

**FORMACION GEOTECNICA, COMO PASANTE EN LA EMPRESA
INTERVENTORIAS Y OBRAS DE SANTANDER
INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S.**

YAJAIRA CATALINA MALDONADO LÓPEZ

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PAMPLONA, 2017**

**FORMACION GEOTECNICA, COMO PASANTE EN LA EMPRESA
INTERVENTORIAS Y OBRAS DE SANTANDER
INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S.**

Presentado al programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la
Universidad de Pamplona, para optar al título de Ingeniero Civil

**Trabajo De Grado Dirigido Por:
MARCELINO MALDONADO TRIGOS
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGNIERIAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PAMPLONA, 2017**

El presente documento está dedicado a mi familia especialmente a mi madre por su gran esfuerzo, dedicación y paciencia para que pudiera cumplir mis sueños y metas.

“Si encuentras un camino sin obstáculos, es probable que no lleve a ninguna parte.”

Y. CATALINA MALDONADO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi madre por su confianza y seguridad, como también a mis familiares y seres queridos los cuales estuvieron ahí apoyándome en cada paso que daba.

Doy gracias al ingeniero Marcelino Maldonado por ser un amigo y compañero en el momento de resolver inquietudes, como también por la confianza depositada en mí para ser el director de la practica apoyándome y guiándome en las decisiones a tomar en este proceso.

Al Ingeniero David Ricardo Prada por sus consejos y preguntas cuestionantes para demostrar mis conocimientos ante las demás personas, también le doy gracias por permitirme realizar la pasantía en su empresa recibíendome en su familia Interobras de Santander con gran aprecio.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	13
1. GENERALIDADES	14
1.1 Definición Del Problema	14
1.2 JUSTIFICACIÓN	14
1.3 objetivos	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
2. MARCO REFERENCIAL	16
2.1 Marco Contextual	16
2.1.1 Presentación De La Institución.	16
2.1.2 Talento humano	17
2.1.3 Recursos físicos	17
2.2 Marco Teórico	17
2.2.1 Estudios de suelos	19
2.2.2 Cimentaciones con pilotes	22
2.2.3 Cimentaciones superficiales	24
2.2.4 Muros de contención.	25
2.2.5 Anclajes	26
2.2.6 Ensayo de CPT	33
2.2.7 Software.	33

	6
2.3 MARCO LEGAL	35
3. METODOLOGIA	38
3.1 ACTIVIDADES EJECUTADAS	38
3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES	52
3.2.1 Amenaza Sísmica Y los Movimientos Sísmicos	53
3.2.2 Parámetros geotécnicos para el diseño	55
3.2.3 Cálculo de la capacidad portante	58
3.2.4 Calculo de asentamientos.	62
4. INICIATIVAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	70
4.1 Recomendaciones Para Cimentaciones De Una Edificación	70
4.1.1 Recomendaciones generales	70
4.1.2 Recomendaciones Para El Diseño Del Proyecto	71
4.2 RECOMENDACIONES SISTEMA CONSTRUCTIVO	72
4.2.1 Procedimiento de excavación	72
4.2.2 Tiempo máximo de exposició	73
4.2.3 Disposición de sobrantes	73
4.3 RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES Y PREDIOS	
VECINOS	73
4.4 PASO A PASO DE LA ELABORACION DE ESTUDIOS GEOTECNICOS	76
4.4.1 Estudio Geotécnico Definitivo	77
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	89

BIBLIOGRAFIA**90****ANEXOS****92**

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tomamuestras de tubo partido	20
Figura 2. Equipo de perforación	20
Figura 3. Situaciones que requieren cimentación con pilote	23
Figura 4. Equipo de hincado de pilotes: a). martinete de caída libre; b) martinete de aire o vapor de acción simple.	24
Figura 5. Croquis de un anclaje	27
Figura 6. Croquis de un anclaje provisional	28
Figura 7. Cabeza de un anclaje permanente	28
Figura 8. Procedimiento de inyección única global (ANCLAJES IU)	29
Figura 9. Procedimientos de inyección repetitiva (ANCLAJES IR)	30
Figura 10. Procedimiento de inyección repetitiva y selectiva (ANCLAJES IRS)	31
Figura 11. Principales características mecánicas de los aceros (MPa)	32
Figura 12. Coeficiente de Corrección por confinamiento	44
Figura 13. Memoria de Cálculo para determinar la Capacidad Admisible del suelo según los métodos de Meyerhof, Vesic, Hansen y Terzaghi.	46
Figura 14. Resultado de la Capacidad Admisible del Suelo Según métodos de Meyerhof, Vesic, Hansen y Terzaghi	47
Figura 15. Módulo de Reacción o Coeficiente del Balasto	48
Figura 16. Calculo de asentamientos mediante Software Plaxis	50
Figura 17. Calculo de asentamientos mediante Software Plaxis	51

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Normativa empleada	35
Tabla 2. Clasificación de las unidades de construcción por categorías (Tabla H.3.1-1)	41
Tabla 3. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Categoría de la unidad de construcción (Tabla H.3.2.3).	41
Tabla 4. Calculo de Aceleración espectro de diseño	43
Tabla 5. Calculo de Aceleración espectro de diseño	43
Tabla 6. Tipos de suelo Coeficiente de balasto K_{30}	48
Tabla 7. Asentamientos y carga de diseño	49
Tabla 8. Resultados generales del estudio	51
Tabla 9. Valores estimados del módulo de balasto (K_{30})	58
Tabla 10. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Categoría de la unidad de construcción (Tabla H.3.2.3).	80
Tabla 11. Clasificación de las unidades de construcción por categorías (Tabla H.3.1-1).	85

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo. 1 Factores de capacidad portante para las ecuaciones de Terzaghi	93
Anexo. 2 Factores de Capacidad Portante para las ecuaciones de capacidad portante de Meyerhof, Hansen, y Vesic.	94
Anexo. 3 Terminología del cálculo de asentamientos.	95
Anexo. 4 Evidencia fotográfica, Estudios geotécnicos con SPT	97
Anexo. 5 Extracción y medición de la muestra (ensayo SPT).	99
Anexo. 6 Rehabilitaciones de pavimento	100
Anexo. 7 Ensayos de laboratorio	101

FORMACION GEOTECNICA, COMO PASANTE EN LA EMPRESA
INTERVENTORIAS Y OBRAS DE SANTANDER
INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S.

RESUMEN

AUTOR: MALDONADO LOPEZ, Yajaira Catalina

Los estudios geotécnicos son una herramienta base de la construcción, por ello en la pasantía se tuvo acceso a la realización de estudios de suelos elaborando tanto trabajo de campo como de laboratorio guiados según la norma Técnica Colombiana Sismo Resistente NSR – 10, permitiendo dar cierta validez de la capacidad de carga que puede soportar un terreno para así dar confiabilidad en la construcción del mismo.

Para la implementación de las guías de laboratorio se realizó un análisis de las normas del Instituto Nacional de Vías – INVIAS, para así adaptarlas de una forma clara y sencilla de interpretar para los estudiantes de nuestro programa, entre otros.

Para la base de datos geotécnica se realizaron tomas de datos ofrecidos por la empresa Interobras de Santander, de las cuales se reajusto y se organizó para que la misma tenga una pequeña facilidad de búsqueda y de modificaciones.

Palabras claves: Estudios Geotécnicos, Trabajo De Campo, Laboratorios, Norma Nsr-10, Capacidad De Carga, Guías De Laboratorio, Base De Datos Geotécnica.

ABSTRAC**GEOTECHNICAL TRAINING IN THE AUDITING CONSTRUCTION WORK COMPANY
OF SANTANDER - INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S.**

AUTHOR: MALDONADO LOPEZ, Yajaira Catalina

The geotechnical studies are an important tool of construction, thus in the internship period some soils studies were developed in both: field work and guided laboratory according to the Colombian technique seismic-resistant standard NSR – 10; it has given certain validity to the load capacity that a field has, and in this way give reliability in its construction work.

An analysis of the standards of INVIAS – National institute of roads- was carried out to implement the laboratory guides, and thereby adjust them to understand in a simply and clear way by the student's program.

The company Interobras of Santander gave the data for the geotechnical database, it was readjusted and organized to offer ease search and modification facilities.

Key Words: Geotechnical Studies, Field Work, Laboratories, Standard Nsr-10, Load Capacity, Laboratory Guides, Geotechnical Database.

INTRODUCCION

Este proyecto de grado está enfocado en la rama de la Geotecnia, el cual se realiza como requisito de aspirante a ingeniero civil de la Universidad de Pamplona. En este proceso se realizaron una serie de actividades las cuales son:

Estudios Geotécnicos, Ensayos de Laboratorio y de Campo, Diseño de Cimentaciones (Pilotes, Micro pilotes, Diseño de Anclajes), Estudios de Estabilidad de Taludes y Capacitaciones Geotécnicas.

En la ejecución de dichas actividades se tuvieron en cuenta parámetros del terreno en el cual se realizaron, como también en el diseño y estructura de procedimiento según las diferentes normas.

En la ejecución de los trabajos de campo se realizó sondeos con SPT los cuales se hicieron siguiendo la norma NSR-10 título H el cual nos indica las condiciones que debemos tener en cuenta para la realización de la misma, según la categoría de construcción, y la norma INVIAS que nos ofrece el paso a paso del mismo.

Para el diseño de cimentación y estabilidad de taludes los conocimientos fueron otorgados a lo largo de la practica como también de libros y documentos los cuales fueron una herramienta primordial.

En la implementación de las guías de laboratorio la norma INVIAS jugó un papel primordial para su desarrollo el cual es la base principal de la misma al igual que la Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente NSR-10.

1. GENERALIDADES

1.1 Definición Del Problema

Al vernos como estudiantes con la necesidad de incrementar nuestros conocimientos en el ámbito geotécnico, se efectúa la pasantía en la empresa Interobras de Santander ofertándonos un amplio campo de aprendizaje en el cual se pudo vivir una experiencia teniendo contacto directo con la realidad, y así mismo ofrecer un servicio a dicha empresa colaborando con nuestros conocimientos y así mismo ellos ofreciendo su experiencia, para en conjunto lucrarnos de nuevos conocimientos y ampliando los ya recibidos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La pasantía se desarrolló enfocada en la rama de la geotecnia la cual es primordial en la construcción por que por medio de ella se tiene un exacto de la capacidad de soporte del suelo y del asentamiento del mismo, los estudios, el uso de equipos y ensayos se realizan dependiendo la categoría de construcción que se nos presente los cuales va guiados por las diferentes normas de las cuales nos dan una mayor confiabilidad del proceso que se realiza.

Gracias a este proceso de aprendizaje hemos podido ampliar nuestros conocimientos y profundizar en temas de gran énfasis, puesto que la geotecnia abarca muchas partes de la ingeniería.

Por medio de esta gran experiencia se ha podido implementar la guía de laboratorio como ayuda didáctica a los estudiantes de la Universidad de Pamplona, para que así ellos tengan una base sólida con la cual se puedan guiar y tener un poco más de conocimiento sobre las normas que nos rigen.

También podrán tener acceso a una base de datos de precios unitarios geotécnicos los cuales serán de ayuda para la creación o ejecución de proyectos y propuestas que se presenten.

1.3 objetivos

1.3.1 Objetivo general. Aportar como pasante en la empresa Interobras de Santander SAS, la formación geotécnica recibida, en la elaboración de estudios geotécnicos, y aportar, información al proceso de documentación del laboratorio de suelos de la Universidad de Pamplona.

1.3.2 Objetivos específicos. Elaborar, los ensayos de laboratorio solicitados para un estudio de suelos tales como granulometría, humedad y límites de Atterberg; ensayos de penetración estándar (SPT), Proctor modificado, CBR, corte directo y ensayos de compresión.

Proponer iniciativas de diseño y construcción de los estudios geotécnicos ejecutados.

Interpretar el diseño y la construcción de cimentaciones superficiales como aporte a los estudios geotécnicos definitivos presentados por la EMPRESA Interobras de Santander SAS.

Implementar guías de laboratorios de suelos, y formatos para el proceso de certificación del laboratorio de suelos apoyados en la norma de INVIAS, Y que sirvan de herramienta para los estudiantes de la universidad de Pamplona en el desarrollo de los diferentes ensayos.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Contextual

2.1.1 Presentación De La Institución. Interobras De Santander. Es una firma, que se perfila como líder en ingeniería de consultas y obras, prestando sus servicios al sector público y privado en el departamento. Cuya área de acción alcanza a la mayor parte de los campos de la ingeniería a todos los niveles, desde factibilidad, hasta diseños detallados, interventorías, asesorías de construcción y gerencia de proyectos.

Define como elementos pilares de su Sistema de Gestión de Calidad, su visión, Misión, Política de Calidad, Directrices, Objetivos de Calidad e Indicadores de Gestión, los cuales forman parte de la Planeación Estratégica de la Organización.

INTEROBRAS DE SANTANDER es una empresa que ofrece servicios de consultoría en Estudios de suelos, Diseños Estructurales, Construcción e Interventoría de Obras Civiles la cual se compone de Tecnólogos, Ingenieros, Especialistas, y Administradores, quienes garantizan calidad y rapidez en la entrega de cada uno de sus proyectos.

Cuenta a su vez, con equipos de medición en laboratorio, equipos topográficos, equipos de localización, y vehículos, debidamente calibrados y certificados, cumpliendo con la Norma ISO 9001 y 17000 de Sistemas de Gestión de Calidad.

Algunos de los proyectos en los que ha estado vinculada son:

Construcción del Edificio Administrativo de la Empresa de Alcantarillado Empas Bucaramanga – Santander, Interventoría Construcción Fase 2 del Centro de Convenciones Neo mundo – Bucaramanga – Santander, Diseños de la Plaza de Mercado San Mateo en el Municipio de Bucaramanga – Santander, Construcción y Rehabilitación Malla Vial Municipio de

Bucaramanga – Santander, Mejoramiento y Mantenimiento de la Institución Educativa José Antonio Galán - Charalà – Santander, Construcción de eco parque Cerro del Santísimo, en el Municipio de Floridablanca – Santander, Mejoramiento de la Vía Potrerogrande - Chicacuta en el Municipio de Molagavita – Santander, entre otras.

2.1.2 Talento humano. la empresa cuenta con un equipo administrativo, técnicos, geólogos e ingenieros civiles como lo son David Ricardo Días Prada con especialización en geotecnia y representante legal de la empresa, entre otros.

2.1.3 Recursos físicos. La empresa de Interventorías y Obras Santander cuenta con un Laboratorio de Suelos. Este consta con equipos y maquinaria para la realización de los estudios geotécnicos tales como: juego de tamices, hornos, balanzas, máquina de multitest, corte directo, esclerómetro, EQ centrífuga, máquina de los Ángeles, máquina de SPT, máquina de anclajes, pilotes y micro pilotes, maquina Universal, cono de Abrams, cono dinámico, humeometro speddy, colorimetría, sulfatos, cuchara de casa grande, juego de camisas para ensayos de Proctor y CBR, juego de camisas para cilindros de concreto, compresor, maquina Diamantina, maquina baño María y demás equipos necesarios para la realización de estudios geotécnicos.

2.2 Marco Teórico

Durante años, el arte de la ingeniería de suelos se basó únicamente en experiencias. Sin embargo, con el crecimiento de la ciencia y la tecnología, la necesidad de mejoras y más económicos diseños estructurales se volvió crítica. Esto condujo a un estudio detallado de la naturaleza y propiedades del suelo en su relación con la ingeniería. La publicación de *Erdbaumechnik*, por Karl Terzaghi en 1925, dio origen a la mecánica de suelos moderna.

En el sentido general de la ingeniería, el suelo se define como el agregado no sementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y el gas que ocupan los espacios vacíos entre partículas sólidas (Das, Principles of Geotechnical Engineering, cuarta edición). El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirven para soportar las cimentaciones estructurales. Por esto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como origen, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia cortante, capacidad de carga, entre otras.

La mecánica de suelos es la rama de la ciencia que trata el estudio de sus propiedades físicas y el comportamiento de masas de suelos sometidas a varios tipos de fuerzas. La ingeniería de suelos es la aplicación de los principios de la mecánica de suelos a problemas prácticos.

La ingeniería geotécnica es la ciencia y practica de aquella parte de la ingeniería civil que involucra materiales naturales encontrados cerca de la superficie de la tierra. En sentido general, incluye la aplicación de los principios fundamentales de la mecánica de suelos y de la mecánica de rocas a los problemas de diseño de cimentaciones. (fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das)

Todos los estudios geotécnicos y ensayos de laboratorio a realizar se regirán bajo el Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente (NRS-10) Titulo H, Estudios Geotécnicos. En este, encontramos los criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo, y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismo resistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.

Según la NSR-10 Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente, el procedimiento de diseño y construcción de edificaciones de acuerdo al reglamento Literal A.1.3, considera entre otros en el numeral A.1.3.2 Los estudios geotécnicos.

Un estudio geotécnico es un Conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas. AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente NSR – 10. Colombia 2010.

2.2.1 Estudios de suelos Los ensayos más destacados para realizar estudios de suelos son el Ensayo de penetración estándar o SPT el cual se usa para categorías de construcción bajas y medias y las perforaciones con brocas y muestreo para investigación en el sitio o comúnmente llamado ensayo con diamantina o rotativo, para categorías de construcción altas o especiales. Estos dos métodos nos proporcionan una muestra de suelo por medio de un tomamuestras o cuchara partida, las cuales son analizadas en el laboratorio.

El ensayo de SPT consta de un numero de golpes realizados a dicha tubería con el fin de introducirla en el suelo hasta alcanzar la profundidad deseada e ir adquiriendo las muestras de dicho terreno.

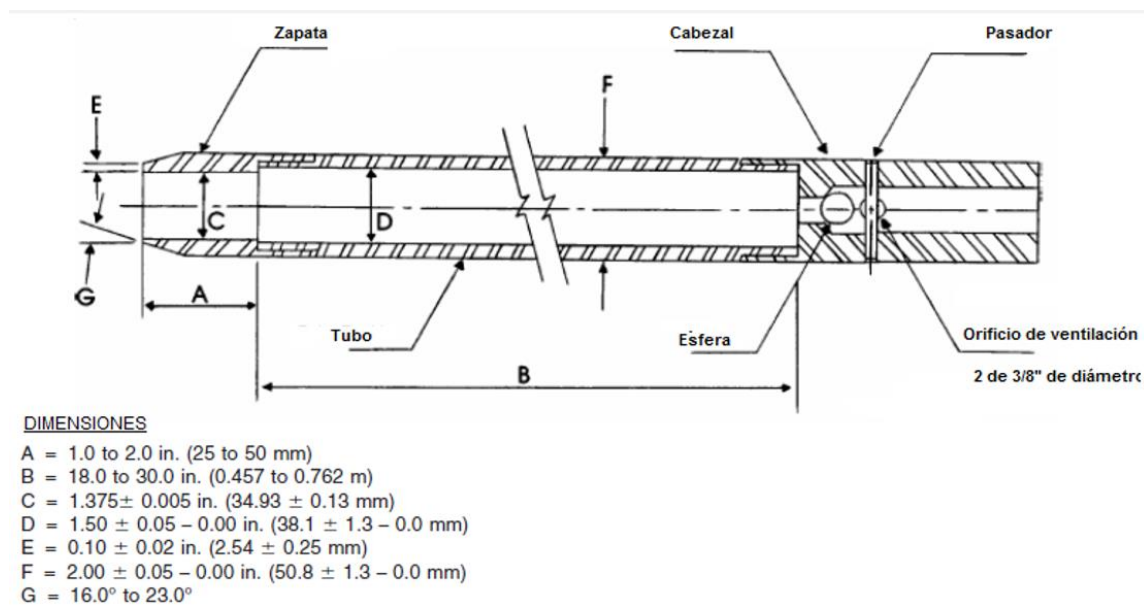


Figura 1. Tomamuestras de tubo partido
 Fuente: Norma INV E 111 - 13

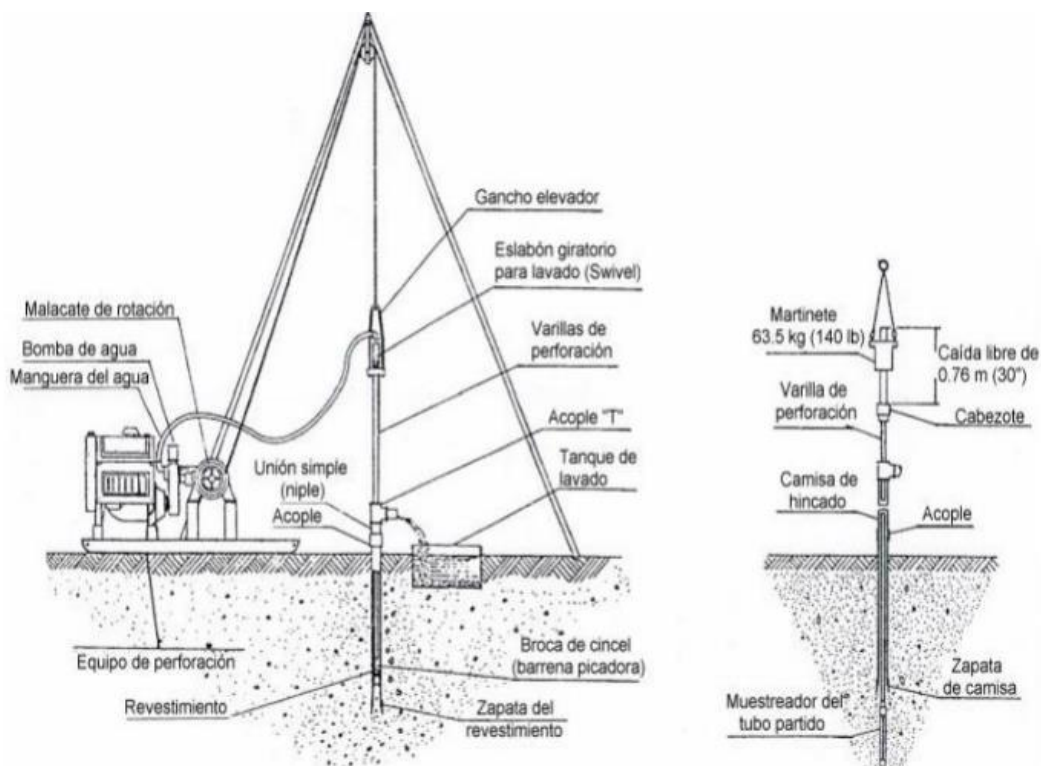


Figura 2. Equipo de perforación
 Fuente: Norma INV E 111 - 13

Los datos obtenidos en el ensayo se emplean para obtener el Angulo de fricción, el coeficiente de consolidación, la cohesión y el comportamiento del asentamiento de una cimentación.

Las muestras obtenidas del método de perforación son ensayadas en el laboratorio, como vemos el laboratorio juega un papel primordial en el estudio puesto que gracias a los procesos allí realizados tenemos los datos que requerimos para hacer la evaluación final de dicho terreno, como lo son la humedad, límites de consistencia y la caracterización granulométrica.

El contenido de humedad es una de las propiedades índices más significativas de muchos materiales y se emplea para establecer correlaciones con el comportamiento de los suelos. Se considera que la masa perdida a causa del secado es agua y que la masa remanente corresponde a la muestra seca. El contenido de agua se calcula relacionando la masa de agua en la muestra húmeda con la masa de la muestra seca (NORMA INV E – 122, 2013).

El análisis granulométrico se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo. La distribución de las partículas mayores de 75 μm (retenidas en el tamiz No. 200) se determina por tamizado y la cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños (NORMA INV E – 123, 2013).

Por otra parte, se hace el análisis de los límites de consistencia, entonces el límite líquido se determina mediante tanteos, en los cuales una porción de la muestra se esparce sobre una cazuela de bronce que se divide en dos partes con un ranurador, permitiendo que esas dos partes fluyan como resultado de los golpes recibidos por la caída repetida de la cazuela sobre una base normalizada. El límite plástico se determina presionando de manera repetida una pequeña porción de suelo húmedo, de manera de formar rollos de 3.2 mm (1/8") de diámetro, hasta que su contenido

de agua se reduce a un punto en el cual se produce el agrietamiento y/o desmoronamiento de los rollos. El límite plástico es la humedad más baja con la cual se pueden formar rollos de suelo de este diámetro, sin que ellos se agrieten o desmoronen y así mismo el índice de plasticidad se calcula sustrayendo el límite plástico del límite líquido (NORMA INV E – 125, INV E – 126; 2013).

Y finalmente tenemos una caracterización

2.2.2 Cimentaciones con pilotes. Los pilotes son elementos estructurales que están hechos de acero, concreto o madera. Se utilizan para construir cimentaciones profundas y cuestan más que las cimentaciones superficiales. A pesar de su costo, el uso de pilotes con frecuencia es necesario para asegurar la seguridad estructural.

Los pilotes se utilizan para transmitir la carga al lecho de roca subyacente o a un estrato de suelo más fuerte; Cuando no se encuentra un lecho de roca a una profundidad razonable debajo de la superficie del terreno, los pilotes se emplean para transmitir la carga estructural de manera gradual al suelo. La resistencia a la carga estructural aplicada se deriva principalmente de la resistencia por fricción desarrollada en la interfaz suelo-pilote. Braja M. Das, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Séptima Edición, Editorial Cengage Learning. 2004.

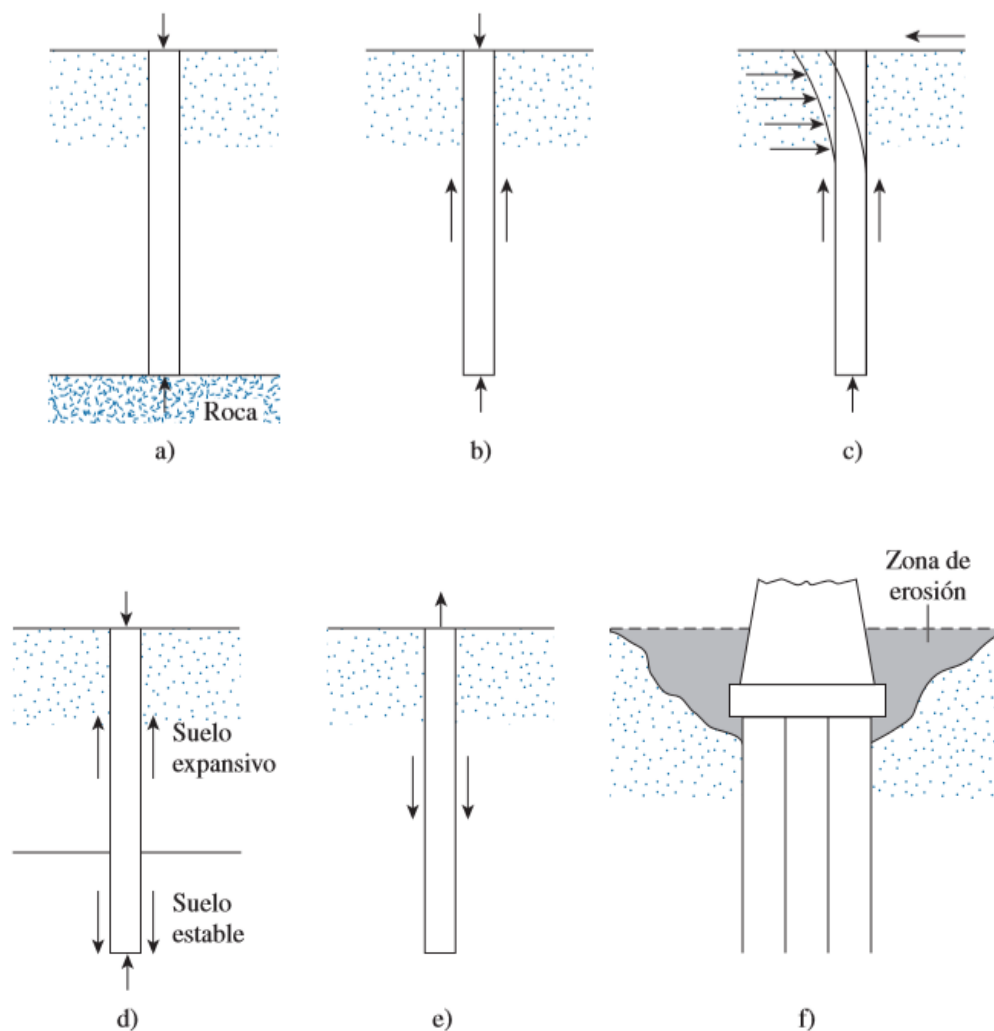


Figura 3. Situaciones que requieren cimentación con pilote

Fuente: Braja M. Das, *Principio de Ingeniería de Cimentaciones*, séptima edición, Editorial Cengage Learning, 2004.

La mayoría de los pilotes se hincan en el terreno mediante martinetes o impulsores vibratorios. En circunstancias especiales, los pilotes también se pueden insertar por chorro de agua a alta presión o barrenado parcial. En la operación de hincado, se coloca un casquete en la parte superior del pilote. Se puede utilizar un amortiguador entre el pilote y el casquete. El amortiguador tiene el efecto de reducir la fuerza de impacto y difundirla sobre un tiempo más prolongado; sin embargo, el uso del amortiguador es opcional. El amortiguador para martinete se coloca sobre el

casquete del pilote y el martinete cae sobre el amortiguador. Braja M. Das, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Séptima Edición, Editorial Cengage Learning, 2004.

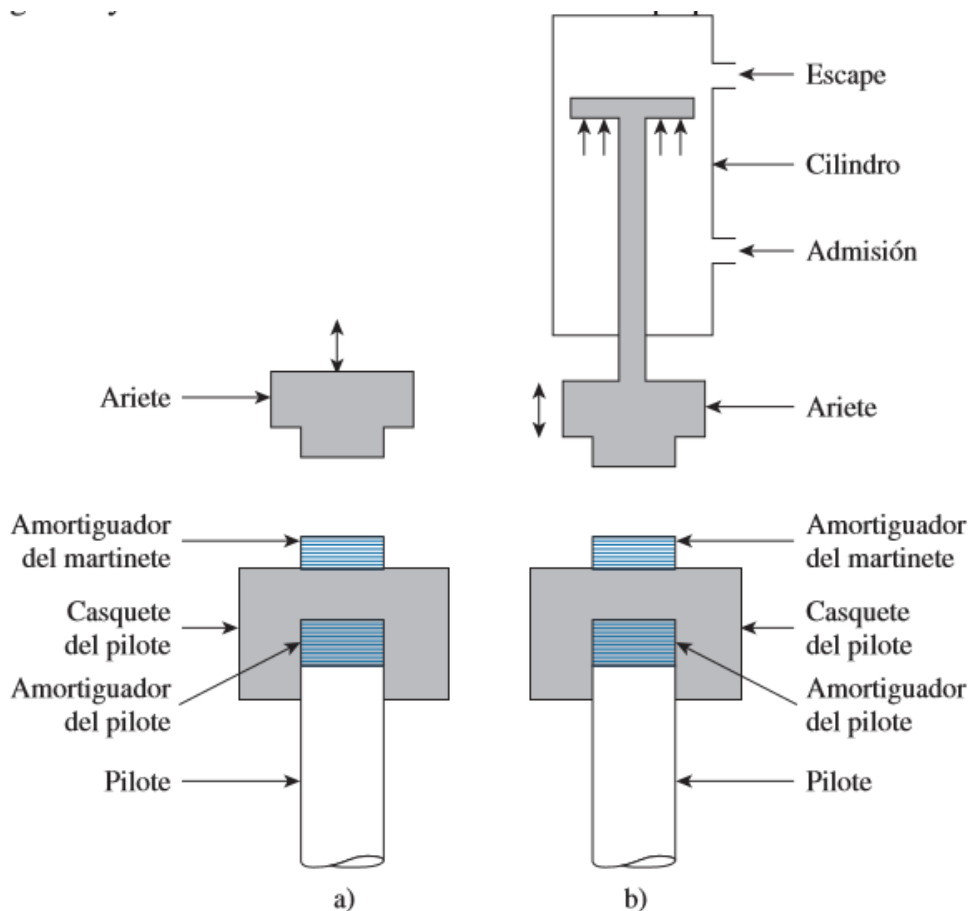


Figura 4. Equipo de hincado de pilotes: a). martinete de caída libre; b) martinete de aire o vapor de acción simple.

Fuente: Braja M. Das, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, séptima edición, Editorial Cengage Learning, 2004.

2.2.3 Cimentaciones superficiales. Prácticamente todas las estructuras de ingeniería civil, edificios, puentes, carreteras, túneles, muros, torres, canales o presas, deben cimentarse sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Para que una estructura se comporte satisfactoriamente debe poseer una cimentación adecuada. Cuando el terreno firme está próximo a la superficie, una forma

viable de transmitir al terreno las cargas concentradas de los muros o pilares de un edificio es mediante zapatas se denomina cimentación superficial.¹

Para que las cimentaciones superficiales tengan un desempeño satisfactorio deben tener dos características principales: 1). Tienen que ser seguras contra la falla general por corte del suelo que las soporta, 2). No pueden experimentar un desplazamiento, o un asentamiento excesivo.

Los tipos de cimentaciones superficiales son: zapatas, losas de cimentación y ciclopes.²

2.2.4 Muros de contención. El muro de contención es una estructura sólida hecha a base de mampostería y cemento armado que está sujeta a flexión por tener que soportar empujes horizontales de diversos materiales, sólidos, granulados y líquidos.

En general, los muros de contención se pueden dividir en dos categorías principales: muros convencionales y muros de tierra estabilizados mecánicamente. Los muros convencionales se pueden clasificar en general en cuatro tipos como lo son de gravedad, semigravedad, voladizo y contrafuertes.

Como fases en el diseño de un muro de retención convencional tenemos: el conociendo la presión lateral de la tierra, la estructura como un todo se revisa por estabilidad. La estructura se examina para ver si existen fallas posibles por volcamiento, deslizamiento y capacidad de carga. Y seguido a esto cada componente de la estructura se revisa por resistencia y se determina el reforzamiento de acero de cada componente.³

¹ T.W. lambe y R.V. Whitman, Mecánica de Suelos, Cuarta Edición

² Braja M. Das, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Séptima Edición, Editorial Cengage Learning. 2004

³ Braja M. Das, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Séptima Edición, Editorial Cengage Learning. 2004

2.2.5 Anclajes. Es un elemento capaz de transmitir esfuerzos de tracción desde la superficie del terreno hasta una zona interior del mismo. Consta básicamente de cabeza, zona libre y bulbo o zona de anclaje. Los anclajes constan de tres tipos como lo son:

Anclaje activo: Un anclaje sometido a una carga de tesado, después de su ejecución, no inferior al 50% de la máxima prevista en proyecto.

Anclaje pasivo: Un anclaje sometido a una carga inicial baja, normalmente comprendida entre el 10 y el 25% de la máxima prevista en proyecto para el mismo.

Anclaje permanente: Anclaje cuya vida útil se considera superior a dos años.

Anclaje provisional o temporal: Anclaje cuya vida útil no es superior a dos años. En caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos (p. e. ambiente marino, terrenos con sal gema, terrenos contaminados con queroseno o pesticidas, etc.) este periodo deberá ser reducido, de acuerdo con lo establecido en proyecto.

Anclaje retesable: Un anclaje que permite operaciones que varíen su carga durante su vida útil. **Anclaje no retesable:** Un anclaje que no permite operaciones que varíen su carga.⁴

⁴ Guía para el Diseño y la Ejecución de Anclajes al Terreno de Obras de Carreteras. Dirección General de Carreteras. Asociación de Empresas de la Tecnología de Suelos y Subsuelos (AETESS). Madrid, 2001

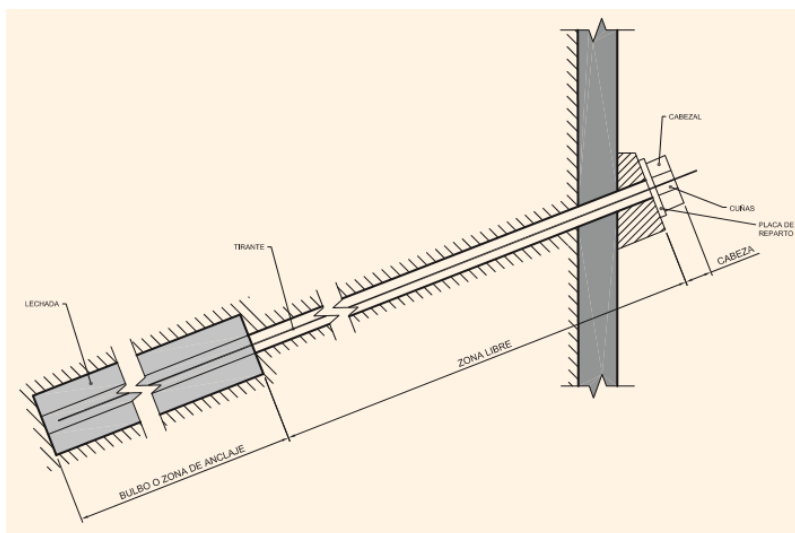


Figura 5. Croquis de un anclaje

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección general de carreteras. Asociación de empresas de la Tecnología del suelo y el subsuelo (AETESS). Madrid, 2001.

Los anclajes se clasifican, según el nivel de carga inicial que se les aplica, en activos y pasivos. A los primeros se le somete a una carga de tesado, después de su ejecución, generalmente del mismo orden de magnitud que la máxima prevista en proyecto, y nunca inferior al 50% de esta última, mientras que a los segundos se les deja con una carga inicial baja, aunque nunca inferior al 10 % de la máxima de proyecto, que adquieren normalmente por los movimientos de la estructura.

Otra clasificación que debe hacerse es atendiendo a su vida útil, así, se denomina anclaje permanente al proyectado para una vida superior a los dos años, y anclaje provisional al que debe actuar durante un periodo inferior a esos dos años, o menor en el caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos. Guía para el Diseño y la Ejecución de Anclajes al Terreno de Obras de Carreteras. Dirección General de Carreteras. Asociación de Empresas de la Tecnología de Suelos y Subsuelos (AETESS). Madrid, 2001

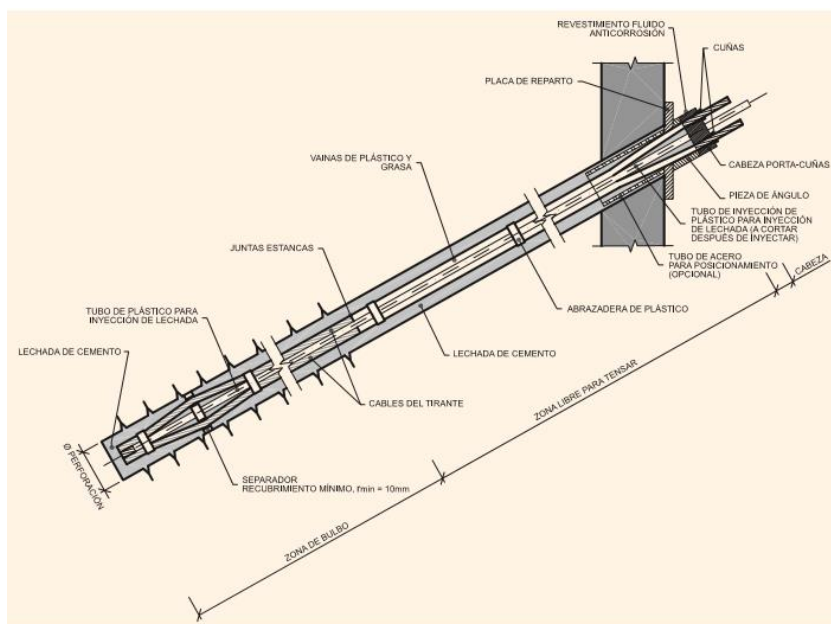


Figura 6. Croquis de un anclaje provisional

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección general de carreteras. Asociación de empresas de la Tecnología del suelo y el subsuelo (AETESS). Madrid, 2001.

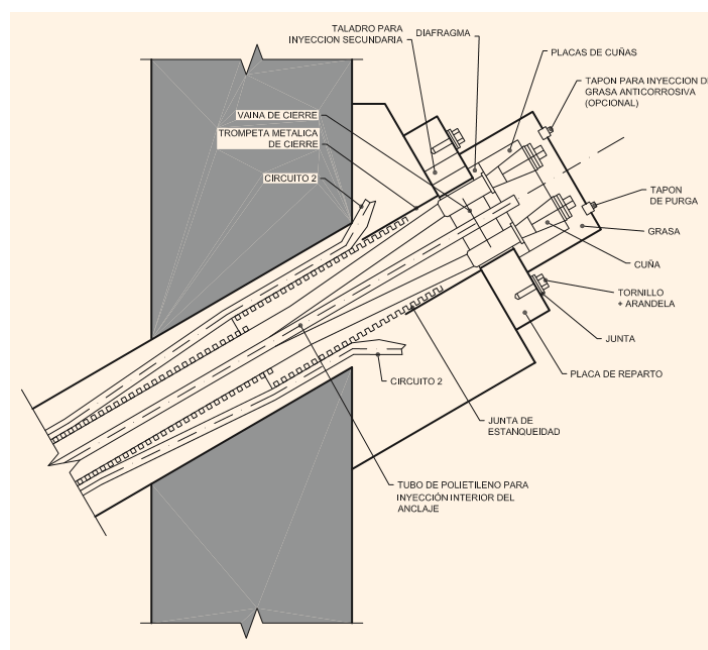


Figura 7. Cabeza de un anclaje permanente

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección general de carreteras. Asociación de empresas de la Tecnología del suelo y el subsuelo (AETESS). Madrid, 2001.

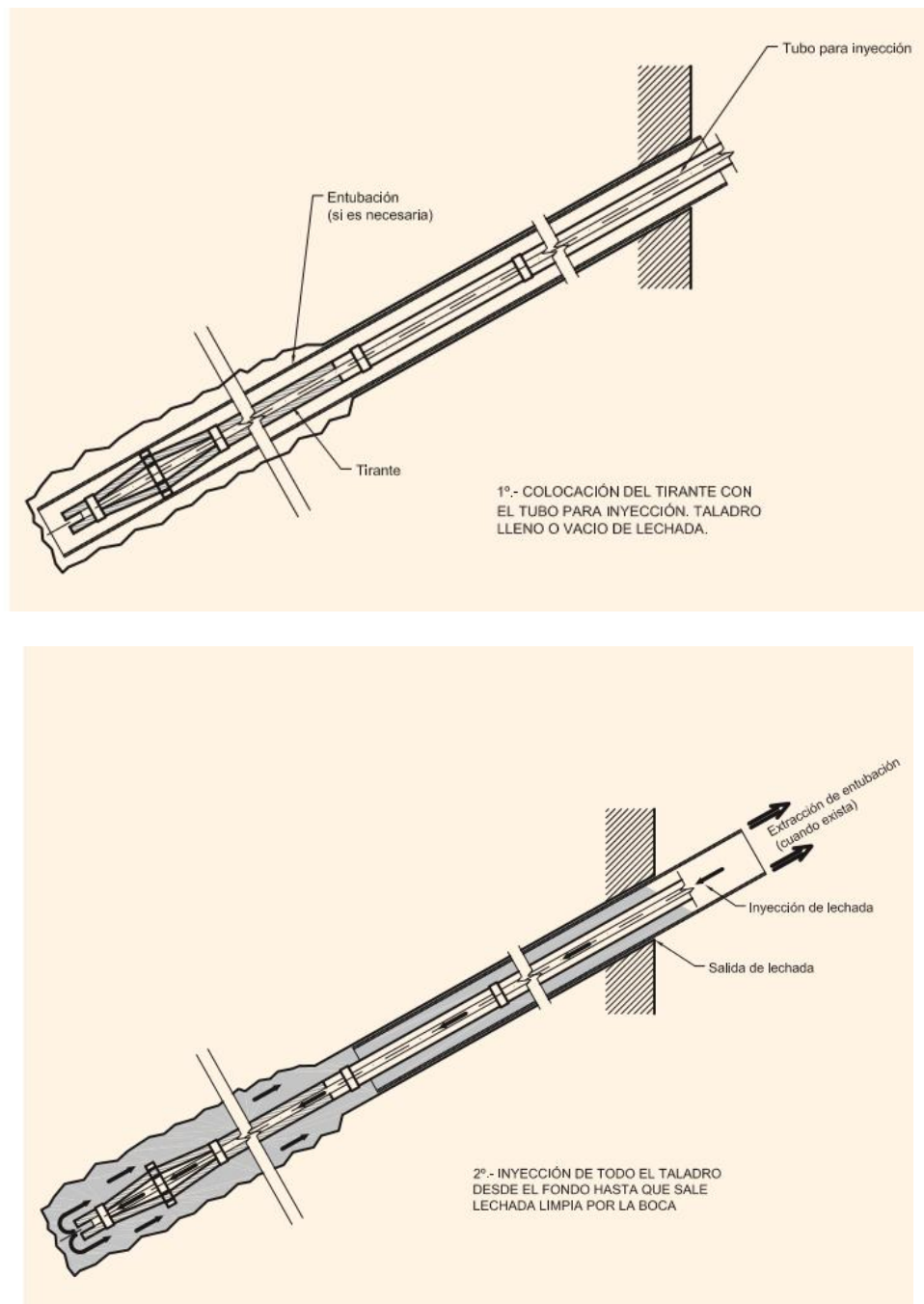


Figura 8. Procedimiento de inyección única global (ANCLAJES IU)

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección general de carreteras. Asociación de empresas de la Tecnología del suelo y el subsuelo (AETESS). Madrid, 2001.

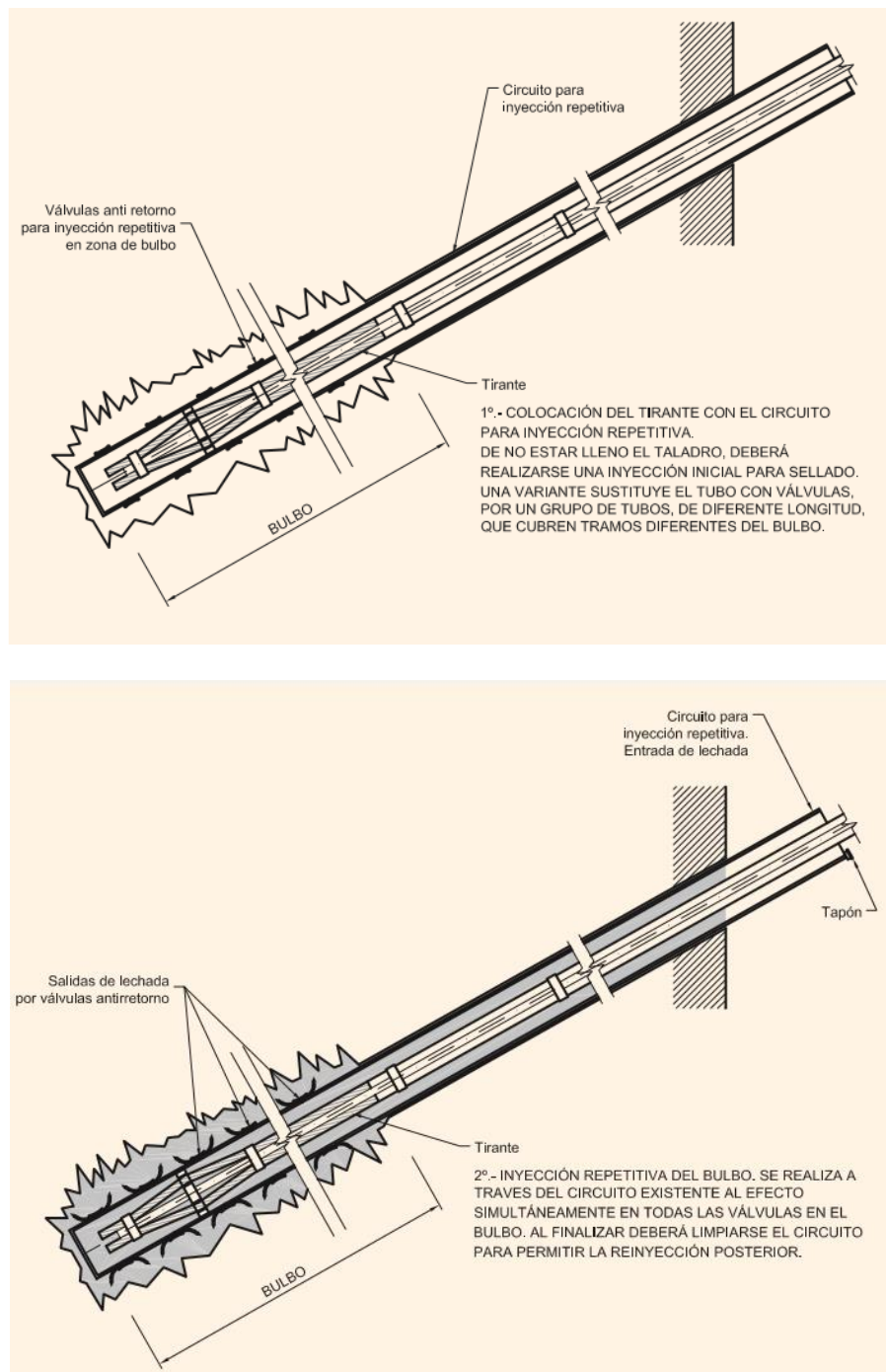


Figura 9. Procedimientos de inyección repetitiva (ANCLAJES IR)

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección general de carreteras. Asociación de empresas de la Tecnología del suelo y el subsuelo (AETESS). Madrid, 2001.

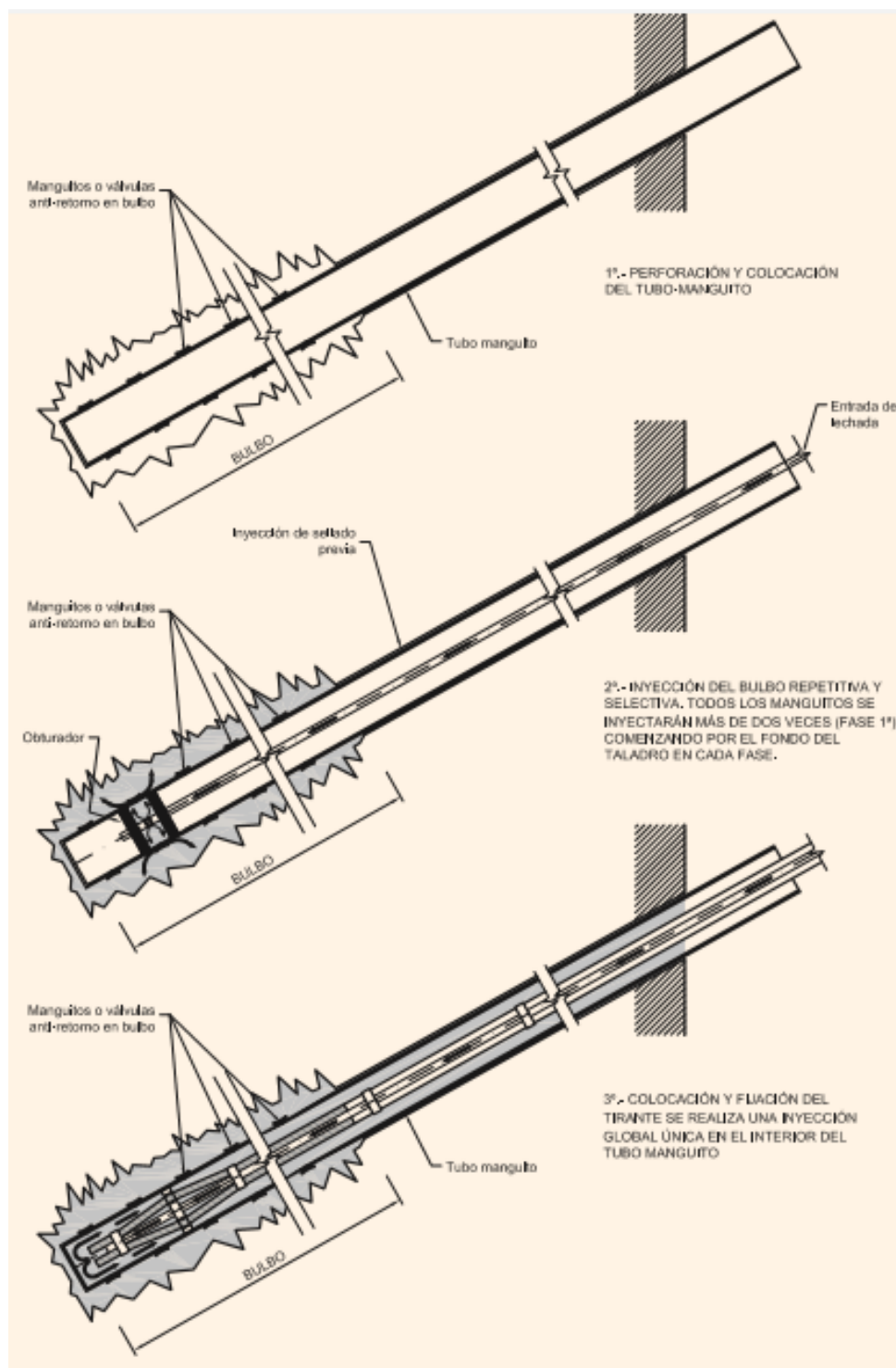


Figura 10. Procedimiento de inyección repetitiva y selectiva (ANCLAJES IRS)

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección general de carreteras. Asociación de empresas de la Tecnología del suelo y el subsuelo (AETESS). Madrid, 2001.

La cabeza del anclaje debe permitir tesar el tirante hasta la carga de prueba, o carga inicial. Deberá asimismo ser capaz de absorber el 100% de la tracción correspondiente al límite de rotura del acero. Cuando esté previsto en el Proyecto, permitirá un destensado y un posterior tesado del anclaje, así como, en su caso, la inclusión de células de medida de tensión de anclaje.

Deberán admitirse desviaciones angulares del tirante, respecto a una dirección normal a la cabeza, de hasta tres grados sexagesimales (3°) a una carga del 97% del límite elástico del tirante. Además, se dispondrán los elementos necesarios para transmitir la carga del tirante a la estructura.

La calidad de los aceros de los tirantes de los anclajes será al menos la especificada en la tabla 1.

TIPO DE TIRANTE	LIMITE ELÁSTICO (MPa)	CARGA UNITARIA DE ROTURA (MPa)
Barra tipo DW (Diwidag) o similar	850	1.050
Barra tipo Gewi o similar	500	550
Cables	1.710	1.910

Figura 11. Principales características mecánicas de los aceros (MPa)

Fuente: Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección general de carreteras. Asociación de empresas de la Tecnología del suelo y el subsuelo (AETESS). Madrid, 2001.

Las lechadas de cemento utilizadas en la protección anticorrosión en contacto con las armaduras, deberán tener una dosificación agua/cemento (a/c) no superior a 0,4 para limitar el agua libre.

Las lechadas empleadas en la formación del bulbo, dependiendo de las características del terreno, se dosificarán con una relación agua/cemento (a/c) comprendida entre 0,4 y 0,6, salvo indicación contraria del Director de las Obras.⁵

2.2.6 Ensayo de CPT. La perforación a rotación que es un procedimiento universal para obtener testigos den toda investigación minera, geológica o ya sea con fines de cimentación profunda en obras de ingeniería, así como lo manda el programa de normalización en cuanto a perforación del suelo In Situ (ASTM-D2113-93).

Prácticamente no se tiene límites en cuanto a su campo de acción pudiéndose usar en rocas duras como en material alterado con algunas diferencias en el procedimiento de perforación. Su ventaja radica en que se pueden extraer muestras de varios diámetros, cuyos rangos varían de 48 mm a 146 mm en profundidades de cientos de metros o kilómetros, en casos especiales, utilizándose brocas de carburo de tungsteno o diamante.

Cuando el terreno es blando, es necesario estudiar el problema desde el punto de vista económica y de recuperación del testigo. Como norma general hay que decir que la perforación con brocas de diamante es más suave y, por lo tanto, el testigo sufre menos, obteniéndose una mejor recuperación. Cuando las diferencias de precio no sean considerables, es preferible decidirse por realizar el sondaje con brocas de diamante, pues el objeto de realizar el sondaje es el de obtener el mayor porcentaje de recuperación de testigo. (NORMA INV E 180 – 13).

2.2.7 Software. Se hace mención de una serie de softwares que son de utilidad en el momento de realizar estudios geotécnicos.

⁵ Guía para el Diseño y la Ejecución de Anclajes al Terreno de Obras de Carreteras. Dirección General de Carreteras. Asociación de Empresas de la Tecnología de Suelos y Subsuelos (AETESS). Madrid, 2001

NOVOSPT Es un software para la interpretación de la prueba de penetración estándar (SPT / DCPT) cuenta de golpe (N) y la correlación a las propiedades del suelo sobre la base de más de 250 métodos y fórmulas.

GEOESTUDIO Es uno de los mejores softwares para la modelación geotécnica y geo ambiental, lo suficientemente amplio como para manejar todas sus necesidades de modelado.

GAWACWIN Fue desarrollado para ofrecer a los ingenieros, los diseñadores y constructores de una manera rápida y confiable de ejecutar como análisis de corrección de los proyectos de muros de arrimo en gaviones. Este programa es capaz de verificar una gran variedad de situaciones diferentes que pueden ocurrir normalmente en proyectos de este tipo, y así, pretende limitar a un mínimo las situaciones que necesitan análisis especializados y complementarios.

MACSTARS Fue desarrollado para verificar la estabilidad de suelos reforzados, es decir, estructuras que confieren estabilidad de taludes usando unidades de refuerzo capaces de absorber las tensiones de tracción. Además de permitir el análisis de estructuras de contención a la gravedad usando el mismo principio. El programa permite llevar a cabo las verificaciones de estabilidad usando el Método del equilibrio Límite también considerando taludes no reforzados.

MACRO 1 Es un software de Maccaferri destinado a calcular sistemas de revestimiento cortical (o estabilización superficial de un talud rocoso) para protección contra caída de bloques. El sistema está compuesto por anclajes y malla de acero flexible. El objetivo es mejorar la estabilidad superficial del macizo y mantener los detritos/rocas restringidos entre los cuatro anclajes.

MACRO 2 Es un software de Maccaferri destinado a calcular sistemas de revestimiento simple (o cortina de control) para protección contra caída de bloques. El sistema está compuesto

por anclajes en la cresta y pie del talud y malla de acero flexible. El objetivo es controlar la caída de detritos rocosos y depositarlos en el pie del talud sin que impacten en infraestructura.

PLAXIS 3D FOUNDATION Es un paquete de elementos finitos potente y fácil de usar destinado al análisis tridimensional de deformación y estabilidad en ingeniería geotécnica y mecánica de rocas. PLAXIS es utilizado en todo el mundo por las principales empresas de ingeniería e instituciones de la industria de ingeniería civil y geotécnica. Las aplicaciones abarcan desde excavaciones, terraplenes y cimentaciones hasta la excavación, minería y geomecánicas de yacimientos.

AUTOCAD Es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros. utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk.

2.3 MARCO LEGAL

Tabla 1. Normativa empleada

NORMA	CALIFICATIVO	DESCRIPCION
INV E – 122 – 13	Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo – agregado	Describe como debe ser llevado a cabo el ensayo de laboratorio para determinar el contenido de humedad, los materiales que requiere y cálculos a realizar.
INV E – 123 – 13	Análisis granulométrico de suelos por tamizado	Describe como debe ser realizado el ensayo según la fracción se muestra retenida en los tamices y los cálculos que requiere.

INVE – 125 – 13	Determinación del límite líquido de los suelos	El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico
INVE – 126 – 13	Límite plástico e índice de plasticidad de suelos	Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desmoronen.
INVE – 161 – 13	Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono y arena	Este método de ensayo se usa para determinar en el sitio, con el equipo de cono y arena, la densidad y el peso unitario de suelos compactados.
INVE – 111 – 13	Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido	Describe el procedimiento generalmente conocido como SPT, para penetrar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador.
INVE – 148 – 13	Relación de soporte del suelo en el CBR de laboratorio	Esta norma presenta un procedimiento para calcular los pesos unitarios y los contenidos de agua de suelos que contengan sobre tamaños, cuando se conocen dichos parámetros para la fracción del suelo del cual ellos han sido removidos.
INVE – 143 – 13	Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada	Esta norma presenta un procedimiento para calcular los pesos unitarios y los contenidos de agua de suelos que contengan sobre tamaños, cuando se conocen dichos parámetros para la fracción del suelo del cual ellos han sido removidos.
INVE – 142 – 13	RELACIONES DE HUMEDAD – MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS	Los siguientes métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de

(ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)	101.6 o 152.4 mm (4 o 6") de diámetro, con un martillo de 44.48 N (10 lbf) que cae libremente desde una altura de 457.2 mm (18"), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 kN-m/m ³ (56 000 lbf-pie/pie ³).
--	--

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas INV E – 122 – 13, INV E – 123 – 13, INV E – 125 – 13, INV E – 126 – 13, INV E – 161 – 13, INV E – 111 – 13.

3. METODOLOGIA

FORMACION GEOTECNICA, EN LA EMPRESA INTERVENTORIAS Y OBRAS DE SANTANDER - INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S.

3.1 ACTIVIDADES EJECUTADAS

Mediante la estadía en la empresa Interobras de Santander se llevaron a cabo una serie de actividades como lo fue la inducción a la empresa con el fin de generar un acoplamiento de la misma.

Se llevaron a cabo talleres y charlas con la agencia Maccaferri, con el propósito de tener un conocimiento más amplio referente al diseño e instalación de gaviones, refuerzo de pavimentos, instalación de geotextiles, prevención y control de caída de roca, entre otros.

Se realizó un programa en Excel para el cálculo de capacidad portante según la teoría de Terzaghi, Hansen, Vesic y Meyerhof y el cálculo de asentamientos según los métodos de Mayne y Poulos, Meyerhof, Terzaghi y Schmertmann; las formulas y procedimientos para el cálculo de capacidad portante y asentamientos son tomados de *CAMPOS RODRIGUEZ Jorge, GUARDIA NIÑO DE GUZMÁN Germán Marcelo. Apoyo didáctico al aprendizaje de la mecánica de suelos mediante problemas resueltos. Trabajo dirigido, por adscripción, para optar al diploma académico. Universidad mayor de san simón facultad de ciencias y tecnología laboratorio de geotecnia. Cochabamba – Bolivia 5 de diciembre del 2005 (ANEXO 5).*

Como también la ejecución y análisis de estudios Geotécnicos como son:

Proyecto 1: “Estudio Y Diseño Para La Vía Chacharita Ubicada En El Municipio De Piedecuesta, Departamento De Santander”

Proyecto 2: “Estudio Geotecnico Y Diseño De Construcción En El Barrio La Concordia Ciudad De Bucaramanga, Departamento De Santander”

Proyecto 3: “Estudio De Suelos Y Cimentaciones Proyecto Edificio Monte Horeb Ubicado En La Ciudad De Bucaramanga, Departamento De Santander”

Los estudios geotécnicos se desarrollaron con el fin de conocer la capacidad portante y el asentamiento del terreno, como también una serie de caracterizaciones geomorfológicas, de acuerdo a esto se hace una revisión del contexto geológico del sector, un resumen de las perforaciones a realizar y se dan algunos parámetros para el diseño de las cimentaciones de las estructuras.

Inicialmente se efectuó una inspección al sitio y se determinaron los puntos de ubicación de los sondeos, así como el tipo de equipo a utilizar de acuerdo con la morfología de terreno y sus características físicas, siguiendo la norma; en este caso se usó un equipo de SPT para el trabajo de campo.

Este equipo fue seleccionado según las condiciones del terreno que requería el estudio como también la categoría de construcción a edificar, y seguido de esto la ubicación de los sondeos.

Figura 11. Ensayo de SPT



Fuente: Autor

Para uno de los estudios se realizaron 4 perforaciones de 12 metro de profundidad debido a que el terreno era una edificación vieja que aun constaba de cubierta y fachada, las perforaciones se distribuyeron abarcando la totalidad del terreno, obteniendo de cada una de ella una muestra representativa de suelo para su respectivo análisis.

Después de descritas las muestras obtenidas en los sondeos se identificaron las muestras típicas y se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

Tabla 3. Relación de ensayos realizados

ENSAYO	NORMA	N° DE ENSAYO
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado	ASTM D 2216 INV E 122	4
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D 4318 – AASHTO T 8990 INV E – 123 – 13 INV E – 125 – 13	4
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-63 – AASHTO T88 INV E – 123 – 13	4
Clasificación de suelos	ASTM D 2487	4

Fuente: Autor

Teniendo los datos arrojados de los ensayos de campo y de laboratorio pertinentes, nos disponemos a calcular los datos geotécnicos de los respectivos estudios. Seguidamente se

demostrará cuáles son los cálculos a seguir para uno de los proyectos nombrados, en que el proceso es similar al de los demás.

Continuaremos haciendo énfasis en la norma Técnica Colombiana Sismo Resistente NSR-10, para designarle el tipo de categoría de construcción el cual nos guiamos de título H, tabla H.3.1-1: en este caso tenemos una categoría media, según los niveles de construcción.

Tabla 2. Clasificación de las unidades de construcción por categorías (TablaH.3.1-1)

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Fuente: Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente NSR-10

Y respecto al tipo de categoría asignamos el número mínimo de sondeos y la profundidad mínima según la tabla H.3.2.3: que nos indica, se deben hacer 4 sondeos de 15 metros de profundidad.

Tabla 3. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Categoría de la unidad de construcción (Tabla H.3.2.3).

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Fuente: Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente NSR-10

Para el análisis de la acción sísmica se recomienda utilizar el espectro elástico de diseño de la Norma NSR-10.

- Aa: Aceleración horizontal pico efectivo en roca (Figura A.2.3-2).

$$A_a = 0.25$$

- Av: Velocidad horizontal pico efectivo (Figura A.2.3-3).

$$A_v = 0.25$$

- Fa: Coeficiente de amplificación Fa de períodos cortos del espectro (Tabla A.2.4-3). Fa=

$$1.3$$

- Fv: Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debido a efectos de sitio. (Tabla A.2.4-4).

$$F_v = 1.9$$

- I: Coeficiente de importancia (Numeral A.2.5 – NSR-10).

$$I = 1,0$$

- Grupo de uso I: Edificación (Ver Tabla A.2.5-1 – NSR-10).

$$I = I$$

- Sa: Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado.

- To: Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones.

- Tc: Periodo de vibración corresponde a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño para periodos cortos y la parte descendente del mismo.

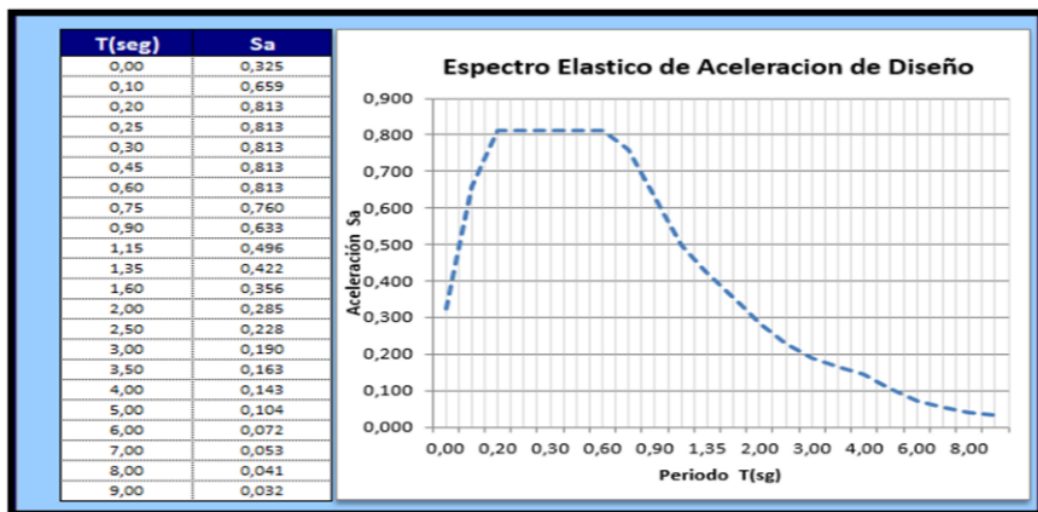
- Tl: Periodo de vibración corresponde al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño para periodos largos

Tabla 4. Calculo de Aceleración espectro de diseño

ENTRADAS		DATOS CALCULADOS	
Zona de Riesgo sísmico	ALTA	Espectro de diseño Sa	0,81 sg
Coef. Aceleracion Aa	0,25	Periodo de Vibracion To	0,15 sg
Coef. Aceleracion Av	0,25	Periodo de vibracion Tc	0,70 sg
Tipo de perfil del Suelo	D	Periodo de vibracion TL	4,56 sg
Coef. Amp De Sitio Fa	1,30		
Coef. Amp De Sitio Fv	1,90		
Coef. De Importancia I	1,00		
DATOS CALCULADOS			
Grupo de uso del Edificio	I		
Cap de disp de Energia	Especial DES		

Fuente: Autor

Tabla 5. Calculo de Aceleración espectro de diseño



Fuente: Autor

El análisis de capacidad de soporte se realizó utilizando los resultados de los ensayos de penetración estándar del cual obtenemos un N golpes por un martillo tipo Donut o pesa con una

eficacia de energía para Colombia del 50%, el N debe corregirse por una serie de factores de energía y eficiencia estandarizado $E_{rs} = 60\%$, de los cuales debemos tomar un promedio de N por cada metro de profundidad, de la cual se obtiene el N_{60} corregido para propósitos de diseño geotécnico. Por medio de la siguiente fórmula de corrección (Bowles J. E, Principles of Foundation Engineering, 4th edición McGraw Hill, 1988):

$$N_{60} = C_n \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5 \cdot N$$

Donde:

- Corrección por Confinamiento, C_n : Este factor ha sido identificado desde hace tiempo (Gibbs y Holtz, 1957) y se hace por medio de la relación del factor C_n y R_s .

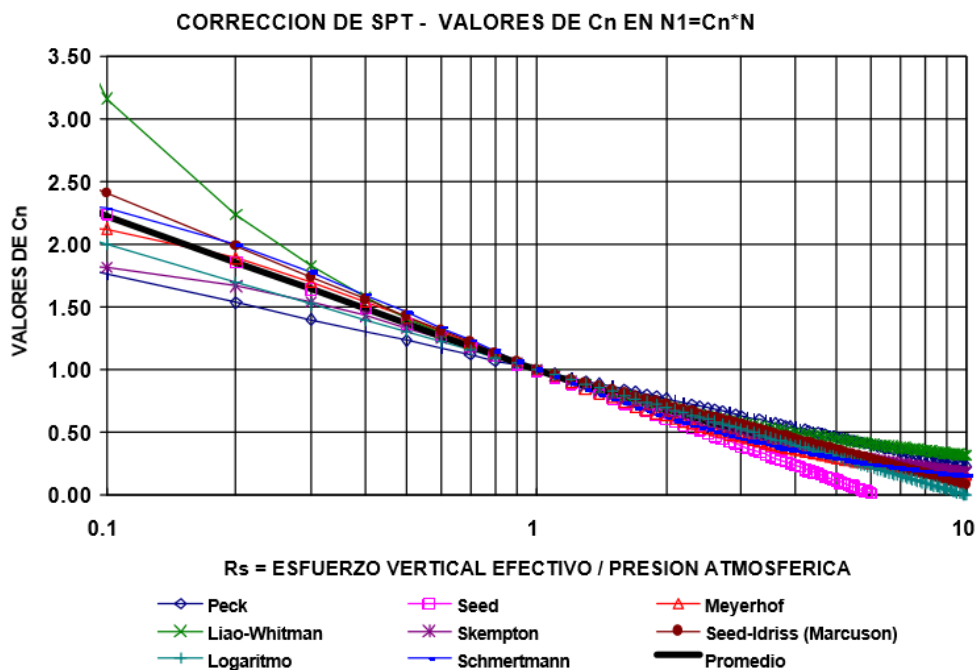


Figura 12. Coeficiente de Corrección por confinamiento

Fuente: Gibbs y Holtz, 1957

$R_s = \sigma_v' / p_a$. P_a = Presión atmosférica igual a 95,76 kPa (1Kg/cm²)

σ_v' = Esfuerzo efectivo vertical en el punto de referencia.

- Corrección por longitud de la varilla n_2 : Entre 0 - 4m = 0.75, entre 4 - 6m = 0.85, entre 6 - 10m = 0.95 y mayor a 10m = 1.0. (Factores de corrección adaptados de Skempton, 1986).
- Corrección por eficiencias de martillos de la prueba SPT (adaptado de Clayton, 1990) $n_1 = \frac{E_m}{E_{rs}}$: Considerando una energía estándar del 60% y una eficiencia de energía para Colombia del martillo empleado del 50%, se tiene, $50/60 = 0,83$.
- Corrección por el diámetro de la perforación n_3 : 1.00 (Factores de corrección adaptados de Skempton, 1986).
- Corrección por él toma muestras sin revestimiento n_4 : 1.00 (Factores de corrección adaptados de Skempton, 1986).
- Corrección por cambio de peso en el martillo de golpear $n_5: \frac{W_h}{4838.7}$ donde $W =$ peso del martillo en kilogramos y $h =$ Altura de caída del martillo (cm), entonces $n_5 = 1,00$

Al tener todos los factores de la fórmula de corrección, nos da un valor igual a:

$$N_{60} = 13$$

Se obtiene el valor del ángulo de fricción interno, utilizando correlaciones con el ensayo de penetración estándar SPT, con las respectivas correcciones. La mejor forma de la ecuación de HMuromachi es:

$$\phi = 20 + 3.5\sqrt{N}$$

Dónde: $N = N_{60}$

$$\phi \cong 32.51^\circ$$

Datos para el Cálculo de Q admisible.

CÁLCULO DE LÍMITE DE CARGA											
B =	1,50	[m]	$\phi =$	32,51	[°]	$\alpha =$	0,00				
L =	1,50	[m]	$\delta =$	0,00	[°]	$\gamma =$	11,17	[kN/m ³]			
D =	1,50	[m]	$\beta =$	0,00	[°]	$q_v =$	0,00	[kN/m ²]			
ecc.B =	0,00	[m]	$\eta =$	0,00	[°]	$q_o =$	0,00	[kN/m ²]			
ecc.L =	0,00	[m]	c =	0,00	[kN/m ²]	FS =	3,00				

Meyrhof:		Vesic:		Hansen:		Terzaghi:	
Nq =	24,61369522	Nq =	24,61369522	Nq =	24,6136952	Nq =	28,517
Nc =	37,05180467	Nc =	37,05180467	Nc =	37,0518047	Nc =	44,036
Ng =	24,04121856	Ng =	32,64801798	Ng =	22,5740665	Ng =	36,888

<i>Factor de forma</i>		<i>Factor de forma</i>		<i>Factor de forma</i>		<i>Factor de forma</i>	
sc =	1,664765393	sc =	1,664304895	sc =	1,6643049	sc =	1,3
sq = sg =	1,332382696	sq =	1,637315657	sq =	1,63731566	sg =	0,8
		sg =	0,6	sg =	0,6		

<i>Factores de profundidad</i>		<i>Factores de profundidad</i>		<i>Factores de profundidad</i>	
dc =	1,364627315	dc =	1,4	dc =	1,4
dq = dg =	1,182313657	dq =	1,906455253	dq =	1,90645525
		dg =	1	dg =	1

<i>Factor de inclinación.</i>		<i>Factor de inclinación.</i>		<i>Factor de inclinación.</i>	
ic = iq =	1	ic =	1	ic =	1
ig =	1	iq =	1	iq =	1
		ig =	1	ig =	1

Kp =	3,323826965	<i>F. inclin. Cimentación</i>		<i>F. inclin. Cimentación</i>	
		bc =	1	bc =	1
		bq = bg =	1	bq =	1
				bg =	1

<i>F. d'inclin. Terreno</i>		<i>F. d'inclin. Terreno</i>	
gc =	1	gc =	1
gq = gg =	1	gq = gg =	1

LEYENDA

B = Ancho de la cimentación
L = Longitud de la cimentación
D = Profundidad de la cimentación
ecc.B = Excentricidad en B
ecc.L = Excentricidad en L
 ϕ = Angulo de fricción
 δ = A. inclinación del terreno de fundación.
 β = A. inclinación de la carga
 η = Inclinación de la cimentación
c = Cohesión
 α = Adhesión a la base de la fundación
 γ = Peso específico del suelo
 q_v = Comp. Vertical de la carga
 q_h = Comp. Horizontal de la carga
Kp = Coeficiente de empuje pasivo
Af = Area efectiva de la cimentación
FS = Factor de seguridad
q = Capacidad portante

Figura 13. Memoria de Cálculo para determinar la Capacidad Admisible del suelo según los métodos de Meyerhof, Vesic, Hansen y Terzaghi.

Fuente: Autor

Capacidad Portante Método Meyerhof:		Capacidad Portante Método Vesic:		Capacidad Portante Método Hansen:		Capacidad Portante Método Terzaghi:	
$q_{ult} =$	966,93	$q_{ult} =$	1301,99	$q_{ult} =$	1315,02	$q_{ult} =$	725,03 [kN/m ²]
$q =$	2175,59	$q =$	2929,48	$q =$	2958,80	$q =$	1631,31 [kN]
$Q_{amm} =$	322,31	$Q_{amm} =$	434,00	$Q_{amm} =$	438,34	$Q_{amm} =$	241,68 [kN/m ²]

Figura 14. Resultado de la Capacidad Admisible del Suelo Según métodos de Meyerhof, Vesic, Hansen y Terzaghi

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, tomamos la menor capacidad portante, es decir: 241.68 KN/M2.

Para calcular el coeficiente o módulo de reacción K_s o coeficiente de balasto, se emplea el método simplificado de una losa de cimentación rectangular a partir del ensayo de placa de carga de 30x30cm. Este se calcula por medio del tipo de suelo y las dimensiones del ancho de la zapata.

Tabla 6. Tipos de suelo Coeficiente de balasto K_{30}

Tipo de suelo	Coefficiente de balasto k_{30} (kp/cm ³)
** Suelo fangoso	0.50 - 1.50
* Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 3 a 9)	1.20 - 3.60
* Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 9 a 30)	3.60 - 12.00
* Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 30 a 50)	12.00 - 24.00
* Grava fina con arena fina	8.00 - 10.00
* Grava media con arena fina	10.00 - 12.00
* Grava media con arena gruesa	12.00 - 15.00
* Grava gruesa con arena gruesa	15.00 - 20.00
* Grava gruesa firmemente estratificada	20.00 - 40.00
** Arcilla blanda (q_u 0.25 a 0.50 kp/cm ²)	0.65 - 1.30
** Arcilla media (q_u 0.50 a 2.00 kp/cm ²)	1.30 - 4.00
** Arcilla compacta (q_u 2.00 a 4.00 kp/cm ²)	4.00 - 8.00
Arcilla margosa dura (q_u 4.00 a 10.00 kp/cm ²)	8.00 - 21.00
Marga arenosa rígida	21.00 - 44.00
Arena de miga y tosco	22.00 - 110.00
Marga	22.00 - 2200.00
Caliza margosa alterada	150.00 - 220.00
Caliza sana	885.00 - 36000.00
Granito meteorizado	30.00 - 9000.00
Granito sano	1700.00 - 3600.00

- * Los terrenos granulares, si están sumergidos se tomarán con un k_{30} igual a los de la tabla multiplicados por 0.60.
- ** Los valores considerados corresponden a cargas de corta duración. Si se consideran cargas permanentes que produzcan Q y M y ha de tener lugar la consolidación, se multiplicarán los valores de k_{30} de la tabla por 0.25.

Fuente: Jiménez y Salas, Geotecnia y Cimientos III, Primera Parte

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE BALASTO

Explicación del Método
Explicación teórica del método simplificado para el cálculo del módulo de balasto de una losa de cimentación rectangular a partir del ensayo de placa de carga de 30x30cm.

[Explicación del Método](#)

Datos de entrada

l (Lado mayor) m Tipo de suelo

b (Lado menor) m

k_{30} kg/cm³

CÁLCULO

Terreno Cohesivo (arcillas):
Cimentación de 1.50 m x 1.50 m

$$k_{s, \text{cuadrado}} = k_{30} [0,30 / b] = 1.6 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$k_{s, \text{rectangular}} = (2/3) k_{s, \text{cuadrado}} [1 + b / (2 \cdot l)] = 1.6 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 16000000 \text{ N}/\text{m}^2 = 16000 \text{ kN}/\text{m}^2$$

Figura 15. Módulo de Reacción o Coeficiente del Balasto

Fuente: Jiménez y Salas, Geotecnia y Cimientos III, Primera Parte

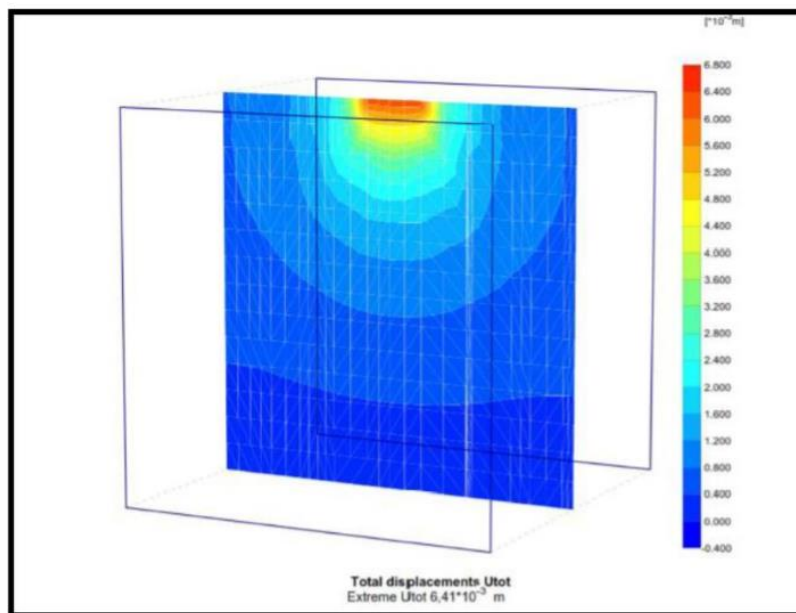
Por consiguiente, nuestro coeficiente de balasto es de 1,6 Kg/Cm³.

Para los asentamientos se hace un modelado con el Software Plaxis. En la siguiente tabla se indican los asentamientos de las diferentes zapatas con sus respectivas cargas de diseño, calculado mediante las modelaciones con elementos finitos (se anexan las gráficas de carga Vs asentamiento).

Tabla 7. Asentamientos y carga de diseño

SECCIÓN (M)	CARGA DE DISEÑO KN/M ²	ASENTAMIENTO TOTAL (CM)
1,5 X 1,5	800 KN/M ²	1.2356

Fuente: Autor



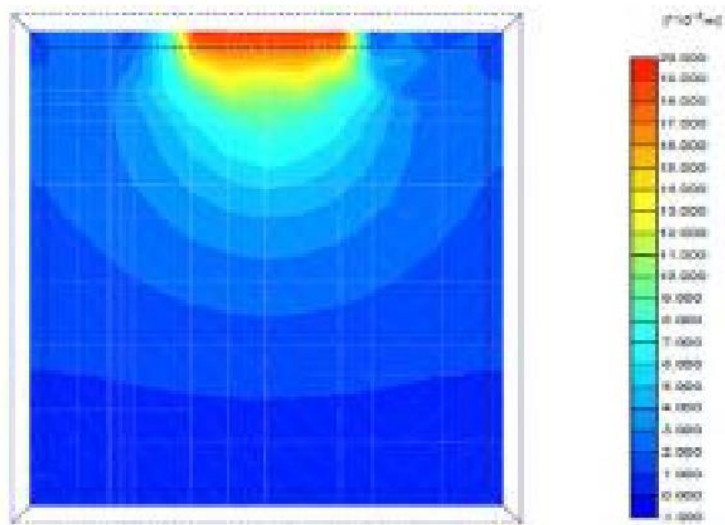
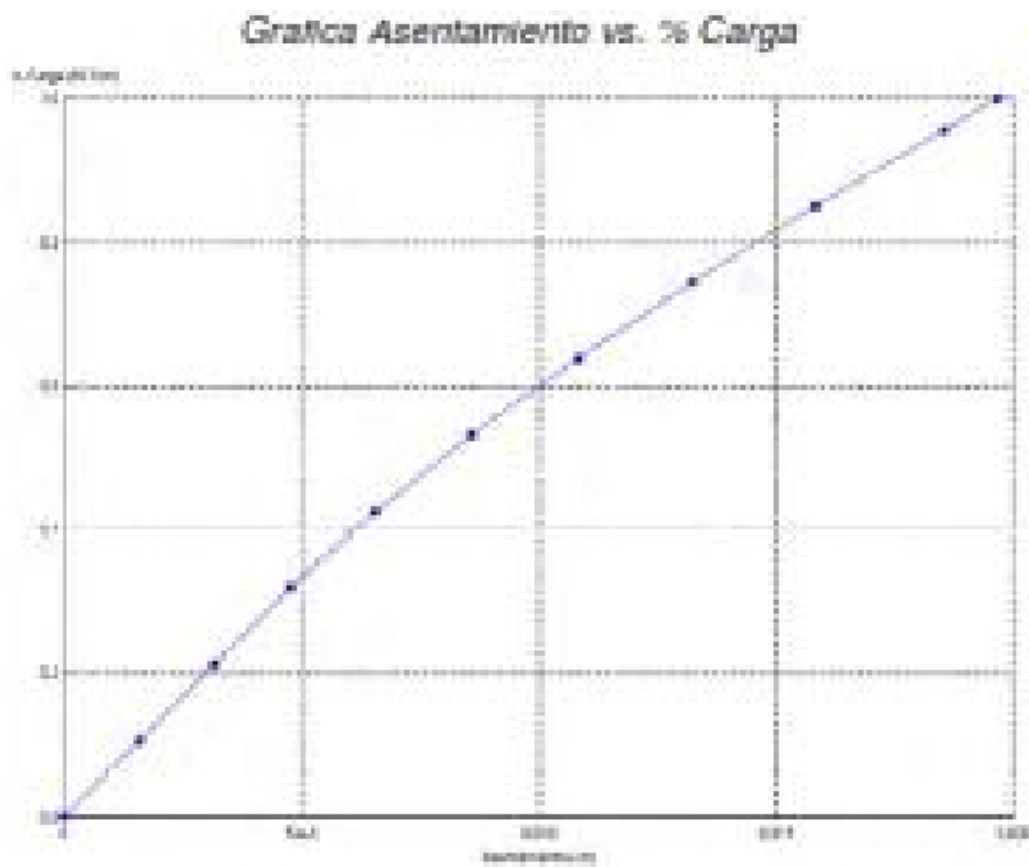


Figura 16. Calculo de asentamientos mediante Software Plaxis

Fuente: Autor



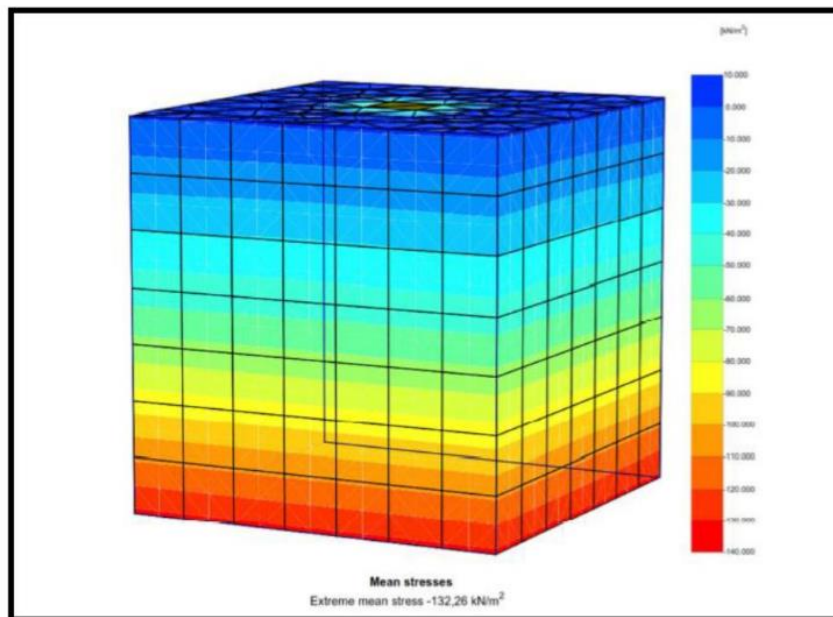


Figura 17. Calculo de asentamientos mediante Software Plaxis

Fuente: Autor

Resultados generales del estudio, correspondiente a los datos arrojados de los cálculos realizados.

Tabla 8. Resultados generales del estudio

Dimensionamiento del cimiento (m) Ancho X Largo X Alto	Factor de Seguridad	ϕ (°)	Asentamiento Calculados (Cm)	Asentamientos por Módulo de Wicker o Coeficiente de Balasto Kg/cm ³	Capacidad Portante KN/m ²
1,5 x 1,5 x 1,5	3	32.51	1.2356	1,6 Kg/Cm ³	241.68

Fuente: Autor

En el estudio y diseño para la vía chacharita consta de dos partes, como lo son un estudio de geotécnico del terreno para determinar capacidad portante, asentamientos, módulo de balasto del

terreno y el tipo de cimentación, y segundo el diseño de 10 muros de contención para el requerimiento del mismo proyecto los cuales han sido actualizados por petición de la empresa solicitante, estos se han modelado en AUTO CAD (ANEXO 5. pdf de los muros) con sus respectivas especificaciones de diseño.

Adicionalmente, en simultaneidad con estos proyectos se realizaron reposiciones de pavimento por toda la ciudad de Bucaramanga, garantizando la durabilidad y buena implementación de este.

Seguidamente se realizaron comités de obra para ver avances y correcciones de los mismos con el fin de tener un mejor desempeño y despejar dudas existentes, en búsqueda de soluciones rápidas y a tiempo oportuno.

3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Cuando se diseñan cimentaciones hay que tener en cuenta lo siguiente: tipo de suelo (cohesivo, granular, granular con finos, de alta o baja plasticidad), variación de estratos, consistencia (blanda, media, dura), las propiedades físicas y mecánicas (cohesión, ángulo de fricción interna, índice de compresión, módulo de elasticidad, coeficiente de balasto), ubicación del nivel freático, supresión de agua, empuje de agua sobre la subestructura y superestructura, socavación, erosión eólica e hidráulica, empuje de suelo sobre la subestructura y superestructura, expansión del suelo, licuación del suelo, profundidad de cimentación, capacidad portante por resistencia, capacidad portante por asentamiento, esfuerzo neto, asentamientos diferenciales y totales, agentes agresivos (sales, cloruros, sulfatos), expansibilidad y fuerza expansiva del suelo, estabilidad del talud de la excavación, procedimiento de construcción, especificaciones del

Reglamento Nacional de Edificaciones, efecto de fenómenos naturales como inundaciones, sismos, etc. Sólo si conocemos esto procedemos a diseñar la cimentación, en caso contrario el diseñador se convierte en un peligro público. “No hay gloria en las cimentaciones”, dijo Terzaghi, pero si repudio para el ingeniero si falla una edificación. Queda claro que las condiciones del suelo sobre el que se apoya la estructura, afectará necesariamente en el diseño de las cimentaciones.⁶

3.2.1 Amenaza Sísmica Y los Movimientos Sísmicos. Para efectos del diseño sísmico de la estructura, ésta debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica, baja, intermedia o alta, y además deben utilizarse los movimientos sísmicos de diseño, los cuales se pueden expresar por medio del espectro elástico de diseño. Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro A_a , y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro A_v , correspondientes a la tabla A.2.2-1 y según las regiones de los mapas de las figuras A.2.3-2 Y A.2.3-3. Los nivel de amenaza sísmica según valores de A_a y de A_v se encuentran en la tabla A.2.3-1 NSR-10. Seguido a esto se debe definir el perfil de suelo el cual se basa en los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil, medidos en el sitio que se describieron en A.2.4.3. La clasificación se da en la tabla A.2.4-1 NSR-10, encontraremos los valores del coeficiente de amplificación de periodos cortos del espectro F_a ; en la tabla A.2.4-4 hallaremos los valores del coeficiente que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios F_v debido a efectos del sitio; el coeficiente de importancia según la tabla A.2.5-1, se hallara el espectro elástico de aceleraciones, S_a expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se

⁶ William Rodríguez Serquen. Ingeniería Geotécnica. Docente Principal de la Universidad Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque. Perú 2013

debe utilizar en el diseño, se da en la figura A.2.6-1 y se define por medio de las siguientes ecuaciones:

$$S_a = \frac{1.2A_v F_v I}{T}$$

períodos de vibración menores de T_c

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} \quad y$$

$$S_a = 2.5 A_a F_a I$$

Para períodos de vibración mayores que T_L

$$T_L = 2.4 F_v$$

y

$$S_a = \frac{1.2 A_v F_v T_L I}{T^2}$$

Al tener todos los parámetros se podrá calcular un espectro de diseño en función del periodo.

Para el cálculo del período fundamental de la edificación, T , debe obtenerse a partir de las propiedades de su sistema de resistencia sísmica, en la dirección bajo consideración, de acuerdo con los principios de la dinámica estructural, utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura. Alternativamente el valor de T puede ser igual al período fundamental aproximado T_a , donde C_t es el coeficiente utilizado para calcular el periodo de la estructura, depende del material y el sistema estructural (Tabla A.4.2-1). y α es el exponente para calcular el periodo fundamental aproximado (Tabla A.4.2-1) de la NSR-10, se necesita la Altura en metros h , medida desde la base al piso más alto de la edificación

$$T_a = C_t \cdot h^\alpha$$

Por medio del T_a nos permite calcular el cortante de la base de la edificación V_s

$$V_s = S_a \cdot T_a \cdot W$$

Dónde: W = peso de la estructura

Seguidamente de debe hacer la evaluación geotécnica del efecto sísmico, como lo es la incidencia de la litología y tipos de suelo, el potencial de licuación, como también el comportamiento esperado de los suelos en el momento de sismos.

Finalmente se realizan los diversos ensayos como lo son de campo y de laboratorio de los cuales ya se ha hablado anteriormente.

3.2.2 Parámetros geotécnicos para el diseño. Según los datos arrojados por el ensayo de penetración estándar tomamos un N golpes el cual es corregido para con este poder hallar el ángulo de fricción interno y así los demás factores que dependen de él (presión de tierra y resistencia al cortante).

$$N = N_{60} = C_n \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5 \cdot N$$

Para el análisis de resistencia al cortante y presiones de tierra se obtiene el valor del ángulo de fricción interno, utilizando correlaciones con el ensayo de penetración estándar SPT, con las respectivas correcciones.

$$\phi = 20 + 3.5\sqrt{N}$$

Haciendo uso del ángulo de fricción interno podemos calcular los coeficientes de presión de tierras activa y pasiva por medio del método de la teoría de la presión de tierra de Coulomb la cual se puede ampliar para tomar en cuenta las fuerzas ocasionadas por un sismo.

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\delta + \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \theta) \cos(\beta - \theta)}} \right)}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2\theta \cos(\delta - \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\delta - \theta) \cos(\beta - \theta)}} \right)}$$

Para el cálculo del coeficiente de balasto se determina por el método simplificado de una losa de cimentación rectangular a partir el ensayo de placa de carga de 30x30. Donde tenemos los siguientes términos:

B: ancho equivalente de la zapata (m).

I: lado mayor o longitud de la losa (m)

K_{s30} : coeficiente de balasto obtenido en placa de 30x30 (kN/m³)

$K_{Scuadrada}$: coeficiente de balasto de la zapata cuadrada (kN/m³)

$K_{Srectangular}$: coeficiente de balasto de la zapata rectangular (kN/m³)

Para el cálculo del coeficiente de balasto de la zapata rectangular será necesario primero calcular el de la cuadrada. El módulo de balasto de la zapata rectangular (I y b en m) en función el de la cuadrada se define por (Terzaghi, 1955).

$$K_{S,rectangular} = \left(\frac{2}{3}\right) K_{S, cuadrado} \left[1 + \frac{b}{2 * I}\right]$$

Donde $K_{S,cuadrada}$ se determina en función del tipo de suelo y del ensayo de placa de carga de 30x30.

✚ Suelos cohesivos (arcillas):

$$K_{Scuadrada\ cohesivo} = K_{S\ 30} \left[\frac{0,30}{b}\right]$$

✚ Suelos arenosos o granulares:

$$K_{Scuadrada\ arenoso} = K_{S\ 30} \left[\frac{(b + 0,30)}{(2 * b)}\right]^2$$

A continuación se presenta la tabla de la cual tomamos los valores estimados del módulo de balasto para placa de carga de 30x30(K_{30}), del cual se recomienda que lo correcto es obtener datos a partir del terreno en cuestión.

Tabla 9. Valores estimados del módulo de balasto (K_{30})

Tipo de suelo	Coefficiente de balasto k_{30} (kp/cm ²)
** Suelo fangoso	0.50 - 1.50
* Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 3 a 9)	1.20 - 3.60
* Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 9 a 30)	3.60 - 12.00
* Arena seca o húmeda, suelta (N_{SPT} 30 a 50)	12.00 - 24.00
* Grava fina con arena fina	8.00 - 10.00
* Grava media con arena fina	10.00 - 12.00
* Grava media con arena gruesa	12.00 - 15.00
* Grava gruesa con arena gruesa	15.00 - 20.00
* Grava gruesa firmemente estratificada	20.00 - 40.00
** Arcilla blanda (q_u 0.25 a 0.50 kp/cm ²)	0.65 - 1.30

** Arcilla media (q_u 0.50 a 2.00 kp/cm ²)	1.30 - 4.00
** Arcilla compacta (q_u 2.00 a 4.00 kp/cm ²)	4.00 - 8.00
Arcilla margosa dura (q_u 4.00 a 10.00 kp/cm ²)	8.00 - 21.00
Marga arenosa rígida	21.00 - 44.00
Arena de miga y tosco	22.00 - 110.00
Marga	22.00 - 2200.00
Caliza margosa alterada	150.00 - 220.00
Caliza sana	885.00 - 36000.00
Granito meteorizado	30.00 - 9000.00
Granito sano	1700.00 - 3600.00

Fuente: Jiménez y Salas, Geotecnia y Cimientos III, Primera Parte

3.2.3 Cálculo de la capacidad portante. Para el análisis de la capacidad de soporte se debe tener en cuenta el tipo de suelo a trabajar, peso que se desea implementar entre otros, estos aspectos deben ser bien evaluados en el momento de realizar los estudios geotécnicos respectivos.

Para el cálculo de la capacidad portante necesitamos de una serie de parámetros como lo son entre ellos la cohesión, ángulo de fricción, dimensiones de la cimentación, peso específico del suelo y la carga. Para ello ya hemos realizado el ensayo de penetración estándar el cual nos arroja un ángulo de fricción el cual nos es útil en el momento de hallar los factores de forma, profundidad

e inclinación. Por lo cual podemos hallarlo por las cuatro teorías más destacadas que lo son Terzaghi, Meyerhof, Hansen y Vesic.

TEORÍA DE TERZAGHI Presento una teoría para evaluar la capacidad de carga ultima de cimentaciones.

❖ Falla por corte general

$$qu = CNc + qNq + \frac{1}{2}\gamma BN_{\gamma} \text{ (cimentaciones continua o corrida)}$$

$$qu = 1,3CNc + qNq + 0,4\gamma BN_{\gamma} \text{ (cimentaciones cuadradas)}$$

$$qu = 1,3CNc + qNq + 0,4\gamma BN_{\gamma} \text{ (cimentaciones circular)}$$

❖ Falla por corte local

$$qu = \frac{2}{3}CNc + qNq + \frac{1}{2}\gamma BN_{\gamma} \text{ (cimentaciones continua o corrida)}$$

$$qu = 0,867CNc + qNq + 0,4\gamma BN_{\gamma} \text{ (cimentaciones cuadradas)}$$

$$qu = 0,867CNc + qNq + 0,3\gamma BN_{\gamma} \text{ (cimentaciones circular)}$$

Donde:

C : Cohesión

$$q = \gamma \cdot Df$$

γ : Peso específico del suelo

N_c, N_q, N_γ : Factores de capacidad de carga función del ángulo de fricción del suelo ϕ

(ANEXO 1)

TEORIA DE MEYERHOF Sugiere una ecuación general de capacidad de carga en el que se incluyen los factores de forma, profundidad e inclinación

$$qu = CNcFcsFcdFci + qNqFqsFqdFqi + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Dónde: $csF, Fqs, F\gamma s$: Factores de forma

$cdF, Fds, F\gamma s$: Factores de profundidad

$Fci, Fqi, F\gamma i$: Factores de inclinación

Nota: ANEXO 2.

TEORIA DE HANSEN Implementa los factores de profundidad en la ecuación general.

❖ Si, $\frac{Df}{B} \leq 1$

Para $\phi = 0$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$F_{qd} = 1$$

$$F_{qi} = 1$$

Para $\phi > 0$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi)^2 \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

❖ Si, $\frac{Df}{B} > 1$

Para $\phi = 0$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \tan^{-1} \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$F_{qd} = 1$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Para $\phi > 0$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi)^2 \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Nota: ANEXO 2.

TEORIA DE VESIC Implementa la adecuación de la fórmula de capacidad de carga con el Angulo de fricción modificado.

$$\phi' = \tan^{-1} \left(\frac{2}{3} \tan \phi \right)$$

- Factores de capacidad de tabla

$$Nq = \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)^2 e^{\pi \tan \phi'}$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot \phi'$$

$$N\gamma = 2(Nq + 1) \tan \phi'$$

Nota: ANEXO 2.

3.2.4 Calculo de asentamientos. Los asentamientos están compuestos por tres componentes: asentamiento inmediato (Si), asentamiento por consolidación primaria (Sc) y el asentamiento por consolidación secundaria (Ss).

❖ **Asentamiento inmediato (Si)**

Es estimado a partir de los parámetros elásticos del suelo. Para la estimación inmediato de suelos granulares recomiendan usar métodos semi empíricos como por ejemplo el método de Schmertmann.

- Basados en la teoría de la elasticidad (Hooke)

$$Si = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha \quad (\text{Centro de una fundacion flexible})$$

$$S_i = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha_r \text{ (Fundacion rigida)}$$

$$S_i = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha_{av} \text{ (promedio de una fundacion flexible)}$$

Si $D_f = 0$ y $H < \infty$ debido a la presencia de un estrato rigido se tendrá:

$$S_i = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) [(1 - \mu_s^2)F_1 + (1 - \mu_s) - 2(\mu_s^2)F_2] \text{ (centro de simetacion flexible)}$$

- Asentamiento elástico de fundaciones sobre arcilla saturada

$$S_i = A_1 * A_2 \frac{q_0 * B}{E_u}$$

NOTA. En la mayoría de estudios geotécnicos los asentamientos son calculados por la teoría del asentamiento elástico.

Pero adicional a este método también encontramos otras teorías como lo son los métodos de Bowles, Boussinesq, Terzaghi, Schmertmann, entre otros.

MÉTODO DE SCHMERTMANN

- Asentamientos en suelos granulares

$$S_i = C_1 C_2 C_3 q_n \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{\epsilon p}}{E_s} \right)_i H_i$$

[1].

$$C_1 = 1 - 0,5 \left(\frac{\sigma_{vo}}{q_n} \right) \geq 0,5$$

$$C_3 = 1,03 - 0,03 * \frac{L}{B}$$

[2].

$$I_{\varepsilon p} = 0,5 + 0,1 \sqrt{\frac{q_n}{\sigma_{vp}}}$$

▪ **Para fundación cuadrada y circular (L/B=1)**

De $z_f=0$ a $B/2$

$$I_{\varepsilon} = 0,1 + (z_f/B)(2I_{\varepsilon p} - 0,2)$$

De $z_f= B/2$ a $B/2$

$$I_{\varepsilon} = 0,667I_{\varepsilon p}(2 - z_f/B)$$

▪ **Para fundación continua (L/B≥10)**

De $z_f=0$ a B

$$I_{\varepsilon} = 0,2 + (z_f/B)(I_{\varepsilon p} - 0,2)$$

De $z_f= B$ a $4B$

$$I_{\varepsilon} = 0,333I_{\varepsilon p}(4 - z_f/B)$$

▪ **Para fundación rectangular (1<L/B<10)**

$$I_{\varepsilon} = I_{\varepsilon s} + 0,111(I_{\varepsilon c} - I_{\varepsilon s}) \left(\frac{L}{B} - 1 \right)$$

[3].

TEORIA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE TERZAGHI

❖ **Asentamiento por consolidación primaria (Sc)**

El asentamiento por consolidación es propio de suelos saturados cohesivos o de baja permeabilidad sujetos a un incremento en el esfuerzo efectivo que se traduce en un incremento en

la presión de poros. El cambio de volumen en la masa de se debe a la expulsión gradual del agua de los poros. Para predecir un asentamiento es considerable efectuar la prueba de laboratorio denominada consolidación unidimensional (prueba del edómetro), en la cual la muestra solo puede perforarse en dirección vertical.

- Para arcillas normalmente consolidadas: ($p_0 = p_c$)

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P_{pr}}{P_0}$$

- Para arcillas sobre consolidadas: ($P_0 + \Delta P_{pr} \leq P_c$)

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P_{pr}}{P_0}$$

- Para arcillas inicialmente sobre consolidadas: ($P_0 < P_c < P_0 + \Delta P_{pr}$)

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{P_c}{P_0} + \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta P_{pr}}{P_c}$$

[4].

$$S_c = m_v \sigma_z H_c$$

[5].

- Estimación del tiempo de consolidación

$$T_v = \frac{c_v t}{H_{dr}^2}$$

[8].

❖ **Asentamiento por consolidación secundaria (Ss)**

A diferencia de la consolidación primaria, la consolidación secundaria no contempla la expulsión de agua de los poros, sino más bien se refiere a la reorientación, fluencia y descomposición de materiales orgánicos en el suelo.

$$c_{\alpha} = \frac{\Delta_e}{\log(t_2/t_1)}$$

$$S_s = c_{\alpha}' H \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$$

[6].

$$c_{\alpha}' = \frac{c_{\alpha}}{1 + e_p}$$

[7].

TEORIA DE BOUSSINESQ

Determina los esfuerzos normal y cortante en cualquier punto dentro de medios homogéneos, elásticos e isotrópicos debido a una carga puntual concentrada ubicada en la superficie.

$$\Delta_{\sigma} = \frac{3P}{2\pi z^2 \left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{5/2}}$$

1. Donde $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

x, y, z = coordenadas de dicho punto

- Esfuerzo debido a un área circularmente cuadrada

$$d\sigma = \frac{3(q_0 r d\theta dr)}{2\pi z^2 \left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{5/2}}$$

METODO DE BOWLES

Si la cimentación es perfectamente flexible el asentamiento se puede expresar con la teoría de Bowles.

$$S_e = q_0(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

q_0 = presión neta aplicada sobre la cimentación

μ_s = Relación de Poisson del suelo

E_s = módulo de elasticidad promedio del suelo debajo de la cimentación, medido desde $z=0$ a aproximadamente $z=5B$

$B' = B/2$ para el centro de la cimentación

= B para una esquina de la cimentación

I_s = Factor de forma

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} F_2$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1)$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2$$

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m' (1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})}$$

$$A_1 = \ln \frac{\left((m' + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{1 + n'^2} \right)}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$I_f = f \left(\frac{Df}{B} \right), \mu_s \text{ y } \frac{L}{B}$$

- ✓ Para calcular asentamiento en el centro de la cimentación se utiliza:

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B}$$

$$n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)}$$

- ✓ Para calcular asentamiento en una esquina de la cimentación

$$\alpha = 1$$

$$m' = \frac{L}{B}$$

$$n' = \frac{H}{B}$$

Asentamiento elástico de una cimentación rígida

$$S_{e(\text{rigida})} = 0,93 S_{e(\text{flexible centro})}$$

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} \Delta z}{\bar{z}}$$

$$\bar{z} = H \text{ o } 5B \text{ (el que sea menor)}$$

METODO DE MEYERHOF

❖ Asentamiento de una cimentación sobre arena basado en la resistencia a la penetración estándar

Propuso una correlación para la presión de carga neta para cimentaciones con la resistencia a la penetración estándar.

De acuerdo a la teoría, para 25mm (1pulg) de asentamiento máximo

- Para $B \leq 1,22\text{m}$

$$q_{neta} = \frac{N_{60}}{0,08} \quad \left(\frac{kN}{m^2}\right)$$

$$S_e = \frac{1,25q_{neta}}{N_{60}F_d} \quad (mm)$$

- Para $B > 1,22\text{m}$

$$q_{neta} = \frac{N_{60}}{0,08} \left(\frac{B + 0,3}{B}\right)^2$$

$$S_e = \frac{2q_{neta}}{N_{60}F_d} \left(\frac{B}{B + 0,3}\right)^2$$

Nota: El N60 es la resistencia a la penetración estándar entre el fondo de la cimentación y 2B abajo del fondo.

Nota. ANEXO 3 de glosario del cálculo de asentamientos.

4. INICIATIVAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Las recomendaciones de diseño y construcción se realizan como parte de los objetivos específicos estipulados en el presente trabajo de grado y con bases de las actividades realizadas en el mismo.

4.1 Recomendaciones Para Cimentaciones De Una Edificación

4.1.1 Recomendaciones generales. Las redes y estructuras hidrosanitarias deben diseñarse flexibles y herméticas para absorber las deformaciones causadas por reacomodación de la estructura y por movimiento de señales sísmicas, de tal forma que se eviten infiltraciones que deterioren el suelo de fundación; en estructuras antiguas es probable que se encuentren redes en Gres o en asbesto a las cuales se deben reponer por tuberías de PVC.

Se deben evitar infiltraciones exteriores por aguas lluvias que alteren las condiciones de humedad del suelo.

Las zonas verdes deben poseer bermas y sistemas de evacuación rápida de aguas para evitar infiltración que altere la humedad del suelo.

Los materiales de relleno de las excavaciones para la cimentación deberán ser de características granulares para evitar la saturación por ascensión capilar en caso de presentarse niveles freáticos cercanos a la profundidad de cimentación.

Los ductos sanitarios que estén enterrados dentro del suelo deben construirse en tubería flexible tipo PVC para evitar roturas. Si se hace necesario perforar un elemento de cimentación, dichas perforaciones no deben tener alturas mayores a 15 cm ni longitudes superiores a 30 cm.

Cuando se perfora la viga de amarre se deben colocar dos estribos adicionales a cada lado de la perforación a 5 cm de la misma y espaciados 10 cm uno del otro.

En los sitios donde se requieran hacer rellenos, estos se deben compactar a una densidad máxima del 90% de la máxima del Proctor Modificado, en capas no superiores a 15 cm.

Cuando se presenta baja capacidad portante del suelo superficial en sectores de rellenos, se recomienda utilizar refuerzo con malla electro soldada para los pisos. Lo anterior con el fin de evitar su falla por asentamientos del suelo superficial.

Todo elemento construido a nivel superficial se debe apoyar sobre material de mejoramiento, compactado adecuadamente hasta un peso específico seco del 95% del máximo obtenido en ensayos de Proctor modificado para este material.

4.1.2 Recomendaciones Para El Diseño Del Proyecto. El análisis de las características geológicas y geotécnicas del lote permitió determinar que no existen limitaciones para las excavaciones de los cimientos teniendo en cuenta que el proyecto no contempla sótanos, adicionalmente presenta suelos areno arcillosos algo duros.

Para controlar los niveles de asentamientos totales producto de la descarga de las zapatas, la capacidad de carga admisible, no deberá ser mayor a 30.0 t/m², a una profundidad de 1.00m desde el nivel de implantación del ultimo sótano.

Adicionalmente para controlar los asentamientos diferenciales entre apoyos se deben utilizar zapatas. Estas zapatas, deben estar unidas por vigas de amarre.

Las placas de contrapiso proyectadas en los diferentes sectores, se deben apoyar sobre una capa de material granular de 10cm (mínimo).

Se recomienda que durante el proceso de instalación de las cimentaciones se haga un seguimiento por parte de una persona idónea, para verificar la presencia o continuidad de los rellenos y aprobar los horizontes adecuados de cimentación

Los resultados de la estabilidad de excavaciones muestran que el talud es relativamente estable a la profundidad prevista y no se requieren obras de contención.

4.2 RECOMENDACIONES SISTEMA CONSTRUCTIVO

4.2.1 Procedimiento de excavación. Las excavaciones proyectadas junto a las edificaciones aledañas al lote en estudio, se deben realizar de la siguiente forma:

Para garantizar la estabilidad de los taludes de las excavaciones, el proceso constructivo a implementar en las excavaciones y construcción de los anclajes se debe realizar mediante etapas, se excava hasta nivel de la primera fila de anclajes, se instala el anclaje, se tensa y se construye la pantalla a lo largo de todo el perímetro, una vez se termine esta tarea, se procede a excavar hasta el nivel del siguiente anclaje y se repite el proceso para todas las filas de anclajes.

Se recomienda que el constructor realice un control de calidad durante la construcción de los anclajes de los siguientes elementos:

Tipo de acero implementado, TORON NORMA ASTM A416, Grado 270 (1860)
Resistencia a la Rotura Mínima del Torón=183.7 kN, Carga de trabajo en Toneladas.

Control de resistencia de la lechada de cemento utilizada de acuerdo a especificación INVIAS.

Realizar pruebas de carga de los anclajes construidos, para verificar la resistencia de diseño utilizada en los modelos implementados.

Una vez se construya la estructura hasta nivel cero del proyecto, los anclajes temporales se deben destensionar y eliminar los bocines, cuñas y platinas de estos para evitar problemas en futuras excavaciones vecinas.

4.2.2 Tiempo máximo de exposición. El Reglamento NSR-10 exige indicar en el estudio geotécnico el tiempo máximo de exposición del suelo en los cimientos

Se recomienda que la exposición del suelo no sea superior a 12 horas; por esta razón se recomienda el colocar un solado o concreto pobre en toda el área perimetral del cimiento inmediatamente se realicen las excavaciones.

Para este proceso se recomienda colocar una malla de gallinero que evite el agrietamiento excesivo de esta protección.

4.2.3 Disposición de sobrantes. La norma NSR-10 exige que en el estudio geotécnico se indique la forma y sitio de disposición de sobrantes.

Se recomienda los sobrantes de las excavaciones transportarlos y depositarlos en un botadero que tenga la respectiva licencia ambiental para su funcionamiento.

4.3 RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES Y PREDIOS VECINOS

Actas de vecindad. Es importante que se realicen con detalle las actas de vecindad con las construcciones y zonas cercanas al proyecto.

Igualmente se debe realizar un importante registro fotográfico detallado de las condiciones en las que se encuentra actualmente las construcciones vecinas a la obra.

Obras de contención para la cimentación. Se recomienda que para la cimentación se use un sistema de entibado para las excavaciones de los cimientos.

1. GUIAS DE LABORATORIO

Las guías o manuales de laboratorio son una herramienta primordial para el desarrollo de ensayos, por medio de estos podemos conocer con que objeto se elabora dicha práctica como también los materiales y equipos a utilizar, seguidamente encontramos el procedimiento que es la base principal de los ensayos y los cálculos los cuales nos ayudan a obtener los datos últimos y deseados de cada ensayo.

Este material es de uso didáctico para los estudiantes de la Universidad de Pamplona con el fin de que tengan una base para el crecimiento profesional e intelectual del mismo. Estas guías son hechas por medio del Instituto Nacional de Vías, INVIAS el cual nos ofrece una amplia, sencilla y practica información en el empleo de materiales de laboratorio y de campo los cuales siguen una normatividad para cada ensayo.

Por medio de un numero designado a cada laboratorio y un consecutivo de registro vamos a poder hacer un incremento en nuestra base de datos del laboratorio, en el cual los formatos de laboratorio van a estar anclados a las guías con especificaciones de cada ensayo, con la ampliación de ensayos se va tener un registro el cual va ayudar en el momento de que se haga un control para adquirir un registro calificado a nuestro programa de Ingeniería Civil y nuestro laboratorio de suelos.

La guía de laboratorio fue adaptada según los requerimientos de la Universidad de Pamplona como guía unificada de laboratorios con el fin de que esta sea evaluada y analizada por la oficina de Sistema de Gestión de Calidad de la universidad de Pamplona para el requerimiento de obtener el código unificado y así nuestro manual sea registrado en la página de la universidad para tener un mejor acceso al mismo, este código está en proceso de análisis del cual se espera el proceso de asignación.

La guía de laboratorio será anexada en formato PDF junto con el presente documento (ANEXO 5).

Ensayos de laboratorio pertenecientes a la guía de suelos:

ENSAYO N° 01: Determinación del contenido de humedad.

ENSAYO N° 02: Clasificación de suelos:

- Determinación de los tamaños de las partículas de suelos.
- Determinación del límite líquido de los suelos.
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

ENSAYO N° 03: Determinación de los factores de contracción de los suelos.

ENSAYO N° 04: Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral, empleando un picnómetro con agua.

ENSAYO N° 05: Densidad de los agregados en aceite de parafina.

ENSAYO N° 06: Permeabilidad de suelos granulares (cabeza constante).

ENSAYO N°07: Relaciones humedad – peso unitario seco de los suelos (ensayo normal de compactación).

ENSAYO N° 08: Relaciones humedad – peso unitario seco de los suelos (ensayo modificado de compactación).

ENSAYO N° 09: Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono y arena.

ENSAYO N° 10: CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada.

ENSAYO N° 11: Consolidación unidimensional de suelo.

ENSAYO N° 12: Compresión Inconfinada en muestras de suelo.

ENSAYO N° 13: Ensayo de compresión triaxial sobre suelos cohesivos.

ENSAYO N° 14: Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (cd).

ENSAYO N° 15: Clasificación de la fracción fina de un suelo a partir de su valor de azul de metileno.

ENSAYO N° 16: Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie.

ENSAYO N° 17: Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido.

Y al final contiene unas definiciones de los ensayos la cual facilitara la implementación de cada uno de ellos.

4.4 PASO A PASO DE LA ELABORACION DE ESTUDIOS GEOTECNICOS

Este paso a paso servirá como ayuda en el momento de realizar el informe de un estudio geotécnico con especificaciones de la Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente NSR-10.

Los estudios geotécnicos como especifica la norma NSR-10 en el titulo H existen dos tipos de estudios como lo son los preliminares y el definitivo.

Los estudios geotécnicos son un conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas (NSR-10, Titulo H, H.2.1).⁷

4.4.1 Estudio Geotécnico Definitivo

a. Proyecto

- ❖ Nombre
- ❖ Plano de localización
- ❖ Objetivo del estudio
- ❖ Descripción general del proyecto
- ❖ Sistema estructural
- ❖ Evaluación de cargas

b. Subsuelo

- ❖ Resumen del reconocimiento de campo

⁷ AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente NSR – 10. Colombia 2010

- ❖ Morfología del terreno
- ❖ Origen geológico
- ❖ Características físico-neánicas
- ❖ Descripción de los niveles freáticos para el comportamiento del proyecto

c. De Cada Unidad Geológica O De Suelo Se Identificará

- ❖ Su espesor
- ❖ Su distribución
- ❖ Identificación
- ❖ Parámetros obtenidos en pruebas y ensayos. según (capitulo H3, investigación del subsuelo):
 - Información previa (características del sitio)
 - ✓ Información del ingeniero geotecnista
 - Geología
 - Sismicidad
 - Clima
 - Vegetación
 - Existencia de edificaciones
 - Infraestructuras vecinas
 - Estudios anteriores
 - ✓ Información del ordenante del estudio (debe suministrar información necesaria del proyecto para la ejecución del estudio)
 - Levantamiento topográfico del terreno

- Escenario urbanístico (dentro del cual se desarrolla)
 - Desarrollo del proyecto por etapas
 - Tipo de edificación
 - Sistema estructural
 - Niveles de excavación
 - Secciones arquitectónicas
 - Sótanos
 - Niveles de construcción
 - Cargas
 - Redes de servicio
 - Información sobre edificaciones vecinas
- Exploración de campo (consiste en la ejecución de)
- Apiques
 - Trincheras
 - Perforaciones
 - Sondeos con muestreos
 - Sondeos estáticos o dinámicos

Con el fin de conocer y caracterizar el perfil del subsuelo afectado por el proyecto

- ✓ Número mínimo de sondeos

Tabla 10. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Categoría de la unidad de construcción (Tabla H.3.2.3).

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Fuente: Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente NSR-10

- ✓ Características y distribución de los sondeos
- Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como **mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.**
- En los sondeos con muestreo se deben tomar muestras **cada metro en los primeros 5 m de profundidad** y a partir de esta profundidad, en cada cambio de material o cada **1.5 m de longitud del sondeo**
- Al **menos el 50%** de los sondeos deben quedar **ubicados dentro de la proyección** sobre el terreno de las construcciones.
- Los sondeos practicados dentro del desarrollo del Estudio Preliminar **pueden incluirse como parte del estudio definitivo - de acuerdo con esta normativa**
- El número de sondeos finalmente ejecutados para cada proyecto, debe cubrir completamente el área que ocuparán la unidad o unidades de construcción contempladas en cada caso, así como

las áreas que no

quedando ocupadas directamente por las estructuras o edificaciones

- En registros de perforaciones en ríos o en el mar, es necesario tener en cuenta el efecto de las mareas y los cambios de niveles de las aguas, por lo que se debe reportar la elevación del estrato.

- ✓ Profundidad de los sondeos (criterios justificados por el ing. Geotecnista)
- Profundidad en la que el incremento de esfuerzo vertical causado por la edificación, o conjunto de edificaciones, sobre el terreno sea el 10% del esfuerzo vertical en la interfaz suelo-cimentación
 - 1.5 veces el ancho de la losa corrida de cimentación
 - 2.5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión
 - Longitud total del pilote más largo, más 4 veces el diámetro del pilote o 2 veces el ancho del grupo de pilotes
 - 2.5 veces el ancho del cabezal de mayor dimensión para grupos de pilotes
 - En el caso de excavaciones, la profundidad de los sondeos debe ser como mínimo 1.5 veces la profundidad de excavación pero debe llegar a 2.0 veces la profundidad de excavación en suelos (título A)
 - En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos firmes asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, el 50% de los sondeos deberán

alcanzar las siguientes

penetraciones en material firme

- Categoría Baja: los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales.
- Categoría Media, penetrar un mínimo de 2 metros en dichos materiales, o dos veces el diámetro de los pilotes en éstos apoyados
- Categoría Alta y Especial, penetrar un mínimo de 4 metros o 2.5 veces el diámetro de pilotes respectivos, siempre y cuando se verifique la continuidad de la capa o la consistencia adecuada de los materiales y su consistencia con el marco geológico local.
- La profundidad de referencia de los sondeos se considerará a partir del nivel inferior de excavación para sótanos o cortes de explanación.
- En tal caso, el 20% de las perforaciones debe cumplir con la mayor de las profundidades así establecidas.
- En todos los casos, el 50% de las perforaciones, deberán alcanzar una profundidad por debajo del nivel de apoyo de la cimentación.

✓ Número mínimo de sondeos

Las unidades de construcción se clasifican en Baja, Media, Alta y Especial, según el número total de niveles y las cargas máximas de servicio. Para las cargas máximas se aplicará la combinación de carga muerta más carga viva debida al uso y

ocupación de la edificación y para la definición del número de niveles se incluirán todos los pisos del proyecto, sótanos, terrazas y pisos técnicos.

En todos los casos el número mínimo de sondeos para un estudio será de tres (3) y para definir el número se debe aplicar el mayor número de sondeos resultante y el número de unidades de construcción.

- ✓ Análisis de efectos locales (A.2.4)

d. Análisis Geotécnicos

Resumen de los análisis y justificación de los criterios geotécnicos adoptados. Problemas constructivos de las alternativas de cimentación y contención, la evaluación de la estabilidad de taludes temporales de corte, la necesidad y planteamiento de alternativas de excavaciones soportadas con sistemas temporales de contención en voladizo, apuntalados o anclados. Se deben incluir los análisis de estabilidad y deformación de las alternativas de excavación y construcción, teniendo en cuenta, además de las características de resistencia y deformabilidad de los suelos.

e. Recomendaciones Para Diseño

Parámetros geotécnicos para el diseño estructural del proyecto:

- ✓ Tipo de cimentación
- ✓ Profundidad de apoyo
- ✓ Presiones admisibles

- ✓ Asentamientos calculados incluyendo los diferenciales
- ✓ Tipo de estructura de contención
- ✓ Parámetros para su diseño
- ✓ Perfil del suelo para diseño sismo resistente
- ✓ Análisis para interacción suelo-estructura

Se debe incluir también la evaluación de la estabilidad de las excavaciones, laderas y rellenos, diseño geotécnico de filtros y los demás aspectos contemplados en este Título.

f. Recomendaciones Para La Proteccion De Edificaciones Y Predios Vecinos

Cuando las condiciones del terreno y el ingeniero encargado del estudio geotécnico lo estimen necesario. Este tendrá que contener:

- ✓ Asentamientos ocasionales originados en descenso del nivel freático.
- ✓ efectos sobre las edificaciones vecinas
- ✓ diseñar un sistema de soportes que garantice la estabilidad de las edificaciones
- ✓ estimar los asentamientos inducidos por el peso de la nueva edificación sobre las construcciones vecinas
- ✓ calcular los asentamientos y deformaciones laterales producidos en obras vecinas a causa de las excavaciones

g. Recomendaciones Para Construcción

- ✓ **Sistema constructivo:**

Documento complementario o integrado al estudio geotécnico definitivo, de obligatoria elaboración por parte del ingeniero geotecnista responsable.

está definido como el sistema constructivo de cimentaciones, excavaciones y muros de contención, documento complementario de obligatoria elaboración. Todo Proyecto de Construcción deberá incluir un análisis de las condiciones físicas e hidro-mecánicas de los depósitos de suelos o macizo rocosos involucrados, se deberá considerar al menos los siguientes:

- **Escenario antes de la construcción** (Se describen las condiciones de los geomateriales in-situ)
- **Escenario durante la construcción** (condiciones que cambian o modifican las propiedades de los geomateriales como cambios en el estado de esfuerzos)
- **Escenarios después de la construcción** (Se describen las condiciones en las que se espera que permanezcan los geomateriales durante la vida útil de la estructura)

las unidades de construcción se clasifican en Baja, Media, Alta y Especial, según el número total de niveles y las cargas máximas de servicio. Para las cargas máximas se aplicará la combinación de carga muerta más carga viva debida al uso y ocupación de la edificación y para la definición del número de niveles se incluirán todos los pisos del proyecto, sótanos, terrazas y pisos técnicos.

Tabla 11. Clasificación de las unidades de construcción por categorías (Tabla H.3.1-1).

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Fuente: Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente NSR-10

h. Anexos

En el informe de suelos se debe incluir:

- ✓ Planos de localización regional y local del proyecto
- ✓ Ubicación de los trabajos de campo
- ✓ Registro de perforación, resultado de pruebas, ensayos de campo y laboratorio

Se debe incluir la memoria de cálculo con el resumen de la metodología seguida, una muestra de cálculo de cada tipo de problema analizado y el resumen de los resultados en forma de gráficos y tablas.

Además, planos, esquemas, dibujos, gráficas, fotografías, y todos los aspectos que se requieran para ilustrar y justificar adecuadamente el estudio y sus recomendaciones.

CONCLUSIONES

En el periodo de desarrollo de la pasantía pude conocer y ampliar mis conocimientos en el ámbito de la geotecnia, mediante la elaboración de estudios apoyados, en la norma NSR-10, título h, norma de obligatoria aplicación, la cual nos aporta las herramientas, para garantizar estudios que den seguridad y estabilidad a todas las obras de ingeniería.

En mi labor como pasante, en la empresa, forme parte en todo el proceso de elaboración de estudios geotécnicos definitivos, desde la toma y procesamiento de las muestras hasta la presentación del informe final, la cual me permitió obtener nuevas estrategias y procesos los cuales servirán para hacerme crecer como profesional, aportando confiabilidad y seguridad en mis futuras labores como ingeniera.

Los estudios geotécnicos son de obligatoria presentación para cualquier tipo de construcción civil, debido a que estos deben cumplir con una normativa y un soporte para el diseño de edificaciones de todo tipo, la geotecnia juega un papel fundamental en el desarrollo de un proyecto por sus amplias actividades y por qué gracias a ella podemos determinar el tipo cimentación de acuerdo al suelo que nos vamos a enfrentar.

Las cimentaciones varían en forma tamaño y profundidad, teniendo la indicada para cada tipo de proyecto con sus respectivas especificaciones de diseño y construcción, haciendo parte del estudio las cimentaciones contienen una capacidad de soporte dependiendo el tipo de terreno, y su variante sísmica entre otros, por medio de la información y recopilación de datos obtenidos es posible entender como es la funcionalidad de estas cimentaciones y con qué fin provechoso se diseñan, ampliando aún más los conocimientos existentes con los nuevos.

Con la implementación de las guías de laboratorio y formatos podido profundizar más en el tema y conocido cada una de ellas con sus respectivos procesos, y así dando una mejor credibilidad de sus análisis los cuales son primordiales en cada una de las actividades a realizar en estudios geotécnicos.

RECOMENDACIONES

Para la elaboración de cualquier tipo de estudio geotécnico primero que todo se debe hacer un reconocimiento del terreno el cual consiste en ir al sitio observar la topografía para así poder identificar el equipo a utilizar y en caso de perforaciones determinar su ubicación.

Para los ensayos de laboratorio se debe seguir los procedimientos según la norma correspondiente para así dar una mejor certificación de la actividad desarrollada.

Se recomienda hacer uso de la guía de laboratorio implementada para tener unos estudios un poco más exactos e irnos empapando de las normas que nos rigen para así hacer uso de los formatos que vienen anexados a cada uno de los laboratorios, como también seguir el paso a paso en el momento de realizar un informe geotécnico, como también de las definiciones que trae al final para entender mejor de que se habla en cada una de ellas.

Para las cimentaciones se recomienda conocer qué tipo de material se está tratando, a qué profundidad se encuentra el nivel freático y que tanta amenaza sísmica nos rodea para así poder diseñar una cimentación adecuada a el proyecto.

Se recomienda que al momento de excavar no se haga en su totalidad sino por partes y a su vez ir estabilizando para poder seguir excavando, con el propósito de no debilitar las edificaciones vecinas y ocasionar daños a las mismas.

BIBLIOGRAFIA

Braja M. Das, *Principio de Ingeniería de Cimentaciones*, séptima edición, Editorial Cengage Learning, 2004.

Braja M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, cuarta edición, Editorial Cengage Learning, 2013.

AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. *Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Colombia. 2010.

T.W. Lambe y R. V. Whitman, *Mecánica de suelos*. 4ta edición.

Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A. *Mecánica de Suelos*. 3ra. Ed., Limusa, 2001.

Bowles, J. *Manual de Laboratorio de Suelos en la Ingeniería Civil*. Mc. Graw-Hill Latinoamericana.

Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carreteras. Dirección general de carreteras. Asociación de empresas de la Tecnología del suelo y el subsuelo (AETESS). Madrid, 2001.

Jiménez y Salas, *Geotecnia y Cimientos III*, Primera Parte.

CAMPOS RODRIGUEZ Jorge, GUARDIA NIÑO DE GUZMÁN Germán Marcelo. Apoyo didáctico al aprendizaje de la mecánica de suelos mediante problemas resueltos. Trabajo dirigido, por adscripción, para optar al diploma académico. Universidad mayor de san simón facultad de ciencias y tecnología laboratorio de geotecnia. Cochabamba – Bolivia 5 de diciembre del 2005.

Instituto Técnico Nacional de Vías. INVIAS. 2013.

Ingeniero Angel R. Hunca Borda. Mecánica de suelos y cimentaciones. Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica. Facultad de ingeniería civil.

ANEXOS

Anexo. 1 Factores de capacidad portante para las ecuaciones de Terzaghi

ϕ [deg]	N_c	N_q	N_γ^a	ϕ [deg]	N_c	N_q	N_γ^a
0	5,70	1,00	0,00	26	27,09	14,21	9,84
1	6,00	1,1	0,01	27	29,24	15,90	11,60
2	6,30	1,22	0,04	28	31,61	17,81	13,70
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18
4	6,97	1,49	0,10	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,20	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2,00	0,27	33	48,09	32,23	31,94
8	8,60	2,21	0,35	34	52,64	36,50	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,16	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,80	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,50	61,55	78,61
13	11,41	3,63	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,31
15	12,86	4,45	1,52	41	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	42	119,67	108,75	171,99
17	14,60	5,45	2,18	43	134,58	126,50	211,56
18	15,12	6,04	2,59	44	151,95	147,74	261,60
19	16,56	6,70	3,07	45	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	46	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	47	224,55	241,80	512,84
22	20,27	9,19	5,09	48	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6,00	49	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,40	7,08	50	347,50	415,14	1072,80
25	25,13	12,72	8,34				

Fuente: CAMPOS RODRIGUEZ Jorge, GUARDIA NIÑO DE GUZMÁN Germán Marcelo. Apoyo didáctico al aprendizaje de la mecánica de suelos mediante problemas resueltos. Trabajo dirigido, por adscripción, para optar al diploma académico. Universidad mayor de san simón facultad de ciencias y tecnología laboratorio de geotecnia. Cochabamba – Bolivia 5 de diciembre del 2005.

Anexo. 2 Factores de Capacidad Portante para las ecuaciones de capacidad portante de Meyerhof, Hansen, y Vesic.

ϕ	N_c	N_q	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(\Delta H)}$	$N_{\gamma(V)}$	N_q / N_c	$2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$
0	5,14	1,0	0,0	0,0	0,0	0,195	0,000
5	6,49	1,6	0,1	0,1	0,4	0,242	0,146
10	8,34	2,5	0,4	0,4	1,2	0,296	0,241
15	10,97	3,9	1,2	1,1	2,6	0,359	0,294
20	14,83	6,4	2,9	2,9	5,4	0,431	0,315
25	20,71	10,7	6,8	6,8	10,9	0,514	0,311
26	22,25	11,8	7,9	8,0	12,5	0,533	0,308
28	25,79	14,7	10,9	11,2	16,7	0,570	0,299
30	30,13	18,4	15,1	15,7	22,4	0,610	0,289
32	35,47	23,2	20,8	22,0	30,2	0,653	0,276
34	42,14	29,4	28,7	31,1	41,0	0,698	0,262
36	50,55	37,7	40,0	44,4	56,2	0,746	0,247
38	61,31	48,9	56,1	64,0	77,9	0,797	0,231
40	75,25	64,1	79,4	93,6	109,3	0,852	0,214
45	133,73	134,7	200,5	262,3	271,3	1,007	0,172
50	266,50	318,5	567,4	871,7	761,3	1,195	0,131

Fuente: CAMPOS RODRIGUEZ Jorge, GUARDIA NIÑO DE GUZMÁN Germán Marcelo. Apoyo didáctico al aprendizaje de la mecánica de suelos mediante problemas resueltos. Trabajo dirigido, por adscripción, para optar al diploma académico. Universidad mayor de san simón facultad de ciencias y tecnología laboratorio de geotecnia. Cochabamba – Bolivia 5 de diciembre del 2005.

Anexo. 3 Terminología del cálculo de asentamientos.

[1].

σ_{vo}' = esfuerzo efectivo en el terreno adyacente y al nivel de fundación

q_n = Carga neta al nivel de fundación

$C_2 = 1 + \log(t[\text{años}]/0,1)$

[2].

σ_{vo}' = Esfuerzo efectivo al nivel de $I \in_p$ previo a la carga de la fundación

q_n = Carga neta al nivel de fundación

[3].

z_f = Profundidad del nivel de fundación al punto medio de la capa

I_ε = Factor de influencia

$I_{\varepsilon c}$ = I_ε de una fundación continua

$I_{\varepsilon s}$ = I_ε de una fundación cuadrada ≥ 0

[4].

S_c = *Acentamiento por consolidacion unidimensional*

C_c = *Indice de compresion*

C_s = *Indice de expansion*

H_c = *Espesor del estrato compresible*

e_0 = *Indice de vacios in – situ en el estrato compresible*

P_0

= *Esfuerzo efectivo promedio en el estrato compresible antes de la carga de fundacion*

ΔP_{pr} = *Incremento promedio de esfuerzo vertical en el estrato compresible*

$P_c = \text{Presion de preconsolidacion}$

[5].

$m_v =$ coeficiente de compresibilidad volumétrico promedio para el incremento de esfuerzos en el estrato compresible

$\sigma_z =$ Incremento de esfuerzo efectivo en el estrato compresible

$H_c =$ Espesor del contrato en consideración

[6].

$H =$ Espesor del estrato compresible

$t_2 =$ Tiempo límite para la estimación del asentamiento

$t_1 =$ Tiempo para la finalización de la consolidación primaria

[7].

$e_p =$ Es el índice de vacíos al final de la consolidación primaria

[8].

$H_{dr} =$ Es la longitud de la trayectoria de drenaje durante la consolidación

Anexo. 4 Evidencia fotográfica, Estudios geotécnicos con SPT





Fuente: Autor

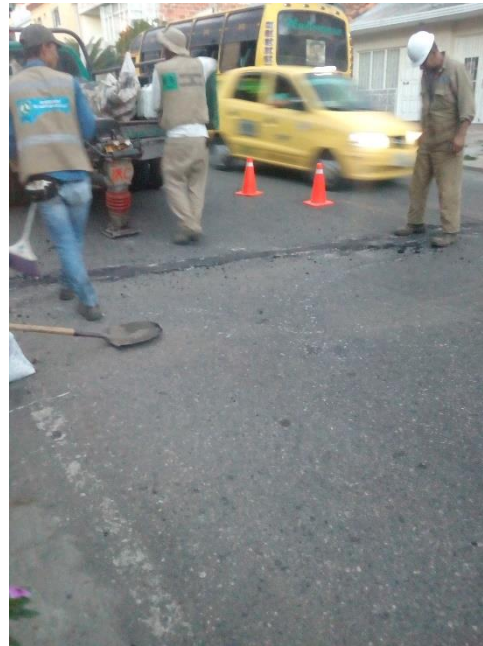
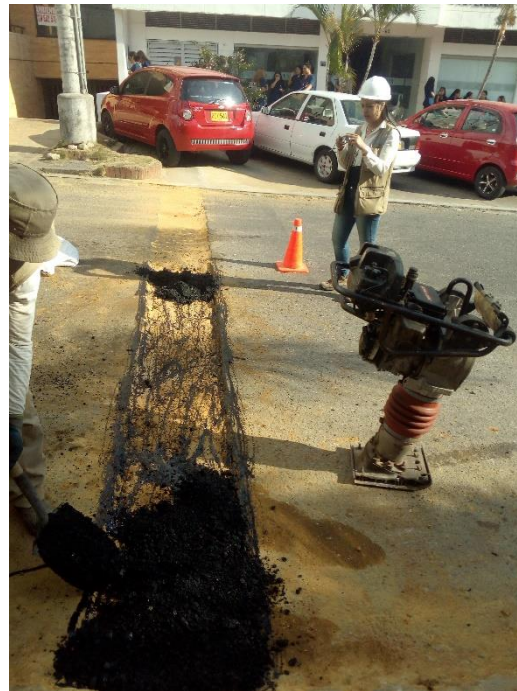
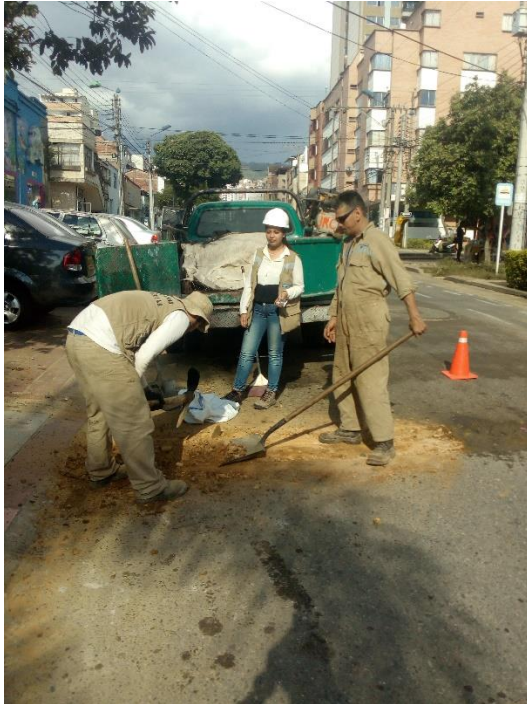
Anexo. 5 Extracción y medición de la muestra (ensayo SPT).



Fuente: Autor

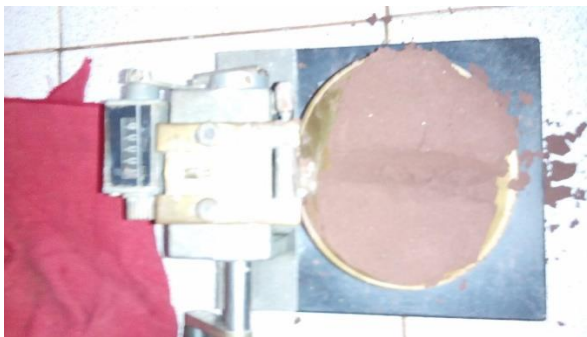
El ANEXO 5 se entregará en documentos adjuntos con sus respectivos nombres para un fácil acceso junto con el presente documento.

Anexo. 6 Rehabilitaciones de pavimento

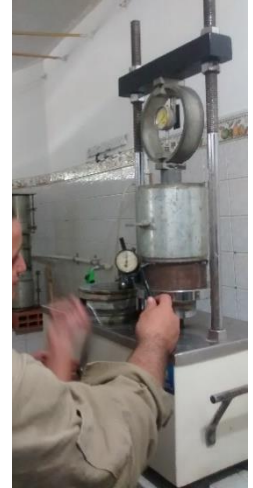


Fuente: Autor

Anexo. 7 Ensayos de laboratorio







Fuente: Autor