



**ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA EL  
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LOS PROYECTOS GEOTÉCNICOS**

**LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ**

**JOSÉ ALBERTO RONDÓN**

**DIRECTOR:**

**ING. ALDEMAR REMOLINA MILLAN (MSc.)**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**SECCIONAL BUCARAMANGA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**2014**



**ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA EL  
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LOS PROYECTOS GEOTÉCNICOS**

**LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ**

**JOSÉ ALBERTO RONDÓN**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA DE GERENCIA E  
INTERVENTORIA DE OBRAS CIVILES**

**DIRECTOR:**

**ING. ALDEMAR REMOLINA MILLAN (MSc.)**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2014**

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Bucaramanga, Febrero de 2014**

## DEDICATORIAS

*A DIOS, fuente de inspiración divina que me ha permitido ser lo que soy.*

*A mi esposa Rosa Elena y a mis hijos Fabian Alberto, Gina Lizzeth y Alma Daniela por su constante apoyo y cariño.*

*JOSÉ ALBERTO RONDÓN*

*A DIOS por darme esta vida para compartirla con todos mis seres queridos.*

*A mis padres quienes me han apoyado siempre.*

*A Edgar mi esposo y a mis dos hijos, Juan Diego y Mateo, quienes siempre están a mi lado dando sentido a mi vida, apoyándome constantemente y a DIOS por darme esta vida para compartirla con ellos.*

*LUZ MARTA TORRADO GÓMEZ*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al personal de INGEAS S.A.S. quienes fueron soporte fundamental para el desarrollo de éste trabajo.

A nuestro director de proyecto y amigo, Ingeniero MSc. Aldemar Remolina Millán por sus consejos, aportes y colaboración para la realización de este proyecto.

A todos nuestros docentes y compañeros por compartir sus experiencias y brindarnos su amistad a lo largo de esta especialización.

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACION .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.4. METODOLOGIA.....	5
1.5. ALCANCE.....	7
1.6. RELEVANCIA DEL ESTUDIO.....	8
1.7. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS .....	9
2. ESTADO DEL ARTE .....	10
3. ANÁLISIS DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO .....	15
4. CRITERIOS PARA LA REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.....	16
4.1. ASPECTOS MÍNIMOS QUE DEBE CONTENER UN ESTUDIO GEOTECNICO DEFINITIVO .....	17
4.1.1. ASPECTOS QUE DEBE CONTENER EL PROYECTO .....	17
4.1.2. ASPECTOS RELEVANTES DE ANALISIS DEL SUBSUELO .....	17
4.1.3. DETERMINACION DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS O DEL SUELO.....	18
4.1.4. ANÁLISIS GEOTÉCNICOS .....	18
4.1.5. RECOMENDACIONES PARA DISEÑO .....	18
4.1.6. RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES Y PREDIOS VECINOS .....	19
4.1.7. RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO .....	19
4.1.8. ASPECTOS QUE DEBEN INCLUIRSE EN EL PROYECTO COMO ANEXOS	19

4.2.	ASESORÍA GEOTÉCNICA EN LAS ETAPAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN .....	20
4.3.	ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LADERAS Y TALUDES .....	20
4.4.	DETERMINACION DEL NIVEL FREATICO .....	20
4.5.	CALCULOS DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD .....	21
4.6.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....	22
4.6.1.	ANÁLISIS DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN .....	22
4.6.2.	CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN POR CATEGORÍAS .....	22
4.6.3.	INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO PARA ESTUDIOS DEFINITIVOS .....	23
4.6.4.	EXPLORACIÓN DE CAMPO .....	23
4.6.5.	CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SONDEOS .....	24
4.6.6.	PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS .....	25
4.6.7.	NÚMERO MÍNIMO DE SONDEOS .....	27
4.6.8.	EJECUCION Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO .....	27
4.7.	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES .....	29
4.7.1.	CIMENTACIONES SUPERFICIALES - ZAPATAS Y LOSAS .....	29
4.7.2.	PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN .....	30
4.7.3.	UTILIZACION DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD INDIRECTOS .....	30
4.7.4.	CALCULO DE ASENTAMIENTOS .....	31
4.8.	ANÁLISIS DE LAS EXCAVACIONES Y ESTABILIDAD DE TALUDES .....	31
4.9.	SISTEMA GEOTÉCNICO CONSTRUCTIVO .....	32
4.10.	PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA CIMENTACIONES .....	32
5.	IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN Y REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS .....	33

6. GESTIÓN DE CALIDAD EN ESTUDIOS GEOTÉCNICO CON PMI 41	CRITERIOS
6.1 Requerimientos No funcionales para la aplicación: .....	43
Requerimientos Funcionales:.....	44
6.2 Casos de uso del software y diagramas de clases .....	46
7. DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO UTILIZANDO LA HERRAMIENTA IMPLEMENTADA .....	53
8. CONCLUSIONES.....	81
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82



## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE MONOGRAFÍA**

**TITULO:** ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LOS PROYECTOS GEOTÉCNICOS

**AUTOR(ES):** LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ  
JOSÉ ALBERTO RONDÓN

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil.

**DIRECTOR (A):** ALDEMAR REMOLINA MILLÁN

### **RESUMEN**

En la actualidad la falta de control y seguimiento a los estudios geotécnicos conlleva a cometer errores conceptuales en cada uno de los proyectos realizados, debido a la falta de análisis y revisión a fondo de dicha información, por ende, los estudios geotécnicos cobran una importancia relevante, puesto que ellos indicarán las obras y medidas que deberán tomarse para garantizar la seguridad y estabilidad del sector.

El presente trabajo de monografía consistió en el análisis y determinación de los lineamientos para el aseguramiento de la calidad en los proyectos geotécnicos, con el desarrollo de una Guía para la evaluación de cada una de las etapas de un proyecto, para asegurar y controlar la calidad de los estudios y diseños presentados. La guía fue desarrollada en un ambiente virtual para lo cual se utilizó la página web de la empresa Ingenieros Geotecnistas Asociados INGEAS S.A.S patrocinadora del proyecto.

Este manual contribuirá al desarrollo responsable de los ingenieros civiles y geotecnistas, en la planificación y ejecución de los proyectos geotécnicos basados en una conciencia social y en una visión holística del profesional.

**PALABRAS CLAVE:** Proyectos Geotécnicos, Calidad, lineamientos.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** ANALYSIS AND DETERMINATION OF GUIDELINES FOR QUALITY ASSURANCE IN GEOTECHNICAL PROJECT

**AUTHORS:** LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ  
JOSÉ ALBERTO RONDÓN

**FACULTY:** Civil Engineering.

**PROJECT DIRECTOR:** ALDEMAR REMOLINA MILLÁN

At present the lack of control and monitoring geotechnical studies leads to commit conceptual errors in each of the projects, because of the lack of analysis and thorough review of this information, therefore, geotechnical studies take on major importance, since they indicate the works and measures to be taken to ensure the safety and stability of the sector.

This working paper was the analysis and determination of guidelines for quality assurance in geotechnical projects, with the development of a guide for the evaluation of each stage of a project to ensure and control the quality studies and designs presented. The guide was developed in a virtual environment for which the website of the company Ingenieros Geotecnistas Asociados INGEAS S.A.S., sponsoring the project.

This manual will contribute to the responsible civil and geotechnical, planning and execution of geotechnical projects based on social consciousness and a holistic view of professional development engineers.

**KEY WORDS:** Geotechnical Projects, Quality, guidelines

## 1. INTRODUCCIÓN

El Reglamento Colombiano de Norma Sismoresistente NSR-10, en su capítulo H, define que el estudio geotécnico “comprende el estudio y el conocimiento del origen geológico, la exploración del subsuelo (apiques, trincheras, perforación y sondeo y otros) y los ensayos y pruebas de campo y laboratorio necesarios para identificar y clasificar los diferentes suelos y rocas y cuantificar las características físico-mecánicas e hidráulicas del subsuelo”. [1]

Los proyectos geotécnicos deben cumplir con requisitos técnicos mínimos, a fin de garantizar que las obras diseñadas y/o construidas brinden a toda una comunidad seguridad y tranquilidad.

En la actualidad la falta de control y seguimiento a estos estudios conlleva a cometer errores conceptuales en cada uno de los proyectos realizados, debido a la falta de análisis y revisión a fondo de dicha información.

Con la siguiente monografía se plantea la elaboración de una guía práctica que permita al ingeniero realizar el seguimiento y control a cada una de las etapas que conforman el estudio geotécnico.

Esta guía se elaborará teniendo en cuenta las directrices formuladas por el PMI en su Project Management Body Of Knowledge PMBOK versión 4, en lo concerniente a la Gestión de la Calidad (capítulo 8).

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ingeniería civil los proyectos geotécnicos son de gran importancia para garantizar la seguridad de los habitantes de un sector o usuarios de una vía.

En los últimos años en especial por la entrada en vigor del TLC, Colombia ha empezado a mirar cómo garantizar la transitabilidad de sus vías, por lo que ha puesto especial énfasis en la estabilización de sus laderas y montañas [2].

Adicionalmente, en nuestro país se ha venido acrecentando la ola invernal, conllevando a la saturación de los suelos y presentando inestabilidad en los taludes, que afectan las vías a lo largo y ancho de nuestra geografía nacional [3].

Con el propósito de disminuir o mitigar el riesgo de amenaza causada por la inestabilidad de los taludes por causa de las lluvias, coluviones, sismicidad, etc., se debe realizar un estudio geotécnico, que permita determinar diferentes técnicas de estabilización o mitigación para afrontar el problema teniendo en cuenta factores técnicos y económicos.

La falta de control y seguimiento a estos estudios conlleva a cometer errores conceptuales en cada uno de los proyectos realizados, debido a la falta de análisis y revisión a fondo de dicha información y en muchas ocasiones repetitividad de los datos obtenidos en proyectos similares, tales como geología del lugar, parámetros geotécnicos de los suelos, topografía del sector, soluciones y hasta recomendaciones; los cuales conllevan a planteamientos erróneos en la solución del problema, acarreando consecuencias y daños graves en la sociedad. De acuerdo a estadísticas realizadas por los autores, se ha podido determinar que aproximadamente el 30% de los estudios geotécnicos poseen dentro de su contenido información que no hace parte del proyecto elaborado producto generalmente de la práctica común de copiar y pegar textos de antiguos estudios.

Es por esto, que se propone la elaboración de un manual que permita al ingeniero geotecnista revisar cada una de las etapas que conforman estos estudios que servirá de base fundamental para el control y seguimiento de este tipo de estudios tan relevantes en la ingeniería.

## 1.2. JUSTIFICACION

La tarea principal del ingeniero civil, es la de mejorar la calidad de vida de una comunidad a través de proyectos de infraestructura, adaptados a las condiciones socioeconómicas y culturales de una región.

La ingeniería civil permite al hombre, cambiar su entorno y por ende impactar al medio ambiente, mediante la construcción de diferentes proyectos que involucran la modificación de la geomorfología de un lugar.

Es por esto, que los estudios geotécnicos cobran una importancia relevante, puesto que ellos indicarán las obras y medidas que deberán tomarse para garantizar la seguridad y estabilidad del sector.

La importancia de la presente monografía, radica en el aporte a la ingeniería geotécnica, en cuanto a que se planteará una Guía para la evaluación de cada una de las etapas de un proyecto geotécnico, para asegurar y controlar la calidad de los estudios y diseños presentados.

Con este manual, se pretende contribuir al desarrollo responsable de los ingenieros civiles y geotecnistas, en la planificación y ejecución de los proyectos geotécnicos basados en una conciencia social y en una visión holística del profesional.

### 1.3. OBJETIVOS

#### **Objetivo general:**

- Elaborar los lineamientos mínimos que permitan al ingeniero realizar una revisión exhaustiva de cada una de las etapas de un proyecto geotécnico, para asegurar y controlar la calidad de los diseños presentados.

#### **Objetivos específicos:**

- Analizar los factores o variables relevantes en cada una de las etapas del estudio geotécnico y ponderar su incidencia en el proyecto geotécnico.
- Establecer criterios que se deben considerar para la revisión de estudios geotécnicos.
- Implementar una metodología para realizar los estudios geotécnicos y para su revisión.
- Desarrollar una guía teniendo en cuenta las directrices formuladas por el PMI en su Project Management Body Of Knowledge PMBOK versión 4, en lo referente al capítulo 8 de Gestión de la Calidad, que permita controlar y asegurar calidad en los proyectos.

## 1.4. METODOLOGIA

- Revisión bibliográfica.
- Consiste en consultar la bibliografía y recopilar la información relevante concerniente al problema.
- Análisis de estudio geotécnico.
- Comprenderá la identificación de las etapas que conforman un estudio geotécnico, teniendo como base el capítulo H del Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10 y la valoración de las mismas, de acuerdo a la relevancia de estas dentro del proyecto geotécnico.
- Determinación de las Variables.
- Se realizará un estudio estadístico tomando como base diferentes proyectos geotécnicos elaborados, que permitan determinar porcentualmente la incidencia de los mismos en el proyecto geotécnico.
- Gestión de la calidad
- Implementación de las fases que contemplan los procesos de gestión de la calidad de acuerdo a lo expresado en el PMBOK versión 5, planificación de la calidad, aseguramiento de la calidad y control de la calidad.
- Elaboración de la guía
- Se elaborará una guía práctica que contenga los lineamientos mínimos relevantes que conlleven a asegurar la calidad de los proyectos geotécnicos. Esta guía basará la revisión de los estudios geotécnicos, teniendo en cuenta los lineamientos mínimo considerados en la NSR-10.
- Diseño página web
- Se diseñará una página web donde se colocará la guía desarrollada, la cual servirá de consulta a los diferentes usuarios y permitirá a los mismos conceptualizar y retroalimentar a los autores para el mejoramiento de la misma. Este sitio web será asesorado por un ingeniero de sistemas especialista en programación web master. La página web se elaborará en HTML5 y contará

entre 1 y 4 páginas (inicio, descripción de los lineamientos, links de interés y galería pdf descargables).



## **1.5. ALCANCE**

El alcance del presente trabajo consistirá en el planteamiento de los lineamientos para el aseguramiento y control de la calidad de los diseños geotécnicos en edificaciones, mostrando los diferentes lineamientos a seguir, de tal manera que se puedan identificar claramente los parámetros geotécnicos requeridos para cada caso.

En el desarrollo de la presente monografía se analizarán los factores o variables relevantes en cada una de las etapas del estudio geotécnico desarrollando lineamientos con base en lo planteado por el PMBOK que permitan controlar y asegurar calidad en los proyectos.

Adicionalmente, se diseñará una metodología para la revisión previa de los estudios geotécnicos, la cual se colocará en la red para que sirva como elemento de consulta.

## 1.6. RELEVANCIA DEL ESTUDIO

Se pretende destacar la importancia que representa el presente proyecto de monografía dado a que en la actualidad los estudios geotécnicos son un soporte importante en los proyectos de obras civiles, debido a que el suelo donde se va a cimentar cualquier estructura debe ser capaz de soportar los esfuerzos a los que estará sometido.

Adicionalmente, la norma sismoresistente define claramente los objetivos y alcances que debe tener un estudio geotécnico y qué debe conformarlo para la totalidad de su cumplimiento, para ello el numeral H.1.1.1 Objetivos y alcance: “Establecer 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 y excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismoresistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas”. Además, indica claramente el literal H.1.1.2 la obligatoriedad de realizar estudios geotécnicos en todas las edificaciones urbanas y suburbanas de cualquier grupo de uso.

Por esta razón siempre que se plantee la necesidad de la realización de los estudios geotécnicos se debe vislumbrar que debe contener y cuál debe ser la metodología a seguir para el cumplimiento de lo estipulado en la Norma sismoresistente.

El presente proyecto presenta una alternativa de metodología basada en el cumplimiento de los requisitos de la norma sismoresistente apoyada en el uso de herramientas computacionales que permitan al ingeniero geotecnista hacer una revisión eficiente de los requisitos y se minimice las posibles falencias en las que se incurren cuando se realizan este tipo de estudios.

## **1.7. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS**

El trabajo de monografía que se presenta a continuación se encuentra dividido de la siguiente manera: Capítulo 1, introducción, justificación, alcance, y objetivos que se desean lograr con el presente proyecto; en el Capítulo 2 se presenta el estado del arte. En el capítulo 3 se aborda el cuerpo de la monografía con el análisis del estudio geotécnico. En el capítulo 4 se trabaja la revisión del capítulo H del Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10 y elaboración del instrumento para la verificación del cumplimiento. En el capítulo 5 se presenta la implementación de la metodología para la revisión de los estudios geotécnicos. En el capítulo 6 se involucra la calidad en los proyectos geotécnicos. En el capítulo 7 se muestran las conclusiones y finalmente en el capítulo 8 se publica las fuentes bibliográficas que soportaron este proyecto.

## 2. ESTADO DEL ARTE

En cuanto al estado del arte respecto a este tema, no se encuentra información relevante para la elaboración del manual, sin embargo existen diversos autores que recomiendan algunas etapas mínimas con las que debe contar un estudio geotécnico, los cuales tienen en cuenta algunos factores que son comunes. Para González Vallejo, Luis y otros [4], las etapas que deben tenerse en cuenta para este tipo de estudios son:

- Obtención y recopilación de la documentación previa que exista, en especial la geotécnica y cartografía geológica; estudio y evaluación.
- Reconocimiento del Terreno.
- Ensayos in situ y de laboratorio para obtener datos sobre las propiedades geotécnicas del terreno en estudio.
- Análisis e interpretación de datos.
- Conclusiones y recomendaciones acordes a los objetivos.

Adicionalmente, el Reglamento Colombiano de Norma Sismo resistente NSR-10, en su capítulo H [1], especifica los lineamientos mínimos que deben contener los estudios geotécnicos, los cuales servirán de directriz para el presente proyecto de monografía. En cuanto a los estudios geotécnicos en edificaciones el reglamento define como contenido mínimo los siguientes aspectos:

- Localización del proyecto.
- Objetivo del estudio.
- Descripción general del proyecto.
- Sistema estructural.
- Evaluación de cargas.
- Reconocimiento de campo.
- Investigación adelantada en el sitio de las obras.

- Morfología del terreno.
- Origen geológico.
- Características físico- mecánicas de los suelos.
- Descripción de los niveles freáticos o aguas subterráneas.
- Identificación de las unidades geológicas.
- Pruebas y ensayos de campo.
- Pruebas y ensayos de laboratorio.
- Definición del tipo de suelo.
- Resumen de los análisis y justificación de los criterios geotécnicos adoptados.
- Análisis de los problemas constructivos referentes a las alternativas de cimentación y contención.
- Evaluación de la estabilidad de taludes temporales de corte.
- Planteamiento de alternativas de solución.
- Parámetros geotécnicos para el diseño estructural del proyecto.
- Recomendaciones para la protección de edificaciones y predios vecinos.
- Recomendaciones para la protección.
- Con respecto a los estudios geotécnicos para taludes en laderas naturales o intervenidas entre los requisitos mínimos a cumplir se encuentran:
- Reconocimiento del sitio del proyecto, el cual debe realizarse con el acompañamiento de un geólogo o ingeniero geólogo.
- Levantamiento topográfico.
- Determinación de las características geomecánicas del suelo.
- Determinación de condiciones hidrogeológicas e hidráulicas.
- Análisis de sobrecargas por obras vecinas.
- Movimientos sísmicos.

- Análisis de estabilidad de taludes en las condiciones actuales.
- Diseño de obras y medidas necesarias para elaborar un nivel de estabilidad aceptable.
- Análisis de estabilidad de taludes en las condiciones mejoradas.

Puyana García Germán, en su texto Control Integral de las Edificaciones [5] contempla el estudio de suelos y cimentaciones como parte fundamental para la cimentación de las edificaciones, en donde para el estudio final de suelos se distinguen las siguientes etapas:

- Investigación de campo.
- Investigación de laboratorio.
- Recomendaciones de cimentación.

Todas las fuentes consultadas concluyen que los estudios geotécnicos deben poseer tres etapas fundamentales: trabajo de campo, trabajo de laboratorio y recomendaciones geotécnicas. Se ha encontrado que algunas fuentes detallan más claramente las etapas disgregándolas en más actividades conducentes a cumplir con los objetivos de la misma.

Se han encontrado aproximaciones de manuales en nuestro país generalmente desarrollados por entidades estatales como INVIAS [6] entre los cuales se pueden destacar:

- Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos y flexibles.
- Manual para la inspección visual de puentes y pontones.
- Manual para la inspección visual de obras de estabilización.
- Manual de drenaje para carretera.
- Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras.

Estos manuales fueron diseñados para servir de guía en los procedimientos y recomendaciones que deben seguirse para los diagnósticos de diferentes estructuras o para el diseño de las mismas.

A nivel Internacional trabajos similares han sido desarrollados por diferentes entidades tales como:

- Manual del ingeniero civil en el manejo de cuencas [7], el cual consiste en una guía que permite emplear los principios y procedimientos de la ingeniería en el enfoque del manejo de cuencas en el Salvador.
- Manual para revisión de diseños de pavimentos [8], constituye una herramienta fundamental para normalizar la revisión de estudios y diseños viales en Nicaragua.
- Reglamento para estudios geotécnicos en edificaciones [9], documento que regula los requisitos a cumplir en la realización de estudios geotécnicos para edificaciones en República Dominicana.

Este trabajo no solo contendrá fundamentación teórica sino también complementación con la práctica, puesto que el concepto del conocimiento adquiere valor en sí mismo, cuando corresponde al resultado de la transformación en la mente humana de la información y la experiencia del individuo [10]. La investigación basada en la práctica va a abrir nuevas áreas para la observación. Dicha práctica corresponde no solamente a lo que los profesionales hacen, sino que también son las herramientas que utilizan, su interacción, las intenciones y los conjuntos de actividades. En conjunto, se crea un entorno dinámico para la acción en el ámbito local donde el conocimiento y la acción se dan cita en la práctica [11]. Es por ello, que la propuesta planteada de crear lineamientos para lograr proyectos geotécnicos con calidad estará impregnada de la experiencia de los autores jugando un papel muy importante en el resultado final del documento.

CONFORTO, Edivando Carlos y otro, (2008), plantea en su artículo Evaluating an Agile Method for Planning and Controlling Innovative projects, un enfoque que será el utilizado en esta monografía, el cual se basa en las directrices para la planificación y control de proyectos, empezando por un plan de proyecto con la visión del mismo, seguido de la definición del alcance y finalizando con el plan definitivo del proyecto.

La gestión tradicional de proyectos se refiere a enfoques mecánicos estructurados, que conllevan a la creación de herramientas o procedimientos que permiten el desarrollo de los proyectos [12], es por esta razón, que esta monografía propondrá una herramienta de gran utilidad para el ingeniero, permitiéndole tener en cuenta pautas fundamentales para lograr la calidad en el desarrollo de los diseños geotécnicos.

En su capítulo 8 el PMBOK [13] plantea los procesos y actividades que debe realizar una organización para determinar responsabilidades, objetivos y políticas de calidad para que los proyectos satisfagan las necesidades del

cliente. Dentro de ellos se plantean los procesos de gestión de calidad que debe contemplar un proyecto:

- a) Planificación de la calidad.
- b) Aseguramiento de la calidad.
- c) Control de la calidad.

Estos procesos interactúan entre sí para lograr la gestión de la calidad del proyecto.

La planificación de la calidad permitirá identificar los requisitos de calidad y las normas, de manera tal que se documente el cumplimiento de las mismas, mientras que el aseguramiento de la calidad contempla la auditoría de los requisitos de calidad, así como los resultados obtenidos a partir de las medidas de control de calidad y finalmente, el control de calidad monitoreará y registrará los resultados de la ejecución de las actividades de calidad, para evaluar el desempeño y recomendar los cambios requeridos.

Estas etapas del proceso de gestión de la calidad serán base para lograr estudios geotécnicos de calidad.



### **3. ANÁLISIS DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO**

El Reglamento Colombiano Norma Sismoresistente NSR – 10 en el capítulo H - Estudios Geotécnicos, tiene como objeto establecer 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 sismorresistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables [ NSR-10 ]. Evidentemente es necesario que el estudio geotécnico este coordinado con otros especialistas del proyecto pero muy especialmente en el estudio geológico.

En muchas ocasiones un estudio geotécnico no es correcto por la falta de algunos criterios que contemplan la norma NSR-10, tales como la falta de un estudio geológico ya que, por lo general, en la mayoría de los proyectos no se realiza.

En esta monografía se analizan los factores o variables relevantes en cada una de las etapas del estudio geotécnico para edificaciones y se ponderaran su incidencia, se establecerán adicionalmente criterios para la revisión de los estudios de geotécnicos, siendo estos de mucha importancia para la estabilidad de todo tipo de estructuras.

#### 4. CRITERIOS PARA LA REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

El objetivo fundamental de este capítulo consiste en establecer 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 sismorresistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables [NSR-10]

Vale la pena recalcar que de acuerdo a la NSR-10, es de **carácter obligatorio** la ejecución de estudios geotécnicos definitivos en todos los proyectos tales como: Edificaciones urbanas y suburbanas de cualquier grupo de uso, y para las edificaciones en terrenos no aptos para el uso urbano de los grupos de uso II, III y IV definidos en el Título A de este Reglamento. [1]

Adicionalmente, la NSR-10 establece que los estudios geotécnicos para cimentaciones de edificaciones deben ser dirigidos y avalados por Ingenieros Civiles, titulados, matriculados en el COPNIA y con tarjeta profesional vigente [NSR-10]. Los profesionales que realicen estos estudios geotécnicos deben poseer una experiencia mayor de cinco (5) años en diseño geotécnico de cimentaciones, contados a partir de la expedición de la tarjeta profesional, bajo la dirección de un profesional facultado para tal fin, o acreditar estudios de posgrado en geotecnia.

En el capítulo H.2.1.1 DEFINICIÓN DE ESTUDIO GEOTÉCNICO, la norma lo define como 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.

Adicionalmente, la investigación del subsuelo comprenderá el estudio y el conocimiento del origen geológico, en este tema en particular, es donde cobra relevancia el trabajo interdisciplinario, por lo cual se debe contar con la ayuda de un profesional en geología, la exploración del subsuelo (apiques, trincheras, perforación y sondeo y otros) y los ensayos y pruebas de campo y laboratorio necesarios para identificar y clasificar los diferentes suelos y rocas y cuantificar las características físico-mecánicas e hidráulicas del subsuelo.

Una vez realizado la investigación del subsuelo, el profesional deberá realizar los respectivos análisis y recomendaciones, los cuales consisten en la interpretación técnica que conduzca a la caracterización del subsuelo y a la evaluación de posibles mecanismos de falla y de deformación para suministrar los parámetros y las recomendaciones necesarias para el diseño y la construcción de los sistemas de cimentación y contención y de otras obras en el terreno influenciadas por factores geotécnicos.

De acuerdo a la NSR-10 un estudio geotécnico definitivo consiste en el trabajo realizado para un proyecto específico, en el cual el ingeniero geotecnista debe precisar todo lo relativo a las condiciones físico-mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de todas las obras relacionadas, conforme al Reglamento en los Títulos A y H.

Su presentación es obligatoria ya que en este se definen el tipo de suelo, el diseño y las recomendaciones de la cimentación y del proceso constructivo.

#### **4.1. ASPECTOS MÍNIMOS QUE DEBE CONTENER UN ESTUDIO GEOTECNICO DEFINITIVO**

Un estudio geotécnico definitivo debe contener como **mínimo** los siguientes aspectos:

##### **4.1.1. ASPECTOS QUE DEBE CONTENER EL PROYECTO**

Nombre, plano de localización, objetivo del estudio, descripción general del proyecto, sistema estructural y evaluación de cargas.

##### **4.1.2. ASPECTOS RELEVANTES DE ANALISIS DEL SUBSUELO**

Resumen del reconocimiento de campo, de la investigación adelantada en el sitio específico de la obra, la morfología del terreno, el origen geológico, las características físicomecánicas y la descripción de los niveles freáticos o aguas subterráneas con una interpretación de su significado para el comportamiento del proyecto estudiado.

#### **4.1.3. DETERMINACION DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS O DEL SUELO**

Se debe dar su identificación, su espesor, su distribución y los parámetros obtenidos en las pruebas y ensayos de campo y en los de laboratorio, siguiendo los lineamientos del Capítulo H.3. Para el análisis de efectos locales, la definición de tipo de suelo se debe hacer siguiendo los lineamientos del numeral A.2.4. Se debe estudiar el efecto o descartar la presencia de suelos con características especiales como suelos expansivos, dispersivos, colapsables, y los efectos de la presencia de vegetación ó de cuerpos de agua cercanos.

#### **4.1.4. ANÁLISIS GEOTÉCNICOS**

Se deberá adjuntar resumen de los análisis y justificación de los criterios geotécnicos adoptados que incluyan los aspectos contemplados especialmente en el Título H y en el numeral A.2.4. También, el análisis de los 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, la influencia de los factores hidráulicos.

#### **4.1.5. RECOMENDACIONES PARA DISEÑO**

Se deberán contemplar los parámetros geotécnicos para el diseño estructural del proyecto como: tipo de cimentación, profundidad de apoyo, presiones admisibles, asentamientos calculados incluyendo los diferenciales, tipos de estructuras de contención y parámetros para su diseño, perfil del suelo para el diseño sismo resistente y parámetros para análisis de interacción suelo-estructura junto con una evaluación del comportamiento del depósito de suelo o del macizo rocoso bajo la acción de cargas sísmicas así como los límites esperados de variación de los parámetros medidos y el plan de contingencia en caso de que se excedan los valores previstos. 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.

#### **4.1.6. RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES Y PREDIOS VECINOS**

Cuando las condiciones del terreno y el ingeniero encargado del estudio geotécnico lo estime necesario, se hará un capítulo que contenga: estimar los asentamientos ocasionales originados en descenso del nivel freático, así como sus efectos sobre las edificaciones vecinas, diseñar un sistema de soportes que garantice la estabilidad de las edificaciones o predios vecinos, 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, y cuando las deformaciones o asentamientos producidos por la excavación o por el descenso del nivel freático superen los límites permisibles deben tomarse las medidas preventivas adecuadas.

#### **4.1.7. RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO**

Este consiste en un documento complementario o integrado al estudio geotécnico definitivo, de obligatoria elaboración por parte del ingeniero geotecnista responsable, de acuerdo con lo establecido en el numeral H.8.1. La entrega de este documento o su inclusión como un numeral del informe, deberá ser igualmente verificada por las autoridades que expidan las licencias de construcción. En el sistema constructivo se deben establecer las alternativas técnicamente factibles para solucionar los problemas geotécnicos de excavación y construcción. Para proyectos de categoría Alta o Especial (véase el numeral H.3.1.1) se debe cumplir lo indicado en el numeral H.2.2.3.

#### **4.1.8. ASPECTOS QUE DEBEN INCLUIRSE EN EL PROYECTO COMO ANEXOS**

Se deberán incluir planos de localización regional y local del proyecto, ubicación de los trabajos de campo, registros de perforación y resultado de pruebas y 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.

## **4.2. ASESORÍA GEOTÉCNICA EN LAS ETAPAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

Para proyectos clasificados como categoría Media, Alta o Espacial, se debe realizar la asesoría en la etapa de diseño como una etapa posterior al estudio geotécnico por parte de un ingeniero civil especialista en geotecnia, con la experiencia estipulada en el Título VI de la Ley 400 de 1997.

De igual manera, los proyectos clasificados como categoría Media, Alta o Especial, deberán contar con el acompañamiento de un Ingeniero Geotecnista, (Título VI de la Ley 400 de 1997, artículo 28) quien aprobará durante la ejecución de la obra los niveles y estratos de cimentación, los procedimientos y el comportamiento durante la ejecución de las excavaciones, rellenos, obras de estabilización de laderas y actividades especiales de adecuación y/o mejoramiento del terreno. Para lo cual se deberá dejar memoria escrita del desarrollo de dichas actividades y los resultados obtenidos.

Especial atención se deberá dar a preservar la estabilidad y evitar asentamientos de las construcciones aledañas o adyacentes al proyecto, para lo cual se deberá implementar las recomendaciones que el diseñador geotécnico del proyecto entregue para tal fin. Se deberá suscribir un acta de vecindad de forma previa al inicio del proyecto que deje constancia del estado de las edificaciones y terrenos adyacentes al proyecto. En caso de que se detecten efectos adversos en las edificaciones vecinas por efecto del desarrollo del proyecto, se deberá implementar una instrumentación adecuada y adoptar las medidas necesarias para evitar la propagación de dichos efectos, sin perjuicio de otro tipo de acciones que se deriven de estos hechos.

## **4.3. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LADERAS Y TALUDES**

En el estudio geotécnico deberá estar incluido el estudio de la estabilidad de las laderas y taludes, el cual deberá realizarse de acuerdo a lo exigido en el capítulo H.5, y debe considerar las características geológicas, hidráulicas y de pendiente del terreno local y regionalmente, por lo cual deberán analizarse los efectos de procesos de inestabilidad aledaños o regionales que puedan tener incidencia en el terreno objeto de estudio.

## **4.4. DETERMINACION DEL NIVEL FREATICO**

Los estudios geotécnicos deberán analizar la existencia de agua libre, flujos potenciales de agua subterránea y la presencia de paleo cauces.

#### 4.5. CALCULOS DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD

Los factores de seguridad FS en ingeniería Civil están definidos como la relación entre fuerzas resistentes FR y actuantes FA y también pueden usarse esfuerzos y se usa para evaluar el Estado Límite de Falla

$$FS = FR / FA$$

La selección de los factores de seguridad debe justificarse plenamente teniendo en cuenta:

La magnitud de la obra.

Las consecuencias de una posible falla en la edificación o sus cimentaciones.

La calidad de la información disponible en materia de suelos.

En cualquier caso los Factores de Seguridad Básicos FSB aplicados al material térreo (suelo, roca o material intermedio) no deben ser inferiores a los Factores de Seguridad Básicos Mínimos FSBM o FSBUM de la tabla H.2.4-1, en la cual las cargas se refieren a valores nominales sin coeficientes de mayoración, tal como se indica en el aparte B.2.3 de este Reglamento, en el cual, para los cimientos y el material térreo de cimentación se empleará para las fuerzas sísmicas E un factor  $R = 1.0$ . En ningún caso el factor de seguridad básico mínimo FSBM podrá ser inferior a 1.00. A continuación se muestra la tabla que corresponde a la Tabla H.2.4-1 de la NSR-10

**Tabla 1. Factores de seguridad Básicos Mínimos Directos**

Condición	F <sub>SBM</sub>		F <sub>SBUM</sub>	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

(\*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

## **4.6. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**

La definición acerca del número mínimo y la profundidad mínima de los sondeos exploratorios del subsuelo, es de gran importancia, ya que éstos dependen del tamaño de la edificación propuesta (unidad de construcción).

La Norma estipula que el ingeniero geotecnista, podrá aumentar el número o la profundidad de los sondeos, dependiendo de las condiciones locales y los resultados iniciales de la exploración.

### **4.6.1. ANALISIS DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN**

La NSR-10 define como unidad de construcción

- Una edificación en altura,
- Grupo de construcciones adosadas, cuya longitud máxima en planta no exceda los 40 m,
- Cada zona separada por juntas de construcción,
- Construcciones adosadas de categoría baja, hasta una longitud máxima en planta de 80 m
- Cada fracción del proyecto con alturas, cargas o niveles de excavación diferentes.

Para los casos donde el proyecto exceda las longitudes anotadas, se deberá fragmentar en varias unidades de construcción, por longitudes o fracción de las longitudes.

### **4.6.2. CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN POR CATEGORÍAS**

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 el caso particular de la clasificación para edificaciones se asignará la categoría más desfavorable que resulte en cumplimiento de lo estipulado de acuerdo a la tabla H.3.1-1 de la NSR-10, la cual aparece a continuación.



**Tabla 2. Clasificación de las Unidades de Construcción por categorías**

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

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

#### **4.6.3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO PARA ESTUDIOS DEFINITIVOS**

En esta etapa el ingeniero geotecnista deberá recopilar y evaluar los datos disponibles sobre las características del sitio, tales como la geología, sismicidad, clima, vegetación, existencia de edificaciones e infraestructuras vecinas y estudios anteriores.

En esta etapa es fundamental que el ingeniero geotecnista responsable del proyecto deba dar fe de que conoce el sitio y lo ha visitado para efectos de la elaboración del estudio.

Por otra parte, el ordenante del estudio, deberá suministrar al ingeniero geotecnista toda la información del proyecto necesaria para la ejecución del estudio, como el 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 amarradas a los niveles del terreno existente, sótanos, niveles de construcción, cargas, redes de servicio, información sobre edificaciones vecinas y los otros aspectos adicionales que se consideren necesarios.

#### **4.6.4. EXPLORACIÓN DE CAMPO**

Con el fin de conocer y caracterizar el perfil del subsuelo afectado por el proyecto, ejecutar pruebas directas o indirectas sobre los materiales encontrados y obtener muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio, esta etapa consta de la ejecución de apiques, trincheras, perforación o sondeo con muestreo o sondeos estáticos o dinámicos, u otros procedimientos exploratorios reconocidos en la

práctica. Para ello la norma estipula un número mínimo de sondeos que deberán efectuarse en esta etapa, los cuales se encuentran en la Tabla 3.

**Tabla 3. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción**

<b>Categoría Baja</b>	<b>Categoría Media</b>	<b>Categoría Alta</b>	<b>Categoría Especial</b>
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: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

#### **4.6.5. CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SONDEOS**

Además de las disposiciones ya enunciadas anteriormente, la NSR-10 estipula unas características y distribución para los sondeos, las cuales deberán cumplirse en los estudios geotécnicos, tales como:

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 - siempre y cuando hayan sido ejecutados con la misma calidad y siguiendo las especificaciones dadas en el presente título del Reglamento.

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, serán afectadas por taludes de cortes u otros tipos de intervención que deban ser considerados para evaluar el comportamiento geotécnico de la estructura y su entorno.

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 (y no la profundidad solamente) del estrato, debidamente referenciada a un datum preestablecido.

#### **4.6.6. PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS**

Por lo menos el 50% de todos los sondeos debe alcanzar la profundidad dada en la Tabla H.3.2-1, afectada a su vez por los siguientes criterios, los cuales deben ser justificados por el ingeniero geotecnista.

La profundidad indicativa se considerará a partir del nivel inferior de excavación para sótanos o cortes de explanación. Cuando se construyan rellenos, dicha profundidad se considerará a partir del nivel original del terreno:

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 designados como E y F en el 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 (material designado como A, B o C en la Tabla A.2.4.4-1 del Título A del Reglamento, de acuerdo con la categoría de la unidad de construcción:

- 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. Cuando se construyan rellenos, dicha profundidad se considerará a partir del nivel original del terreno.

Es posible que alguna de las consideraciones precedentes conduzca a sondeos de una profundidad mayor que la dada en la Tabla H.3.2-1.. En tal caso, el 20% de las perforaciones debe cumplir con la mayor de las profundidades así establecidas.

En todo caso primará el concepto del ingeniero geotecnista, quien definirá la exploración necesaria siguiendo los lineamientos ya señalados, y en todos los casos, el 50% de las perforaciones, deberán alcanzar una profundidad por debajo del nivel de apoyo de la cimentación. En algunos casos, a juicio del Ingeniero Geotecnista responsable del estudio, se podrán reemplazar algunos sondeos por apiques ó trincheras.

#### **4.6.7. NÚMERO MÍNIMO DE SONDEOS**

Para definir el número de sondeos en un proyecto, se definirán Inicialmente las unidades de construcción de acuerdo con las normas dadas en el numeral H.3.1.1. 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.

Los sondeos realizados en la frontera entre unidades adyacentes de construcción de un mismo proyecto, se pueden considerar válidos para las dos unidades siempre y cuando domine la mayor profundidad aplicable.

Existe en este ítem el efecto por repetición , en el cual aplica para proyectos con varias unidades similares, en este caso, el número total de sondeos se calculará a partir de la segunda unidad de construcción y siguientes como la mitad (50%) del encontrado para la primera unidad, aumentando al número entero siguiente al aplicar la reducción.

#### **4.6.8. EJECUCION Y ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO**

El tipo y número de ensayos depende de las características propias de los suelos o materiales rocosos por investigar, del alcance del proyecto y del criterio del ingeniero geotecnista.

En este ítem, éste a su criterio ordenará los ensayos de laboratorio que permitan conocer con claridad la clasificación, peso unitario y permeabilidad de las muestras escogidas, igualmente estos ensayos deben permitir establecer con

claridad las propiedades geomecánicas de compresibilidad y expansión de las muestras escogidas, así como las de esfuerzo-deformación y resistencia al corte ante cargas monotónicas.

Los análisis de respuesta de sitio deben realizarse con resultados de ensayos de laboratorio que establezcan con claridad las propiedades esfuerzo deformación ante cargas cíclicas de los materiales de las muestras escogidas.

La NSR-10 considera como propiedades básicas mínimas para la caracterización de suelos y rocas son las siguientes:

#### **4.6.8.1. Propiedades básicas de los suelos**

Las propiedades básicas mínimas de los suelos a determinar con los ensayos de laboratorio son:

Peso unitario

Humedad

Clasificación completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas y sus distintos niveles de meteorización.

Propiedades de resistencia en cada uno de los materiales típicos encontrados en el sitio mediante compresión simple ó corte directo en suelos cohesivos, y corte directo o SPT en suelos granulares.

#### **4.6.8.2. Propiedades básicas de las rocas**

Las propiedades básicas mínimas de las rocas a determinar con los ensayos de laboratorio son:

Peso unitario.

Compresión simple (o carga puntual).

Eventualmente la alterabilidad de este material mediante ensayos tipo desleimiento-durabilidad o similares.

## **4.7. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES**

En el diseño de toda cimentación se deben considerar tanto los estados límite de falla, del suelo de soporte y de los elementos estructurales de la cimentación, como los estados límites de servicio. Los edificios se deben diseñar empotrados en su base para que los esfuerzos se transmitan en forma adecuada a la cimentación.

En los cálculos se tendrá en cuenta la interacción entre los diferentes elementos de la cimentación de la estructura y de las edificaciones vecinas, como analizar si hay superposición de bulbos de carga, los efectos de los sótanos, las excentricidades de los centros de gravedad y de cargas que en conjunto se ocasionan.

Los parámetros de diseño deben justificarse plenamente, con base en resultados provenientes de ensayos de campo y laboratorio.

### **4.7.1. CIMENTACIONES SUPERFICIALES - ZAPATAS Y LOSAS**

El esfuerzo límite básico de falla de cimentaciones superficiales se calculará por métodos analíticos o empíricos, debidamente apoyados en experiencias documentadas, recurriendo a los métodos de la teoría de plasticidad y/o análisis de equilibrio límite que consideren los diversos mecanismos de falla compatibles con el perfil estratigráfico. Además de la falla por cortante general, se estudiarán las posibles fallas por cortante local, es decir aquellas que puedan afectar solamente una parte del suelo que soporta el cimiento, así como la falla por punzonamiento en suelos blandos.

En el cálculo se deberá considerar lo siguiente:

- Posición del nivel freático más desfavorable durante la vida útil de la edificación.
- Excentricidades que haya entre el punto de aplicación de las cargas y resultantes y el centroide geométrico de la cimentación.
- Influencia de estratos de suelos blandos bajo los cimientos.
- Influencia de taludes próximos a los cimientos.
- Suelos susceptibles a la pérdida parcial o total de su resistencia, por generación de presión de poros o deformaciones volumétricas importantes, bajo sollicitaciones sísmicas.

- Existencia de galerías, cavernas, grietas u otras oquedades.

La seguridad para los estados límite de servicio resulta del cálculo de asentamientos inmediatos, por consolidación, los asentamientos secundarios y los asentamientos por sismo. La evaluación de los asentamientos debe realizarse mediante modelos de aceptación generalizada empleando parámetros de deformación obtenidos a partir de ensayos de laboratorio o correlaciones de campo suficientemente apoyadas en la experiencia. Pueden utilizarse relaciones entre el módulo de elasticidad y el valor de la penetración estándar y la penetración con cono, con el soporte experimental adecuado.

La capacidad admisible de diseño para la cimentación deberá ser el menor valor entre el esfuerzo límite de falla, reducido por el factor de seguridad, y el que produzca asentamientos iguales a los máximos permitidos. Esta capacidad debe establecerse en los informes geotécnicos.

#### **4.7.2. PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN**

La profundidad mínima de cimentación para los cálculos de capacidad debe contemplar los siguientes aspectos:

- La profundidad tal que se elimine toda posibilidad de erosión o meteorización acelerada del suelo, arrastre del mismo por tubificación causada por flujo de las aguas superficiales o subterráneas de cualquier origen.
- En los suelos arcillosos, la profundidad de las cimentaciones debe llevarse hasta un nivel tal que no haya influencia de los cambios de humedad inducidos por agentes externos.
- Es preciso diseñar las cimentaciones superficiales en forma tal que se eviten los efectos de las raíces principales de los árboles próximos a la edificación o alternativamente se deben dar recomendaciones en cuanto a arborización.

#### **4.7.3. UTILIZACION DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD INDIRECTOS**

Para cimentaciones se aconsejan los siguientes factores de seguridad indirectos mínimos:



## CAPACIDAD PORTANTE DE CIMIENTOS SUPERFICIALES Y CAPACIDAD PORTANTE DE PUNTA DE CIMENTACIONES PROFUNDAS

Para estos casos se aconsejan los siguientes valores:

**Tabla 4. Factores de seguridad indirectos Mínicos**

Condición	F <sub>SICP</sub> Mímino
	Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo esttico	1.5

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

### 4.7.4. CALCULO DE ASENTAMIENTOS

La evaluación de los asentamientos debe realizarse mediante modelos de aceptación generalizada empleando parámetros de deformación obtenidos a partir de ensayos de laboratorio o correlaciones de campo suficientemente apoyadas en la experiencia.

### 4.8. ANALISIS DE LAS EXCAVACIONES Y ESTABILIDAD DE TALUDES

En cuanto a la estabilidad de taludes de excavación para edificaciones. La seguridad y estabilidad de excavaciones sin soporte se revisar tomando en cuenta la influencia de las condiciones de presión del agua en el subsuelo así como la profundidad de excavación, la inclinación de los taludes, el riesgo de agrietamiento en la proximidad de la corona y la presencia de grietas u otras discontinuidades.

Para el análisis de estabilidad de taludes se usará un método de equilibrio límite considerando superficies de falla cinemáticamente posibles tomando en cuenta en su caso las discontinuidades del suelo. Se incluirá la presencia de sobrecargas en la orilla de la excavación.

Para efectos del análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno,  $a_{max}$  obtenida bien sea de un espectro (aceleración del espectro de diseño para periodo cero) o por medio de análisis de amplificación de onda unidimensionales o bidimensionales, correspondiente a los movimientos

sísmicos definidos en el Capítulo A.2, particularmente en los numerales A.2.1, A.2.2, A.2.3, A.2.4 y A.2.5.

#### **4.9. SISTEMA GEOTÉCNICO CONSTRUCTIVO**

El Sistema Geotécnico Constructivo está definido en la NSR-10 como el sistema constructivo de cimentaciones, excavaciones y muros de contención, es un documento complementario o integrado al estudio geotécnico definitivo, de obligatoria elaboración.

Este sistema deberá incluir el escenario más probable del proceso constructivo, considerando aspectos como secuencia de excavación, métodos de perforación, tratamientos estabilizadores previos, aplicación de pre-cargas, cambios en las trayectorias de drenaje u otros que puedan alterar o modificar en forma importante el comportamiento de los geomateriales que conforman el suelo de fundación, procedimientos constructivos de la cimentación y planes de contingencia.

#### **4.10. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA CIMENTACIONES**

En cimentaciones superficiales, el desplante de la cimentación se hará a la profundidad señalada en el estudio geotécnico. Sin embargo, deberá tenerse en cuenta cualquier discrepancia entre las características del suelo encontradas a esta profundidad y las consideradas en el proyecto, secuencia para realizar las excavaciones, disposición de sobrantes, tiempo máximo de exposición y efectos de los cambios de humedad.

## **5. IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN Y REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS**

Inicialmente se procedió a realizar una revisión profunda de todos los requerimientos que la Norma Sismoresistente NSR-10 estipula para la elaboración de un estudio geotécnico.

Es de vital importancia considerar para cada tema la exigencia del Reglamento Colombiano Sismoresistente NSR-10, ésta información es relevante o importante para las decisiones para o dentro del proyecto específico.

Se realizó una revisión a la norma NSR-10, se extractaron las exigencias del reglamento y se fueron organizando debidamente en un formato junto con el artículo aplicable a cada exigencia, a la vez que se fueron ponderando cada uno de los lineamientos dados por la norma.

Para realizar la revisión de un estudio geotécnico deberá observarse la forma cómo éste se encuentra organizado y determinar si cumple con todos las exigencias del reglamento.

Es importante que el profesional que revise los estudios geotécnicos conozca la reglamentación en todo lo referente al capítulo H de la NSR-10 y que sea un profesional distinto al que ha elaborado el estudio.

Como parte de la metodología a implementar se ha diseñado un software que será de utilidad para la realización de los estudios geotécnicos con calidad y al cual se podrá tener acceso en la página web, que para tal fin los autores han implementado. Esta página web es propiedad de la empresa INGEAS S.A.S. financiadora de este proyecto.

Se estimó que la metodología de revisión se debe hacer de forma interactiva en la web de tal manera que se pueda ir realizando la revisión del estudio geotécnico de acuerdo al formato elaborado y cuando se realice el chequeo del cumplimiento de los lineamientos o exigencias del reglamento NSR-10 se pueda realizar la búsqueda en el estudio que se está revisando, para finalmente dar el visto bueno como evidencia de que el estudio cumple con lo estipulado en el mismo.

A continuación se muestra en la Tabla 5 el formato implementado para la revisión de un estudio geotécnico, contemplando las exigencias del reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10.

Para la consideración de la incidencia en el proyecto geotécnico se ponderó cada uno de los aspectos dándole un valor numérico de 1 a 5 siendo 1 el menos relevante y 5 el más relevante.

**Tabla 5. Formato guía – Lineamientos básico**

Tema	Criterios a Considerar para la Revisión	Ponderación
<b>Art H.1.1.2.1</b> <b>Firma de los estudios</b>	Ingeniero civil con 5 años de experiencia y/o estudios de postgrado en geotecnia.	1
<b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Información del proyecto</b>	Nombre, plano de localización, objetivos del estudio, descripción del proyecto y sistema estructural.	1
<b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Evaluación de Cargas</b>	No se podrán considerar como <b>ESTUDIO GEOTECNICO DEFINITIVO</b> aquellos estudios realizados con cargas preliminares donde solo se hayan tenido en cuenta las cargas de gravedad.	1
<b>Art. H.3.1</b> <b>Definir el número de unidades de construcción</b>	Se define como unidad de construcción cada edificación o estructura independiente, separada por juntas de construcción cuya longitud en planta no supere los 80 metros.	2
<b>Art. H.3.1.1</b> <b>Clasificación de las unidades de construcción por categorías</b>	Categoría Baja hasta 3 niveles	4
	Categoría Media 4 a 10 niveles	
<b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Análisis geotécnico</b>	Resumen de los análisis y justificación de los sistemas geotécnicos adaptados. Alternativas de cimentación y contención. Evaluaciones de estabilidad de las excavaciones.	5
<b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Planos de localización</b>	Planos de localización regional y local del proyecto.	1

Tema	Criterios a Considerar para la Revisión	Ponderación
<p><b>Art. H.3.2.3, H.3.2.4, H.3.2.5 y H.3.2.6</b>  <b>Cálculo del número mínimo de sondeos</b></p>	<p>La tabla H.3.2-1 define el número mínimo de sondeos para cada unidad de construcción, los cuales se afectan además de acuerdo a las características del proyecto.</p>	<p>2</p>
<p><b>Art. H.3.2.3, H.3.2.4, H.3.2.5 y H.3.2.6</b>  <b>Definición de la profundidad mínima de los sondeos</b></p>	<p>La tabla H.3.2-1 define la profundidad mínima de sondeos para cada unidad de construcción, los cuales se afectan además de acuerdo a las características del proyecto.</p>	<p>2</p>
<p><b>Cap. A.2</b>  <b>Definición de los niveles de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño</b></p>	<p>Se define los parámetros <math>A_a</math>, <math>A_v</math>, <math>F_a</math> y <math>F_v</math> de acuerdo al <math>N</math>, <math>V_s</math> o <math>S_u</math> y los resultados de los sondeos.</p>	<p>2</p>
<p><b>Cap. H.7</b>  <b>Evaluación geotécnica de efectos sísmicos</b></p>	<p>De acuerdo a la caracterización del perfil litológico, se establecen los parámetros dinámicos del suelo para el análisis sísmico.</p>	<p>2</p>
<p><b>Art. H.2.2.2.1</b>  <b>Información del subsuelo</b></p>	<p>Resumen del reconocimiento de campo, de la investigación realizada en el sitio de las obras, morfología del terreno, origen geológico, características físico-mecánicas, niveles freáticos o aguas subterráneas con la interpretación de su significado para el comportamiento del proyecto estudiado.</p>	<p>3</p>
<p><b>Art. H.2.2.2.1</b>  <b>Información de cada unidad geológica</b></p>	<p>Identificación, espesor, distribución y parámetros obtenidos en los ensayos de campo y laboratorio.</p>	<p>2</p>

<b>Tema</b>	<b>Criterios a Considerar para la Revisión</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Planos de localización</b>	Planos de localización regional y local del proyecto.	1
<b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Ubicación de trabajos de campo</b>	Localización de los sondeos realizados.	1
<b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Registros de perforación</b>	Perfiles de los sondeos.	2
<b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Resultado de pruebas y ensayos de campo y laboratorio</b>	Resultado de cada uno de los ensayos de campo y laboratorio realizados en forma de gráficos o tablas.	2
<b>Art. H.2.5</b> <b>Clasificación de los suelos como granulares o cohesivos</b>	Se definen cuáles suelos pueden considerarse como granulares y cuáles como cohesivos.	1
<b>Art. H.3.3.3</b> <b>Propiedades básicas mínimas de los suelos</b>	Se especifican las propiedades mínimas de resistencia que se deben presentar, ensayo corte directo o SPT para suelos granulares y compresión simple o corte directo para suelos cohesivos.	2
<b>Cap. H.9</b> <b>Condiciones geotécnicas especiales</b>	Se requiere identificar los suelos expansivos, los suelos colapsables y analizar los efectos de la vegetación.	1

Tema	Criterios a Considerar para la Revisión	Ponderación
<p align="center"><b>Art. H.2.2.2</b> <b>Memorias de cálculo</b></p>	<p>Se debe incluir la memoria de cálculo con el resumen de la metodología seguida para cada tipo de problema analizado y el resumen de los resultados en forma de gráficos y tablas.</p>	<p align="center">2</p>
<p align="center"><b>Art. H.2.3</b> <b>Análisis de la existencia de agua subterránea</b></p>	<p>Los estudios geotécnicos deben analizar la existencia de agua libre, flujos potenciales de agua subterránea y la presencia de paleocauces.</p>	<p align="center">2</p>
<p align="center"><b>Art. H.4.6</b> <b>Definición de la profundidad de cimentación</b></p>	<p>Se establecen las profundidades mínimas de cimentación para los cálculos de capacidad teniendo en cuenta la posibilidad de erosión, tubificación, cambios de humedad y raíces de árboles.</p>	<p align="center">5</p>
<p align="center"><b>Art. H.4.7</b> <b>Cálculo de factor de seguridad de las cimentaciones</b></p>	<p>El NSR-10 aconseja los factores de seguridad que se deben cumplir para capacidad de soporte de cimentaciones.</p>	<p align="center">2</p>
<p align="center"><b>Art. H.4.8</b> <b>Cálculo de asentamientos</b></p>	<p>Se exige calcular los asentamientos mediante modelos de aceptación generalizada, empleando parámetros de deformación obtenidos a partir de ensayos de laboratorio o campo.</p>	<p align="center">3</p>
<p align="center"><b>Cap. H.5</b> <b>Estudio de estabilidad de taludes y laderas</b></p>	<p>Se establecen los procedimientos para el cálculo de estabilidad de taludes y excavaciones.</p>	<p align="center">3</p>
<p align="center"><b>Art. H.5.2.5</b> <b>Definición del sismo de diseño para análisis pseudoestático de taludes</b></p>	<p>Se definen los valores mínimos de aceleración para el análisis Pseudoestático de taludes.</p>	<p align="center">2</p>

Tema	Criterios a Considerar para la Revisión	Ponderación
<p align="center"><b>Art. H.2.4.3</b> <b>Cumplimiento de factores de seguridad mínimos para estabilidad de taludes</b></p>	<p>En la tabla H.2.4-1 se establecen los factores de seguridad básicos mínimos directos.</p>	<p align="center">3</p>
<p align="center"><b>Cap. H.6</b> <b>Análisis de presiones de tierras y estructuras de contención</b></p>	<p>Se establecen los criterios para el análisis de presiones de tierra y estructuras de contención.</p>	<p align="center">2</p>
<p align="center"><b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Recomendaciones para el diseño</b></p>	<p>Tipo de cimentación, profundidad de apoyo, presiones admisibles asentamientos calculados incluyendo diferenciales, parámetros para diseño de estructuras de contención, perfil de suelo para diseño Sismoresistente, planes de contingencia en caso de que se excedan los valores, evaluación de estabilidad de excavaciones, laderas y rellenos; y diseño de filtros.</p>	<p align="center">5</p>
<p align="center"><b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Recomendaciones para la protección de edificaciones y predios vecinos</b></p>	<p>Se debe elaborar un capítulo que contenga estimación de los asentamientos ocasionados por presencia de nivel freático y otros efectos, diseño de sistemas de soporte y medidas preventivas.</p>	<p align="center">3</p>
<p align="center"><b>Art. H.2.2.2.1</b> <b>Recomendaciones para la construcción. Sistema constructivo</b></p>	<p>Es un documento de obligatoria elaboración, el cual debe ser verificado por las autoridades que expidan las licencias de construcción.</p>	<p align="center">2</p>



Tema	Criterios a Considerar para la Revisión	Ponderación
<p align="center"><b>Cap. H.8.4</b> <b>Sistema constructivo de cimentaciones</b></p>	<p>Definir profundidad de desplante, secuencia para realizar las excavaciones, disposición de sobrantes, tiempo máximo de exposición, efectos de los cambios de humedad.</p>	<p align="center">2</p>
<p align="center"><b>Cap. H.8.1</b> <b>Sistema Geotécnico constructivo</b></p>	<p>Debe incluir el escenario más probable del proceso constructivo, considerando aspectos como secuencia de excavación, métodos de perforación, tratamientos estabilizadores previos, aplicación de pre-cargas, cambios en las trayectorias de drenaje u otros que puedan alterar o modificar en forma importante el comportamiento de los geomateriales que conforman el suelo de fundación, procedimientos constructivos de la cimentación y planes de contingencia, de acuerdo con los numerales que apliquen de este Capítulo H.8.</p>	<p align="center">4</p>
<p align="center"><b>Cap. H.8.2</b> <b>Sistema constructivo de excavaciones</b></p>	<p>Procedimiento de excavación para minimizar los movimientos de las construcciones vecinas y servicios públicos, control de flujo de agua subterránea, secuencia de excavación, protección de taludes permanentes y plan de contingencia para excavaciones.</p>	<p align="center">3</p>

<b>Tema</b>	<b>Criterios a Considerar para la Revisión</b>	<b>Ponderación</b>
<p align="center"><b>Cap. H.8.3</b> <b>Sistema constructivo de estructuras de contención</b></p>	<p>Se debe incluir la secuencia completa de ejecución de actividades de tal manera que se garantice que los suelos no sufran variaciones importantes en su rigidez y resistencia, sistemas de drenaje preventivo.</p>	<p align="center">3</p>
<p align="center"><b>Art. H.2.2.3</b> <b>Recomendaciones para la supervisión técnica</b></p>	<p>Para proyectos de categoría media, alta y especial, se debe contar con el acompañamiento de un Ingeniero Geotecnista quién aprobará durante la ejecución de la obra los niveles y estratos de cimentación y los procedimientos de excavación.</p>	<p align="center">2</p>

**Fuente: Tomada y adaptada de la Norma NSR-10**

## 6. GESTIÓN DE CALIDAD EN ESTUDIOS GEOTÉCNICO CON CRITERIOS PMI

El proyecto contempla una Gestión de la Calidad basada en los criterios implementados por el PMI en su PMBOK en especial en el capítulo 8.

El Proyecto satisface los requerimientos realizados en la NSR-10 y para el cumplimiento de los criterios de calidad se plantea lo siguiente:

- **Planificar la Calidad:** En esta etapa se identifican los requisitos de la NSR-10 en, documentando los mismos de tal forma que se le dé cumplimiento.
- **Realizar el Aseguramiento de Calidad:** Consiste en auditar los requisitos de NSR-10 y los resultados de las medidas de control de calidad, para asegurar que se cumplan con los requerimientos impuestos.
- **Realizar el Control de Calidad:** Se monitorearán y registrarán los resultados de la ejecución de actividades de cumplimiento, a fin de evaluar el desempeño y realizar los correctivos necesarios.

La calidad es considera como el nivel en el que un conjunto de características inherentes satisface los requisitos del cliente [13], este proyecto de monografía busca el cumplimiento de la norma NSR-10, teniendo en cuenta las siguientes premisas:

- **La satisfacción del cliente.**

Entender, evaluar, definir y gestionar las expectativas, de modo que se cumplan los requisitos de la Norma NSR-10. Esto requiere de la conformidad con las exigencias de la Norma a fin de asegurar que el proyecto produzca aquello para lo cual fue emprendido y satisfaga las necesidades reales del proyecto.

- **La prevención antes que la inspección**

Como parte fundamental de la gestión de la calidad, ésta se establece planificando, diseñando e integrando y no inspeccionando tal como lo describe el PMBOK, ya que generalmente, el costo de prevenir errores es mucho menor que el de corregirlos cuando son detectados por una inspección. Es aquí, donde cobra relevancia este trabajo ya que la implementación del aseguramiento de la calidad en los proyectos geotécnicos, se basa fundamentalmente en unos lineamientos planificados y diseñados de manera que se integren todas las exigencias de la norma sismoresistente NSR-10.

- **La mejora continua**

El ciclo planificar-hacer-revisar-actuar es la base para la mejora de la calidad, según la definición de Shewhart, modificada por Deming [13]. Lo que se busca es el mejoramiento de los proyectos geotécnicos y de la dirección de la organización.

**Figura 1. Ciclo PHVA**

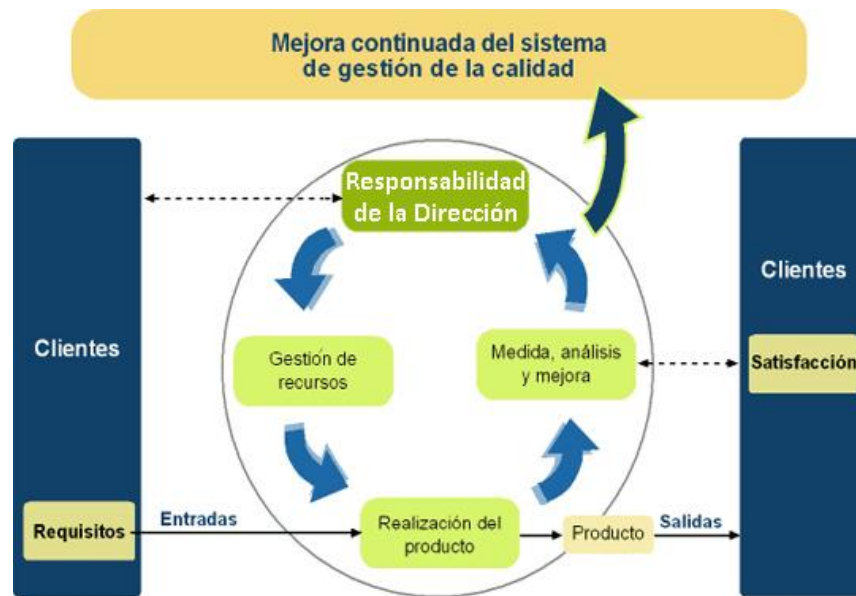


**Fuente: Propia**

- **La responsabilidad de la dirección.**

El éxito de este proyecto se enmarca en que todos los miembros de la organización se comprometan a dar cumplimiento cabal de lo aquí planteado, pero para ello, la dirección debe suministrar apoyo para alcanzar la implementación del sistema de calidad y su mejora continua.

**Figura 2. Ciclo sistema de calidad**



Fuente: [www.calidad-gestion.com.ar](http://www.calidad-gestion.com.ar). Consultado 29 Noviembre 2013

Como parte del control de calidad de los proyectos geotécnicos se ha desarrollado un procedimiento basado en un software que permitirá realizar controles en todas las etapas del estudio y cuyos requisitos son los siguientes:

### 6.1 Requerimientos No funcionales para la aplicación:

#### Plataforma de desarrollo:

- Se hará uso de un servidor de aplicaciones Microsoft, con un sistema operativo Windows Server 2008 R2 framework .Net 4.0

- Se utilizará un servidor de base de datos SqlServer, que maneje SqlServer Express 2012 como sistema de administración de Base de datos.
- Para el sitio web se trabajará con Asp.Net 4.0 como plataforma de desarrollo web.

### **Requerimientos Funcionales:**

- Realizar el log in de usuarios que estén registrados en el sistema, para que puedan acceder a sus perfiles.
- Módulo de gestión de usuarios, se crearán dos tipos de usuarios, uno para que administren toda la plataforma desde la elaboración hasta la aprobación de los proyectos, y el otro con excepción del módulo de aprobación.
- Creación de proyectos para revisión y aprobación, estos proyectos solo se pueden crear por los usuarios del sitio. Permite guardar parcialmente un proyecto en fase de elaboración para luego terminarlo.
  - Que se pueda conocer los ítems creados hasta el momento de un proyecto en elaboración (información para el creador del proyecto). (Mis proyectos)
  - Relacionar los índices de los manuales de los estudios, con los estudios elaborados por la herramienta.(La idea es que el usuario introduzca el identificador de la norma y cargue automáticamente el contenido de la norma).
  - Elaborar tablas basado en fórmulas prescritas, como parte del módulo de creación de proyectos.
  - A cada proyecto se le pueda por medio de la ubicación en latitud y altitud, tomar una foto en google maps que indique la ubicación del proyecto.
  - Algunos ítems están respaldados por evidencia fotográfica.

- Un módulo que permita mostrar los proyectos que estén para revisión y corrección.
  - Cada ítem del proyecto se le puedan realizar observaciones.
  - Cada ítem del proyecto tenga un campo de chequeo (revisado o no revisado).
  - La revisión es hecha por un usuario del sistema, que no sea el mismo usuario que creó el proyecto.
- Un módulo que permita mostrar los proyectos que estén para aprobación.
  - Cada ítem del proyecto tenga un campo de chequeo (revisado o no revisado).
  - La aprobación es hecha por un usuario del sistema, que no sea el mismo usuario que realizó la revisión del proyecto.
- Un módulo que permita obtener información relevante del proyecto, como ¿quién lo creó?, el estado y el avance en el que se encuentra.(Este avance se calcularía por ítems creados, corregidos, revisados y aprobados).
- Generar un informe final del proyecto, que se pueda imprimir.
  - Módulo de anexos.
- Hacer un registro de todas las actividades de cada usuario.

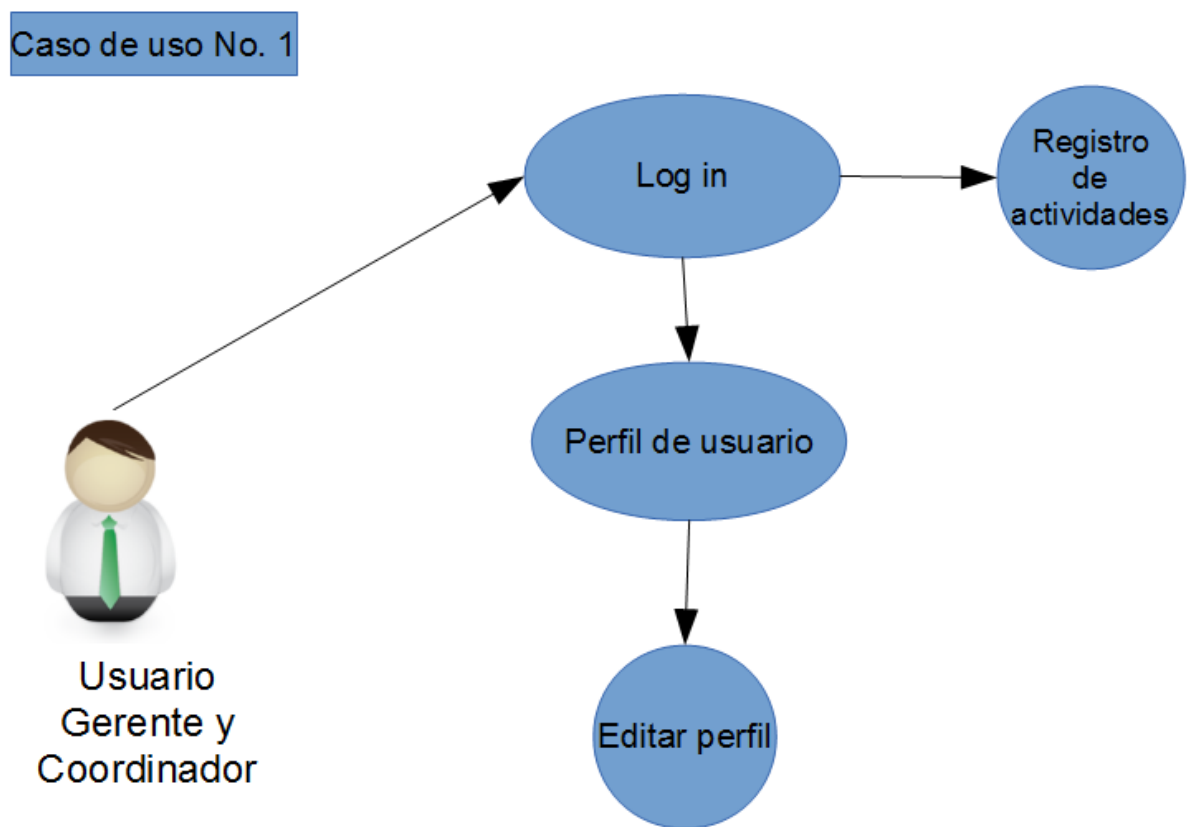
## 6.2 Casos de uso del software y diagramas de clases

### Caso Uso No. 1

En el caso No. 1, el usuario registra su login para entrar a editar su perfil o para registrar la actividad a realizar.

En la figura No. 3 se muestra el esquema enunciado.

Figura 3. Caso de uso No. 1



Fuente: Propia



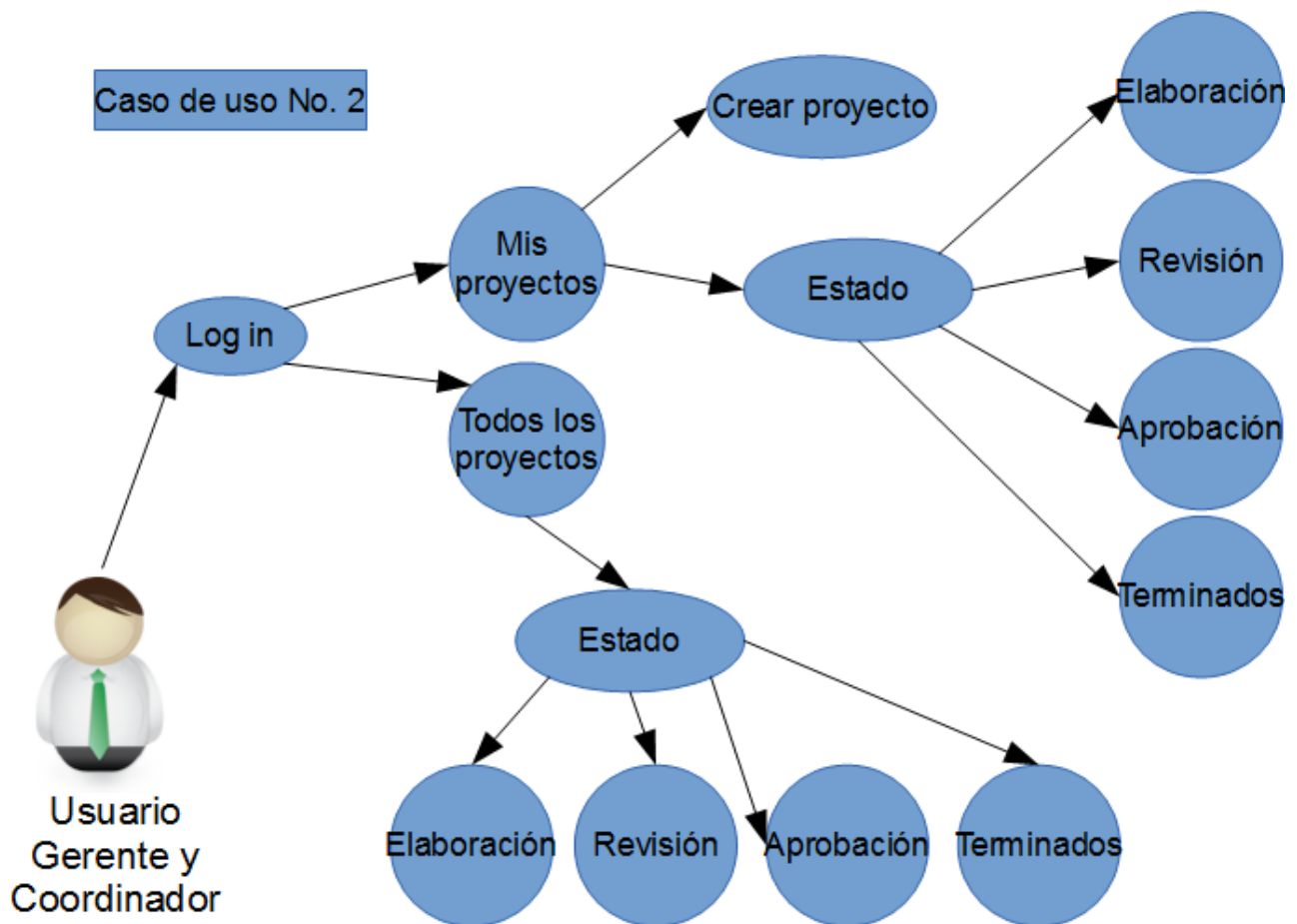
## Caso Uso No. 2

En el caso No. 2, el usuario registra su login y puede visualizar tanto los proyectos propios como los realizados por demás usuarios, así como puede crear un nuevo proyecto.

Si visualiza los proyectos propios o los de otros usuarios puede revisar el estado en que se encuentra cada proyecto

En la figura No. 4 se muestra el esquema enunciado.

Figura 4. Caso de uso No. 2



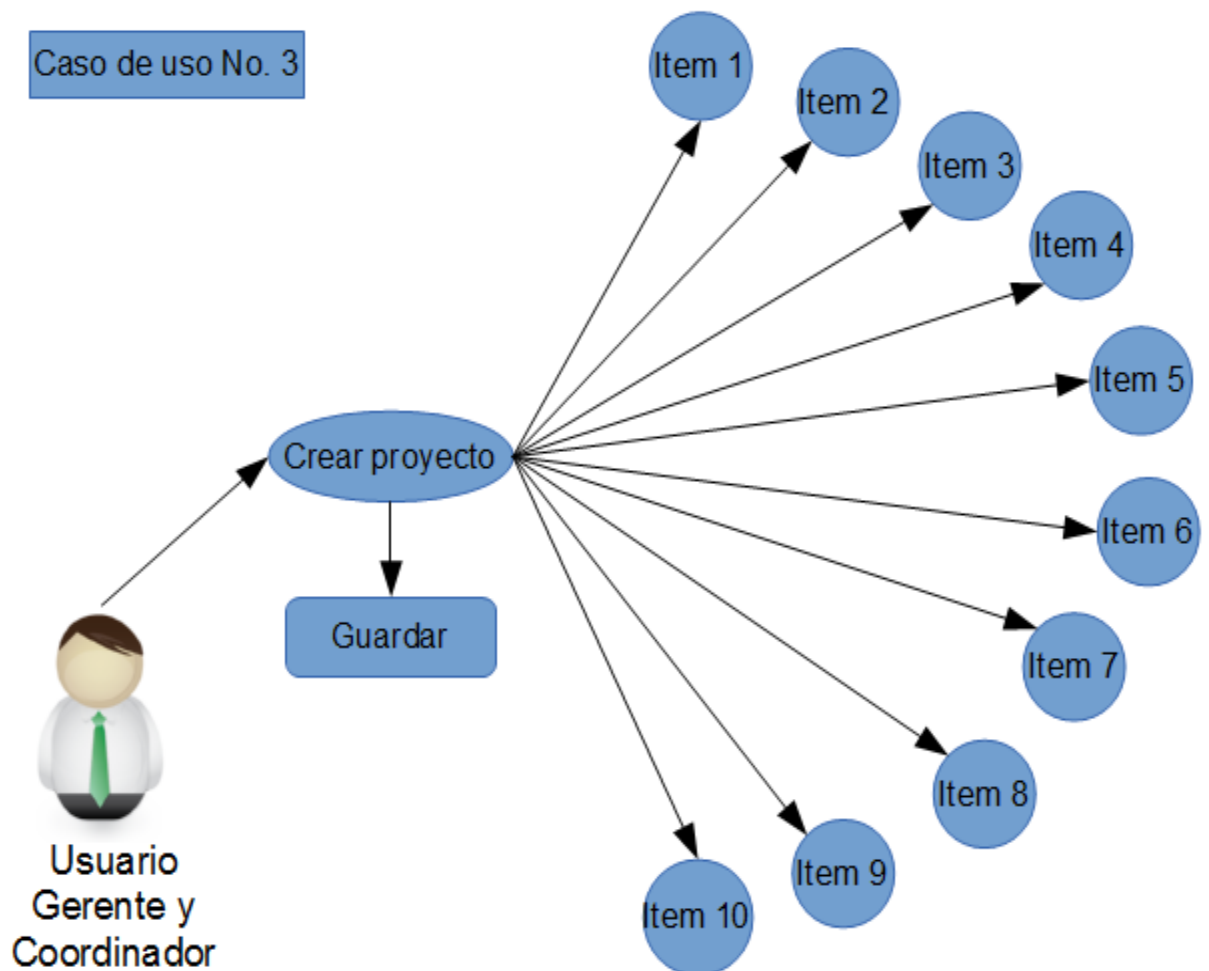
Fuente: Propia

### Caso Uso No. 3

En el caso No. 3, el usuario puede crear un proyecto completo, es decir, incluyendo todas sus etapas y guardarlo para posteriormente ser revisado.

En la figura No. 5 se muestra el esquema enunciado.

**Figura 5. Caso de uso No. 3**



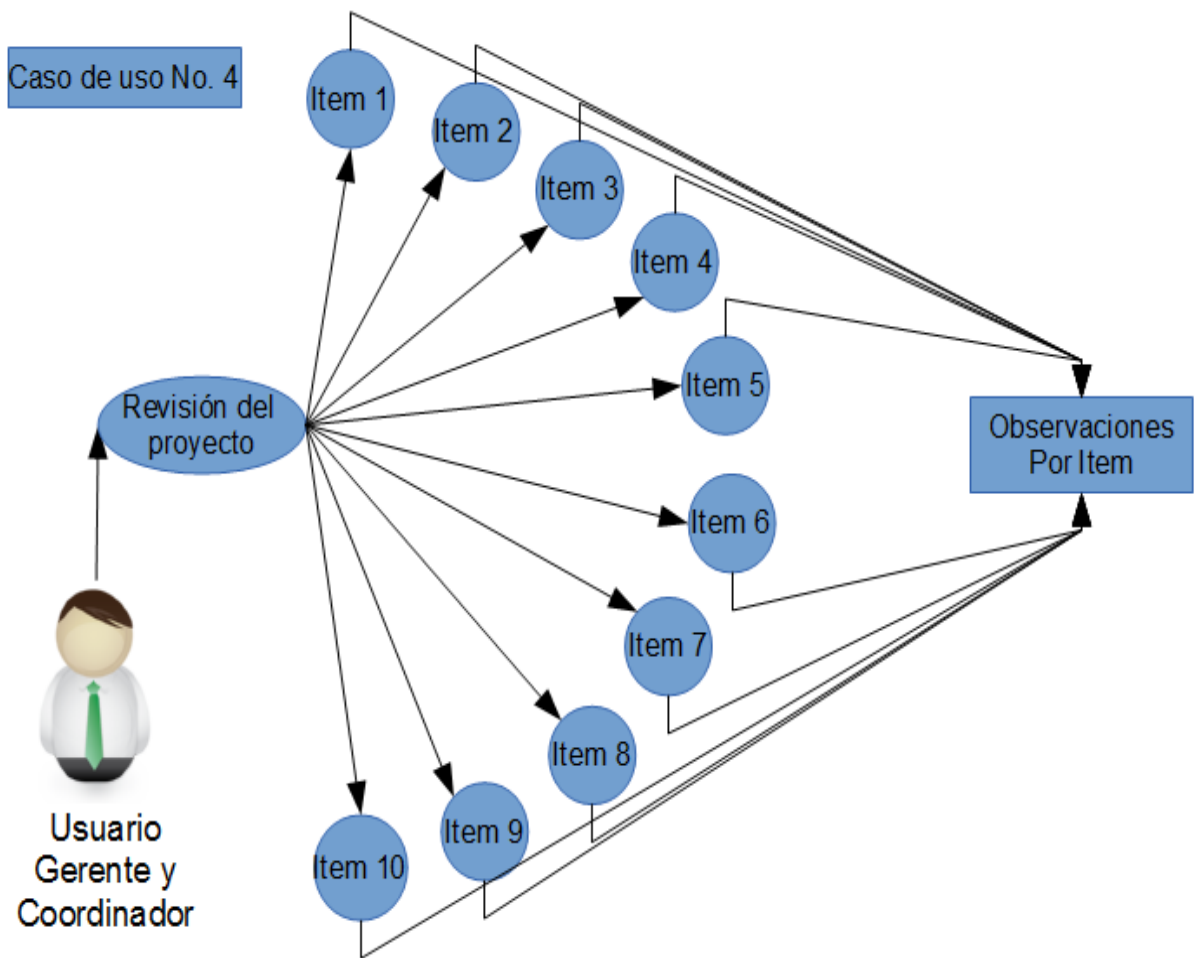
Fuente: Propia

#### Caso Uso No. 4

En el caso No. 4, el usuario ingresa a revisar el proyecto y realiza las observaciones al mismo.

En la figura No. 6 se muestra el esquema enunciado.

**Figura 6. Caso de uso No. 4**



Fuente: Propia

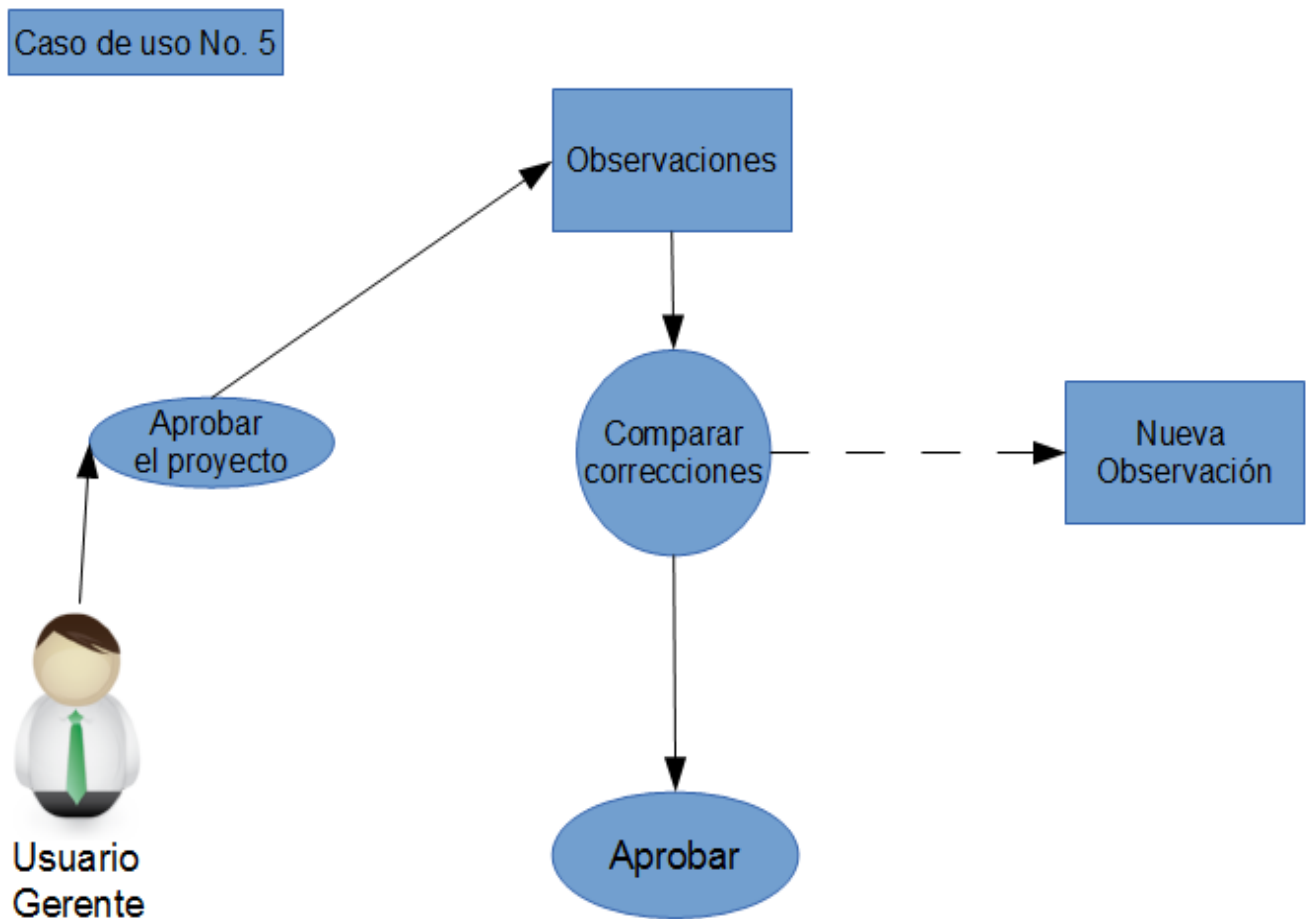
## Caso Uso No. 5

En el caso No. 5, el usuario ingresa para realizar la aprobación del proyecto, para lo cual puede revisar las observaciones y comparar las correcciones realizadas.

Si es el caso, puede aprobar el proyecto o realizar una nueva observación.

En la figura No. 7 se muestra el esquema enunciado.

**Figura 7. Caso de uso No. 5**



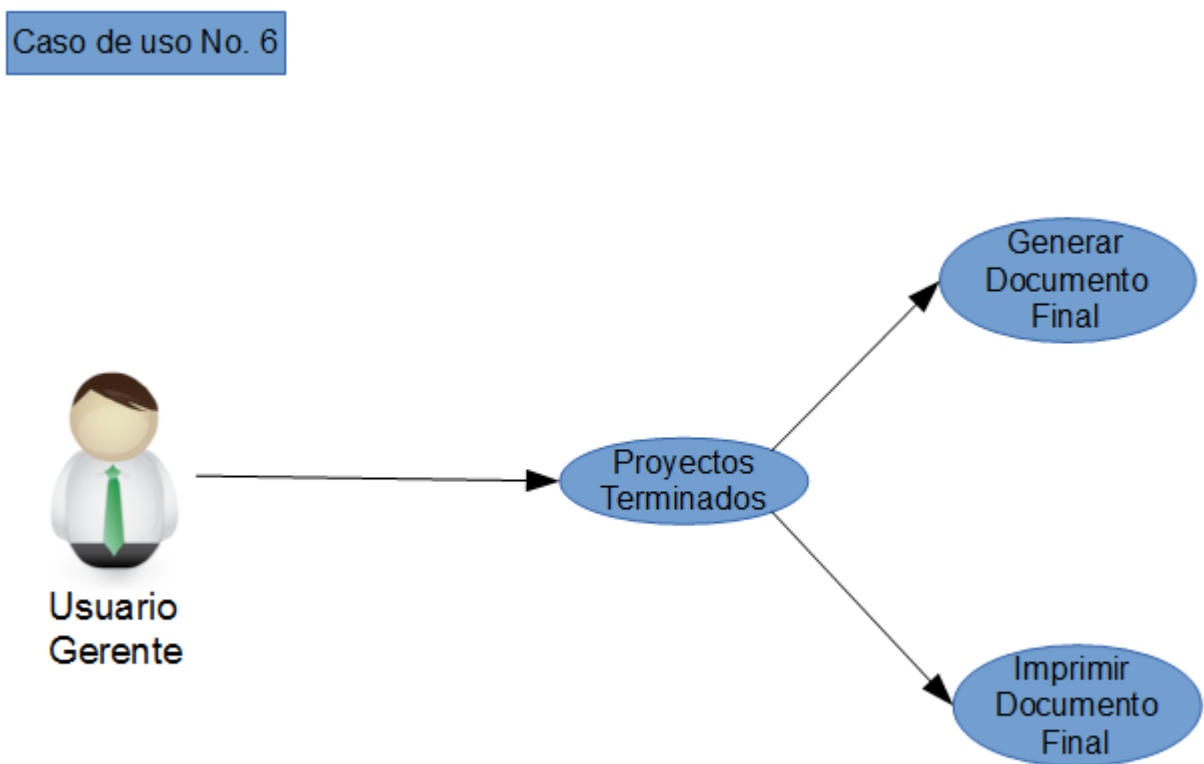
Fuente: Propia

## Caso Uso No. 6

En el caso No. 6, el usuario ingresa para generar el documento definitivo e imprimirlo si es el caso.

En la figura No. 8 se muestra el esquema enunciado.

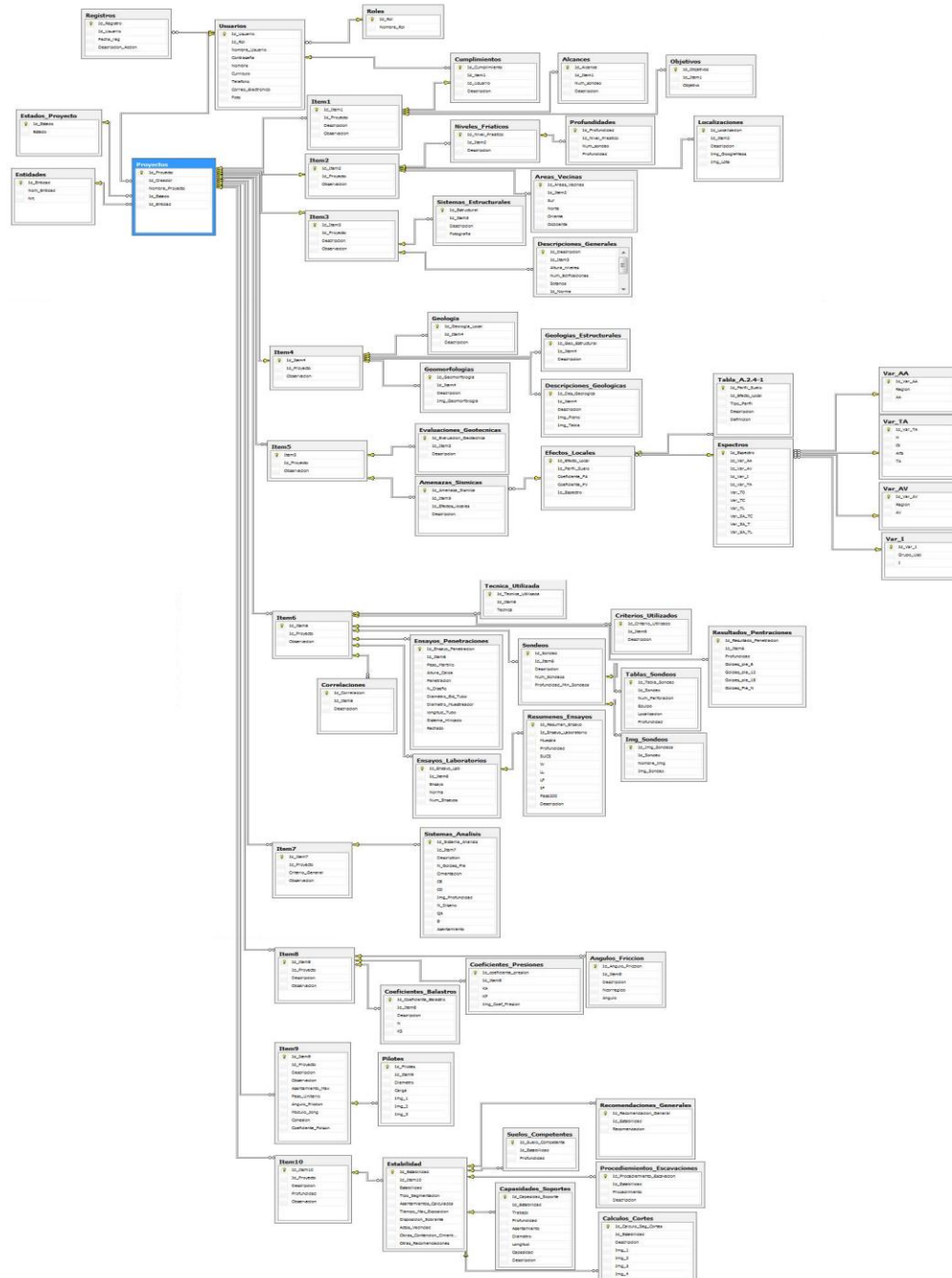
**Figura 8. Caso de uso No. 6**



Fuente: Propia

# DIAGRAMA DE BASE DE DATOS MODELO ENTIDAD – RELACIÓN

Figura 9. Diagrama de Flujo



Fuente: Propia

## 7. DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO UTILIZANDO LA HERRAMIENTA IMPLEMENTADA

A continuación se mostrará el desarrollo de la herramienta en un estudio geotécnico. Esta herramienta ha sido implementada en la página web de la empresa Ingenieros Geotecnistas Asociados INGEAS S.A.S.

Figura 10. Página web



Fuente: Propia

Figura 11. Creación del Proyecto

INGEAS S.A.S. INGENIEROS GEOTECNISTAS ASOCIADOS. [Mario Hernan Ramirez Carrero] Salir

Mis Proyectos Proyectos Perfil

**PROYECTOS EN FASE DE CREACIÓN**

No hay proyectos en fase de creación

Nuevo Proyecto

**PROYECTOS EN FASE DE REVISIÓN O APROBACIÓN**

No hay proyectos para revisión o aprobación.

**PROYECTOS EN FASE DE CORRECCIÓN**

No hay proyectos para corregir

**PROYECTOS TERMINADOS**

No hay proyectos terminados

INGEAS S.A.S. INGENIEROS GEOTECNISTAS ASOCIADOS. [Mario Hernan Ramirez Carrero] Salir

Mis Proyectos Proyectos Perfil

**PROYECTOS EN FASE DE CREACIÓN**

No hay proyectos en fase de creación

**Crear Proyecto**

Nombre : PROYECTO SUSTENTACIÓN

Crear proyecto Cancelar

**PROYECTOS EN FASE DE CORRECCIÓN**

No hay proyectos para corregir

**PROYECTOS TERMINADOS**

No hay proyectos terminados

Fuente: Propia



## CAPÍTULO 1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO

Este capítulo incluye la dirección exacta del proyecto, los objetivos del estudio, los cuales indicarán el derrotero a seguir para el cumplimiento de los compromisos adquiridos con el cliente, el alcance y cumplimiento del mismo, con respecto a la Norma NSR-10.

Siempre se debe verificar que el proyecto esté firmado por un ingeniero civil con 5 años de experiencia o que posea estudios de postgrado en geotecnia.

**Figura 12. Objetivos del estudio**

**1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO**

El presente documento corresponde al Estudio Geotécnico Preliminar del Proyecto ubicado en la  en el municipio de  - .

La norma NSR-10 define el Estudio Geotécnico como el "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".

Los objetivos del estudio son los siguientes:

- Definir la viabilidad técnica del lote para la construcción del proyecto planteado
- Determinar los parámetros sísmicos y efectos locales para el diseño de la estructura
- Determinar la capacidad de soporte de los suelos de fundación
- Determinar mediante sondeos y ensayos el perfil del suelo para el diseño de cimentaciones
- Identificar los problemas de cimentación relacionados a la formación geológica, los materiales del suelo, la topografía del lote y la hidrología subterránea.
- Recomendar la profundidad y el sistema de cimentación mas apropiado de acuerdo a las características de la estructura, de la geología y de los suelos del sitio.
- Calcular los asentamientos esperados de la cimentación debido a la aplicación de cargas.
- Analizar la estabilidad de las laderas contiguas al proyecto.
- Recomendar las obras que se requieran para mitigar los efectos de los problemas geotécnicos identificados.
- Obtener parámetros geotécnicos que se requieren para el diseño de la cimentación superficial recomendada.
- Obtener parámetros geotécnicos que se requieren para el diseño de cimentaciones, estructuras enterradas y estructuras de contención.
- Presentar recomendaciones geotécnicas para la construcción del proyecto y para la supervisión del mismo.

Estudio solicitado por:

**1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO**

**Crear Entidad**

Nombre :

Nit :

**1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO**

Para la realización del estudio se ejecutaron sondeos y ensayos de laboratorio, se analizó la geología regional local y se consultaron los estudios de otros sitios cercanos al área; sin embargo, al construir el proyecto pueden encontrarse condiciones diferentes, las cuales no fueron detectadas en el momento de la realización del estudio.

Es importante que un Ingeniero Geotecnista revise si lo planteado en el estudio corresponde a lo encontrado en campo.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 exige la supervisión técnica de un Ingeniero Geotecnista durante las etapas de construcción de las excavaciones, cimentaciones y estructuras de contención.

**1.3 CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10**

El presente Estudio Geotécnico cumple con la Ley 400 del 19 de agosto de 1997 y el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10).

El ingeniero geotecnista da fé de que conoce el sitio y lo ha visitado para efectos de la elaboración del estudio.

\_\_\_\_\_

Ing.Mario Hernan Ramirez Carrero  
Ingeniero Civil - Universidad Industrial de Santander Magister en Geotecnia - Universidad Industrial de Santander

El Item1 se ha guardado con éxito

**Fuente: Propia**

## CAPITULO 2. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE PROYECTO

Se debe incluir la dirección exacta del proyecto indicando claramente las construcciones y áreas vecinas acompañado de un registro fotográfico donde se visualice claramente el lote en estudio.

Se recomienda por parte de los autores incluir fotografías frontales y laterales del lote, así como una ubicación cartográfica del sitio en estudio.

También se deberá incluir como mínimo las siguientes características físicas de la zona:

Piso térmico, temperatura, precipitación, drenajes e infiltraciones. Estos últimos junto con los resultados de los sondeos realizados nos permitirán analizar el manejo de aguas de escorrentía y características del nivel freático.

**Figura 13. Localización y características del proyecto**

The image shows a screenshot of a web form with a yellow background. At the top left, it says 'CAPITULO 2'. The main title is 'LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO'. Below this, there are two sections: 'LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO' and 'CONSTRUCCIONES Y ÁREAS VECINAS'. The 'LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO' section contains a text input field with a placeholder: 'El lote se encuentra localizado en [direccion] en el municipio de [municipio], Departamento de [departamento]- [país]'. Below this is a label 'Detalles de la ubicación:' followed by a long white text input field. The 'CONSTRUCCIONES Y ÁREAS VECINAS' section contains four text input fields: 'Al sur:', 'Al norte:', 'Al oriente:', and 'Al occidente:'. Below these are two rows of input fields. The first row is 'Localización general del proyecto:' followed by a text input field, an 'Examinar...' button, a 'Subir' button, and the text 'Foto Google Earth aun no guardada'. The second row is 'Vista general del proyecto:' followed by a text input field, an 'Examinar...' button, a 'Subir' button, and the text 'Foto vista general del proyecto aun no guardada'.



Fuente: Propia

### CAPITULO 3. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

En este capítulo se debe hacer una revisión de las características del proyecto tales como: altura y niveles, unidades de construcción, sistema estructural utilizado y análisis de las cargas de servicio entregadas por el diseñador estructural. Estos insumos son fundamentales para determinar el número mínimo de sondeos a realizar y la norma aplicable para el proyecto.

A continuación se presenta la tabla de clasificación de las unidades de construcción por categorías y la tabla donde se indica el número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción dependiendo de la categoría de la unidad, las cuales se contemplan en la NSR-10.

**Tabla 6. Clasificación de las Unidades de Construcción por categorías**

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: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

**Tabla 7. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción**

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: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

Los autores recomiendan realizar una revisión exhaustiva a los literales H.3.2.4: características y distribución de los sondeos, H.3.2.5: profundidad de los sondeos y H.3.2.6: número mínimo de sondeos, los cuales muestran lineamientos importantes a considerar para la determinación de la cantidad y profundidad de los sondeos.

**Figura 14. Características del proyecto**

CAPITULO 3

**CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO**

DESCRIPCIÓN GENERAL

Altura en niveles :  Número de edificaciones :  Sótanos :

Norma:

Número de unidades de construcción:  Categoría de la unidad de construcción:

SISTEMA ESTRUCTURAL

A continuación se presenta el plano de cargas de trabajo, de acuerdo a la información suministrada por el ingeniero estructural:

Plano:    Plano del lote en estudio aun no guardado



**Fuente: Propia**

## CAPITULO 4. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES

Es importante contar en todo estudio geotécnico con un profesional en geología que apoye al ingeniero geotecnista en el análisis de las características geológicas y geomorfológicas del proyecto. Este estudio geológico debe incluir la geología general, local y estructural de la zona de estudio, para determinar la composición y estructura interna del suelo así como los procesos ocurridos que han originado cambios en los mismos a lo largo del tiempo geológico.

**Figura 15. Características Geológicas y Geotécnicas Generales**

The image shows a web interface for a geotechnical study. At the top, there is a navigation bar with buttons labeled 'CAP - 1' through 'CAP - 10'. Below this, the main content area is titled 'CAPITULO 4' and 'CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS GENERALES'. Underneath, it says 'DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL' and 'CIUDAD: [ciudad]'. The next section is 'GEOMORFOLOGÍA', which includes a text input field for 'Foto aérea del lote en estudio:', an 'Examinar...' button, and a 'Subir' button. To the right of the 'Subir' button, it says 'Foto aerea aun no guardada'. Below the 'Subir' button is a small icon of a photo. At the bottom of the form, there is a button labeled 'Enviar a Revision'.

Fuente: Propia

## CAPITULO 5. REQUERIMIENTOS SÍSMICOS

Los requerimientos sísmicos dependen de la ubicación del proyecto en la geografía nacional y se deben analizar los siguientes parámetros contemplados en capítulo A de la NSR-10.

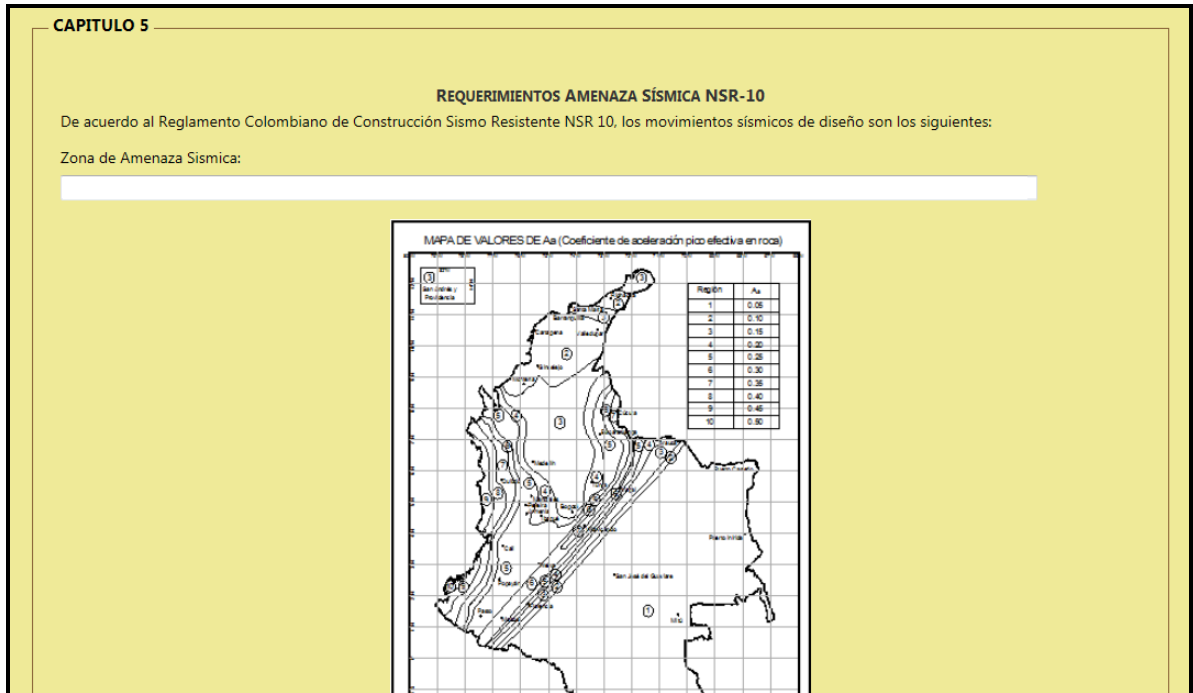
- Aceleración horizontal pico efectiva ( $A_a$ )
- Velocidad horizontal pico efectivo ( $A_v$ )
- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio ( $F_a$ )
- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio ( $F_v$ )
- Coeficiente de importancia ( $I$ )
- Coeficiente utilizado para calcular el periodo de la estructura ( $C_t$ )
- Exponente para ser utilizado en el cálculo del periodo aproximado  $T_a$  ( $\alpha$ ).

Con estos parámetros se puede utilizar el periodo de vibración fundamental aproximado ( $T_a$ ) y el valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado ( $S_a$ ).

Si se tiene el peso total de la estructura se puede determinar el cortante sísmico en la base ( $V_s$ ). Adicionalmente dentro de los análisis sísmicos se debe conocer el tipo del perfil del suelo a utilizar en el análisis geotécnico basados en parámetros de velocidad de onda secundaria de corte, número N conseguido en el ensayos de penetración estándar SPT o parámetro de condiciones no drenadas en suelos arcillosos ( $C_u$ ).



**Figura 16. Requerimientos Sísmicos**



Ct :     Altura en metros:     Alfa :

Cálculo del cortante basal de la edificación:

Peso de la Estructura :  Tnl.

Calcular To, Tc, Tl
Calcular Ta y Sa
Calcular Vs

To : seg, Tc : seg, Tl : seg.

Ta : seg

Sa para  $TC < T < TL$  : (g)

Cortante Basal :

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE EFECTOS SÍSMICOS**

Incidencias de la litología y tipos de suelo

Evaluación del potencial de licuación

Comportamiento esperado de los suelos en el momento de sismos

Guardar

**Fuente: Propia**

## **CAPITULO 6. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS REALIZADAS**

Teniendo en cuenta los resultados arrojados en el estudio geológico y en la visita de campo preliminar realizada, se debe analizar por parte del geotecnista la investigación del subsuelo a realizar, es decir, qué tipo de ensayos in situ se pueden implementar en la zona, por ejemplo, si el suelo encontrado corresponde a un suelo granular con gravas de mediano y gran tamaño no se puede realizar investigación del subsuelo con equipo SPT sino que se deberá utilizar otro tipo de equipo que permita la penetración en este tipo de suelos. Adicionalmente se debe definir qué tipos de ensayos de laboratorio se deben realizar a las muestras recuperadas que permitan conocer los parámetros geotécnicos de los suelos, por ejemplo en un suelo fino se deben realizar ensayos que permitan determinar las características de expansividad, compresibilidad y corte.

Existen en el medio información que permita al geotecnista analizar si los valores encontrados se mantienen dentro de los rangos normales para cada tipo de suelos, para ello existen tablas que dan información de éstos parámetros dependiendo de la clase de suelo encontrado.

Los autores recomiendan tomar fotografías de los sitios donde se realizan los sondeos, de las muestras tomadas en sitio y de los ensayos realizados como evidencia de la ejecución de los mismos.

A continuación se muestran Tablas que suministran parámetros geotécnicos de los suelos, los cuales sirven de base para realizar comparaciones con los resultados de laboratorio realizados.

## Compacidad relativa

Denominación según la compacidad	
Compacidad relativa (%)	Denominación
0–15	Muy suelta
15–35	Suelta
35–65	Media
65–85	Compacta
85–100	Muy compacta

Fuente: Lambe William,- Whitman Robert. "Mecánica de suelos", Limusa, 1969 [14].

## Relación de vacíos, contenido de agua, peso específicos de suelos

Relación de vacíos, contenido de agua y peso específico seco para algunos suelos típicos en estado natural.			
Tipo de suelo	Relación de vacíos, $e$	Contenido natural de agua en estado saturado (%)	Peso específico seco $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
Arena suelta uniforme	0.8	30	14.5
Arena densa uniforme	0.45	16	18
Arena limosa suelta de grano angular	0.65	25	16
Arena limosa densa de grano angular	0.4	15	19
Arcilla firme	0.6	21	17
Arcilla suave	0.9–1.4	30–50	11.5–14.5
Loess	0.9	25	13.5
Arcilla orgánica suave	2.5–3.2	90–120	6–8
Tilita glacial	0.3	10	21

Fuente: Braja Das. "Fundamentos de ingeniería geotécnica", Thomson Editores, México, 2001 [15].

## Compacidades máximas y mínimas de suelos granulares

Compacidades máxima y mínima de suelos granulares						
Descripción	Relación de vacíos		Porosidad (%)		Peso específico seco (ton/m <sup>3</sup> )	
	$e_{\text{máx}}$	$e_{\text{mín}}$	$n_{\text{máx}}$	$n_{\text{mín}}$	$\gamma_{d\text{mín}}$	$\gamma_{d\text{máx}}$
Esferas uniformes	0.92	0.35	47.6	26.0	—	—
Arena de Ottawa normalizada	0.80	0.50	44	33	1.47	1.76
Arena limpia uniforme	1.0	0.40	50	29	1.33	1.89
Limo inorgánico	1.1	0.40	52	29	1.28	1.89
Arena limosa	0.90	0.30	47	23	1.39	2.03
Arena fina a gruesa	0.95	0.20	49	17	1.36	2.21
Arena micácea	1.2	0.40	55	29	1.22	1.92
Arena limosa y grava	0.85	0.14	46	12	1.42	2.34

Fuente: B.K. Hough. "Basic Soils Engineering.", The Ronald Press Company, New York, 1957 [16].

## Valores típicos de permeabilidad para suelos saturados

Valores típicos de permeabilidad para suelos saturados.	
Tipo de suelo	$k$ (cm/s)
Grava limpia	100 – 1
Arena gruesa	1.0 – 0.01
Arena fina	0.01 – 0.001
Arcilla limosa	0.001 – 0.00001
Arcilla	0.000001

Fuente: Braja Das. "Fundamentos de ingeniería geotécnica", Thomson Editores, México, 2001 [15].

## Compresión y expansión de suelos naturales

Compresión y expansión de suelos naturales.				
Suelo	Límite líquido	Límite plástico	Índice de compresión, $C_c$	Índice de expansión, $C_s$
Arcilla azul de Boston	41	20	0.35	0.07
Arcilla de Chicago	60	20	0.4	0.07
Arcilla de Fuerte Gordon, Georgia	51	26	0.12	—
Arcilla de Nueva Orleans	80	25	0.3	0.05
Arcilla de Montana	60	28	0.21	0.05

Fuente: Braja Das. "Fundamentos de ingeniería geotécnica", Thomson Editores, México, 2001 [15].

## Valores de ángulo de fricción drenado para arenas y limos

Valores típicos del ángulo de fricción drenado para arenas y limos.	
Tipo de suelo	$\phi$ (grados)
<i>Arena: granos redondeados</i>	
Suelta	27–30
Media	30–35
Densa	35–38
<i>Arena: granos angulares</i>	
Suelta	30–35
Media	35–40
Densa	40–45
<i>Grava con algo de arena</i>	34–48
Limos	26–35

Fuente: Braja Das. "Fundamentos de ingeniería geotécnica", Thomson Editores, México, 2001 [15].

### Influencia de la angulosidad y de la granulometría sobre el ángulo de fricción máximo.

Influencia de la angulosidad y de la granulometría sobre el ángulo de fricción máximo		
Forma y granulometría	Suelta	Compacta
Redondeada, uniforme	30°	37°
Redondeada, bien graduada	34°	40°
Angulosa, uniforme	35°	43°
Angulosa, bien graduada	39°	45°

Fuente: Sowers y Sowers. "Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones", Limusa-Wiley, México, 1972 [17].

### Consistencia y resistencia a compresión de arcillas.

Relación general de consistencia y resistencia a compresión simple de arcillas.	
Consistencia	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
Muy blanda	0–25
Blanda	25–50
Media	50–100
Firme	100–200
Muy firme	200–400
Dura	> 400

Fuente: Braja Das. "Fundamentos de ingeniería geotécnica", Thomson Editores, México, 2001 [15]

### Densidad relativa y Estado de suelos para suelos granulares

Número de penetración estándar N	Densidad relativa %	Estado del suelo
0 a 3	0 a 15	Muy suelto
3 a 8	15 a 35	Suelto
8 a 25	35 a 65	Medio
25 a 42	65 a 85	Denso
42 a 58	85 a 100	Muy denso

Fuente: Jamiel Kowski y otros, "New correlations of penetration tests for design practice" Penetration testing, 1988 ISOPT-1, Balkema, 1988 [18]

### Número de penetración, consistencia y resistencia a compresión para suelos arcillosos

Número de penetración estándar N	Consistencia	Resistencia a compresión KPa
0 a 2	Muy blanda	0 a 25
2 a 5	Blanda	25 a 50
5 a 10	Medio firme	50 a 100
10 a 20	Firme	100 a 200
20 a 30	Muy firme	200 a 400
> 30	Dura	> 400

Fuente: Braja Das. "Principios de ingeniería de cimentaciones", Thomson Editores, México, 1999 [19]

**Figura 17. Investigaciones geotécnicas realizadas**

**CAPITULO 6**

**INVESTIGACIONES GEOTECNICAS REALIZADAS**

CRITERIOS UTILIZADOS

TECNICAS UTILIZADAS

Se analizó la información de los estudios geológicos y geotécnicos realizados anteriormente en el área.

Se realizaron sondeos utilizando equipos de perforación a percusión manual y ensayos de laboratorio del material recuperado.

Se realizó el monitoreo de los niveles freáticos en los sondeos durante el tiempo de realización del estudio.

Se calcularon los parámetros requeridos para el diseño de cimentaciones y excavaciones para el proyecto.

Agregar Técnica

SONDEOS Y ENSAYOS DE CAMPO

Requerimientos de número y profundidad de sondeos de acuerdo al reglamento NSR-10.  
 El número mínimo de sondeos por cada unidad de construcción está definido por la tabla H.3.2-1 del NSR-10.

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

Tabla 4. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción (Fuente: NSR-10).

Teniendo en cuenta que el proyecto tiene  unidad(es) de construcción, se obtienen los siguientes requerimientos:

Número mínimo de sondeos:  Profundidad mínima de sondeos:

Observación:

El material encontrado corresponde a :

Imagen Tabla de Sondeos :    Tabla de sondeos aun no guardada

Ensayos de campo:

Tipo de muestras obtenidas:

Plano de localización de los sondeos:    Plano de localizacion aun no guardada

**Descripción de las muestras**

Fotografías ensayos realizados:

No se han guardado fotos de ensayos

**Fuente: Propia**



## CAPITULO 7. CÁLCULO DE CAPACIDAD DE SOPORTE

Existen diversas teorías que permiten la determinación de la capacidad de soporte de los suelos. La utilización de cada una de ellas depende del tipo de suelo encontrado. A continuación se relaciona cada una de ellas:

### **Terzaghi:**

$$q_{ult} = cN_c s_c + \bar{q}N_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma$$

$$N_q = \frac{a^2}{2\cos^2(45 + \phi/2)}$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan\phi}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi} - 1 \right)$$

$$a = e^{(0.75\pi - \phi/2)\tan\phi}$$

### **Meyerhof:**

- Carga Vertical

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c + \bar{q}N_q s_q d_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

- Carga inclinada:

$$q_{ult} = cN_c d_c i_c + \bar{q}N_q d_q i_q + 0.5\gamma BN_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

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

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\phi) \quad 71$$

**Hansen:**

$$q_{ult} = cN_{c_c} s_{c_c} d_{c_c} i_{c_c} g_{c_c} b_{c_c} + \bar{q} N_{q_q} s_{q_q} d_{q_q} i_{q_q} g_{q_q} b_{q_q} + 0.5 \gamma B N_{\gamma_\gamma} s_{\gamma_\gamma} d_{\gamma_\gamma} i_{\gamma_\gamma} g_{\gamma_\gamma} b_{\gamma_\gamma}$$

Además se cuentan con correlaciones que permiten calcular la capacidad de soporte a partir de ensayos de campo, entre los que se encuentran comúnmente:

**Ensayo de penetración estándar.**

$$N_{corr} = N * C_N * n_1 * n_2 * n_3 * n_4$$

Donde:

Confinamiento efectivo,  $C_n$

Energía del martillo,  $n_1$

Longitud de la varilla,  $n_2$

Revestimiento interno de la toma de muestras,  $n_3$

Diámetro de perforación,  $n_4$

En la tabla adjunta se muestra la relación entre los valores de penetración estándar y características de arcilla, según Das, 1999.

<b>CONSISTENCIA</b>	<b>N</b>	<b><math>q_u = (\text{KN/m}^2)</math></b>
arcilla muy blanda	0-2	0-25
arcilla blanda	2-5	25-50
arcilla medio firme	5-10	50-100
arcilla firme	10-20	100-200
arcilla muy firme	20-30	200-400
arcilla dura	>30	>400

## CAPITULO 8. CÁLCULO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PARA EL DISEÑO

Para el cálculo de los parámetros de ángulo de fricción y cohesión que se pueden requerir para el diseño de cimentaciones y obras geotécnicas se utilizan criterios generalmente empíricos con base en los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio realizados. Sin embargo de acuerdo al criterio de Peck, Hanson y Thornburn (1974) en donde se proporcionaron la correlación entre el  $N_{\text{corregido}}$  y el ángulo de fricción ( $\phi$ ) en forma gráfica y aproximada por Wolf en 1989, éste parámetro se puede determinar con la siguiente expresión.

$$\phi^{\circ} = 27.1 + 0,30 * N_{\text{corregido}} - 0,00054 * (N_{\text{corregido}})^2.$$

En cuanto a los coeficientes de presión de tierra  $K_a$  y  $K_p$ , estos son determinados utilizando las siguientes ecuaciones:

$$K_a = (\tan (45 - \phi/2))^2$$

$$K_p = (\tan (45 + \phi/2))^2$$

De igual manera el módulo de reacción  $K_s$  (coeficiente de balastro) se obtiene de una correlación empírica que relaciona los valores de  $N$  en golpes/pie del ensayo de penetración estándar, ancho y longitud del cimiento en metros Cernica (1995).

$$K_s = \frac{N}{5.5}$$

**Figura 18. Cálculo de capacidad de Soporte**

**CAPITULO 7**

**CÁLCULO DE CAPACIDAD DE SOPORTE**

CRITERIO GENERAL

**SISTEMA UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS**

Para el cálculo de las presiones admisibles de trabajo o capacidad de soporte se utiliza una correlación empírica con los resultados del ensayo de penetración estándar de acuerdo al criterio de Meyerhof, G.G. (1974).

El N seleccionado para el análisis corresponde al valor de N representativo del real comportamiento del suelo por debajo del nivel de cimentación, de acuerdo al criterio del Ingeniero Geotecnista.

El valor del N de penetración estándar obtenido en los ensayos se corrigió por energía y por profundidad.

N representativo para el análisis

Después de examinar los valores de N obtenidos en los sondeos se escogió un valor de N =  Golpes/pie, como el valor que representa el comportamiento del suelo para una profundidad de cimentación de  metros.

Corrección por energía (CE) =

Esta corrección de Energía (CE), corresponde a un sistema de pesa con hueco circular y sistema de polea, similar al utilizado en la ejecución de los ensayos de campo en el presente estudio.

Corrección por profundidad CD

Para determinar el coeficiente de corrección por profundidad CD se utilizó el criterio de Tokimatsu y Seed 1984, Simplified Procedures for the Evaluation of Settlements in Sands Due to Earthquake Shaking, Report No. UCB/EERC- 84/16.

Corrección por profundidad (adaptado de Tokimatsu y Seed, 1984)

Profundidad (Metros)	C <sub>D</sub>
Menos de 1.5	1.60
2.0	1.50
3.0	1.35
4.0	1.20
5.0	1.00
10.0	0.70
15.0	0.55
20.0	0.50

Cd =  Para  metros de profundidad de cimentación.

Valor de N corregido :

Cálculo de la presión admisible de trabajo

B (ancho de cimientos) =  metros

qa (presión admisible calculada de trabajo) = Ton/m<sup>2</sup>

Este valor corresponde según Meyerhof a un asentamiento aproximado de :  centímetros.

---

**Fuente: Propia**

## **CAPITULO 9. CÁLCULO DE LOS ASENTAMIENTOS**

En este capítulo se deben realizar los cálculos de asentamientos para la cimentación propuesta; estos asentamientos corresponden al análisis de capacidades admisibles (estado límite de servicio). Los asentamientos elásticos se estiman utilizando la teoría de la elasticidad.

Para el análisis del modelo de asentamientos se utiliza un software que emplea el método de los Elementos Finitos para calcular los esfuerzos y deformaciones de los suelos que soportan carga producto del peso de las estructuras.

Los parámetros a utilizar en el modelo las propiedades mecánicas de los suelos, lo cuales se determinan por medio de ensayos de laboratorio, tales como:

Peso unitario

Ángulo de fricción

N corregido (para obtener el módulo de Young)

Cohesión

Coeficiente de Poisson

Módulo de Cortante

En muchas ocasiones para obtener los parámetros a utilizar en el modelo se utilizan los valores de módulo de elasticidad E obtenidos de las expresiones de Tan Yean Chin (1991).

En cuanto al cálculo de asentamientos éstos deberán cumplir con los requerimientos del NSR-10, el cual establece un asentamiento máximo de 2.5 centímetros.

**Figura 19. Cálculo de parámetros geotécnicos para el diseño**

**CAPITULO 8**

**CÁLCULO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS PARA EL DISEÑO**

Angulo de Fricción Interna

$\phi^\circ$  :

Calcular angulo de fricción

Coefficientes de presión de tierra Ka y Kp

Ka :

Kp :

Calcular Ka y Kp

Módulo de reacción o coeficiente de Balastro (Ks):

Ks :

Calcular Ks

Enviar a Revision

**Fuente: Propia**

## **CAPITULO 10. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

El geotecnista deberá realizar recomendaciones generales para el diseño y la construcción de las obras planteadas, de acuerdo al estudio realizado, en cuanto a las siguientes consideraciones:

Estabilidad general del lote, en donde se analice si existen limitaciones o amenazas geotécnicas importantes que afecten la estabilidad de las cimentaciones proyectadas;

Tipo de Cimentación: se deben realizar las recomendaciones de cimentación y la profundidad de la misma.

Capacidad de soporte. De acuerdo a los cálculos realizados de capacidad de soporte indicar la presión admisible de trabajo en Ton/m<sup>2</sup> para una profundidad determinada.

Determinación cálculo seguridad para cortes: se deberá realizar el análisis de estabilidad para corte o excavación en los casos de construcción de semisótanos o sótanos de acuerdo a la concepción arquitectónica.

Figura 20. Cálculo de asentamientos

**Capítulo 9**

**CÁLCULO ASENTAMIENTO**

Asentamientos máximos permisibles

Cumpliendo con los requerimientos del NSR-10, para diseño se estableció un asentamiento máximo de  centímetros, para carga de trabajo de las zapatas.

Modelo general

Elementos finitos y malla

Modelo de Elementos Finitos

Presiones de poro

Cargas externas aplicadas

---

Perfil geotécnico

Propiedades de Suelo

Peso unitario:  KN/m<sup>2</sup>.

Ángulo de fricción:  °.

Módulo de Young:  KN/m<sup>2</sup>.

Cohesión:  KN/m<sup>2</sup>.

Coefficiente de Poisson: .

Resultados

**Modelación de Pilotes:**

Diametro :  Carga:

Imagen 1 :  Examinar...

Imagen 2 :  Examinar...

Imagen 3 :  Examinar...

**Guardar Pilote**

No se han guardado ningun pilote aun

**Guardar**

Fuente: Propia



## CAPITULO 10. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

Procedimiento de excavación, en donde se realicen las recomendaciones a utilizar y los procedimientos a llevarse a cabo para las excavaciones en cuanto a la construcción de los cimientos del proyecto:

Tiempo máximo de exposición

Disposición de sobrantes

**Figura 21. Recomendaciones geotécnicas para la construcción del proyecto**

**RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO**

Procedimiento de excavación :

Se recomienda utilizar el siguiente procedimiento de excavación para la construcción de las cimentaciones del proyecto:

Tiempo de excavación :

Disposición de sobrantes :

Fuente: Propia

## CAPITULO 11. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES Y PREDIOS VECINOS

- Actas de vecindad
- La importancia de las actas de vecindad en este proyecto radica en conocer las condiciones actuales de las zonas comunes del conjunto que se encuentran alrededor del lote y de esta manera evitar futuros inconvenientes con la comunidad.
- Obras de contención para la cimentación
- Debe recomendarse obras necesarias a fin de evitar incidentes en la misma.
- Otras recomendaciones

**Figura 22. Recomendaciones geotécnicas para la Protección de edificaciones vecinas**

RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES Y PREDIOS VECINOS

Actas de vecindad :

Obras de contención para la cimentación :

Otras recomendaciones :

RECOMENDACIONES GENERALES

Agregar Recomendación

Guardar

Detailed description: The image shows a web form with a light yellow background. At the top, it has the title 'RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES Y PREDIOS VECINOS'. Below the title are three text input fields, each with a label and a small vertical scrollbar on the right side. The labels are 'Actas de vecindad :', 'Obras de contención para la cimentación :', and 'Otras recomendaciones :'. Below these fields is a section titled 'RECOMENDACIONES GENERALES' which contains two buttons: 'Agregar Recomendación' and 'Guardar'.

Fuente: Propia

## **8. CONCLUSIONES**

Se analizaron los factores y variables relevantes en cada una de las etapas de un estudio geotécnico ponderando la incidencia de cada uno de ellos, encontrando que los criterios más preponderantes en un estudio corresponden al análisis geotécnico contemplado en el literal H 2.2.2.1 de la NSR-10, la definición de la profundidad de cimentación de acuerdo al H.4.6 y las recomendaciones para el diseño que se contempla en el H 2.2.2.2.1.

Se establecieron los criterios que deben considerarse en un estudio geotécnico, basados en el Código Colombiano Sismo resistente NSR-10, los cuales constituyen la base fundamental o derrotero a seguir en los estudios geotécnicos y que deben cumplirse para garantizar no solo el cumplimiento de la norma sino la estabilidad de las obras.

En la página web de la empresa INGEAS S.A.S. patrocinadora del presente estudio, se implementó la metodología propuesta por los autores de este trabajo, la cual le servirá a la misma dentro de su gestión de calidad, como herramienta de gran utilidad para el control de calidad de los estudios geotécnicos realizados por la misma.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. (2010). Bogotá, Colombia.
- [2] J. A. Rondón, Comparación entre técnicas de estabilización para el talud ubicado entre el PR 3 + 200 al PR 3 + 400 costado occidental en el Condominio Ruitoque. Tesis de Maestría. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2012.
- [3] L. M. Torrado Gómez, Propuesta de Estabilización del talud ubicado entre el PR 0 + 200 – PR 0 + 400 costado occidental del Condominio Ruitoque. Tesis de Maestría. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2012.
- [4] L. Vallejo González y otros. Ingeniería Geológica. España: Pearson Prentice Hall, 2004, pp. 304 - 370.
- [5] G. Puyana García. Control Integral de la Edificación. Bogotá: Bhandar Editores, 2011, pp. 65 - 76.
- [6] Instituto Nacional de Vías. (2007). Documentos Técnicos. Recuperado el 27 de abril de 2013, de <http://www.invias.gov.co>.
- [7] E.Y. Álvarez Hernández y otros. Manual del ingeniero civil en el manejo de cuencas. Tesis de grado. Universidad de Oriente. San Miguel, El Salvador. 2006.
- [8] Ingenieros Consultores y Planificadores. (2008). Manual para revisión de estudios y diseños de pavimentos. Ministerio de Transporte e Infraestructura. Managua, Nicaragua. COREA Y ASOCIADOS S.A. CORASCO.
- [9] Comisión Nacional de Reglamentos Técnicos de la Ingeniería, la Arquitectura y ramas afines. (2006). Reglamento para Estudios Geotécnicos en Edificaciones. Secretaría de estados de Obras Públicas y Comunicaciones. Santo Domingo, República Dominicana.
- [10] A. Mian M. y otro. "Knowledge Transfer in Project-Based Organizations: An Organizational Culture perspective". Project Management Institute. Project Management Journal, Vol. 39, No. 1, pp. 7 – 15, Marzo. 2008.

- [11] [12] T. Blonquist, y otros. "Project-as-practice: In Search of Project management research That Matters". Project Management Institute. Project Management Journal, Vol. 41, No. 1, pp. 5 - 16. Marzo, 2010.
- [13] Project Management Institute. Project Body Of Knowledge PMBOK Versión 5. U.S.A. 2012.
- [14] Lambe William, - Whitman Robert. "Mecánica de suelos", Limusa, 1969.
- [15] Braja Das. "Fundamentos de ingeniería geotécnica", Thomson Editores, México, 2001.
- [16] B.K. Hough. "Basic Soils Engineering.", The Ronald Press Company, New York, 1957.
- [17] Sowers y Sowers. "Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones", Limusa-Wiley, México, 1972.
- [18] Jamiel Kowski y otros, "New correlations of penetration tests for design practice" Penetration testing, 1988 ISOPT-1, Balkema, 1988
- [19] Braja Das. "Principios de ingeniería de cimentaciones", Thomson Editores, México, 1999