plasticity)
P: Mala graduación (Poorly graded)	O: Suelo orgánico (Organicsoil)
M: Limo (Mohs)	Pt: Turba (Peat)

Para calificar la graduación granulométrica como buena o mala es necesario evaluar los coeficientes de uniformidad y curvatura (Tamez, 2001).

- **Granulometría:**

Llevar a cabo una prueba o análisis granulométrico implica determinar la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su tamaño. El objetivo primordial es separar por tamaños las partículas del suelo que componen la muestra y determinar la proporción de cada uno de los tamaños encontrados.

El principal equipo de laboratorio utilizado para llevar a cabo esta prueba es el juego de mallas, su importancia radica en que por medio de ellas será posible retener por tamaños en cada una de ellas las partículas de suelo de la muestra analizada.

La lista del equipo y el material necesario para efectuar la prueba es la siguiente: juego de mallas, cucharón, balanza, charolas rectangulares, espátula, vidrio de reloj, cuarteador, alambro de 5 mm de diámetro con la punta redondeada, estufa, vaso de aluminio, agua y la muestra de suelo.

- Límites de consistencia:

El objetivo de esta prueba es determinar el valor de los límites de consistencia o también conocidos como límites de Atterberg de una muestra de suelos finos (Líquido LL, Plástico LP y de Contracción LC) que están en función del contenido de agua y son básicos para poder clasificar las muestras de suelo con base en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

- Límite Líquido (LL): Se define como el contenido de agua que requiere un suelo para estar en la condición límite que separa a la consistencia líquida de la consistencia plástica.
  - Límite Plástico (LP): Es la frontera comprendida entre el estado plástico y semi-sólido
  - Límite de Contracción (LC): Es la denominación que recibe el material que se encuentra entre los estados semi-sólido y sólido, cuyo valor se define por el contenido de agua que tiene el suelo, en el cual tras un secado posterior ya no provoca disminución de volumen.
- Peso específico de los sólidos (densidad de sólidos):

El objetivo de la realización de esta prueba es determinar el peso específico o la densidad de una arena y/o un suelo fino, a través de un procedimiento en el que se usa un matraz de fondo plano previamente calibrado.

Peso específico de los suelos, se define como el peso específico de la materia mineral u orgánica, que constituye a las partículas del suelo, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Es común el uso del término *densidad de sólidos* ( $S_s$ ), expresada por la relación entre el peso  $\gamma_s$  y el peso específico del agua  $\gamma_w$  dado por la expresión:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

En el sistema CGS, ambos términos son prácticamente idénticos, puesto que el peso específico del agua puede considerarse constante a temperatura ambiente e igual a 1 gr/cm<sup>3</sup>.

El peso específico relativo de los sólidos o la densidad de sólidos es una propiedad índice que debe determinarse puesto que este valor interviene en la mayor parte de los cálculos relacionados con la Geotecnia.

Los materiales y el equipo que se utiliza para llevar a cabo la prueba estandarizada son los siguientes: Matraz aforado a 500 ml, balanza, termómetro, embudo, probeta de 500 ml de capacidad, gotero, pipeta, bomba de vacíos, horno, franela absorbente, curva de calibración del matraz, charola de aluminio, espátula y cristal de reloj.

Las **propiedades mecánicas de los suelos** permiten valorar los parámetros de resistencia y de compresibilidad de los suelos. Estas propiedades aplican fundamentalmente a suelos cohesivos.

Las pruebas de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de los suelos que se efectúan de manera más usual en un laboratorio comercial son las siguientes: compresión simple, compresión

triaxial U-U y consolidación unidimensional. Se utilizan las muestras en tubo Shelby para llevar a cabo estas pruebas de laboratorio-

- Compresión simple:

La prueba de compresión simple se realiza de acuerdo con la norma ASTM-D2166-6 con la finalidad de determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo o semi cohesivo a la compresión no confinada ( $q_u$ ), aplicando una carga axial a una muestra de suelo inalterada labrada en forma de cilindro, generalmente con una relación alto/diámetro igual a 2-2.5. Además de determinar la resistencia a la compresión simple, a través de esta prueba es posible definir indirectamente y con aproximación la resistencia al corte y detectar el tipo de falla que sufre el material. (Juárez y Rico, 1977)

Es un caso particular de las pruebas triaxiales en el que solo existe una carga vertical, es más sencillo y menos sofisticado que las otras triaxiales puesto que no se requiere el dispositivo para aplicar presión lateral,

Se puede realizar de dos formas, mediante un control de deformación o mediante control de esfuerzos. El control de deformación es el que se usa habitualmente, controlando la velocidad de avance de la plataforma del equipo, el control de esfuerzos requiere ir realizando incrementos de carga.

El equipo utilizado para el desarrollo de la prueba se enumera a continuación: prensa para aplicación de carga, deformímetro, calibrador con vernier, balanza, cronómetro y equipo para labrar cilindros.

- Prueba de compresión triaxial UU

La prueba de compresión triaxial UU (no consolidada-no drenada, ASTM D2850-03 y NMX C-432 ONNCCE 2002) también es conocida como “la prueba rápida” (Q), es el ensayo de este tipo más comúnmente efectuado en los laboratorios de Geotecnia, en este ensayo no se permite el drenaje y la probeta no es consolidada.

Este tipo de pruebas se realizan en el laboratorio con el fin de determinar las características de esfuerzo-deformación y resistencia de los suelos sujetos a esfuerzos cortantes, producidos cuando varían los esfuerzos principales que actúan sobre una muestra cilíndrica de suelo, es posible determinar la cohesión  $c$  y el ángulo de fricción interna del suelo en estudio (Juárez-Badillo).

Generalmente en los aparatos de prueba, dos de los esfuerzos son iguales y se producen por presión de un líquido que envuelve a la muestra, el tercer esfuerzo es transmitido a la probeta de forma vertical por un elemento de carga.

El aparato para llevar a cabo las pruebas triaxiales consta de una cámara de compresión triaxial, constituida por un cilindro de lucita, un vástago que transmite la carga axial generada por una prensa, incluye un sistema de drenaje para el llenado y vaciado de agua y cuenta con un sistema para aplicar la presión de confinamiento.

En la práctica, esta prueba se realiza a especímenes de suelos cohesivos como las arcillas, se prueban tres especímenes de una misma muestra inalterada que se confinan en la cámara con diferentes presiones de confinamiento (determinadas por el ingeniero geotecnista), después de establecer la presión de confinamiento se conecta la prensa a la cámara para poder transmitir la

carga axial, se hacen lecturas en intervalos regulares en los lectores de deformación y carga hasta que se produce la falla o hasta que la deformación alcance un valor considerable.

- Consolidación unidimensional:

El objetivo de esta prueba es determinar la disminución de volumen que sufre un suelo por efecto de cargas o por peso propio y la velocidad con que esto se produce el fenómeno de consolidación en un suelo es un proceso de disminución de volumen que se produce en un lapso de tiempo y que tiene su origen en un incremento de cargas en el suelo.

Esta prueba se realiza en arcillas principalmente y a través de esta se obtienen algunos parámetros con los que es posible calcular los asentamientos que se pueden originar en un suelo y el tiempo en el que se producirán.

El equipo y el material que se utiliza para efectuar la prueba se escribe a continuación: consolidómetro, micrómetro con aproximación de 0.0001, cronómetro, torno para el labrado de muestras, espátula, arco con alambre, termómetro y balanza.

## II.VII ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de recabar información geotécnica sobre el subsuelo del sitio, es necesario hacer el análisis de resultados y generar el reporte del estudio, este trabajo es desarrollado por el ingeniero geotecnista y por su equipo colaborador especializado.

Para esta etapa se requiere de profundo conocimiento en la Geotecnia y de amplia experiencia en las fases anteriores, con el fin de que el análisis e interpretación de los resultados se haga de manera correcta y se tomen las decisiones técnicamente adecuadas.

Es en la oficina central o “gabinete” en donde se reciben de forma física o por vía electrónica los registros de campo, los resultados de las pruebas efectuadas en sitio, las fotografías de los trabajos de exploración y de las maniobras, así como los resultados y las evidencias de las pruebas de laboratorio, es tarea del equipo de gabinete organizar, editar e interpretar toda esta para presentarla al cliente en el reporte del estudio.

Las tareas a realizar como parte de los trabajos de gabinete son los siguientes:

- Generar los perfiles estratigráficos de cada uno de los sondeos como reporte de pruebas de campo y laboratorio, en estas gráficas es posible trazar conjuntamente el número de golpes de la prueba SPT obtenidos a cada profundidad, el perfil continuo de contenido de agua, reportar los límites de consistencia obtenidos en las muestras de ese sondeo, señalar el tipo de muestreo efectuado a cada profundidad, reportar resultados de las pruebas efectuadas en las muestras o parámetros medidos (peso volumétrico, densidad de sólidos, porcentajes granulométricos, entre otras) y finalmente, es posible definir la estratigrafía y describir cada uno de los estratos de acuerdo con el SUCS con base en el análisis del conjunto de datos obtenidos en campo y laboratorio.
- Reportar los resultados de las pruebas mecánicas en formatos adecuados o por medio de gráficas en los que se expresen los datos medidos y los parámetros obtenidos a través del cálculo y del análisis geotécnico.

- Editar los reportes y las conclusiones de todas aquellas pruebas o trabajos realizados para un estudio específico.
- Generar figuras o planos que permitan visualizar de forma general el modelo geotécnico del sitio de estudio con base en los resultados de los métodos directos, si la exploración incluye exploración geofísica, es importante mostrar el modelo obtenido a través de la interpretación de los datos obtenidos en los procedimientos indirectos.
- Elaborar un reporte fotográfico con las fotografías de la exploración y el muestreo, así como de las maniobras para llevar a cabo los trabajos de campo; en el caso de los trabajos de laboratorio, es fundamental incluir las fotografías de las muestras así como el desarrollo de algunas pruebas como la determinación de RQD en núcleos de roca, el ensayo a compresión simple, las pruebas triaxiales o aquellas que requieran evidenciarse,
- Aplicar los resultados de la investigación en el dictamen o diseño geotécnico requerido en cada estudio específico, como soporte de esta tarea es necesario incluir los planos y anexos necesarios para comunicar de manera clara y exacta las ideas generadas, esta tarea es realizada por un ingeniero civil geotecnista con amplia experiencia en el ámbito.

El reporte del estudio ha de tener una estructura ordenada para presentar la información obtenida y las conclusiones o recomendaciones, dentro de esta estructura deben incluirse los productos de las tareas mencionadas anteriormente.

## CAPÍTULO III. LA RELACIÓN CON EL CLIENTE PARA UNA PLANEACIÓN EFECTIVA

### III.I EL CLIENTE DE UN DESPACHO DE GEOTECNIA

Los despachos de Geotecnia son las empresas que se encargan de elaborar los estudios geotécnicos, De acuerdo con la metodología *Bussines Model CANVAS* desarrollada por Alexander Osterwalder, el modelo de negocio de un despacho de Geotecnia es el siguiente:

SOCIOS CLAVE	ACTIVIDADES CLAVE	PROPUESTA DE VALOR	RELACIÓN CON CLIENTES	SEGMENTO DE CLIENTES
<p>Cientes.</p> <p>Proveedores.</p> <p>Prestadores de servicios.</p> <p>Asesores legales y contables.</p> <p>Ingenieros y otros profesionistas del área.</p> <p>Otros despachos de ingeniería para colaboración.</p>	<p>Planeación.</p> <p>Logística.</p> <p>Comunicación efectiva con el cliente.</p> <p>Gestión.</p> <p>Recopilación de información.</p> <p>Correcta ejecución.</p>	<p>Obtención y análisis de datos del subsuelo útiles para el diseño y revisión de obras civiles o de infraestructura.</p>	<p>El modelo de relación con el cliente es “Personal dedicada”, implica que el contacto con el cliente debe ser permanente a lo largo del estudio para dar seguimiento y reporte de los trabajos.</p>	<p>Personas o entidades relacionadas con el sector infraestructura que requieren un estudio de Geotecnia como parte de una etapa de estudios básicos de un proyecto de ingeniería, ingenieros, arquitectos, contratistas, empresarios, inversionistas del sector privado, el gobierno.</p>
	<p>RECURSOS CLAVE</p> <p>Maquinaria y equipo de exploración geotécnica.</p> <p>Herramienta y equipo menor.</p> <p>Instrumentos de laboratorio.</p> <p>Vehículos para llevar a cabo los traslados.</p> <p>Edificios para funciones operativas y almacenes.</p> <p>Recursos humanos especializados.</p> <p>Financiamiento.</p>		<p>CANALES</p> <p>Difusión de la oferta por medios masivos.</p> <p>Presentación de la propuesta en los concursos que organizan dependencias públicas.</p> <p>Presentación de la propuesta técnica económica para responder a requerimientos y términos de referencia.</p> <p>Comunicación efectiva con el cliente a lo largo del desarrollo del estudio.</p> <p>Reporte de los trabajos y entrega del informe final por vía electrónica o física.</p>	
<p>ESTRUCTURA DE COSTOS</p> <p>Inversión en adquisición o arrendamiento de equipo, maquinaria y vehículos para efectuar los trabajos.</p> <p>Adquisición de herramienta menor, insumos y materiales.</p> <p>Adquisición o arrendamiento de oficinas, espacio para el laboratorio y almacenes.</p> <p>Mantenimiento correctivo y preventivo del equipo y maquinaria.</p> <p>Costo de la mano de obra de las tres áreas.</p> <p>Trámites.</p>			<p>FUENTE DE INGRESOS</p> <p>Por concepto de trabajos de ingeniería y consultoría en Geotecnia.</p> <p>Por concepto de elaboración de pruebas de laboratorio y análisis de las mismas.</p> <p>Por concepto de trabajos de campo y empleo de maquinaria y equipo de exploración.</p> <p>Por concepto de traslados y visitas técnicas al sitio.</p>	

**Figura 4. Modelo de negocio de un despacho de Geotecnia.**

Los estudios de Geotecnia son necesarios para el desarrollo de obras civiles y de infraestructura, por consiguiente, el segmento del mercado que solicita la realización de un estudio lo componen ingenieros, arquitectos, contratistas, empresarios, inversionistas del sector privado, el gobierno o cualquier involucrado en el desarrollo de infraestructura o proyectos afines, como se presenta en el modelo de negocio.

Las necesidades que los clientes desean cubrir al solicitar un estudio de Geotecnia en general son las siguientes cuatro:

- Contar con la información como parte de los estudios básicos (ingeniería básica de un proyecto) para el diseño de una obra.
- Llevar a cabo la revisión de las condiciones geotécnicas en el sitio en el que se encuentra una obra civil o de infraestructura.
- Obtener información geotécnica sobre una zona o predio.
- Cumplir con un trámite para solicitar permisos de construcción.

El estudio de Geotecnia es un producto profesional y especializado, es el resultado de una investigación y un análisis metódico, los términos de referencia del estudio definen los alcances específicos y permiten al ingeniero geotecnista poner énfasis en aquello que interesa al cliente o a quien interprete el estudio.

Los destinatarios del E.G. por lo general son ingenieros civiles, estructuritas u otros que comulgan en lenguaje y vocabulario, como complemento deberá contextualizarse lo escrito en el reporte para que el estudio sea autosustentable y el cliente o sus intérpretes tengan facilidad en el empleo de la información.

En resumen, los clientes de un despacho de Geotecnia son entidades o personas relacionadas con el sector infraestructura que requieren un estudio de Geotecnia como parte de una etapa de estudios básicos de un proyecto de ingeniería, el lenguaje y el vocabulario usado en el texto es técnico y el reporte debe ser autosustentable.

### III.II MODELO DE LA RELACIÓN CON EL CLIENTE

La relación del despacho de Geotecnia con el cliente es un aspecto fundamental, inicia desde el contacto inicial y culmina con el seguimiento o aclaraciones posteriores a la entrega del estudio, por lo tanto, esta relación perdura a lo largo de las etapas del estudio.

El despacho de Geotecnia además de cumplir profesionalmente en tiempo y forma con lo presentado en la propuesta técnica económica, deberá fomentar una buena relación con el cliente para cumplir con los siguientes objetivos como negocio: captación de clientes y fidelización e incremento de los contratos. La satisfacción integral de los clientes favorecerá el crecimiento del despacho y permitirá un mejor posicionamiento en el mercado. Una buena relación favorecerá además la colaboración bilateral a lo largo del desarrollo de los trabajos.

El E.G. es el resultado de un análisis y constituye en trabajo de consultoría especializada, el modelo de relación con el cliente que corresponde de acuerdo con el Business Model CANVAS es el “Modelo de relación personal dedicada”.

El modelo de relación personal dedicada con el cliente implica que la empresa que ofrece un servicio asigna personal responsable a la atención específica de un cliente, esta atención se

desarrolla a largo plazo; aplicado este modelo a un despacho de Geotecnia, el ingeniero geotecnista o algún miembro de su equipo se ha de encargar de la atención específica del cliente y ha de mantener comunicación bilateral a lo largo de la investigación (Osterwalder y Pioneer, 2010).

### III.III CANALES DE COMUNICACIÓN CON EL CLIENTE

La comunicación efectiva con el cliente en todas las fases del estudio es una de las actividades clave del modelo de negocio de un despacho de Geotecnia, se deben desarrollar estrategias de comunicación empresarial que resulten en protocolos de comunicación bilateral a lo largo del tiempo que dure el estudio.

Los canales de comunicación son fundamentales para los siguientes asuntos: captar la atención de clientes del sector privado para elevar la difusión de la publicidad de la oferta del despacho de Geotecnia, proporcionar información a los clientes para que puedan evaluar la oferta del despacho, permitir el primer contacto con el cliente, gestionar todo lo relacionado con los estudios de Geotecnia, dar seguimiento al desarrollo de los trabajos, realizar la retroalimentación y hacer aclaraciones posteriores a la entrega del estudio; en el caso de los clientes del sector público, es posible monitorear los concursos de obra y estar en contacto con la dependencia encargada para aclaraciones previas a la presentación de las propuestas.

El primer momento en que los canales de comunicación intervienen es a través de los medios de difusión, el despacho de Geotecnia puede difundir los servicios que ofrece a través de la página web de la empresa, cuentas en plataformas de redes sociales, carteles, anuncios en revistas, periódicos y directorios telefónicos, tarjetas de presentación o por vía directa a través de la recomendación de clientes satisfechos; el objetivo de la comunicación empresarial a través de estos canales será ayudar a los clientes a contar con información del despacho de Geotecnia de modo que puedan evaluar la oferta de forma oportuna. En la actualidad, el acceso a las nuevas tecnologías de la información y la comunicación abre un canal de comunicación muy amplio y globalizado, una estrategia de difusión que se apoye en estas herramientas tecnológicas puede tener mayor impacto en el mercado.

En el caso de los estudios para clientes del sector público, el primer momento corresponde a la búsqueda de licitaciones públicas para la realización de trabajos de Geotecnia, en México es posible conocer los concursos a través de canales de difusión oficial en los que se presentan los términos de referencia.

El segundo momento ocurre cuando el cliente establece comunicación con el despacho, es posible que el interesado tenga forma de comunicarse por estar buscando de nuevo los servicios del despacho, puede tratarse de un nuevo cliente que se ha enterado a través de la publicidad o un interesado al que se ha recomendado la empresa para solicitar sus servicios. Los canales de comunicación a través de los que se lleva a cabo este segundo momento son la vía telefónica, el correo electrónico o de forma directa haciendo una visita al domicilio del despacho de Geotecnia para entrevistarse personalmente con el ingeniero geotecnista en jefe.

El responsable de atender al prospecto a cliente en su primer contacto con el despacho procurará conseguir los datos del interesado a modo de garantizar la comunicación y el seguimiento de la oportunidad de colaboración.

En el caso de las licitaciones públicas, en este segundo momento el despacho establecerá contacto con la dependencia encargada para conocer el desarrollo del concurso y aclarar los asuntos sobre los términos de referencia que así lo requieran.

El tercer momento corresponde a la gestión del estudio, el cuarto momento es durante el desarrollo de los trabajos y finalmente el quinto es durante la entrega y las aclaraciones posteriores, la entrega del reporte puede hacerse a través de estos canales: de modo físico, incluyendo todos los escritos, figuras, planos y fotografías, por medio de mensajería o a través de correo electrónico.

Establecer una comunicación efectiva es el factor más importante en la relación con el cliente, a continuación se enlistan aspectos del proceso comunicativo que deben tomarse en cuenta:

- El proceso sirve para tener claro los requerimientos del cliente y los términos de referencia del estudio
- Se deben documentar los requisitos, los términos de referencia y los acuerdos entre el despacho y el cliente.
- El proceso es bidireccional y la retroalimentación debe ser favorecida.
- La comunicación debe ser realizada en un ambiente de confianza y profesionalismo, el despacho debe brindar confianza al cliente en todo momento en que exista contacto.

Los canales de comunicación internos dentro del despacho de Geotecnia deberán propiciar la comunicación con el fin de cumplir con los requerimientos, bajo los términos de referencia del E.G., el tamaño del despacho y la complejidad particular de cada E.G. definirán si es necesario crear por escrito un procedimiento de comunicación interna y con el cliente para ayudar al equipo de trabajo a agilizar y hacer eficiente la comunicación.

Para finalizar esta sección cabe destacar que aunque los canales tradicionales de comunicación con el cliente siguen vigentes y pueden seguir utilizándose, existe una tendencia por utilizar los medios electrónicos y las telecomunicaciones puesto que agilizan la comunicación, permiten el intercambio de datos en tiempo real, no implican costos adicionales, favorecen el envío de información en gran cantidad de formatos y permiten que la publicidad tenga mayor difusión, en el despacho de Geotecnia se deberá evaluar las ventajas que cada canal ofrece en cada uno de los momentos.

### III.IV RELACIÓN CON EL CLIENTE DURANTE LA GESTIÓN DEL ESTUDIO

La comunicación es el aspecto más importante de la relación con el cliente y durante la gestión del estudio puesto que es una fase de negociaciones e intercambio de datos útiles para poder presentar la propuesta técnica económica más ajustada a los términos de referencia, actualmente es posible llevar a cabo las conversaciones por vía telefónica o realizar videoconferencias por internet e intercambiar información a través del correo electrónico en el que existe la posibilidad de adjuntar archivos en diversos formatos digitales.

La finalidad de la gestión del estudio de Geotecnia es establecer una relación comercial, es importante que el despacho de Geotecnia implemente estrategias de negociación que permitan generar acuerdos favorables.

Existen dos vertientes del proceso de gestión, la primera vinculada al proceso que se ha de seguir con clientes del sector privado y la segunda con los del sector público, el proceso con particulares habitualmente se realiza de la siguiente forma: el cliente contacta al despacho, después el interesado expone la situación y los términos de referencia, a continuación el despacho pide información sobre

el sitio de estudio, a continuación el despacho genera la propuesta técnica económica correspondiente que servirá al cliente para decidir si establece la relación comercial y en caso de ser aceptada se firma un contrato, se realizan los trámites y se solicitan autorizaciones de acceso al sitio; la segunda vertiente corresponde a la gestión con clientes del gobierno, las acciones que se llevan a cabo tienen el siguiente orden: el despacho busca estudios de Geotecnia en licitación, con base en los términos de referencia se realiza un propuesta de trabajos y se presenta al concurso convocado por la dependencia pública, se entregan todos los documentos requeridos para participar en el concurso, a continuación se espera al fallo y en el caso de un resultado favorable se inicia con la tramitología para poder iniciar con los trabajos.

El despacho deberá solicitar al cliente la siguiente información de inicio:

- Ubicación del sitio de estudio (dato imprescindible).
- Información que conforma la ingeniería básica (topografía, batimetría, proyecto arquitectónico, esquemas etc.).
- Información complementaria: vías de acceso, servicios públicos, etc.
- Contacto con otros especialistas que trabajan en el mismo proyecto, sobre todo el ingeniero estructurista (de ser posible).
- Otros datos importantes para cada caso particular.

En caso de que se lleve a cabo una visita de campo para recopilar información para la propuesta, se solicitará al cliente el permiso, las facilidades y los documentos necesarios para tener acceso al lugar y poder llevar a cabo el recorrido.

Es importante que el cliente extienda una orden de trabajo o contrato para poder iniciar los trabajos del E.G. en caso de que la propuesta sea elegida.

La etapa de gestión culmina con la tramitología de ingreso al sitio y con la firma del contrato o autorización de realización de los trabajos de Geotecnia.

### III.V RELACIÓN CON EL CLIENTE EN EL DESARROLLO DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA

El modelo de relación durante el desarrollo de los trabajos de Geotecnia implica un contacto constante y dedicado del despacho con el cliente, durante el tiempo en el que se desarrollan las tres etapas del E.G. es necesario mantener comunicación con el cliente a través de llamadas telefónicas, videoconferencias, correos electrónicos o de manera presencial en juntas periódicas.

Se sugiere que se realice una bitácora a la que se anexen fotografías de los trabajos realizados, para reportar periódicamente al cliente el avance de las actividades.

Es fundamental mantener el contacto con el cliente para solicitar permisos o consultar asuntos que surjan durante la realización del estudio, una buena relación facilitará el flujo de las actividades planeadas y contribuirá a la entrega en tiempo y forma del reporte.

## CAPÍTULO IV. PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA

Se llama propuesta técnica económica (P.T.E.) del estudio de Geotecnia al documento elaborado por el ingeniero geotecnista y su equipo colaborador para presentar al cliente el alcance de la investigación, la propuesta técnica, la cotización y la duración que tendrá el estudio que el cliente ha solicitado realizar, con base en los términos de referencia establecidos. La P.T.E. es un instrumento de comunicación entre el despacho de Geotecnia y el cliente durante la gestión del estudio, es clave para el inicio de la relación comercial porque presenta todos los aspectos detallados que el cliente debe evaluar para celebrar un contrato con el despacho de Geotecnia.

Los términos de referencia son la base para poder armar una P.T.E, pueden ser solicitudes simples y concreto o especificaciones muy detallados y extensas, son establecidos por el cliente, por asesores conocedores de Geotecnia o complementadas por el mismo ingeniero geotecnista de acuerdo a la aplicación de la investigación, contienen las especificaciones técnicas, objetivos de la ejecución del estudio y propuesta de un E.G., presentan el lugar en el que se llevará a cabo la investigación, enuncian los objetivos generales y específicos, se define el tiempo disponible, se detallan los requisitos técnicos mínimos para la ejecución del estudio y se aborda acerca de los resultados y contenidos esperados en el informe. Los términos de referencia no deben ser limitativos, el ingeniero geotecnista debe hacer uso de su conocimiento geotécnico para recomendar la ampliación de la investigación con el fin de obtener información certera y suficiente.

La propuesta generada por el despacho de Geotecnia con base en los términos de referencia debe cumplir con las siguientes características

- Debe ser lo más **certera** posible, con una posibilidad de variación mínima mencionada al cliente, esta posible variación puede existir debido a que las condiciones del subsuelo no son totalmente predecibles, el ingeniero geotecnista debe mencionar que existe la probabilidad de ampliación del estudio para contar con más datos en función de las condiciones y características que se detecten en la fase de trabajos de campo.
- La P.T.E. es un documento de elevada importancia, constituye un instrumento de negociación entre el despacho de Geotecnia y el cliente, por lo tanto, debe redactarse con la mayor **formalidad y profesionalismo**.
- La redacción de la propuesta debe ser totalmente **clara** en todos los aspectos, debe delimitar el alcance y especificar punto a punto los trabajos que se harán y la manera en la que se llevarán a cabo, se ha de poner énfasis en definir los entregables del E.G., es muy importante definir esto para posteriores aclaraciones.
- La propuesta debe ser **autosustentable**, deberán incluirse todos aquellos anexos necesarios para describir los procedimientos de trabajo a efectuar y todos los aspectos relacionados con el estudio que merecen ser descritos.

Una propuesta técnica-económica está integrada por tres grandes bloques, el bloque técnico relativo a los trabajos geotécnicos a realizar, el bloque económico relativo al precio del estudio, y, finalmente el programa de trabajos que organiza las actividades en el tiempo y estima la duración del estudio. El bloque técnico o propuesta técnica depende de los términos de referencia establecidos, de las normas vigentes, de las características del terreno del sitio del estudio y del conocimiento geotécnico teórico y práctico, por otro lado, el bloque económico depende directamente de lo definido en el bloque económico, es posible definir el costo del estudio

conociendo la cantidad, el tipo y el costo unitario por cada concepto de trabajo a realizar, finalmente la elaboración de un programa de actividades implica ordenar en el tiempo de forma lógica y secuencial la ejecución de las actividades que conforman el estudio y optimizar los recursos económicos en la ejecución de las actividades.

A continuación se describe el proceso de elaboración de los tres principales bloques que conforman una propuesta:

- A. Propuesta técnica: Planear las tres etapas del estudio es la actividad que da forma al bloque técnico de una P.T.E., a través del proceso de planeación es posible definir todos los trabajos que habrán de ejecutarse durante el estudio, detectar todos los recursos requeridos y definir la duración de cada uno de los trabajos y del estudio en general.

Elaborar la propuesta técnica implica tomar en cuenta la recopilación de la información hecha al inicio de la etapa de gestión, estos datos junto con la normatividad vigente permitirán la elaboración de un plan de trabajos de campo adecuado a las características del sitio que incluya la exploración geotécnica y el muestreo necesario, así como el diseño de un esquema de pruebas de laboratorio y la definición de la estructura del reporte de acuerdo con los alcances y términos de referencia, en el capítulo 5 del presente trabajo se presentan criterios y sugerencias para llevar a cabo un plan de trabajos de un E.G.

Es importante, en la medida de lo posible, describir los trabajos que se realizarán como parte de las campañas de investigación, anexar fotografías de maniobras especializadas, especificar la forma en la que se ubicarán los puntos de exploración, las tecnologías y los métodos usados a lo largo de la investigación.

- B. Propuesta económica: Para elaborar la propuesta económica es necesario partir de las especificaciones de la propuesta técnica, con base en los trabajos propuestos es posible definir el precio total del estudio a través de un análisis de precios unitarios del estudio de Geotecnia.

Se conoce como precio unitario al pago o remuneración que el cliente debe cubrir al prestador de servicios, por unidad y por concepto de trabajo ejecutado de acuerdo a las especificaciones, en un E.G. los conceptos de trabajo son aquellas operaciones efectuadas por las tres áreas del despacho o servicios requeridos para poder ejecutar un estudio completo, con base en las especificaciones y términos de referencia, definir conceptos de trabajo es muy importante puesto que a través de este método es más fácil presupuestar y llevar a cabo una cuantificación del trabajo. Las unidades de medición de los conceptos de trabajo son señaladas en los términos de referencia o por las especificaciones para poder llevar a cabo una cuantificación con fines de cotización (Carreño y Meade, 1976).

Llevar a cabo un análisis de precios unitarios implica conocer a fondo las actividades que se realizan a lo largo del E.G., identificar los recursos humanos (mano de obra), el rendimiento del personal en las distintas actividades, la maquinaria y equipo utilizado en los procesos y los materiales que son requeridos en cada concepto de trabajo, esto es necesario porque el precio unitario está integrado por costos directos (materiales, mano de obra y equipo), costos indirectos (administración central y en obra, financiamiento, impuestos, fianzas y seguros e imprevistos), más la utilidad.

La mano de obra en la etapa de exploración consiste en brigadas de perforación o excavación integradas por un perforista y dos o tres ayudantes, así como choferes y

ayudantes generales, las brigadas se encuentran a cargo de un supervisor de campo encargado de reportar lo que ocurre en campo y de proveer a las brigadas de los recursos necesarios y mantener informadas a las otras áreas del despacho sobre el desarrollo de los trabajos

El equipo en la etapa de trabajos de campo se compone de máquinas de exploración, transporte y equipo mecánico y eléctrico indispensable para la realización de las actividades, a su vez, los materiales son insumos que se ocupan para el muestreo y la perforación en el sitio.

En el laboratorio, la mano de obra la integran laboratoristas e ingenieros especializados en la realización de los ensayos geotécnicos; el equipo consiste en todos los instrumentos y máquinas indispensables para la correcta ejecución de las pruebas y los materiales son aquellos que se requieren para el desarrollo de las pruebas de acuerdo con los procedimientos.

Finalmente en gabinete, el equipo y los materiales son los utilizados en una oficina y la mano de obra la componen ingenieros civiles y especialistas en Geotecnia encargados de organizar y analizar la información generada en campo y en laboratorio.

Los conceptos que integran el análisis de precios unitarios pueden agruparse en partidas que corresponden a cada una de las etapas del estudio: trabajos de campo, pruebas de laboratorio y trabajos de gabinete, organizando de esta manera el presupuesto es posible presentar la información de una forma clara y visualizar el precio cotizado para cada una de las etapas técnicas del proyecto. A continuación se presenta un ejemplo de cotización elaborada para un estudio de Geotecnia, en la unidad número 6 se presentan algunas recomendaciones para estructurar una propuesta económica:

<b>PROPUESTA ECONÓMICA</b>					
<b>ESTUDIO DE GEOTECNIA</b>					
					16-nov-16
No.	CONCEPTO	CANT.	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
<b>A. TRASLADOS Y VISITA TÉCNICA</b>					
1	Transporte del equipo y personal de perforación al sitio de trabajo, y permanencia de un vehículo durante los trabajos.				
	- Camioneta 3.5 ton con remolque	1	brigada	\$59,800.00	\$59,800.00
	- Trasmotor				
	- camión doble rodada con remolque	1	brigada	29,700.00	29,700.00
2	Traslado de brigada de estudios geofísicos al sitio de estudio.	1	lote	\$49,000.00	\$49,000.00
3	Visita de reconocimiento por el Coordinador del proyecto al sitio de estudio.	1	lote	\$27,500.00	\$27,500.00
4	Balsa flotante para montar equipo de perforación y efectuar sondeo en agua.	1	lote	\$45,000.00	\$45,000.00

<b>B. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA</b>					
5	Sondeo alterado de penetración estándar.	26.10	m	\$601.00	\$15,686.10
6	Ademe metálico recuperable				
	- en agua	4.20	m	\$315.00	\$1,323.00
	- en suelo	20.30	m	\$407.00	\$8,262.10
7	Maniobras de instalación y cambio del equipo en sondeos.	2	sondeo	\$2,484.00	\$4,968.00
9	Viáticos del personal de campo durante la exploración.	5	jornada	\$2,475.00	\$12,375.00
9	Velador nocturno y de fin de semana.	4	jornada	\$370.00	\$1,480.00
10	Alquiler de lancha para el transporte de personal, suministros y arrastres de chalán en agua.	5	día	\$2,541.00	12,705.00
<b>C. PRUEBAS DE LABORATORIO</b>					
11	Clasificación (SUCS) y contenido de agua	47	prueba	\$37.00	\$1,739.00
12	Granulometría por mallas	11	prueba	\$187.00	\$2,057.00
13	Densidad de sólidos	4	prueba	\$119.00	\$476.00
<b>E. INGENIERÍA</b>					
14	Recopilación y presentación de la información de campo y laboratorio en forma gráfica y/o tabulada, análisis, interpretación de resultados y elaboración de reporte técnico.	1	lote	\$15,500.00	\$15,500.00
<b>RESUMEN</b>					
A. TRASLADOS Y VISITA TÉCNICA					\$211,000.00
B. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA					\$56,799.20
C. PRUEBAS DE LABORATORIO					\$4,272.00
E. INGENIERÍA					\$15,500.00
IMPORTE DEL ESTUDIO:					\$287,571.20
MÁS 16% DEL IVA:					\$46,011.39
<b>IMPORTE FINAL DEL ESTUDIO:</b>					<b>\$333,582.59</b>

**Figura 5. Ejemplo de propuesta económica o cotización de un estudio de Geotecnia.**

C. Programación de los trabajos: Consiste en ordenar en el tiempo con una secuencia lógica la ejecución de todos los trabajos que implica un estudio de Geotecnia (posteriores a las actividades preliminares), para efectuar este proceso es necesario diseñar la estructura de división del trabajo y posteriormente hacer el cronograma de ejecución del estudio.

La estructura de división del trabajo consiste en fraccionar el estudio en paquetes de trabajo de manera lógica y sistemática, con el fin de manejar fácil y efectivamente el estudio, a su vez estos paquetes se dividen en actividades específicas (pueden coincidir con los conceptos definidos en el análisis de precios unitarios) que se pueden programar, presupuestar y controlar. En el caso de un E.G. los cuatro paquetes de trabajos son: traslado al sitio, trabajos de campo, pruebas de laboratorio y trabajos de ingeniería, el paquete de pruebas de laboratorio puede ser dividido en dos trenes: el de pruebas índice y el tren de pruebas mecánicas.

Una vez realizada la estructura de trabajos del estudio y habiendo definido las actividades específicas, se procede a hacer el cronograma de actividades, en este cronograma se define las secuencias del trabajo, la duración y las fechas de inicio y fin de cada una para finalmente definir el tiempo de realización del estudio y la estructura secuencial de los trabajos, el cronograma puede ser representado gráficamente en un diagrama de Gantt.

Para elaborar un diagrama de Gantt es importante elaborar una tabla de secuencia de actividades para presentar en orden cronológico la ubicación de cada actividad en el estudio, asegurando la inclusión de todas las actividades en la estructura de tiempo, es importante anotar para cada actividad el proceso que precede y el que sigue de modo de establecer una red de interrelaciones entre los procesos de trabajo. Después de haber graficado el diagrama con base en la tabla de secuencias se procede a determinar las duraciones de las actividades, sus fechas de inicio y fin, calcular las holguras y finalmente determinar la ruta crítica. En la figura que se muestra a continuación se ejemplifica un programa de trabajos para un estudio de Geotecnia;

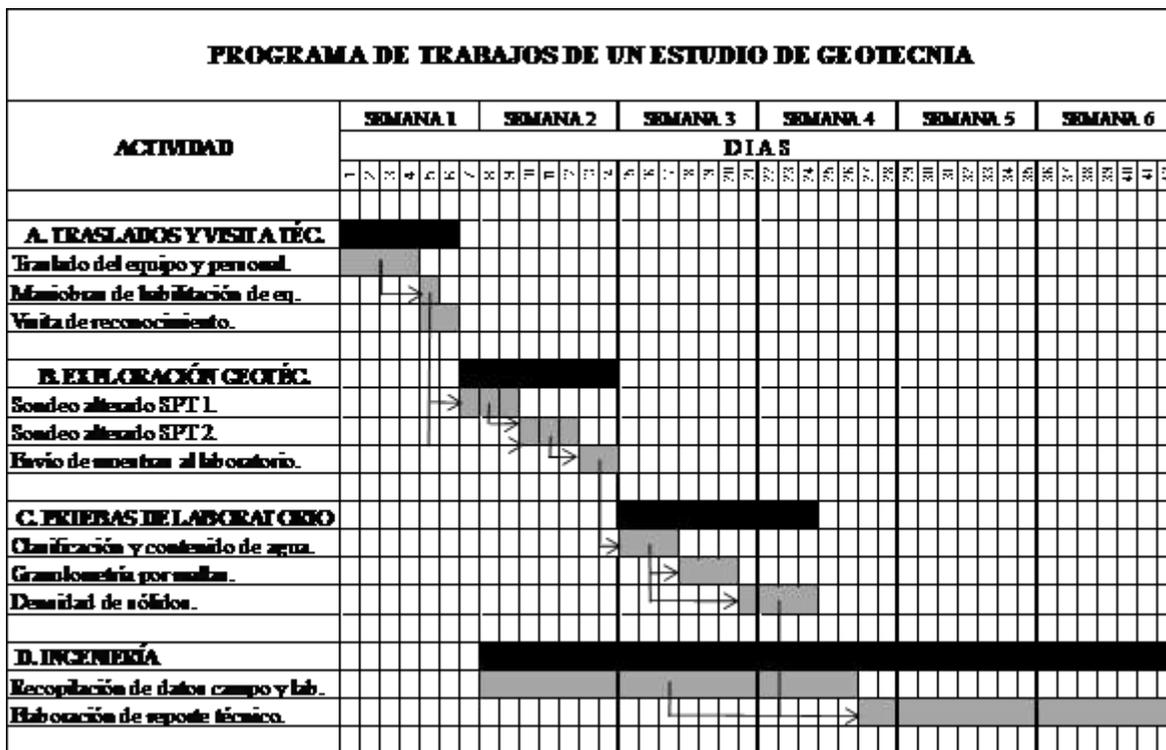


Figura 6. Ejemplo de programa de trabajos de un estudio de Geotecnia,

Cabe mencionar que la duración de las actividades depende de la disponibilidad de los recursos, de la capacidad del despacho (personal, instalaciones y equipo) y del rendimiento.

Una propuesta técnica económica independientemente de su formato debe incluir estos tres bloques, es importante incluir además, en la medida de lo posible, una solicitud de los permisos y autorizaciones necesarias para trabajar en el sitio.

A continuación se muestra un esquema prototipo de la estructura de una P.T.E., resultado del análisis de propuestas presentadas a particulares y elaboradas por la empresa Geotec S.A. de C.V., y por el Ing. Antonio Sifuentes Valles:

Prototipo de la estructura de una P.T.E.

1. Alcance del estudio de Geotecnia.
2. Cotización o propuesta económica (incluyendo forma de pago).
3. Duración de los trabajos del estudio.
4. Propuesta técnica del estudio.
5. Permisos para el inicio de los trabajos en el sitio.
6. Solicitud de contrato u orden de trabajo.
7. Fecha de inicio del estudio

#### ANEXOS

- A. Cotización desglosada.
- B. Programa o calendario de trabajo.
- C. Fotografías y esquemas

Sección de la propuesta	Descripción del contenido
1. Alcance del estudio de Geotecnia	Se puntualizan todas aquellas actividades que comprende el estudio de Geotecnia solicitado con base en las solicitudes del cliente y en los términos de referencia establecidos, se describe brevemente el proyecto al que corresponde el estudio, se especifica todo aquello que se definirá y entregará al final.
2. Cotización o propuesta económica	<p>Se compone por la propuesta económica del estudio de Geotecnia, el detalle de la cotización del estudio se puede reportar en los anexos.</p> <p>La estructura de la cotización puede componerse de cuatro partidas (como se propone en párrafos anteriores), que clasifiquen a los conceptos de acuerdo a la etapa del estudio a la que corresponden, por ejemplo:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Traslados y visitas técnicas.</li> <li>2) Exploración geotécnica.</li> <li>3) Pruebas de laboratorio.</li> <li>4) Ingeniería</li> </ol>

	<p>Debe resaltarse el importe total aproximado del estudio, resultado de la suma de todos los conceptos incluidos en la cotización.</p> <p>Esta sección debe incluir las notas que se consideren oportunas con respecto a la forma de pago, si se requiere anticipo, los impuestos relacionados y un calendario de pagos bien definido.</p>
3. Duración de los trabajos del estudio	<p>Se comunica al cliente una estimación de la duración total del estudio, esta estimación debe ser lo más certera posible.</p> <p>Es importante que la redacción sea clara en cuanto a la posibilidad de que existan retrasos generados por condiciones climáticas adversas u otras que están fuera del control del despacho de Geotecnia.</p> <p>La duración de los trabajos debe sustentarse en el programa o calendario detallado de los trabajos del E.G., este puede incluirse en los anexos de la propuesta.</p>
4. Propuesta técnica	<p>Se presenta un resumen ejecutivo de los trabajos a realizar y de la justificación técnica de los mismos, es importante enumerar los procedimientos y la tecnología a utilizar.</p>
5. Solicitud de permisos para el inicio de los trabajos en el sitio	<p>En este apartado se solicita al cliente los oficios, permisos y facilidades necesarias para arribar, ingresar al sitio y llevar a cabo los trabajos.</p>
6. Solicitud de contrato u orden de trabajo	<p>El despacho de Geotecnia ha de solicitar al cliente el contrato o la orden de trabajo si la propuesta resulta del interés del solicitante con la finalidad de establecer una relación comercial.</p>
7. Fecha de inicio del estudio	<p>Se comunica al cliente sobre la fecha a partir de la que el despacho puede iniciar con los trabajos del estudio de Geotecnia, tomando en cuenta la disponibilidad de equipo y personal.</p>
8. Anexos	<p>Las secciones adjuntas que conviene incluir en una P.T.E. son:</p> <p>a) Cotización del E.G. detallada (correspondiente al bloque propuesta económica).</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>b) Calendario o programa de trabajos (relativo al bloque de organización de las actividades en el tiempo).</li> <li>c) Fotografías para mostrar las maniobras y trabajos a realizar (con el fin de sustentar el resumen ejecutivo de la propuesta técnica).</li> </ul>
--	---

**Figura 7. Descripción de las secciones de una propuesta técnica económica para particulares.**

Cuando la propuesta responde a la convocatoria emitida por una dependencia de gobierno que realiza un concurso de los trabajos de Geotecnia, es importante cumplir con los trámites requeridos y presentar los documentos oficiales necesarios para poder inscribir al despacho o empresa geotécnica en la licitación, es de vital importancia seguir la estructura que establece la convocatoria para la presentación de la propuesta con el fin de cumplir con los procedimientos legales establecidos para este tipo de concursos, a continuación se presenta el esquema típico para presentar una propuesta en una licitación:

Sección de la propuesta	Descripción del contenido
1. Propuesta técnica	<p>Contiene la información técnica del despacho de Geotecnia (comprobación de la capacidad técnica de la empresa y de su personal, experiencia en trabajos similares al solicitado), así como los aspectos técnicos relacionados con los trabajos.</p> <p>La propuesta técnica incluye la relación de maquinaria y equipo, descripción de los recursos a utilizar, la descripción de los procedimientos y de todos los trabajos a realizarse en las etapas del estudio y el programa de ejecución.</p>
2. Propuesta económica	<p>Integrada por la información económica y fiscal de la empresa y la cotización de los trabajos.</p> <p>Contiene el catálogo de conceptos, el análisis de precios unitarios de los conceptos de trabajo requeridos para la realización de los trabajos y la cotización final de las actividades que implica el estudio de Geotecnia.</p>

**Figura 8. Descripción de las secciones de la propuesta técnica económica presentada en una licitación pública.**

## CAPÍTULO V. LA PLANEACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE GEOTECNIA

La planeación en las actividades que constituyen el proyecto de ingeniería debe recibir especial y cuidadosa atención, planear es fundamental para poder ejecutar las acciones adecuadas de forma correcta y para evitar retrasos o la ocurrencia de casos no previstos que eleven el costo por concepto de trabajo.

Planear es concebir un futuro deseado y establecer el modo y los medios para lograrlo, por consiguiente, en un estudio geotécnico es fundamental llevar a cabo la planeación de todos los trabajos de investigación con la finalidad de cumplir con los objetivos definidos (Kuri Abdala, 2009).

El producto de la planeación será el “Plan del estudio de Geotecnia” (PEG) que consistirá en un programa de trabajos de investigación y en una descripción de las campañas de trabajos en campo y laboratorio, de la logística asociada y de los costos por los conceptos de trabajo.

La elaboración de un plan de actividades que permita llevar a cabo un estudio de Geotecnia es una tarea que depende fundamentalmente de la experiencia particular del ingeniero geotecnista.

La realización del P.E.G. forma parte de la etapa preliminar, tomará como base los resultados de la investigación previa. El P.E.G. responderá a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los datos que se necesitan conocer del suelo en el sitio?
- ¿Cuál será el procedimiento a ejecutar para obtener los datos?
- ¿Cuánto tiempo tomará la realización del estudio?
- ¿Cuál será el costo por los trabajos realizados?

Como se mencionó en el capítulo anterior, el P.E.G. será el fundamento para elaborar la propuesta técnica-económica que se entregará al cliente, por lo tanto, el plan es la primera actividad que se trabajará en torno a un E.G.

### V.I CARACTERÍSTICAS DEL PLAN DE ESTUDIO

A continuación se enlistan las características con las que debe cumplir un plan diseñado para llevar a cabo un estudio de Geotecnia (Sowers, 1979).

- 1) El plan buscará que el E.G. sea un producto de calidad, esto quiere decir que proporcionará la información adecuada al proyecto de ingeniería correspondiente.
- 2) Debe garantizar la obtención de la información suficiente para el diseño de las obras civiles y de infraestructura y para evaluar las condiciones del subsuelo en el sitio.
- 3) El plan buscará minimizar la incertidumbre en cuanto a las características geotécnicas del sitio de estudio, sin embargo es un hecho que siempre existirá el riesgo de que no sean detectadas algunas características del suelo que se traduzcan en problemas.
- 4) Considerar las tres fases del E.G en la planeación.: trabajos de campo, pruebas de laboratorio y trabajos en gabinete.

## V.II DEFINICIÓN DE ALCANCES Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA

En primer lugar es importante definir cuáles son los objetivos y el alcance del E.G., esta actividad permitirá establecer las directrices de la investigación, establecer los objetivos y los alcances de un estudio geotécnico permitirán definir los datos que se necesitan investigar para tener un E.G. completo y adecuado. En algunas ocasiones el cliente con base en su propio criterio solicita datos específicos, sin embargo, es deber del ingeniero geotecnista proponer lo que desde el punto de vista de la ingeniería se requiere para poder tener un conocimiento geotécnico integral del sitio.

De manera general, un estudio de Geotecnia completo debe investigar la siguiente información del subsuelo (Sowers, 1979):

- 1) Origen y clasificación geológica de los suelos y de las rocas, (naturaleza geológica de los depósitos).
- 2) Descripción de los estratos que forman el subsuelo del sitio, (discontinuidades, profundidad, espesor, composición de la estratigrafía).
- 3) Clasificación geotécnica de los suelos de cada estrato.
- 4) Estructura y consistencia natural de los materiales de cada estrato.
- 5) Profundidad del nivel freático.
- 6) Propiedades índice y mecánicas del suelo, que afectan directamente al comportamiento de la estructura.
- 7) Parámetros geotécnicos particulares que el ingeniero geotecnista considere que deben ser investigados.

Es tarea del ingeniero geotecnista el definir qué se va a investigar, con base en esto se redactan los alcances del estudio y son la guía para llevar a cabo las siguientes fases del proceso de elaboración del P.E.G.

## V.III PLANEACIÓN DE LA PROPUESTA TÉCNICA DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA

La propuesta técnica de un E.G. constituye el procedimiento en campo, laboratorio y gabinete que debe realizarse para cumplir con los objetivos de la investigación, esta propuesta debe ser conocida por todas las áreas que conforman el despacho de Geotecnia para tener claro los trabajos que serán ejecutados.

Es importante comunicar al cliente de forma escrita el procedimiento técnico, este no ha de ser una redacción descriptiva en prosa, ha de ser una prescripción de lo que se necesita hacer para llevar a cabo la investigación y que constituye la estructura formal del estudio,

Como se ha mencionado a lo largo del presente escrito, el estudio de Geotecnia se compone de tres etapas: la primera consiste en una serie de trabajos de campo que incluye a la exploración, el muestreo y las pruebas en el sitio, la segunda etapa consiste en la realización de pruebas de laboratorio y finalmente la etapa de gabinete que incluye el análisis, la evaluación de los resultados y los dictámenes.

Planear un estudio de Geotecnia implica concebir todas las actividades que comprenden las tres etapas de un estudio de Geotecnia, o bien, idear la propuesta técnica del estudio de Geotecnia junto con los procedimientos y las tecnologías usadas en las etapas de la investigación. A continuación se describe la estructura de la propuesta técnica:

- Campaña o programa de trabajos de campo: Comprende todos los trabajos que se van a realizar en el sitio de estudio, para la planeación de la campaña es necesario definir el tipo de exploración se va a realizar, la cantidad y la profundidad de los sondeos o de los pozos a cielo abierto, define el número y el tipo de muestras que van a tomarse y aclara el tipo y cantidad de pruebas que se realizarán en el sitio.
- Programa de pruebas de laboratorio: Reúne todas las pruebas que se harán a las muestras extraídas durante la exploración y el muestreo del sitio, las pruebas son definidas con base en los alcances de la investigación y con la finalidad de conocer los parámetros geotécnicos que deben investigarse.
- Esquema de análisis y reporte: Consiste en establecer la estructura del reporte del E.G., permite organizar la forma en que se presentará al cliente la información. El esquema debe realizarse de modo que el reporte incluya todos los alcances del E.G.

Para el diseño de la propuesta técnica es importante además tener claro el grado de detalle que requiere la investigación, a continuación se describe cada uno de los niveles de detalle de una investigación geotécnica (Sowers,1979):

1. Nivel de detalle bajo: Consiste en llevar a cabo el reconocimiento del sitio y recabar datos superficiales de las condiciones del subsuelo, la información que se obtiene corresponde a la descripción de los elementos geológicos en el lugar y a partir de estos datos estimar las condiciones geotécnicas, no es recomendable que el estudio se realice con este grado de profundización porque no se tendrá certeza suficiente.
2. Nivel de detalle medio: Además del reconocimiento del sitio, incluye la exploración del subsuelo para determinar la estratigrafía, el nivel freático y a partir de estos datos es posible estimar las propiedades índice y mecánicas del suelo.
3. Nivel de detalle alto: Es el nivel ideal al que deben llegar todos los E.G., comprende la obtención de datos cuantitativos en el laboratorio y el análisis de los resultados, se obtienen los datos clave para diseño y el dictamen.

### V.III.I CAMPAÑA O PROGRAMA DE TRABAJOS DE CAMPO

La planeación de la campaña de trabajos de campo debe realizarse considerando los alcances y términos de referencia del estudio, la caracterización del terreno y consultando los reglamentos y las recomendaciones técnicas correspondientes.

Para elaborar el programa de trabajos de campo es muy importante investigar si existe un reglamento o norma de construcciones de la región, es común que en los reglamentos locales existan sugerencias o criterios propuestos para llevar a cabo la exploración del subsuelo, así como una regionalización sísmica basada en investigaciones realizadas en la zona. En caso de que en la región se cuente con un reglamento que cuente con recomendaciones para llevar a cabo los trabajos

de campo de un E.G., el ingeniero geotecnista deberá tomar esta información como base para determinar la cantidad y la profundidad de los sondeos, así como las especificaciones de muestreo que permitan tener información adecuada.

Para planear la campaña de los trabajos es indispensable **caracterizar el terreno** de acuerdo con las propiedades del suelo, esta caracterización se debe apoyar en el conocimiento geológico general y en los datos recabados en la investigación previa, para caracterizar el sitio también se tomará en cuenta lo observado durante el reconocimiento del sitio (en caso de realizarlo), de modo que a partir de la observación de las condiciones en el sitio de estudio, de la información geotécnica, geológica y de los distintos recursos consultados se podrán enumerar las características del terreno y los probables escenarios del modelo geotécnico, esta información permitirá al ingeniero geotecnista proponer la exploración y el muestreo que permita obtener la información adecuada y suficiente para definir de manera confiable los parámetros de diseño de la cimentación o aquellas características geotécnicas que interesen en el E.G. particular, la caracterización del terreno servirá para buscar información suficiente sobre aspectos geotécnicos desfavorables que puedan afectar al sitio.

Después de caracterizar el terreno, se recomienda clasificarlo de acuerdo a la propuesta del *Manual de diseño de obras civiles, Diseño por sismo (CFE 2008)*, este esquema de clasificación es útil para poder aplicar criterios para seleccionar la exploración, según este manual, existen cuatro tipos de terreno por su respuesta dinámica: terreno rocoso, terreno con suelo firme, terreno con suelo medio y terreno con suelo blando, en la siguiente tabla se indica el número de golpes en la prueba de penetración estándar que corresponden a cada una de las categorías de terreno:

Tipo de terreno	Número de golpes (SPT)
1. Terreno rocoso	
2. Terreno con suelo firme	>50
3. Terreno con suelo medio	15 – 50
4. Terreno con suelo blando	<15

**Figura 9. Tipo de terreno de acuerdo con la prueba SPT.**

Además del número de golpes, es posible clasificar el terreno conociendo las características más sobresalientes de las cuatro categorías de suelo:

- Tipo 1. Roca: El terreno es parte de un macizo rocoso o está estructurado por fragmentos de él, es el terreno que contiene material con la mayor resistencia.
- Tipo 2. Suelo firme: La estratigrafía se compone de suelos duros o firmes, en la práctica existe dificultad para poder excavar el suelo, el material que se encuentra en este terreno puede ser arena muy compacta, material muy duro o pedregoso.
- Tipo 3. Suelo medio: En los sitios con este tipo de terreno es común que al intentar llevar a cabo una excavación con una pala, sea necesario aplicar presión para poder penetrar en el suelo. Se compone por una mezcla entre materiales de suelo firme y de suelo blando.
- Tipo 4. Suelo blando: En la práctica, la excavación en este tipo de terreno puede llevarse a cabo sin ninguna dificultad, los materiales que componen este tipo de terreno son arcillas y limos. El material que conforma el suelo de este tipo de terrenos suele ser muy deformable.

Cuando la información previa (la proporcionada por el cliente y la investigada por cuenta propia) no es suficiente para seleccionar los trabajos de campo a realizar, el ingeniero geotecnista deberá ser

conservador al momento de proponer la exploración y el muestreo, con el fin de obtener la información mínima necesaria.

Planear el programa o campaña de exploración consistirá en definir el tipo, cantidad y profundidad de la exploración geotécnica, la planeación la llevará a cabo el ingeniero geotecnista, además de las recomendaciones para diseñar la campaña de exploración y muestreo que se proponen, el especialista está obligado a realizar todos los estudios adicionales que sean necesarios para definir correctamente las condiciones del suelo en el sitio.

### **Recomendaciones para la planeación de una campaña de exploración y muestreo:**

Esta serie de recomendaciones para planear la campaña de trabajos de campo, está basadas en la práctica geotécnica profesional y en las sugerencias hechas por las *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones 2004* del Distrito Federal, tomadas como base puesto que en la ciudad de México se cuenta con tres tipos de terreno que son análogos a las cuatro categorías de caracterización del terreno que se proponen en este trabajo (considerando que los criterios para terrenos firmes pueden tomarse en cuenta también para terrenos rocosos).

- a) Cantidad de puntos de exploración: La cantidad mínima de puntos de exploración depende de la homogeneidad de la estratigrafía en el sitio (información reportada en las referencias consultadas o detectada en la visita de reconocimiento), en los terrenos en los que se reporte mayor homogeneidad en la estructura del subsuelo se debe realizar al menos una exploración por cada 120 m o fracción de dicho perímetro y en aquellos en los que se reporte mayor variación en la estratigrafía se debe efectuar al menos una por cada 80 m o fracción del perímetro o envolvente de la superficie cubierta por la construcción.
- b) La distribución entre los puntos de exploración debe ser uniforme en el área o línea de exploración, la separación entre los puntos de exploración disminuirá sobre la marcha si son necesarios más datos para obtener un estudio completo o aumentará en caso de que la estratigrafía no cambie en sondeos próximos (Sowers, 1970).

En la tabla que se presenta a continuación se presentan distancia de separación entre puntos de sondeos que son consideradas en la práctica en el momento de planear una campaña de exploración geotécnica.

Estructura o proyecto	Separación entre puntos
Carretera	60-600 m
Presas de tierra, diques	15-60 m
Depósitos de almacenamiento	30-120 m
Edificios de varios niveles	15-45 m
Naves industriales	30-90 m

**Figura 10. Separación entre puntos de exploración (Sowers, 1979)**

- c) Profundidad de la exploración: La profundidad a la que se llevará la exploración dependerá de los objetivos y alcances del estudio, si la exploración que se requiere es somera (hasta 4 m de profundidad) o profunda, del tipo de construcción asociada a la investigación y en su caso, de la profundidad a la que se piensa desplantar la cimentación, así como de las condiciones del subsuelo. Esta profundidad en ningún caso será inferior a dos metros bajo el nivel de desplante de la obra.

Durante la elección de la profundidad de la exploración también se deben considerar las condiciones que producen las construcciones vecinas, de modo que se explore a una profundidad que permita contar con información oportuna.

Para estructuras muy importantes como lo son los grandes puentes o los edificios de varios niveles la exploración deberá ser profunda y deberá llevarse hasta los estratos resistentes y penetrar en ellos (Sowers, 1970).

En terrenos en los que se reporte la existencia de suelos compresibles, se debe verificar el espesor de los estratos de este tipo de materiales y además penetrar en el estrato incompresible al menos 3 m, en caso de que existan capas compresibles subyacentes se debe perforar en ellas.

En construcciones constituidas por cuerpos con estructuras separadas, deberán realizarse exploraciones suficientemente profundas para poder estimar los asentamiento inducidos por la carga combinada del conjunto de estructuras individuales (NTC RCDF, 2004).

- d) Los métodos indirectos de exploración (métodos geofísicos), solamente se emplearán como apoyo de las investigaciones directas.
- e) **Tipos de exploración:** En todos los casos debe llevarse a cabo una inspección superficial a detalle del predio, en construcciones en proceso debe efectuarse después de realizar el desmonte y despalme del predio.

En la siguiente tabla se presentan criterios para seleccionar el tipo de exploración a realizar de acuerdo con el tipo de terreno encontrado en el sitio.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE TIPO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA			
Tipo de exploración	Muestreo	Terreno	
Sondeos de penetración estándar SPT	Muestreo alterado	2,3 y 4	Profunda
Muestreo con tubo Shelby TS	Muestreo inalterado TS	4	Profunda
Muestreo con barril Denison	Muestreo semi inalterado	1(rocas blandas) y 2	Profunda
Muestreo con broca de diamante o de carburo de tungsteno	Núcleos de roca	1	Profunda
Exploración con brocas helicoidales	Muestreo alterado	*	Profunda
Sondeos mixtos	Combinación de SPT con los otros muestreos	1,2,3 y 4	Profunda
Cono eléctrico	Sin muestreo	4	Profunda
Pozos a cielo abierto	Muestreo alterado e inalterado	1,2,3 y 4	Somera
Cono dinámico DCP	Sin muestreo	1,2,3 y 4	Somera

**Figura 11. Criterios de selección de métodos de exploración de acuerdo con el tipo de terreno.**

(\*) Suelos granulares y algunos tipos de arcillas.

En la siguiente figura se detalla sobre la aplicabilidad de los métodos de exploración más usuales, bajo el criterio de la consistencia y la granulometría de los suelos:

Aplicación de los métodos de exploración geotécnica más usuales.	
Sondeo de penetración estándar SPT	Suelos granulares (arenas y arenas con poca grava) y cohesivos. No adecuado en gravas y boleos.
Muestreo con tubo Shelby TS	Suelos cohesivos de consistencia blanda a firme.
Muestreo con barril Denison	Suelos cohesivos de consistencia dura a muy dura o cementados con pocas gravas.
Muestreo con broca de diamante o de carburo de tungsteno	Rocas sanas y en depósitos de gravas y roca alterada (estos últimos dos casos con menor éxito).
Cono eléctrico	Suelos cohesivos blandos (para la capacidad usual de los conos fabricados en México 2 a 5t).

**Figura 12. Aplicación de los métodos de exploración más usuales de acuerdo con la consistencia y tamaño de las partículas.**

En el caso de que el E.G. se relacione con alguna edificación, se deberá calcular el peso unitario medio de la estructura  $w$  para poder clasificar al edificio, este peso se refiere a la suma de la carga muerta y de la carga viva con intensidad media al nivel de apoyo de la cimentación dividida entre el área de la proyección en planta de dicha estructura. En edificios compuestos por cuerpos con estructuras desligadas, cada cuerpo deberá considerarse de forma independiente. (NTC-DF 2004).

En construcciones ligeras o medianas de poca extensión y con excavaciones superficiales cuyo peso unitario medio de la estructura es  $w \leq 40$  kPa ( $4$  t/m<sup>2</sup>), que la profundidad de desplante de la estructura sea de  $D_f \leq 2.5$  m, que el perímetro en terrenos con estratigrafía uniforme o sin tantas variaciones no exceda los 120 m y en terrenos con estratigrafía variable no esté por encima de los 80 m, se recomienda lo siguiente:

- En suelos tipo 1 y 2 se recomienda usar métodos de exploración directos (sondeos o pozos), complementando la investigación con ayuda de métodos indirectos (métodos geofísicos).
- En suelos tipo 3 y 4 se sugiere realizar pozos a cielo abierto para conocer la estratigrafía, en caso de que se requiera, se ha de definir la profundidad de desplante de la construcción, se llevará a cabo el muestreo de todos los estratos encontrados con el fin de conocer las propiedades índice y mecánicas.

En construcciones pesadas, extensas o con excavaciones profundas que cumplen al menos una de las siguientes características: el peso unitario medio de la estructura  $w$  es mayor a los 40 kPa ( $4$  t/m<sup>2</sup>), la profundidad de desplante excede los 2.5 metros o el perímetro excede 80 metros en zonas con estratigrafía variable y 120 en terrenos con estratigrafía uniforme o poco variable se hacen las siguientes sugerencias:

- Debido a que este tipo de construcciones transmiten grandes cargas al suelo, es importante que la distancia entre sondeos sea la mínima necesaria, con el fin de tener un modelo geotécnico mejor elaborado para su posterior análisis.
- Debe verificarse la presencia de irregularidades en la estructura de la roca o del suelo en el sitio a través de métodos de exploración directos profundos, complementando la investigación con ayuda de la Geofísica.

- La profundidad de la exploración geotécnica referida al nivel de desplante de la construcción será al menos igual al ancho en planta del elemento de cimentación, sin embargo, debe considerarse que la exploración deberá abarcar todos los estratos de material compresible o en estado suelto que puedan afectar el comportamiento de la cimentación de la edificación.
  - En el caso de que en el proyecto de ingeniería asociado se incluya una cimentación profunda se deberán determinar las condiciones de presión de agua en el subsuelo del sitio, se detectará la presencia de mantos acuíferos además.
  - En terrenos del tipo 4 se realizará exploración para obtener muestreo inalterado de aquellos estratos que puedan incidir de manera desfavorable a la cimentación de la construcción.
- f) Muestreo: El muestreo está asociado al tipo de terreno que existe en el sitio de estudio y por consecuencia a los requerimientos solicitados a las muestras por el plan de pruebas de laboratorio, por otro lado, el programa de pruebas de laboratorio debe estar definido en términos de la naturaleza de los problemas que se suponga puedan resultar del suelo presente en el terreno del sitio, el cual no puede conocerse a detalle sin efectuar el muestreo correspondiente. Del correcto balance de este ciclo de actividades depende el éxito de un plan desarrollado para un estudio de Geotecnia.

Es importante identificar las muestras con una etiqueta, en estas etiquetas se acostumbra anotar el nombre de la obra, el identificador del pozo al que corresponde, la fecha y la profundidad de la que fue extraída dicha muestra. Se recomienda proteger las muestras para evitar que se pierdan las propiedades.

### V.III.II PROGRAMA DE PRUEBAS DE LABORATORIO

Para elaborar un programa de pruebas de laboratorio adecuado, existen criterios con base en la Geotecnia que permiten elegir el tipo y la cantidad de ensayos de laboratorio que se harán a las muestras de suelo o roca.

Durante la planeación de la propuesta técnica la cantidad es posible estimar la cantidad y el tipo de pruebas de laboratorio que deben ser realizadas con base en los datos geológicos y geotécnicos recabados en la investigación preliminar, una vez recibidas las muestras en el laboratorio, el procedimiento de trabajo para la selección de muestras a ensayar consiste en generar en el despacho un programa de trabajo de laboratorio definitivo de acuerdo con el siguiente criterio (Notas del Ing. Antonio Sifuentes Valles):

CRITERIO DE SELECCIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA SU ENSAYE		
Tipo de prueba	Frecuencia	Nota
Contenido de agua y clasificación SUCS	1 por cada muestra alterada	A
Contenido de agua y clasificación SUCS	2 por cada muestra inalterada T.S.	B
Granulometría en estratos sensiblemente homogéneos con Contenido apreciable de arenas y/o gravas	A cada 3 o 4 metros de separación	C,D
Porcentaje de fino, en estratos sensiblemente homogéneos con contenido apreciable de arcillas y/o limos	A cada 3 o 4 metros de separación	C,D

Límites de consistencia, en estratos sensiblemente homogéneos Con contenido apreciable de arcillas y/o limos.	A cada 3 o 4 metros de separación	C,D
Densidad de sólidos, en estratos sensiblemente homogéneos.	A cada 4 o 5 metros de separación	C
Compresión simple	Dos probetas por cada muestra inalterada	D
Compresión triaxial U-U	Un juego de tres probetas por cada muestra inalterada	D
Consolidación unidimensional	Un ensaye por cada muestra inalterada	D

**Figura 13. Criterio de selección de pruebas de laboratorio para su ensaye.**

Notas:

- A. Si la muestra contiene diferentes tipos de suelo, se pueden obtener contenidos de agua correspondientes a cada uno también.
- B. Los contenidos de agua en los tubos Shelby se obtienen de los extremos superior e inferior.
- C. Independientemente de la separación propuesta, en caso de cambio de estrato también se efectúa esta prueba.
- D. En las muestras alteradas de pozo a cielo abierto, la prueba se efectúa en cada muestra recibida.
- E. Puede realizarse en suelos con una gran cantidad de finos cohesivos (arcillas y limos) de tal manera que sea posible el labrado de probetas, En muestras en las que predominan los suelos granulares, el labrado de probetas se complica.

Para calendarizar el programa de pruebas de laboratorio debe tomarse en cuenta el tiempo que tarda en realizarse cada prueba para obtener finalmente un diagrama de barras (como se mencionó en el capítulo anterior) con el tren completo de pruebas de laboratorio, algunas pruebas pueden hacerse a un mismo espécimen, p.e. es posible obtener porcentaje de contenido de agua en una prueba a la que se determina su densidad.

Se recomienda al laboratorista dividir la elaboración de pruebas en dos trenes de pruebas: el tren de pruebas índice y el tren de pruebas mecánicas, es habitual iniciar con el tren de pruebas índice y después de unos días comenzar con el tren de pruebas mecánicas con el fin de tener clasificadas ya las muestras del suelo.

Finalmente, la organización de la ejecución de las pruebas de laboratorio dependerá del tiempo que requieren las pruebas, el rendimiento del personal, la capacidad de laboratorio (número de equipos y espacio) y de la cantidad de muestras de cada tren.

#### V.IV PLANEACIÓN DE LA PROPUESTA ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE GEOTECNIA

Debe determinarse el valor económico del estudio geotécnico con el fin de comunicarlo al cliente en la propuesta presentada a la solicitud de cotización. La propuesta económica corresponde al precio o valor económico de un estudio de Geotecnia, es decir, al monto presupuestado para que el despacho pueda prestar los servicios descritos en la propuesta técnica del E.G., de conformidad con lo establecido en los términos de referencia y especificaciones del cliente.

Es importante hacer notar que el valor económico de una investigación del suelo comparado con la cantidad de recurso económico invertido en la obra si no se realizara ningún tipo de estudio es por lo general más bajo que el costo por la incertidumbre (Sowers, 1979), las etapas de un proyecto de ingeniería civil están ligadas unas con otros, en secuencia, no contar con datos certeros sobre las condiciones del subsuelo pueden generar mayores costos, el diseñador al no contar con información precisa, hará una compensación con un diseño conservador, esto generará mayores gastos porque los elementos estructurales estarán sobredimensionados y esto elevará los costos de materiales, maquinaria y mano de obra.

Un estudio completo del suelo corresponde entre el 0.05 y el 0.2% del costo total de la construcción completa, en estructuras en las que se requiere llevar a cabo un E.G. muy preciso y detallado el costo oscila entre el 0.5 y 1% (Sowers, 1979).

De acuerdo con lo planteado en el Capítulo 4, la cotización se realiza generalmente a través de un análisis de precios unitarios, para llevar a cabo este análisis es indispensable un conocimiento integral y a fondo los recursos involucrados, así como las especificaciones técnicas de los trabajos de campo, de las pruebas de laboratorio y de las actividades en gabinete.

Como se mencionó anteriormente, la estructura de la propuesta económica depende de la forma en que el cliente la solicite, (como en el caso de las dependencias de gobierno), cuando el cliente o la institución no definen el formato que debe tener la propuesta económica se puede utilizar un listado de los conceptos de trabajo que de manera general pueden clasificarse en cuatro partidas o grupos de acuerdo a la etapa del estudio a la que corresponden:

- 1) Traslados al sitio y visita técnica.
- 2) Exploración geotécnica.
- 3) Pruebas de laboratorio.
- 4) Ingeniería

Debe resaltarse el importe total aproximado del estudio, resultado de la suma de todos los conceptos incluidos en la propuesta.

Para elaborar la cotización es fundamental definir los conceptos de trabajo que integran la propuesta técnica, a continuación se presenta una lista de los conceptos más comúnmente usados en un presupuesto y sugeridos para armar una propuesta económica, la estructura definitiva de la misma dependerá del estudio particular y de las especificaciones del formato de la propuesta:

CONCEPTO	PARTIDA	UNIDAD DE TRABAJO	NOTAS
Transporte del equipo y personal de perforación al sitio de estudio.	1	Lote	
Visita de reconocimiento por un ingeniero especialista.	1	Lote	
Habilitación de ademe metálico recuperable en suelos, agua o roca.	2	m	
Avance de la perforación sin recuperación de muestra.	2	m	
Habilitación de balsa para la ejecución de sondeos en agua.	2	Lote	
Traslados del personal y del equipo de	2	Lote	

perforación en agua.			
Maniobras de instalación y cambio de equipo en los puntos de sondeo.	2	Maniobra	
Realización de sondeo con tubo de pared delgada tipo Shelby.	2	m	
Realización de sondeo con barril y broca de diamante.	2	m	
Realización de sondeo a través del método de penetración estándar.	2	m	
Traslados del personal y del equipo de perforación entre puntos de sondeo.	2	Lote	
Excavación y muestreo de pozos a cielo abierto.	2	m	
Envío de muestras al laboratorio central.	2	Lote	
Vigilancia.	2	Jornada	En el análisis de precios unitarios entra en costos indirectos.
Clasificación visual y al tacto y determinación de contenido de agua en las muestras.	3	Prueba	
Prueba de consolidación unidimensional en las muestras.	3	Prueba	
Prueba de compresión simple a probetas.	3	Prueba	
Determinación de la densidad de sólidos en las muestras.	3	Prueba	
Determinación del porcentaje de finos.	3	Prueba	
Determinación de la distribución granulométrica por mallas.	3	Prueba	
Pruebas de límites de consistencia líquido y plástico.	3	Prueba	
Prueba de compresión triaxial no consolidada, no drenada (UU)	3	Prueba	
Prueba de velocidad de sedimentación.	3	Prueba	
Valor relativo de soporte natural y saturado.	3	Prueba	
Elaboración de resultados del estudio de Geotecnia.	4	Lote	

**Fig. 14. Conceptos de trabajo para una propuesta económica de un estudio de Geotecnia.**

Además de los conceptos de trabajo presentados en el cuadro, existen otros asociados a exploración geofísica o a pruebas de laboratorio más especializadas.

Para una correcta ejecución del análisis de precios unitarios es importante conocer precios de adquisición del equipo, maquinaria e instrumentos utilizados, conocer los periodos de vida útil y otros datos necesarios para determinar costos horarios del este equipo, sobre la mano de obra es fundamental conocer los rendimientos que el personal de cada área tiene para llevar a cabo los trabajos, conocer la capacidad del laboratorio, estar al tanto del pago que debe hacerse al personal y estar al día en el precio de los insumos y materiales utilizados en las tres etapas de un E.G.

## CAPÍTULO VI. LOGÍSTICA DE LA EJECUCIÓN DE LOS ESTUDIOS DE GEOTECNIA

### VII.1 LA LOGÍSTICA EN UN DESPACHO DE GEOTECNIA

Todos los sectores productivos necesitan poner en marcha una estrategia logística para mejorar su eficiencia. La globalización y el desarrollo tecnológico han impulsado el desarrollo de la logística en el mundo.

El Council of Logistics Management define a la logística como la planeación, organización y control de las actividades de movimiento y almacenamiento que facilitan el flujo de bienes, servicios e información del punto de origen al punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente.

En el despacho de Geotecnia, la logística comprende el conjunto de los procesos que abastecen a los puestos de trabajo de los factores necesarios para su funcionamiento. Los procesos logísticos realizados en un despacho de Geotecnia para la ejecución de un estudio son los siguientes: planeación logística, abastecimiento, transporte, almacenamiento y alojamiento, y mantenimiento de todo lo necesario para la correcta ejecución de un estudio en el tiempo programado, conforme al plan de trabajo diseñado y presentado al cliente en la propuesta técnica económica, optimizando las variables del proceso que dan una ventaja competitiva.

El proceso logístico general para la elaboración de un estudio de Geotecnia debe incluir las siguientes actividades

PROCESOS LOGÍSTICOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES LOGÍSTICAS
Planeación logística	Elaboración de la estrategia logística del Estudio de Geotecnia.
Abastecimiento	Elaboración de inventarios Adquisición de recursos, maquinaria e insumos.
Transporte	Traslados de la maquinaria y los insumos. Traslados de los recursos humanos. Envío de muestras al laboratorio. Flujo de información.
Almacenamiento y alojamiento	Almacenamiento de los recursos, insumos y de maquinaria en reposo. Almacenamiento en el sitio de estudio. Almacenamiento en el laboratorio. Alojamiento de los recursos humanos.
Mantenimiento	Mantenimiento del equipo y de las instalaciones utilizadas.

**Figura 15. Procesos y actividades logísticas en un estudio de Geotecnia.**

El éxito de una estrategia logística en el despacho de Geotecnia depende de la correcta realización de los procesos logísticos, a continuación se destacan diez puntos muy importantes de la logística que el ingeniero geotecnista debe siempre procurar:

1. Máxima integración en las áreas que conforman la estructura organizacional del despacho.
2. Integración del despacho con todos los involucrados en un E.G., *stake holders* (cliente, proveedores, encargados, etc.), con el fin de crear una estructura que trabaja para un mismo fin.
3. Elevado grado de comunicación interna y con los involucrados usando las plataformas idóneas para comunicarse en tiempo real (como se menciona en el Capítulo 3).
4. Debe haber una planeación sólida del E.G. que contemple la realización de un plan logístico, realizada de manera preliminar al inicio de los trabajos con el fin de evitar problemas operativos en la ejecución.
5. Elección de sistemas de transporte eficientes y adecuados para la movilización de recursos y equipo, de modo que el proceso logístico cumpla con su propósito.
6. Revisión y mantenimiento continuo del equipo de campo y laboratorio.
7. Mantener actualizados los inventarios de insumos y repuestos utilizados en las etapas del E.G. con el fin de detectar insuficiencias.
8. Contar con espacios de almacenamiento los el tamaño suficiente para alojar equipo, muestras e insumos.
9. Invertir en seguridad interna y externa en bodegas de almacenamiento del equipo, laboratorio y oficinas.
10. Identificar y reunir toda la documentación que será usada en las fases del E.G. (facturas, contratos, licencias), así como efectuar todos los trámites necesarios.

## VI.II LOGÍSTICA EN LA EJECUCIÓN DE UN ESTUDIO DE GEOTECNIA.

La logística de la ejecución de los estudios de Geotecnia consiste en efectuar el flujo de información, equipo, recursos, insumos y materiales con el fin de realizar las actividades para obtener la información geotécnica que el cliente ha solicitado o que necesita para el desarrollo de un proyecto de ingeniería, cumpliendo con el periodo de tiempo y el costo pactados con el cliente.

La primera acción logística que debe llevarse a cabo, es la elaboración de la estrategia logística del estudio de Geotecnia.

- La estrategia logística.

Planear el proceso logístico es una actividad fundamental del estudio de Geotecnia, es la base que guiará todos los movimientos necesarios para cumplir con los objetivos de la investigación.

Llevar a cabo la planeación del proceso logístico es una actividad interna del despacho de Geotecnia, es necesaria para describir paso a paso las actividades logísticas y los medios necesarios para realizarlas, programarlas en el tiempo y asignar responsables de cada acción, todo esto con el fin de evitar problemas durante la ejecución que se traduzcan en costos extra para el despacho y en

retrasos. El resultado será un plan que dirá cómo llevar a cabo los procesos logísticos y un programa que calendarizará las acciones.

La estrategia logística debe ser elaborada por el coordinador del estudio de Geotecnia, quien tiene el conocimiento de los detalles asociados a las actividades de las áreas del despacho.

Estrategia logística: Elaborada con fundamento en la planeación.	
Elaboración de un plan.	Elaboración de un programa o calendario.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elaboración de un diagrama con enfoque funcional para esquematizar el flujo de recursos e información.</li> <li>2. Llevar a cabo la planeación de medios para realizar las actividades logísticas (sistemas de transporte, bodegas, telecomunicaciones, elección de proveedores, prestadores de servicios, etc.).</li> <li>3. Realización del plan de los recursos (materiales, humanos, financieros), necesarios en las actividades logísticas.</li> <li>4. Asignar a los encargados de cada una de las actividades logísticas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elaboración de una ruta crítica con las actividades de movimiento de todo lo necesario para la ejecución de los trabajos, coordinado con el plan de actividades del estudio.</li> <li>2. Elaboración de diagrama de barras calendarizado con base en la ruta crítica previamente elaborada.</li> <li>3. Elaboración de una bitácora de control de la realización de los procesos logísticos.</li> </ol>

**Figura 16. Elaboración de la estrategia logística de un estudio de Geotecnia.**

A continuación se describen las actividades logísticas que son ejecutadas en la realización de un Estudio de Geotecnia.

- Elaboración de inventarios

Es de suma importancia para el despacho de Geotecnia el elaborar inventarios de manera frecuente en las tres áreas que conforman el organigrama típico, con la finalidad de tener un control de la maquinaria, los instrumentos, insumos y recursos materiales en general y detectar faltantes o insuficiencias, este trabajo evitará demoras en la ejecución de las investigaciones, al cubrir las necesidades que se reporten antes de su inicio. Es fundamental que el coordinador o el encargado de la logística tenga a la mano estos inventarios, puesto que servirán de base para diseñar la estrategia logística.

Un inventario actualizado es muy útil para tener conocimiento de aquellos que es necesario adquirir, además, en el caso de la maquinaria y el equipo, es indispensable que el inventario de cada artículo tenga un anexo con la descripción del estado físico y de las condiciones de servicio, con el fin de dar mantenimiento a aquellos que lo requieran.

Es importante que el despacho archive y asocie al inventario las facturas, pólizas y comprobantes de compra de los bienes adquiridos y utilizados para la ejecución de los estudios, con el fin de tener todos estos documentos en caso de ser requeridos, ya sea para trámites de entrada y salida de un sitio o para la licitación de trabajos.

- Adquisición de recursos, maquinaria e insumos

La adquisición de bienes materiales para la realización de un estudio debe basarse en la planeación elaborada para cada estudio, en esta se especificará todos aquellos medios necesarios para la elaboración de los trabajos, consecuentemente será necesario adquirir aquellos recursos o equipo con los que no se cuenta.

Los inventarios actualizados de las tres áreas son una referencia para conocer los faltantes e insuficiencias de materiales, la comparación de estos con la lista de requerimientos elaborada en la planeación, permite conocer cuánto debe adquirirse de cada material faltante.

En el caso del equipo de campo, de laboratorio y de oficina, es necesario adquirirlo cuando se presente alguna de las siguientes situaciones: no se cuenta con el equipo o cuando el estado y el funcionamiento del equipo existente ya no son los óptimos. Por el elevado monto de inversión que requiere el adquirir equipo de exploración y los vehículos de transporte, debe revisarse la rentabilidad de la adquisición, en caso de ser desfavorable deberá arrendarse el equipo para cubrir la necesidad.

- Traslados de la maquinaria y los insumos

El traslado de la maquinaria y los insumos se realiza durante la etapa de trabajos de campo, para transportar esta carga al sitio de estudio, entre los puntos de trabajo y de regreso a la bodega o almacén.

La estrategia logística debe contemplar todos los traslados que implica la elaboración de los trabajos, por lo tanto, deben tomarse en cuenta todos los modos de transporte necesarios para llegar a los puntos de trabajo, en los medios terrestre y acuático.

Para elegir los vehículos para el transporte por tierra es necesario tomar en cuenta el volumen y peso de la carga, así como la capacidad de los vehículos en los que se planea hacer el traslado, estos deben ser seguros y deben proteger a la carga de las inclemencias del tiempo. El transporte por tierra puede realizarse por cuenta propia si el despacho posee vehículos de carga adecuados o contratando un servicio de transporte.

En algunas ocasiones los sondeos se realizan sobre cuerpos de agua, para llevar a cabo esta maniobra, es necesario contar con una plataforma o balsa que facilite la realización de trabajos mar adentro y que garantice la estabilidad del equipo de perforación y la seguridad del personal; para llevar a cabo el transporte del equipo y los insumos al punto de estudio, se necesitará una embarcación propia o alquilada como modo de transporte o remolque en el medio acuático.

Es necesario para traslados en carretera que el equipo viaje junto con una lista de registro y las facturas y documentos asociados.

- Traslados de los recursos humanos

El transporte de los recursos humanos se lleva a cabo en distintos momentos durante la realización de un estudio de Geotecnia, los movimientos de recursos humanos que deben incluirse en la estrategia logística son: el traslado del equipo de ingeniería para reconocimiento del sitio, el traslado de las brigadas de exploración al sitio de estudio y los traslados internos del personal en la zona de investigación.

Para elegir los modos de transporte a usar es necesario tomar en cuenta la distancia entre el origen y el destino, la cantidad de personas transportadas, la seguridad, el tiempo y el costo, es fundamental que la opción elegida optimice estos factores y además se incluya el factor comodidad, puesto que se trata de traslado de personas.

En la planeación de los traslados de ida al sitio de estudio y regreso es importante contemplar que el personal sea trasladado en el menor tiempo posible, reduciendo las escalas y los posibles alojamientos, es fundamental que la programación de las salidas y las llegadas se haga con la holgura suficiente para cumplir con el programa de trabajos trazado, además, es ideal que exista un coordinador del viaje y que el personal se traslade con sus identificaciones oficiales.

Cuando es necesario que el personal se traslade entre distintos puntos de exploración en el sitio de estudio o es fundamental que existan traslados a otros lugares de distancia considerable como oficinas, lugares de abastecimiento o el lugar de alojamiento, es una prioridad el contar con vehículos propios o arrendados para agilizar el transporte y cumplir con todas las tareas complementarias que deben realizarse para cumplir con los trabajos.

- Transporte de muestras al laboratorio

El envío de las muestras alteradas e inalteradas al laboratorio es de vital importancia porque a partir de estos ejemplares se conocerán datos sobre propiedades índice y mecánicas, estos ejemplares son la base de la investigación del suelo y es necesario que lleguen al laboratorio de Geotecnia para poder ser ensayados.

Esta actividad logística es de alta relevancia, se ejecuta a través de varias acciones que deben realizarse después de la extracción de las muestras, hasta la entrega en el laboratorio central, el proceso se enumera a continuación: identificación e inventario de muestras, embalaje, almacén en el sitio de estudio, transporte al laboratorio y entrega.

1. Identificación e inventario de muestras: Después de llevar a cabo la extracción de las muestras del suelo, es importante identificar cada una de ellas con una etiqueta en la que se escriban los principales datos: nombre del proyecto, ubicación, tipo de muestra, profundidad y fecha, también es necesario llevar a cabo un inventario o registro de muestras para tener control de ellas durante su uso y como guía en el envío y en la entrega.
2. Embalaje: Es importante proteger las muestras de modo que no se alteren las propiedades en cada una de ellas: en la práctica de la exploración Geotécnica, y con base en las normas y procedimientos técnicos vigentes, los extremos de los tubos Shelby son sellados con cera, las muestras cúbicas se cubren con manta de cielo y una capa de cera y las muestras alteradas o los núcleos de roca se protegen con polietileno; posteriormente son empaquetadas de modo que puedan ser almacenadas y su manipulación sea sencilla, por lo tanto, el empaque debe hacerse en cajas que se adecuen al tamaño de las muestras. Existen cajas fabricadas para guardar núcleos y muestras, estas pueden ser fabricadas también a la medida de la longitud de las muestras, los ejemplares cúbicos son envasados en cajas hechas de madera y cubiertas con aserrín, todos estos envases deben buscar aprovechar el espacio al acomodarlos en el almacén o en el vehículo de transporte.
3. Almacén en el sitio de estudio: Las muestras empaquetadas deben ser almacenadas mientras esperan ser enviadas al laboratorio.

4. Transporte de las muestras al laboratorio: Existen tres formas de transportar las muestras al laboratorio, la primera es utilizando vehículos propiedad del despacho, la segunda es alquilando un servicio para transportar las muestras (servicio de paquetería que se haga cargo del envío o renta de vehículos) o una alternativa mixta de ambas. La elección de la o las alternativas de transporte debe considerar el costo, el tiempo de traslado, el volumen transportado, la capacidad de los vehículos, la seguridad y el los recursos involucrados. Cabe destacar que las muestras deben ser manipuladas con mucha precaución durante la carga, el transporte y la descarga.
  5. Entrega de las muestras: Las muestras se deben entregar en el laboratorio central en las condiciones en las que salieron del sitio de estudio, es importante que el personal verifique el estado de las muestras al recibirlas y además que se revise el inventario de las muestras y se verifique la existencia de todas.
- Flujo de información

Es fundamental que se establezcan canales efectivos para que la información que va dando forma al estudio de Geotecnia pueda fluir, en la actualidad los medios electrónicos, las telecomunicaciones y los sistemas de información permiten que esto sea posible de manera instantánea.

Es muy importante que la información se entregue completa y en el menor tiempo posible al área que corresponda con el fin de que se tomen decisiones acertadas en el momento que se requieren, con el fin de evitar retrasos y para poder hacer conclusiones referentes al estudio.

Un flujo de información activo implica que la comunicación con el cliente, entre las áreas del despacho de Geotecnia y con otros involucrados externos es efectiva, como se mencionó en uno de los capítulos anteriores, la comunicación efectiva es un aspecto que debe procurarse durante el desarrollo de un estudio de Geotecnia.

El flujo de información en el desarrollo de un estudio de Geotecnia en la mayoría de los casos ocurre de la siguiente forma: el cliente proporciona información que sirve al despacho para elaborar la propuesta técnica económica y para diseñar el plan del estudio, el ingeniero coordinador informa al equipo de exploración sobre los trabajos en campo y al personal de laboratorio sobre las pruebas a realizarse, el equipo de exploración envía a gabinete la información obtenida en campo y al laboratorio la información básica sobre las muestras recopiladas, el personal de laboratorio enviará a gabinete el informe de los resultados de las pruebas para su posterior análisis y finalmente en gabinete se redactará un informe del estudio con sus conclusiones que será entregado al cliente.

- Almacenamiento de equipo para trabajo de campo (en reposo)

El despacho de Geotecnia debe contar con un almacén para el alojamiento del equipo utilizado para los trabajos de campo, los vehículos de carga y transporte, y para resguardar la herramienta, el equipo menor y los insumos.

Es fundamental que el almacén o bodega cuente con espacios para carga y descarga, áreas de tránsito, así como la capacidad para alojar a todo el equipo y los materiales de manera ordenada.

Es de suma importancia que el almacén sea un lugar seguro, es necesario incluso invertir en seguridad interna y externa de este sitio para mantener el control y la vigilancia de la maquinaria y los vehículos, que no solo implican una inversión cuantiosa, el equipo de exploración y de

transporte es la pieza clave de la exploración geotécnica y por consecuencia de la elaboración de los estudios que lleva a cabo el despacho.

- Almacenamiento en el sitio de estudio.

Durante la realización de los trabajos de campo, es necesario almacenar todo aquello que se ocupa para la exploración y el muestreo, y también contar con un lugar para alojar a las muestras, a continuación se detallan los dos casos:

1. Almacenamiento de las muestras

Las muestras empacadas deben ser almacenadas mientras esperan ser enviadas al laboratorio central, es importante que se resguarden en un lugar seguro, cerrado, sin humedad, bajo temperaturas óptimas, con el fin de conservar en excelentes condiciones a los empaques y a las muestras que contienen. La ubicación de los almacenes debe ser tal que la distancia a los puntos de exploración no sea muy larga, es necesario que estas bodegas sean monitoreadas para garantizar la seguridad de las muestras.

2. Almacenamiento del equipo, vehículos, herramienta e insumos

Los bienes materiales que son trasladados para la ejecución de los trabajos de campo (maquinaria de perforación, equipo menor, vehículos, herramientas e insumos) deben resguardarse en lugares cercanos a los puntos de exploración con el fin de mantenerlos listos para su uso, en condiciones favorables y seguros, es fundamental monitorear la permanencia e integridad de estos bienes, puesto que la realización de la exploración solo es posible con el empleo de estos recursos.

- Almacenamiento en el laboratorio

El laboratorio de Geotecnia debe contar con un almacén de muestras, este lugar tiene la función de alojar a las muestras obtenidas durante la exploración por tiempo prolongado, de modo que se conserven las propiedades de las muestras y los ensayos se realicen de acuerdo a las normas correspondientes, sin alteraciones en las propiedades.

Las muestras correspondientes a la exploración de un sitio deben almacenarse después de efectuar las pruebas, por lo menos hasta finalizar con la investigación del sitio correspondiente o hasta agotar el plazo que se considere necesario, con el fin de tener material para verificar o enriquecer los datos del estudio (en caso de ser necesario).

- Alojamiento de los recursos humanos durante los trabajos de campo

El alojamiento de los recursos humanos en las cercanías del sitio de estudio es un aspecto primordial cuando los trabajos de campo son realizados en lugares distintos al lugar de residencia del personal, es importante que éste se encuentre próximo a los puntos de estudio con el fin de reducir las distancias, que brinde comodidad y permita el descanso, aseo y el almacén de los artículos personales y de seguridad de las brigadas involucradas durante los trabajos de campo.

En la etapa de recopilación de información se deberá seleccionar el lugar para alojar a los recursos humanos, es recomendable contactar al prestador de este servicio para asegurar los espacios de alojamiento o en su defecto, el coordinador o el encargado de la logística en campo deberán conseguir el alojamiento transportándose al sitio antes de la llegada de las brigadas.

- Mantenimiento del equipo y de las instalaciones utilizadas

.Realizar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo de exploración y de laboratorio previamente al inicio de un estudio de geotecnia es un proceso logístico fundamental, es muy importante que toda la maquinaria y los instrumentos que son útiles durante la investigación estén listos para usarse de manera óptima, en caso contrario es probable que haya retrasos en el tiempo de ejecución y aumenten los gastos e inversiones hechas por el despacho de Geotecnia.

- Coordinación entre las áreas operativas

La ejecución de un E.G. comprende procesos efectuados en tres áreas fundamentales, la coordinación entre estas tres áreas es la pieza clave de la logística en la ejecución de un estudio de Geotecnia.

El despacho de geotecnia debe funcionar como un sistema cuyo objetivo es elaborar el estudio de Geotecnia, para una coordinación efectiva entre las áreas operativas, en donde todas las áreas se complementan entre ellas y trabajan para un objetivo único común.

A continuación se enlistan algunos de los procesos que requieren de la coordinación entre el equipo de exploración, el laboratorio y gabinete:

- Comunicación entre los responsables de las áreas operativas y el coordinador general del E.G., además de flujo de información entre áreas con el fin de agilizar procedimientos.
- Notificaciones de envíos y recepción de información, muestras, equipo, insumos, etc.
- Planeación y ejecución de los planes y programas del E.G., así como el cumplimiento de los mismos conforme lo acordado con el fin de no interferir en el tiempo de procesos que corresponden a otras áreas.
- Retroalimentación.

## CONCLUSIONES

La planeación es un proceso importante en los estudios de Geotecnia porque a través de ella es posible cumplir con los objetivos. Planear es indispensable para definir los trabajos a realizar, el alcance del estudio, los procedimientos técnicos a seguir, el tiempo en que se van a efectuar y el costo de los mismos, se necesita planear para elaborar la propuesta técnica económica que se presenta al cliente durante la gestión del estudio; planear permite definir el plan y el programa de actividades para guiar la ejecución de los trabajos.

La ejecución del plan de actividades del estudio exige de una logística para coordinar el movimiento de la maquinaria, el equipo, los recursos y la información requerida en las tres etapas del estudio de Geotecnia; diseñar una estrategia logística es indispensable para hacer eficiente el desarrollo de los trabajos y contar en cada etapa con los medios y los recursos necesarios para efectuar los trabajos programados en el lugar y el momento que se requieren.

Planeación y logística son actividades clave para que el despacho de Geotecnia pueda cumplir con los objetivos técnicos, la duración y el costo de los trabajos establecidos en la propuesta técnica económica presentada al cliente porque a través de ellos es posible definir un procedimiento para ejecutar los trabajos, conseguir los medios, el equipo y los recursos para realizarlos y tener claro los movimientos y trámites requeridos para que la ejecución se realice a tiempo y dentro del presupuesto.

Efectuar la planeación del estudio y definir la estrategia logística son tareas que requieren de amplia experiencia en el ámbito de la Geotecnia para ser elaboradas, el alto impacto que un estudio geotécnico tiene en un proyecto de ingeniería requiere que quienes estén a cargo de estas actividades tengan pleno conocimiento de todos los detalles de la ejecución y dominio de las actividades.

La comunicación es el aspecto más importante de la relación con el cliente en todas las fases del estudio, es una de las actividades clave del modelo de negocio de un despacho de Geotecnia, la naturaleza de los estudios demanda un contacto constante y dedicado del despacho con el cliente en la etapa previa y durante la realización de los trabajos para intercambiar datos útiles para llevar a cabo la gestión, la planeación, el diseño de la estrategia logística, la ejecución de los trabajos y las aclaraciones.

Para finalizar se concluye que la planeación y la logística son acciones que el ingeniero civil debe dominar al desarrollar un estudio de Geotecnia, la correcta aplicación de estos procesos contribuye al cumplimiento de los objetivos de la investigación y facilita la ejecución de los trabajos.

## REFERENCIAS

Tamez González, Enrique, “Ingeniería de cimentaciones, conceptos básicos de la práctica”, México DF 2001, TGC Geotecnia S.A. de C.V.

Sowers, George F., “Introductory soil mechanics and foundations”, New York 1979, Macmillan Publishing Co. Inc.

Osterwalder, Pigneur, “Generación de modelos de negocio”, Deusto S.A. Ediciones, 2011.

Liu, Cheng, “Soils foundations, sixth edition”, New Jersey 2004, Pearson Education, Inc.

Juárez, Rico, “Mecánica de suelos, Tomo I, Fundamentos de la Mecánica de Suelos”, México D.F. 1977, Editorial Limusa.

“Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo”, México DF 2008, Comisión Federal de Electricidad.

“Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones 2004”, Gobierno del Distrito Federal, México 2004.

Carreño, Meade, “Factores de consistencia de costos y precios unitarios”, México D.F. 1976, Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

Haaz Mora, H.S., Fases de un proyecto, Facultad de Ingeniería, UNAM, México. Fecha de consulta: 15 de febrero de 2016. En internet:

[http://www.ingenieria.unam.mx/haaz/integracionproyectos/articulos/04\\_fases\\_de\\_proyecto.pdf](http://www.ingenieria.unam.mx/haaz/integracionproyectos/articulos/04_fases_de_proyecto.pdf)

Polanco Rodríguez, A, Manual de laboratorio de mecánica de suelos I, Facultad de Ingeniería, UACH, México, Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2016. En internet:

<http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/>

Kuri Abdala, J.A., Apuntes de planeación del M.I. José Antonio Kuri Abdala, Facultad de Ingeniería. UNAM. México. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2016. En internet:

<http://www.ingenieria.unam.mx/~jkuri/>

“Geodatos”. Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2016. En internet:

<http://www.geodatos.cl/index.php>

“Técnicas geofísicas”. Fecha de consulta 25 de septiembre de 2016. En internet:

<http://www.geofisica-consultores.es/es/sismica.html>

“Generalidades sobre precios unitarios”. Fecha de consulta 20 de noviembre de 2016. En internet:

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7194/Capitulo2.pdf>

“Lección 36: Programación de obra”. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2016. En internet:

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102803/MODULO\\_ACADEMICO/leccin\\_36\\_programacin\\_de\\_obra.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102803/MODULO_ACADEMICO/leccin_36_programacin_de_obra.html)

