UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

ANALISIS COMPARATIVO DEL IMPACTO PRESUPUESTAL DE LOS SISTEMAS DE CIMENTACIÓN SELECCIONADA SEGÚN EL ESTUDIOS DE SUELOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN: CASO DE ESTUDIO EN LA CASA DE CULTURA Y ADMINISTRATIVA DEL MUNICIPIO SOPETRÁN, ANTIOQUIA.

Faider José Muñoz Sierra

Informe de prácticas para optar por el título de Ingeniero Civil

Modalidad de Práctica

Semestre de industria

Asesor

Carlos Alberto Vega Posada, Ph.D.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniera Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Muñoz Sierra F, 2025)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	(Muñoz Sierra F, 2025). *Análisis comparativo del impacto presupuestal de los sistemas de cimentación seleccionada según el estudio de suelos en proyectos de construcción caso de estudio en la casa de cultura y administrativa del municipio de Sopetran, Antioquia* [Informe de practica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron parte de este proceso de aprendizaje, crecimiento y descubrimiento profesional.

A los ingenieros, arquitectos, diseñadores, modeladores, constructores y cada integrante del equipo técnico de la empresa, gracias por compartir sus conocimientos, su experiencia y su tiempo. Sus aportes fueron clave para entender el valor del trabajo en equipo, la importancia de la disciplina técnica y el impacto real de una buena planificación.

A quienes me acompañaron en las decisiones, me guiaron con paciencia o simplemente me permitieron observar su manera de trabajar, les agradezco por inspirarme a ser más riguroso, más curioso y comprometido con la profesión.

Este documento es tan solo un reflejo de lo mucho que aprendí gracias a ustedes. A todos, mi respeto y profunda gratitud.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron parte de este proceso académico y personal.

A mi familia, por su amor, apoyo incondicional y compañía constante en cada etapa del camino. Su confianza, paciencia y presencia fueron fundamentales para mantener el equilibrio, la motivación y la determinación necesarias para alcanzar este logro.

Al profesor Carlos Alberto Vega Posada, por su acompañamiento cercano, su orientación técnica y su disponibilidad permanente para guiar este proceso con claridad y compromiso.

A mis compañeros de trabajo, por compartir su experiencia y por permitirme aprender desde el ejercicio profesional real; y a mis compañeros de pregrado, por construir a mi lado este recorrido con ideas, esfuerzo y compañerismo.

A todos, gracias por ser parte esencial de este logro.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de forma directa o indirecta, contribuyeron a este proceso con su apoyo, enseñanzas y confianza.

Tabla de Contenido

1. Resumen 7
2. Abstract 8
3. Introducción 9
4. Objetivos 10
4.1 Objetivo general 10
4.2 Objetivos específicos 10
5. Generalidades 11
5.1 Localización 11
5.2 Vías de acceso 11
5.3 Localización especifica del proyecto 12
6. Marco teórico 14
6.1 Cimentación en proyectos de construcción 14
6.1.1 Tipos de cimentación 14
6.2 Estudio de suelo y ensayos Geotécnicos 15
.6.2.1 Ensayos geotécnicos relevantes 15
6.3 Impacto del tipo de cimentación en el presupuesto del proyecto 16
6.3.1 Presupuesto en construcción 16
6.4 Normativa Aplicable 17
6.5 Optimización de recursos en la selección de cimentaciones 19
7. Metodología 20
7.1 Enfoque metodológico 20
7.2 Diseño metodológico 21
Técnicas 21
Instrumentos 22

7.2.1 Fases metodológicas 22
7.3 Trabajo de campo y recolección de información 23
8. Análisis de resultados 25
8.1 Resultados de la comparación. 29
8.2 Análisis técnico-financiero 30
8.3 Análisis de sensibilidad 31
9. Conclusiones y recomendaciones 34
9.1 Conclusiones 34
9.2 Recomendaciones 35
10. .Referencias 36
11. Anexos 37
11.1 Anexo A. Informe Geotécnico 37
12.2 Anexo B. Presupuesto 37

Tabla de figuras

Ilustración 1:Localizacion Sopetean. Fuente: Wikipedia 11
Ilustración 2: Vías de acceso. Fuente: Google maps 12
Ilustración 3: Fachada de la estructura. Fuente: Elaboración Propia 13
Ilustración 4:Localización del proyecto. Fuente: propia 14
Ilustración 5: Resultados de ensayo SPT 26
Ilustración 6: Curvas granulométricas de las muestras ensayadas 28
Ilustración 7: Carta de plasticidad de Casagrande 28
Ilustración 8: comparación de costos 31
Ilustración 9: Sensibilidad y variación de costos 32

Tabla de tablas

Tabla 1: Fases metodológicas. Fuente: Elaboración propia 23

Tabla 2: Registro de actividades de campo. Fuente: Elaboración propia 24

Tabla 3: Tipos de ensayos 27

Tabla 4: Comparativa 30

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
ISO	International Organization for Standardization
PMI	Project Management Institute
UdeA	Universidad de Antioquia
NSR	Norma sismo resistente
SPT	Standard penetration test
NTC	Normas técnicas colombianas
POT	Plan de ordenamiento territorial
ASTM	American society for testing and materials
ACI	American concrete institute
USCS	Unified soil classification system

1. Resumen

Este estudio tiene como objetivo analizar comparativamente el impacto presupuestal de diferentes tipos de sistemas de cimentación en proyectos de construcción, considerando las recomendaciones derivadas de los estudios de suelos. Se evaluarán cimentaciones superficiales y profundas, con el fin de determinar su influencia en los costos de ejecución, la estabilidad estructural y la eficiencia constructiva. La investigación se centra en un caso de estudio específico: la Casa de la Cultura y Administrativa en Sopetrán, Antioquia.

El análisis comparativo se llevará a cabo mediante la revisión de la documentación técnica del proyecto, la simulación de diferentes escenarios de cimentación, y la evaluación de los costos asociados a cada alternativa. Se considerarán factores como las características geotécnicas del suelo, las normativas de cimentación aplicables, los materiales de construcción, la mano de obra y los plazos de ejecución. Se analizarán datos reales de proyectos similares y se realizarán estimaciones de costos detalladas para cada tipo de cimentación.

Se espera que los resultados de este estudio proporcionen herramientas prácticas para optimizar la toma de decisiones en la selección de cimentaciones, permitiendo elegir la opción más adecuada desde el punto de vista técnico y económico. Se busca identificar las cimentaciones que ofrecen la mejor relación costo-beneficio, asegurando la estabilidad y durabilidad de las estructuras, al tiempo que se minimizan los costos de construcción. La investigación contribuirá a mejorar la eficiencia constructiva, reducir los riesgos asociados a la cimentación y promover la aplicación de prácticas sostenibles en la construcción.

Palabras clave: Cimentación, estudio de suelos, costos de obra, optimización de presupuesto, eficiencia constructiva, normativas de cimentación, análisis comparativo, simulación de costos, estabilidad estructural

2. Abstract

This study's objective is to conduct a comparative analysis of the budgetary impact of various foundation systems used in construction projects, based on the recommendations from soil surveys. It will assess both shallow and deep foundations to understand their effect on execution costs, structural stability, and overall building efficiency. The research uses a specific case study: the House of Culture and Administration located in Sopetrán, Antioquia.

The comparative analysis will be conducted through a review of the project's technical documents, the simulation of different foundation scenarios, and an evaluation of the costs for each alternative. Several factors will be considered, including the soil's geotechnical properties, relevant foundation regulations, building materials, labor, and project schedules. The study will analyze real data from similar projects and create detailed cost estimations for each foundation type.

It is anticipated that the findings of this study will offer practical tools to improve decision-making when selecting foundations, making it possible to choose the most appropriate option from both a technical and financial standpoint. The aim is to pinpoint the foundations that offer the best value, ensuring structural stability and durability while keeping construction costs as low as possible. This research will help improve building efficiency, lower foundation-related risks, and encourage the use of sustainable practices in the construction industry.

Keywords: Foundation, soil study, construction costs, budget optimization, construction efficiency, foundation regulations, comparative analysis, cost simulation, structural stability

3. Introducción

La cimentación es un elemento esencial en cualquier proyecto de construcción, ya que constituye el soporte principal de la estructura y garantiza su estabilidad y seguridad a largo plazo. La selección del tipo de cimentación depende de múltiples factores, siendo el estudio de suelos uno de los más determinantes. Este estudio proporciona información clave sobre la capacidad portante, el nivel freático, la estratigrafía del terreno y otros parámetros geotécnicos que influyen en el diseño y los costos de obra de la cimentación.

En la práctica, la decisión entre cimentaciones superficiales y profundas no solo responde a criterios técnicos, sino también a consideraciones económicas y normativas. Una elección inadecuada de la cimentación puede generar sobrecostos significativos, comprometiendo la viabilidad financiera del proyecto e incluso afectando la seguridad estructural de la edificación. Por esta razón, es fundamental realizar un análisis comparativo que permita evaluar el impacto presupuestal de las distintas opciones, con el fin de determinar la alternativa más eficiente y adecuada para cada contexto.

Este estudio se enfocará en el caso de la Casa de Cultura y Administrativa del municipio de Sopetrán, Antioquia, como proyecto de referencia. Se analizarán las características geotécnicas del terreno, los sistemas de cimentación más viables y sus respectivos costos, considerando normativas de cimentación vigentes y buenas prácticas de ingeniería. La investigación incluirá estudios de suelos, análisis de costos y simulaciones estructurales para proporcionar herramientas analíticas y metodológicas que faciliten la toma de decisiones en la selección de cimentaciones.

El propósito principal de este trabajo es optimizar los recursos disponibles en las fases de diseño y construcción, reduciendo riesgos financieros y mejorando la eficiencia constructiva. Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan a la formulación de criterios técnicos y económicos aplicables en futuros proyectos, promoviendo la sostenibilidad y rentabilidad de las construcciones.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar y comparar el impacto económico y técnico de distintos tipos de cimentación en proyectos de construcción, con base en los estudios de suelos, para determinar la opción más eficiente en términos de estabilidad estructural, costos y cumplimiento normativo. Asimismo, analizar cómo la elección de cimentación incide en la planificación y ejecución del proyecto, buscando optimizar los recursos, reducir riesgos constructivos y mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de la obra.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades geotécnicas del suelo en el área de estudio, identificando los factores que influyen en la selección y desempeño de los sistemas de cimentación.
- Determinar el impacto presupuestal de cada sistema de cimentación analizado, mediante la elaboración de presupuestos detallados que incluyan costos de materiales, mano de obra, maquinaria y tiempos de ejecución.
- Comparar las alternativas de cimentación desde un enfoque costo-beneficio, considerando tanto la inversión inicial como los costos de mantenimiento y la vida útil de cada opción.
- Proponer estrategias y recomendaciones para la selección óptima de cimentaciones en proyectos de construcción, con base en criterios técnicos, económicos y normativos, con el fin de mejorar la eficiencia y rentabilidad de las obras.

.

5. Generalidades

5.1 Localización



Ilustración 1:Localizacion Sopetean. Fuente: Wikipedia

El municipio de Sopetrán se localiza en la zona central de la subregión del Occidente de Antioquia. Limita al norte con el municipio de Olaya, al este con Belmira, al sur con San Jerónimo y Ebéjico, y al oeste con Santa Fe de Antioquia.

Se encuentra a una distancia de 40 kilómetros por carretera de la ciudad de Medellín, capital del departamento. Su territorio posee una extensión total de 223 km², de los cuales una parte corresponde al área urbana y el resto al área rural.

Sopetrán es conocido por su clima cálido y por formar parte de la Ruta del Sol del occidente de Antioquia, una trilogía turística que comparte con los municipios de San Jerónimo y Santa Fe de Antioquia. La inauguración del Túnel de Occidente ha triplicado sus posibilidades de desarrollo turístico, especialmente en el ecoturismo, y ha mejorado significativamente la conectividad con el resto del departamento.

5.2 Vías de acceso

La principal vía de acceso al municipio de Sopetrán es la Autopista al Mar 1, un corredor vial de gran importancia para la subregión del Occidente de Antioquia. El trayecto desde Medellín se realiza a través del Túnel de Occidente "Fernando Gómez Martínez" y

continúa por la Troncal de Occidente. Esta ruta, en su mayor parte, es de doble calzada y presenta excelentes condiciones, lo que garantiza una conectividad eficiente y segura.

El tiempo de recorrido por vía terrestre desde la ciudad de Medellín hasta la cabecera municipal es de aproximadamente 1 hora y 20 minutos, cubriendo una distancia de 40 kilómetros. La infraestructura vial, que ha sido mejorada considerablemente con proyectos como las Autopistas de Cuarta Generación (4G), facilita el transporte de vehículos particulares, así como el servicio público de pasajeros, el cual es ofrecido por empresas de transporte intermunicipal.

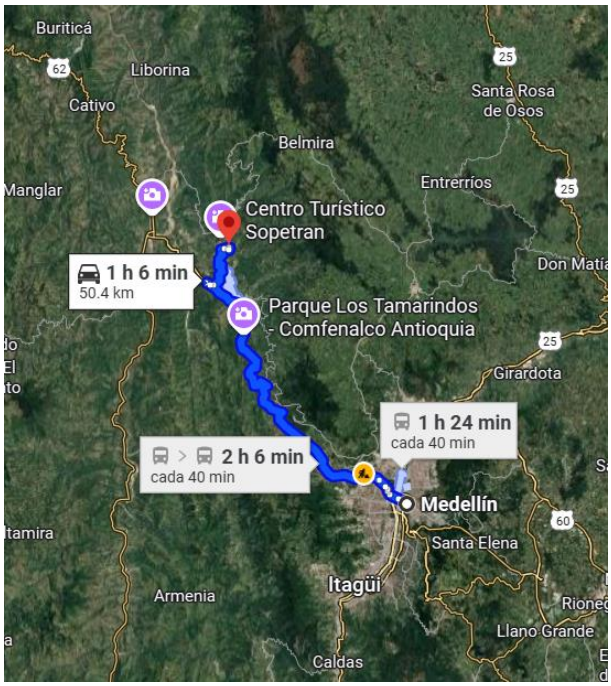

Ilustración 2: Vías de acceso. Fuente: Google maps

5.3 Localización especifica del proyecto

El proyecto en cuestión tiene como objetivo la construcción de un centro cultural y administrativo en el casco urbano del municipio de Sopetran - Antioquia, por lo que se requirió la ejecución de un estudio de suelos, que permita establecer las condiciones geotécnicas y geológicas del sitio, con el fin de dar conclusiones y recomendaciones, en

cuanto a las cimentaciones de la estructura, y los aspectos geotécnicos de interés, que garanticen la estabilidad de estas.

El proyecto se localiza en las coordenadas 6.5012322, -75.742756° del municipio de Sopetran – departamento de Antioquia.

El proyecto consta de una estructura de 3 pisos más un sótano en estructura aporticada.



Ilustración 3: Fachada de la estructura. Fuente: Elaboración Propia

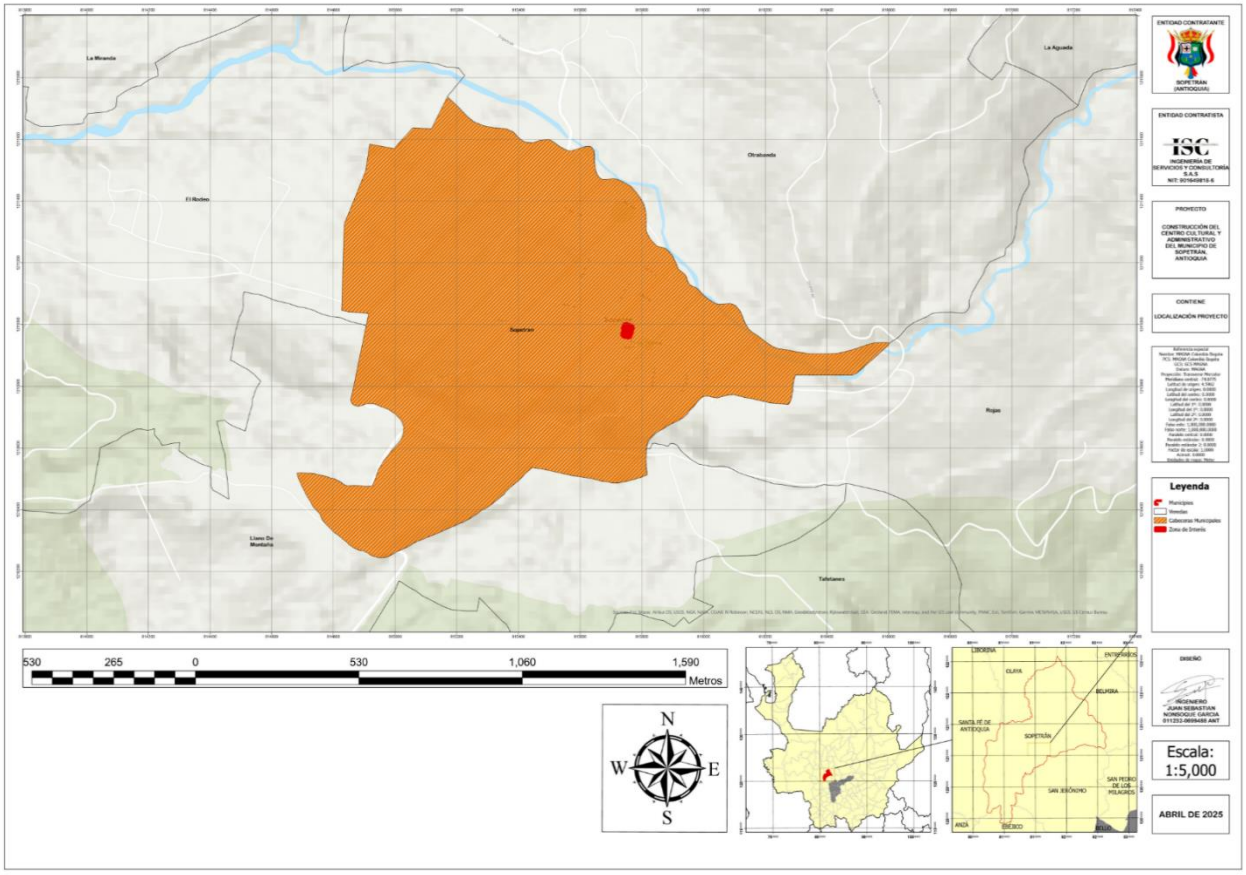

Ilustración 4:Localización del proyecto. Fuente: propia

6. Marco teórico

6.1 Cimentación en proyectos de construcción

La cimentación es el elemento estructural encargado de transmitir las cargas de la edificación al suelo de manera segura y eficiente, evitando asentamientos diferenciales y garantizando la estabilidad de la estructura. Su selección depende de múltiples factores, entre ellos la capacidad portante del suelo, la profundidad del estrato resistente, la magnitud de las cargas estructurales y las condiciones geotécnicas del terreno.

6.1.1 Tipos de cimentación

Los sistemas de cimentación se clasifican principalmente en dos tipos:

- **Cimentaciones superficiales:** Son aquellas que se apoyan en las capas más superficiales del suelo y se utilizan cuando este posee una adecuada capacidad portante. Dentro de este tipo se encuentran:

- *Zapatas*: Elementos estructurales que soportan columnas o muros y distribuyen la carga sobre el terreno.
- *Losas de cimentación*: Placas de concreto reforzado que distribuyen cargas uniformemente sobre una mayor superficie.
- *Vigas de cimentación*: Elementos horizontales que conectan zapatas o apoyan estructuras livianas.

- **Cimentaciones profundas:** Se emplean cuando el suelo superficial no ofrece la resistencia adecuada, requiriendo transmitir las cargas a estratos más profundos y estables. Entre ellas están:
  - *Pilotes*: Elementos alargados de concreto, acero o madera que penetran el suelo hasta alcanzar una capa resistente.
  - *Micropilotes*: Pilotes de menor diámetro utilizados en espacios reducidos o terrenos de difícil acceso.
  - Pilas: Elementos de cimentación de mayor diámetro y se construyen mediante excavación y vaciado de concreto en sitio. Se utilizan cuando se requieren soportar cargas elevadas o cuando las condiciones del suelo no permiten el uso eficiente de pilotes convencionales.

6.2 Estudio de suelo y ensayos Geotécnicos

Antes de definir el tipo de cimentación a utilizar, es necesario realizar un estudio de suelos que permita conocer las características geotécnicas del terreno. Para ello, se aplican diversos ensayos que determinan su capacidad portante, cohesión, fricción interna y comportamiento ante cargas estructurales.

.6.2.1 Ensayos geotécnicos relevantes

- **Ensayo de penetración estándar (SPT):** Método comúnmente utilizado para determinar la resistencia del suelo mediante la medición del número de golpes necesarios para hincar un tubo de muestreo en el terreno.
- **Ensayo de rotación:** Permite obtener muestras inalteradas de suelo mediante perforaciones con barrenos rotativos, esenciales para caracterizar estratigrafías profundas.

- **Límites de plasticidad:** Determinan el contenido de humedad en el que un suelo cambia de estado (sólido, plástico o líquido), información clave para evaluar su estabilidad y deformabilidad.
- **Análisis granulométrico:** Permite clasificar los suelos según el tamaño de sus partículas, lo que influye en su capacidad portante y en su comportamiento ante esfuerzos mecánicos.

6.3 Impacto del tipo de cimentación en el presupuesto del proyecto

El costo de cimentación representa un porcentaje significativo dentro del presupuesto total de un proyecto de construcción. Factores como la profundidad de excavación, los materiales requeridos, la mano de obra especializada y el tiempo de ejecución inciden directamente en el costo final.

6.3.1 Presupuesto en construcción

El presupuesto de obra es un documento técnico, económico y administrativo fundamental dentro de la planeación y gestión de proyectos de construcción. Su función principal es detallar, de manera sistemática y cuantificada, todos los costos asociados a la ejecución de un proyecto, lo cual permite establecer una proyección financiera realista y confiable. En este documento se incluyen rubros como materiales, mano de obra, equipos, herramientas, transporte, costos indirectos, imprevistos, administración, impuestos y utilidades del contratista, todo ello debidamente clasificado y justificado.

La elaboración del presupuesto parte de la información contenida en los estudios y diseños previos, como planos arquitectónicos, estructurales, eléctricos, hidráulicos y de acabados, así como de las especificaciones técnicas que determinan las calidades y cantidades de los insumos. Estos elementos se desglosan en análisis de precios unitarios (APU), en donde se definen los costos parciales y unitarios de cada actividad constructiva, considerando rendimientos de mano de obra, consumo de materiales, desgaste y productividad de maquinaria, además de gastos asociados a la logística en obra.

El presupuesto no solo es un instrumento financiero, sino también un mecanismo de control y toma de decisiones durante todas las fases del proyecto. Permite establecer el flujo de caja, programar la adquisición de recursos y anticipar necesidades de financiamiento. Asimismo, sirve como referencia para la licitación, contratación y negociación con proveedores y subcontratistas, asegurando transparencia y equidad en los procesos.

Su correcta estructuración se basa en análisis de mercado y estudios de oferta y demanda de insumos, lo que garantiza que los precios estimados sean competitivos y ajustados a la realidad económica del sector. De esta forma, el presupuesto contribuye a optimizar el uso de los recursos disponibles, evitando sobrecostos, desviaciones presupuestales y riesgos financieros, a la vez que asegura la viabilidad económica, técnica y operativa del proyecto.

6.4 Normativa Aplicable

El diseño y ejecución de cimentaciones en Colombia están regulados por un marco normativo que busca garantizar la seguridad estructural, la durabilidad y el adecuado desempeño de las edificaciones frente a las condiciones geotécnicas y sísmicas del territorio nacional. Estas normativas establecen los criterios técnicos que deben cumplir los proyectistas, constructores e interventores para minimizar riesgos asociados a fallas en el subsuelo, asentamientos diferenciales, licuación de suelos y, en general, el comportamiento estructural de las edificaciones.

Dentro de las principales regulaciones y referentes técnicos aplicables se encuentran:

- **NSR-10 (Norma Sismo Resistente Colombiana)**

Es la norma de mayor jerarquía en materia estructural en Colombia. Define los requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión de cimentaciones con el fin de garantizar estabilidad y seguridad ante eventos sísmicos, de acuerdo con la amenaza sísmica del lugar. La NSR-10 clasifica las cimentaciones en superficiales (zapatas, losas,

vigas de cimentación) y profundas (pilotes, caissons, micropilotes), estableciendo criterios de capacidad portante, asentamientos admisibles, interacción suelo–estructura y verificación de resistencia frente a cargas verticales y laterales.

- **Normas Técnicas Colombianas (NTC**)
- Las NTC, expedidas por el ICONTEC, complementan la NSR-10 al establecer las especificaciones de materiales empleados en cimentaciones. Por ejemplo:
- NTC 673 y NTC 4026: propiedades y requisitos para el acero de refuerzo.
- NTC 121 y NTC 1377: procedimientos para ensayos de suelos y clasificación granulométrica.
- NTC 3318 y NTC 550: requisitos del concreto estructural y métodos de muestreo.
- Estas normas aseguran que los materiales cumplan con estándares de resistencia, durabilidad y calidad, lo que resulta esencial para el desempeño de las cimentaciones a largo plazo.

- **Reglamentos de construcción municipales (POT y normas locales)**

Los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y reglamentos de construcción locales definen condiciones particulares en función de la zonificación del suelo, uso del terreno, restricciones geotécnicas (ejemplo: zonas con riesgo de remoción en masa, inundaciones o licuación) y lineamientos urbanísticos. Estos reglamentos determinan restricciones de cargas, profundidades mínimas de cimentación y estudios geotécnicos obligatorios en áreas de riesgo, integrando la normativa estructural con la planificación urbana sostenible.

- **Norma ASTM D2487 (Clasificación Unificada de Suelos – USCS)**

Aunque es una norma internacional, la ASTM D2487 se aplica ampliamente en proyectos de ingeniería geotécnica en Colombia como referencia para la clasificación estandarizada de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Esta norma categoriza los suelos en función de sus características granulométricas y plasticidad, lo cual es determinante para el diseño de cimentaciones. A partir de dicha clasificación, se

establecen parámetros de capacidad portante, compresibilidad y permeabilidad, que son fundamentales en los análisis geotécnicos y estructurales.

En conclusión, el marco normativo aplicable a las cimentaciones en Colombia integra tanto regulaciones nacionales como estándares internacionales, lo que garantiza un enfoque integral en el diseño, ejecución y control de calidad. Su aplicación rigurosa permite reducir riesgos estructurales, optimizar diseños de cimentación y asegurar la sostenibilidad de las edificaciones frente a las condiciones particulares del suelo y la alta sismicidad del país.

6.5 Optimización de recursos en la selección de cimentaciones

La optimización de recursos en la construcción constituye un pilar esencial en la gestión moderna de proyectos, ya que busca alcanzar un equilibrio entre la eficiencia económica, la calidad de la obra y la seguridad estructural. Este proceso implica la evaluación comparativa de alternativas constructivas, priorizando aquellas que reducen costos directos e indirectos sin comprometer el cumplimiento normativo ni el desempeño esperado de la infraestructura.

Un elemento determinante en este proceso es la realización de estudios de suelos detallados, que permiten conocer las propiedades geotécnicas del terreno y seleccionar la tipología de cimentación más adecuada (superficial o profunda) en función de la capacidad portante, asentamientos diferenciales, nivel freático y riesgo sísmico de la zona. Una caracterización geotécnica rigurosa contribuye no solo a la seguridad de la estructura, sino también a evitar sobredimensionamientos que encarecen innecesariamente el proyecto.

Asimismo, la adopción de tecnologías constructivas y materiales innovadores favorece la optimización de recursos. Entre estas se incluyen concretos de alto desempeño,

adiciones minerales, aceros de mayor resistencia, sistemas industrializados y técnicas de prefabricación que reducen desperdicios y tiempos de ejecución. Estas innovaciones, sumadas a la implementación de herramientas digitales como BIM (Building Information Modeling) o software de gestión de costos y cronogramas, permiten simular escenarios constructivos y anticipar posibles desviaciones presupuestales.

La planificación exhaustiva del proyecto, que involucra el análisis del entorno físico, social y ambiental, así como la identificación de necesidades y restricciones, es un paso clave para garantizar la viabilidad y sostenibilidad de la obra. Esta planificación debe articularse con el diseño estructural y geotécnico, los cuales definen parámetros de seguridad, funcionalidad y durabilidad de las construcciones, tanto en infraestructura vial como en edificaciones verticales.

Por otra parte, la supervisión técnica rigurosa es indispensable para asegurar la correcta ejecución. Esta se materializa a través de pruebas de laboratorio (ensayos de resistencia de materiales, control de compactación de suelos, análisis de mezclas de concreto, entre otros), inspecciones periódicas de obra y la aplicación de protocolos de calidad establecidos en normativas como la NSR-10, las NTC e incluso normas internacionales ASTM y ACI. Dichos controles permiten verificar el cumplimiento de especificaciones, reducir riesgos de fallas estructurales y garantizar que el producto final responda a los estándares técnicos requeridos.

7. Metodología

7.1 Enfoque metodológico

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque metodológico descriptivo y aplicado, orientado a la evaluación técnica y económica de los sistemas de cimentación en función del estudio de suelos. Se busca integrar la observación en campo, la aplicación de ensayos geotécnicos, el análisis comparativo de costos y el modelado estructural, con el

fin de obtener resultados cuantificables que permitan la optimización de recursos y la toma de decisiones informadas en proyectos similares.

Este enfoque combina la recolección de información normativa y bibliográfica, el trabajo de campo en el proyecto Casa de Cultura y Administrativa de Sopetrán, Antioquia, la aplicación de herramientas de análisis estructural (SAP2000) y la comparación de presupuestos, asegurando una trazabilidad técnica y financiera en cada etapa del proceso.

7.2 Diseño metodológico

El diseño metodológico se fundamenta en la integración de métodos cualitativos y cuantitativos, donde:

- Lo cualitativo corresponde a la observación en campo, revisión documental y análisis normativo.
- Lo cuantitativo se sustenta en los ensayos geotécnicos, cálculos de capacidad portante, modelado computacional y análisis comparativos de costos.

Técnicas

Las técnicas de investigación empleadas son diversas y abarcan tanto el trabajo de campo como el análisis en laboratorio y la oficina. El proceso comienza con la observación directa y sistemática del terreno para registrar sus características in-situ. Para complementar esta observación, se realizan ensayos de laboratorio y pruebas de campo, como el SPT (Standard Penetration Test), análisis de granulometría y plasticidad, que proporcionan datos concretos sobre las propiedades del suelo. El marco teórico se refuerza con el análisis documental de normas vigentes (NSR-10, NTC, ASTM) y estudios previos relevantes. Posteriormente, la información recopilada se utiliza para el modelado estructural y geotécnico utilizando software especializado como SAP2000. Finalmente, se realiza un estudio comparativo de presupuestos y cronogramas para evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Instrumentos

Para llevar a cabo las técnicas mencionadas, se utiliza una variedad de instrumentos y herramientas de registro. La bitácora técnica digital sirve como un diario de campo detallado para documentar las actividades y observaciones diarias. El registro fotográfico de campo captura evidencia visual de las condiciones del terreno y las etapas del trabajo. Además, se emplean cronogramas comparativos de cimentación para monitorear el progreso del proyecto. Los resultados de las pruebas de laboratorio se consolidan en informes de laboratorio de suelos, que son documentos cruciales para el análisis. Finalmente, los análisis de costos y reportes de software proporcionan la base para la toma de decisiones y la planificación financiera.

La duración del estudio se proyectó en 7 fases consecutivas, que abarcan desde el diagnóstico inicial hasta la consolidación del informe final, garantizando una visión integral del impacto técnico y económico de las cimentaciones.

7.2.1 Fases metodológicas

A continuación, se puede observar de manera esquemática las fases metodológicas

Fase	Actividad principal	Herramientas	Producto esperado
Revisión bibliográfica y normativa	Análisis de documentos técnicos, estudios previos y normas aplicables (NSR-10, NTC, ASTM)	Revisión documental	Estado del arte y marco normativo
Trabajo de campo	Reconocimiento del terreno, muestreo de suelos y ensayos en campo	SPT, granulometría, límites de plasticidad, registro fotográfico	Caracterización inicial del suelo
Análisis del estudio de suelos y gestión	Procesamiento de datos geotécnicos, identificación de	Informes de laboratorio, análisis comparativo	Parámetros geotécnicos y tipo

	capacidad portante y condiciones freáticas		de cimentación recomendado
Comparación de costos	Evaluación de presupuestos de cimentaciones superficiales y profundas	Tablas de costos, cronogramas	Análisis costo-beneficio preliminar
Modelado de cimentaciones	Simulación estructural en software especializado (SAP2000)	Modelos digitales, diagramas de esfuerzos	Comportamiento de cimentaciones bajo cargas
Evaluación del impacto en presupuesto global	Estimación de variaciones en costos y plazos de ejecución	Cronogramas comparativos, análisis financiero	Informe de impacto técnico y económico
Recomendaciones e informe final	Elaboración de propuestas técnicas y de optimización	Documento final	Lineamientos técnicos y recomendaciones de sostenibilidad

Tabla 1: Fases metodológicas. Fuente: Elaboración propia

7.3 Trabajo de campo y recolección de información

El trabajo de campo se desarrolló en el área del proyecto Casa de Cultura y Administrativa de Sopetrán, Antioquia, constituyéndose como un componente esencial para la caracterización geotécnica y la validación de información. Durante este proceso, se aplicaron las siguientes actividades:

- **Reconocimiento del terreno:** identificación de la topografía, características geomorfológicas y condiciones del subsuelo.
- **Definición de puntos de muestreo:** selección estratégica para garantizar representatividad del área de cimentación.
- **Toma de muestras de suelo:** recolección de muestras alteradas e inalteradas, cumpliendo con protocolos normativos.

- **Ejecución de ensayos geotécnicos en campo:** penetración estándar (SPT), análisis granulométrico y determinación de límites de plasticidad.

El registro de actividades se presenta en la siguiente tabla:

Semana	Actividad de campo	Instrumento	Resultado
Semana 1	Reconocimiento inicial y levantamiento topográfico	Observación directa, registro fotográfico	Identificación de condiciones generales del terreno
Semana 2	Definición de puntos de muestreo	Plano de ubicación, bitácora	Localización de puntos críticos para muestreo
Semana 3	Extracción de muestras y ensayos SPT	Equipo SPT, protocolos de muestreo	Obtención de datos preliminares de capacidad portante
Semana 4	Ensayos de laboratorio (granulometría, plasticidad)	Laboratorio geotécnico	Caracterización detallada del suelo
Semana 5	Análisis preliminar de cimentación aplicable	Resultados de laboratorio, observación en campo	Identificación del sistema de cimentación probable

Tabla 2: Registro de actividades de campo. Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de las seis semanas permitió caracterizar de manera integral las condiciones del terreno y obtener parámetros geotécnicos confiables para la selección del sistema de cimentación más adecuado. El reconocimiento inicial y la definición de puntos de muestreo facilitaron la identificación de zonas críticas, mientras que la extracción de muestras y los ensayos SPT aportaron información preliminar sobre la capacidad

portante del suelo. Posteriormente, los análisis de laboratorio brindaron una caracterización detallada de su comportamiento mecánico, complementando los datos de campo. Finalmente, el análisis integrado de resultados permitió identificar la cimentación más probable y comprobar la utilidad de la metodología aplicada, favoreciendo la toma de decisiones técnicas y la optimización de recursos para el proyecto.

8. Análisis de resultados

Se alcanzó un análisis detallado y comparativo del impacto económico y técnico de los distintos sistemas de cimentación aplicables en proyectos de construcción, tomando como caso de estudio la Casa de Cultura y Administrativa del municipio de Sopetrán, Antioquia. A partir de la caracterización del suelo mediante ensayos geotécnicos (SPT, límites de plasticidad, granulometría y ensayos de rotación), se determinó la cimentación más adecuada según las condiciones específicas del terreno y los requerimientos financieros del proyecto. Este proceso permitió definir criterios objetivos para la selección de cimentaciones en proyectos con contextos geotécnicos similares.

En el desarrollo del estudio se logró un análisis detallado y comparativo del impacto económico y técnico de los distintos tipos de cimentación aplicables en proyectos de construcción, tomando como caso de referencia la Casa de Cultura y Administrativa del municipio de Sopetrán, Antioquia.

La caracterización del suelo se realizó a partir de ensayos geotécnicos como el SPT (Standard Penetration Test), los límites de plasticidad, la granulometría y los ensayos de rotación, lo cual permitió determinar la capacidad portante, las condiciones de humedad y el nivel freático del terreno. Con estos resultados se identificó la cimentación más adecuada según los requerimientos técnicos y financieros del proyecto.

A continuación, se muestra gráficamente los resultados del ensayo de SPT realizado en cada una de las perforaciones ejecutadas en el lote de estudio, en donde se puede observar generalmente que a medida que se avanza en profundidad se alcanzan resistencias a la penetración mayores

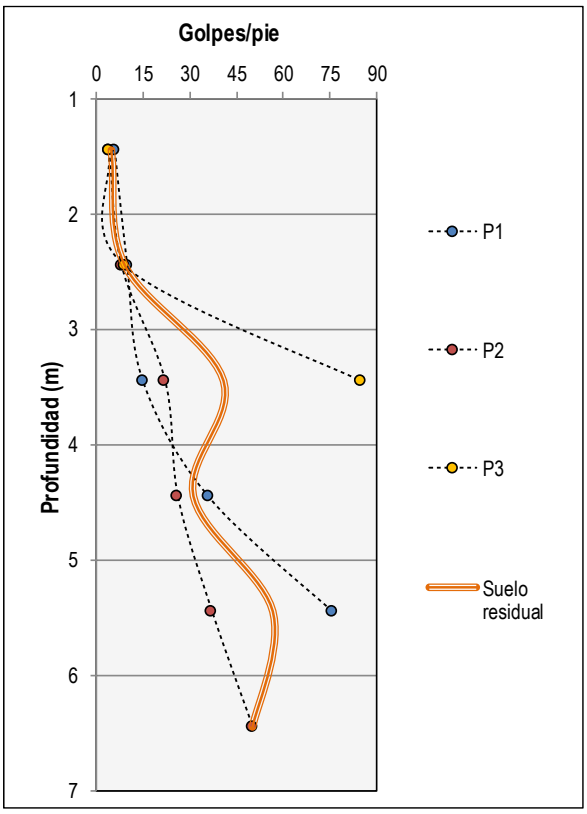

Ilustración 5: Resultados de ensayo SPT

Con el fin de realizar los ensayos necesarios para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales explorados en el tramo de vía, las muestras obtenidas durante la exploración fueron debidamente referenciadas, empacadas y transportadas al laboratorio de suelos, en donde fueron descritas desde el punto de vista geológico y geotécnico, de acuerdo a sus propiedades tales como, forma, color, humedad, consistencia, entre otros, mediante un examen visual, con base a la norma INV. E -102.

A todas las muestras recuperadas se les determinó su contenido de humedad y se eligieron las muestras más representativas de los materiales explorados para realizarles ensayos de granulometría y límites de consistencia, con el fin de obtener su clasificación de acuerdo con el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (USCS) Y AASHTO,

En la siguiente tabla se presentan los ensayos realizados sobre las muestras seleccionadas para su caracterización.

Tabla 3: Tipos de ensayos

Tipo de ensayo	Norma INV	Cantidad
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo	INV – E – 122 – 13	22
Determinación del límite líquido de los suelos	INV – E – 125 – 13	22
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	INV – E – 126 – 13	22
Análisis granulométrico de suelos por tamizado	INV – E – 123 – 13	22

Se evidencia un comportamiento de la humedad variable a lo largo de las perforaciones, el cual se concentra en promedio de 16%. Los valores de humedad fueron determinados bajo los procedimientos descritos en la norma de ensayo INV E -122 -13: “Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo – agregado”.

En la siguiente grafica se observan las curvas granulométricas obtenidas a partir de las muestras ensayadas bajo la norma INV. E – 123 – 13: “Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos”. Los materiales descritos como suelo residual presentan variaciones en el tamaño de sus partículas, donde generalmente predominan las partículas gruesas a medias, aunque la proporción puede variar dependiendo de la roca madre y el grado de meteorización. El porcentaje que pasa la malla No.200 suele ser menor al 50%, pero puede variar significativamente. Para proceder a clasificar el suelo es necesario realizar tanto el análisis granulométrico como los límites de Atterberg, y luego utilizar el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

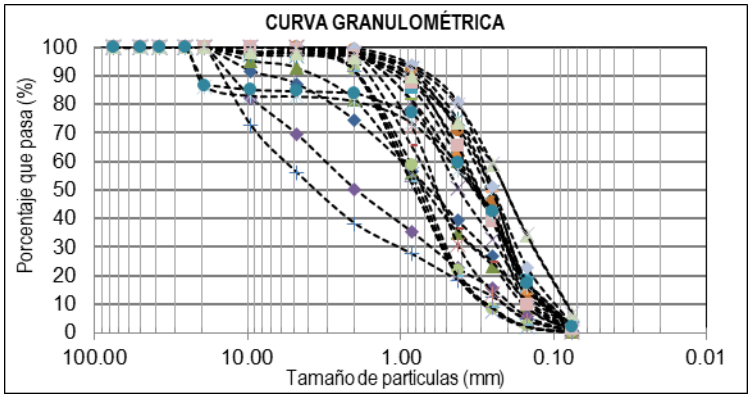

Ilustración 6: Curvas granulométricas de las muestras ensayadas

Los ensayos de plasticidad son ejecutados sobre la fracción pasante de la malla No.40 de las muestras, según los procedimientos que se muestran en las normas de ensayo INV. E – 125 – 13: “Determinación del Límite Líquido de los Suelos” e INV. E – 126 – 13: “Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos”. Como se observa en la imagen”. A partir de esto se establece que las muestras están distribuidas antes de la línea del 50 % de LL, y todas las muestras está por debajo de la línea A clasificándolas como limos.

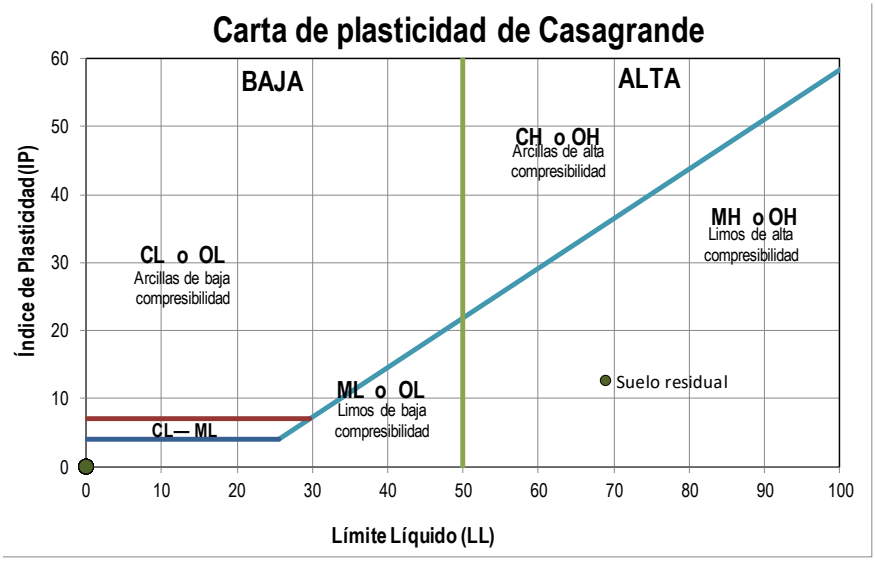

Ilustración 7: Carta de plasticidad de Casagrande

En la fase de planeación y ejecución de un proyecto de construcción, uno de los aspectos más relevantes desde la perspectiva técnico-financiera es la adecuada estimación y control de costos asociados a las cimentaciones. Este rubro, a pesar de encontrarse en la etapa inicial de la obra, concentra un nivel considerable de recursos y su impacto puede extenderse a todas las demás actividades constructivas.

Con el fin de dimensionar dicho impacto, se desarrolló un modelo comparativo de costos en el cual se analizaron dos escenarios diferenciados:

- Escenario 1: Con cimentaciones, que corresponde al presupuesto completo del proyecto, incluyendo excavaciones, concretos, aceros de refuerzo y demás actividades relacionadas con la construcción de la infraestructura de soporte estructural.
- Escenario 2: Sin cimentaciones, que corresponde a un presupuesto hipotético en el cual se excluyen todos los ítems asociados a cimentaciones, manteniendo únicamente el resto de las actividades de obra.

Este ejercicio permite no solo identificar el peso relativo de las cimentaciones dentro del presupuesto global, sino también comprender las posibles variaciones de costo y los riesgos financieros asociados a su ejecución.

8.1 Resultados de la comparación.

En la Tabla X se presentan los resultados comparativos de ambos escenarios. Se evidencia que la inclusión de las cimentaciones genera un sobrecosto de $868.509.183,44 COP, equivalente a un 16,87% del valor base del proyecto (sin cimentaciones) y a un 14,44% del valor total del proyecto.

Tabla 4: Comparativa

Concepto	Con cimentaciones (COP)	Sin cimentaciones (COP)	Diferencia (Con - Sin)	% vs. Sin
Costos directos	$ 4.010.106.999,59	$ 3.367.005.049,62	$ 643.101.949,97	19.10%
Costos indirectos (30% Adm +	$ 1.405.542.503,36	$ 1.180.135.269,89	$ 225.407.233,47	19.10%
PMA, Social y SST	$ 59.103.612,00	$ 59.103.612,00	$ 0,00	0.00%
PMT	$ 51.290.606,00	$ 51.290.606,00	$ 0,00	0.00%
Primas de garantías	$ 46.692.514,00	$ 46.692.514,00	$ 0,00	0.00%
Valor total obra	$ 5.572.736.234,95	$ 4.704.227.051,51	$ 868.509.183,44	18.46%
Interventoría (valor usado)	$ 443.952.756,00	$ 443.952.756,00	$ 0,00	0.00%
VALOR TOTAL PROYECTO	$ 6.016.688.990,95	$ 5.148.179.807,51	$ 868.509.183,44	16.87%
Participación de cimentaciones sobre el total con cimentación				14.44%
Sobrecosto relativo de cimentaciones vs. base sin cimentación				16.87%

8.2 Análisis técnico-financiero

El análisis permite extraer varias conclusiones de carácter técnico y financiero:

1. Incidencia presupuestal significativa: Las cimentaciones representan una fracción sustancial del presupuesto. Invertir cerca de $868 millones adicionales para este rubro implica que uno de cada seis pesos del proyecto depende directamente de la calidad del diseño y ejecución de cimentaciones.
2. Relevancia en el control de obra: Dado que las cimentaciones son invisibles en la fase final de la construcción, muchas veces su importancia es subestimada. Sin embargo, este análisis evidencia que se trata de un rubro crítico cuyo mal desempeño puede comprometer tanto la estabilidad estructural como la viabilidad financiera del proyecto.
3. Gestión del riesgo: La magnitud del valor asociado a cimentaciones implica que cualquier desviación en rendimientos, variación de precios de materiales o condiciones imprevistas del suelo puede generar sobrecostos adicionales superiores al 20%. Por ello, se recomienda destinar una provisión mínima de contingencia del 10% sobre cimentaciones.

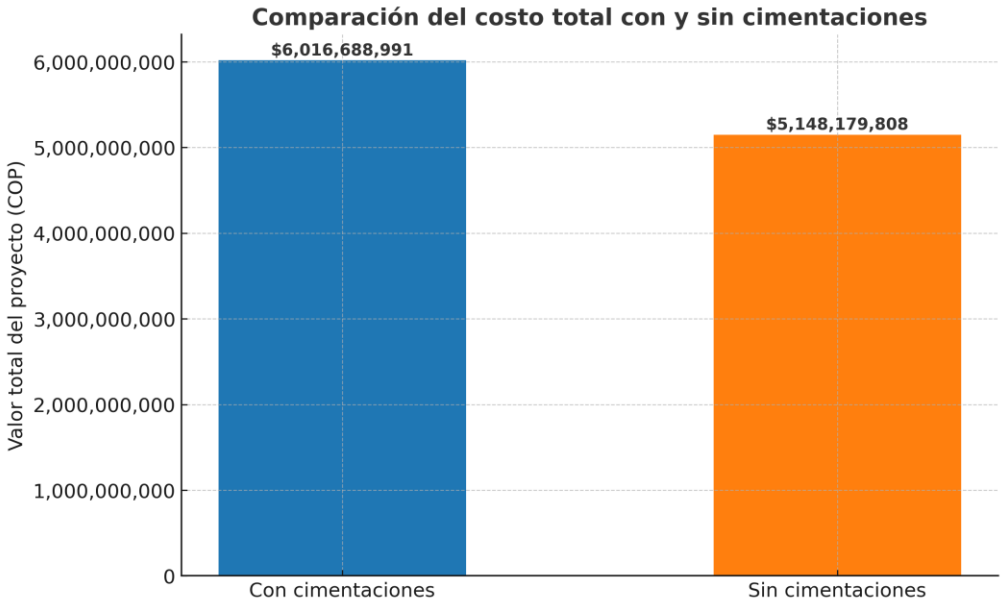

Ilustración 8: comparación de costos

La Figura X muestra de manera comparativa el valor total del proyecto en los dos escenarios analizados: con y sin cimentaciones. Se observa que el presupuesto con cimentaciones asciende a $6.016.688.990,95 COP, mientras que el escenario sin cimentaciones alcanza $5.148.179.807,51 COP, evidenciando una diferencia significativa de $868.509.183,44 COP. Esta diferencia, equivalente al 16,87% del costo base del proyecto, permite concluir que las cimentaciones representan un rubro de alta incidencia dentro del presupuesto global. La visualización en barras refuerza el análisis numérico, mostrando con claridad cómo la inclusión de cimentaciones eleva sustancialmente el valor del proyecto, lo que hace imprescindible un control riguroso en su diseño, planificación y ejecución.

8.3 Análisis de sensibilidad

Con el propósito de estimar el efecto de variaciones en los costos de cimentaciones, se modeló un análisis de sensibilidad considerando incrementos y reducciones del 10% y 20% sobre el valor base.

Los resultados muestran que:

- Una disminución del 10% en cimentaciones reduciría el valor total del proyecto en $86,85 millones, mientras que una reducción del 20% generaría un ahorro aproximado de $173,70 millones.
- Por el contrario, un incremento del 10% en cimentaciones elevaría el presupuesto en $86,85 millones adicionales, y un incremento del 20% supondría un sobrecosto de $173,70 millones respecto al escenario base.

Este análisis evidencia la alta sensibilidad del proyecto frente a variaciones en cimentaciones, lo cual refuerza la necesidad de contar con un diseño geotécnico detallado, estudios de suelo confiables y un plan de control de calidad en la ejecución. En la siguiente grafica podemos observar a mayor detalle el análisis.

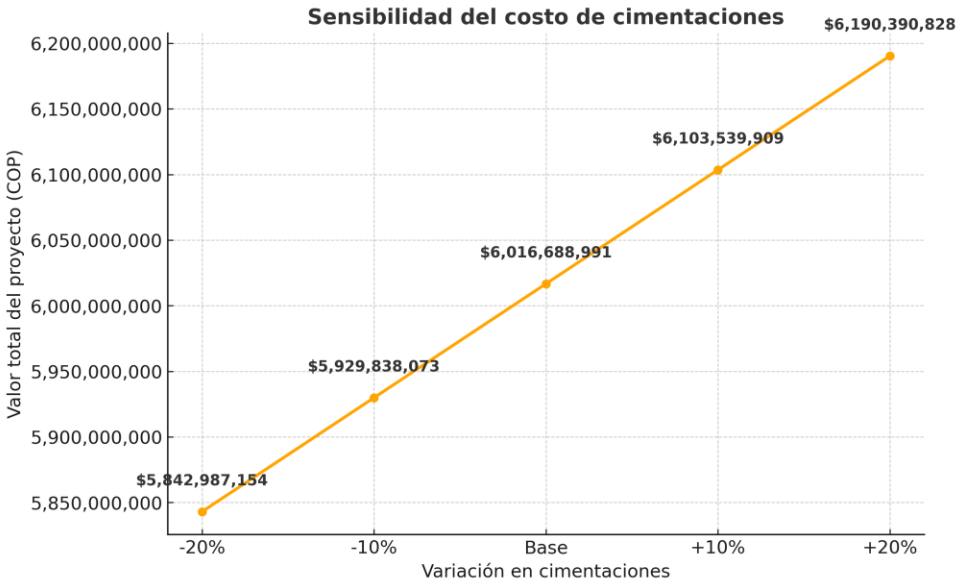

Ilustración 9: Sensibilidad y variación de costos

Los resultados obtenidos reflejan que el componente de cimentaciones no solo es estructuralmente indispensable, sino también financieramente determinante dentro del desarrollo del proyecto. Su peso en el presupuesto global demanda una planeación estratégica cuidadosa, en la cual las actividades relacionadas con excavaciones, vaciados de concreto y colocación de acero de refuerzo se integren en un cronograma

detallado que reduzca al máximo las interferencias con otras fases de obra y asegure la disponibilidad oportuna de los recursos.

Desde la perspectiva técnica, las cimentaciones constituyen un rubro altamente sensible que requiere controles permanentes en cada etapa de su ejecución. El estricto seguimiento de procesos como la excavación, el vaciado y el refuerzo no solo garantiza la estabilidad estructural, sino que además previene sobrecostos derivados de reprocesos o fallas en la calidad. En este sentido, la interventoría juega un papel fundamental al establecer mecanismos de inspección continua y asegurar el cumplimiento de las especificaciones de diseño.

En el plano financiero, se confirma que las cimentaciones son un rubro vulnerable a las variaciones del mercado, particularmente en lo que respecta al precio del acero, del concreto premezclado y de los costos de transporte de material. Este comportamiento obliga a las entidades ejecutoras a prever escenarios de ajuste presupuestal desde la etapa de planeación, destinando provisiones específicas de contingencia que permitan absorber estas variaciones sin comprometer la continuidad del proyecto.

De acuerdo con los resultados del análisis comparativo, se concluye que las cimentaciones representan un sobrecosto relativo del 16,87% respecto al escenario sin cimentaciones, lo que evidencia su impacto decisivo en la viabilidad económica del proyecto. Asimismo, su participación equivalente al 14,44% del presupuesto total obliga a implementar mecanismos de control riguroso en materia de calidad, costos y cronograma.

El análisis de sensibilidad, por su parte, muestra que variaciones moderadas en este rubro, incluso del orden de ±10%, generan repercusiones significativas en el presupuesto global. Este hallazgo confirma que las cimentaciones deben ser tratadas como un factor de alto riesgo económico y técnico, cuya adecuada gestión resulta fundamental para el éxito del proyecto.

En consecuencia, la incorporación de provisiones de contingencia, junto con una interventoría especializada en geotecnia y estructuras, se convierte en una estrategia esencial para mitigar riesgos y garantizar la sostenibilidad tanto financiera como técnica

del proyecto. De esta manera, se asegura no solo la estabilidad de la obra en su fase de construcción, sino también la confiabilidad de su desempeño a lo largo de su vida útil.

9. Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

- ✓ El análisis comparativo entre los escenarios con y sin cimentaciones permitió evidenciar que este componente representa un sobrecosto relativo del 16,87% frente al valor base del proyecto, confirmando su papel determinante en la viabilidad económica y financiera de la obra.

- ✓ Se identificó que las cimentaciones constituyen aproximadamente el 14,44% del presupuesto total, lo que obliga a considerarlas como un rubro crítico dentro de la planeación presupuestal y del control de obra.

- ✓ El estudio de sensibilidad demostró que variaciones moderadas de ±10% en los costos de cimentaciones generan impactos significativos en el valor global del proyecto, lo que ratifica la importancia de establecer mecanismos de gestión de riesgos y provisiones financieras específicas para este rubro.

- ✓ La cimentación no solo es estructuralmente indispensable, sino también un factor financiero de alto impacto, por lo que su adecuada planificación, ejecución y supervisión resulta esencial para garantizar la estabilidad técnica y económica del proyecto.

- ✓ Se concluye que el análisis comparativo constituye una herramienta eficaz para la toma de decisiones, ya que proporciona evidencia objetiva sobre la relevancia de las cimentaciones y permite anticipar escenarios de sobrecostos o ajustes presupuestales.

9.2 Recomendaciones

- ✓ Implementar un plan de control técnico especializado durante la ejecución de cimentaciones, que contemple inspecciones permanentes en excavaciones, vaciados de concreto y colocación de refuerzo, con el fin de minimizar riesgos de reprocesos y sobrecostos.

- ✓ Establecer un protocolo financiero de contingencias, destinando al menos un 10% del valor de las cimentaciones como provisión para atender posibles variaciones en precios de materiales, condiciones del suelo o imprevistos de obra.

- ✓ Unificar el criterio de cálculo de la interventoría, definiendo si se tratará como porcentaje del valor total de obra o como valor fijo, con el fin de evitar inconsistencias en la estructuración presupuestal y asegurar mayor transparencia en los informes.

- ✓ Adoptar el uso de modelos comparativos de costos como herramienta de planeación en futuros proyectos, ya que permiten anticipar la magnitud de rubros críticos como cimentaciones y facilitan la toma de decisiones informadas en etapas tempranas.

- ✓ Promover la integración entre los equipos de diseño geotécnico, estructural y administrativo, de manera que las decisiones sobre cimentaciones no se limiten al aspecto técnico, sino que también consideren su incidencia económica en la sostenibilidad del proyecto.

10..Referencias

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Norma Sismo Resistente NSR-10*. Colombia.
- Bowles, J. E. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. McGraw-Hill.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2012). *Normas Técnicas Colombianas (NTC) aplicadas a estudios geotécnicos y cimentaciones*.

11. Anexos

11.1 Anexo A. Informe Geotécnico

Anexo A1. PDF: “Informe geotécnico CENTRO CULTURAL.”

12.2 Anexo B. Presupuesto

Anexo B1 .xlsx:” PRESUPUESTO CASA CULTURA”