



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA ECONÓMICA DEL USO DE ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS EN
EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE CATEGORÍA UNIDAD DE
CONSTRUCCIÓN BAJA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Bryan Wladimir Barahona Jiménez
Marco Augusto Quezada Medina
TUTOR: Freddy Israel Rodríguez Badillo

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryan Wladimir Barahona Jiménez con documento de identificación N° 2000093811 y Marco Augusto Quezada Medina con documento de identificación N° 1752123198; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 11 de agosto del 2023

Atentamente,



Bryan Wladimir Barahona Jiménez
2000093811



Marco Augusto Quezada Medina
1752123198

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Bryan Wladimir Barahona Jiménez con documento de identificación N° 2000093811 y Marco Augusto Quezada Medina con documento de identificación N° 1752123198; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Influencia económica del uso de Estudios de Mecánica de Suelos en el diseño Estructural de Edificaciones de categoría Unidad de Construcción Baja”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de agosto del 2023

Atentamente,



Bryan Wladimir Barahona Jiménez
2000093811



Marco Augusto Quezada Medina
1752123198

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Freddy Israel Rodríguez Badillo con documento de identificación N° 1720094026, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: INFLUENCIA ECONÓMICA DEL USO DE ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE CATEGORÍA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN BAJA, realizado por Bryan Wladimir Barahona Jiménez con documento de identificación N° 2000093811 y por Marco Augusto Quezada Medina con documento de identificación N° 1752123198, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Freddy Israel Rodríguez Badillo, MSc.

1720094026

INFLUENCIA ECONÓMICA DEL USO DE ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE CATEGORÍA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN BAJA

ECONOMIC INFLUENCE OF THE USE OF SOIL MECHANICS STUDIES IN THE STRUCTURAL DESIGN OF BUILDINGS OF LOW CONSTRUCTION UNIT CATEGORY

Bryan Barahona-Jimenez¹, Marco Quezada-Medina²

Resumen

El análisis de este artículo recalca la importancia de considerar el estudio de la mecánica de suelos como parte integral del proceso de diseño y construcción de viviendas de dos niveles. Al hacerlo se garantiza la seguridad estructural y además se optimiza los recursos económicos, el principal objetivo es determinar la influencia económica del uso de los estudios de mecánica de suelos. La información proporcionada por estos permite evaluar el comportamiento del suelo y su respuesta ante las fuerzas sísmicas lo que influye directamente en el diseño de cimentaciones y estructural de edificaciones. Para los datos se consideró tres estudios de mecánica de suelos y un dato de suelo asumido (q_a , k_s y perfil sísmico del suelo). Por lo tanto, mediante la geometría arquitectónica de la estructura se procedió a pre diseñar en base a las cargas mayoradas, con la finalidad de obtener las dimensiones de los elementos estructurales. Se empleó el software computacional ETABS para la modelación de la estructura y así obtener los momentos, cortantes y axiales nominales en los elementos, con los cuales se diseñó el acero de refuerzo y acero transversal para el confinamiento de los elementos como vigas y columnas. Se compararon las dimensiones estructurales en zapatas de los cuatro diseños y se determinó un sobredimensionamiento mediante el

Abstract

The analysis of this article emphasizes the importance of considering the study of soil mechanics as an integral part of the process of designing and building two-story houses. In doing so, structural safety is guaranteed and economic resources are also optimized, the main objective is to determine the economic influence of the use of soil mechanics studies. The information provided by these allows evaluating the behavior of the soil and its response to seismic forces, which directly influences the design of foundations and structures of buildings. For the data, three soil mechanics studies and an assumed soil datum (q_a , k_s and seismic profile of the soil) were observed. Therefore, through the architectural geometry of the structure, we proceeded to design previously based on factored loads, in order to obtain the dimensions of the structural elements. The ETABS computer software was used to model the structure and thus obtain the nominal shear and axial moments in the elements, with which the reinforcing steel and transversal steel were drawn up for the confinement of the elements such as beams and columns. The structural dimensions in footings of the four designs are compared and an oversizing is extended through the analysis of work volumes. The budget was made extremely in the items of the Chamber of the Construction Industry (CAMICON), with which the

¹Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

²Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

Autor para correspondencia: bbarahonaj@est.ups.edu.ec, mquezadam1@est.ups.edu.ec

análisis de volúmenes de obra. Se realizó el presupuesto basándose en los rubros de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), con lo cual se obtiene como resultado el porcentaje de la variación en los costos para las cuatro edificaciones (obra gris) y valorar la influencia económica para futuros proyectos de estructuras de categoría de unidad de construcción baja.

Palabras Clave: q_a (capacidad de carga admisible del suelo), k_s (módulo de reacción de subrasante), perfil sísmico del suelo, sobredimensionamiento, influencia económica.

percentage of the variation in costs for the four buildings (gray work) is obtained as a result and to evaluate the economic influence for future projects of low building unit category structures.

Keywords: q_a (allowable bearing capacity of soil), k_s (modulus of subgrade reaction), seismic profile of soil, oversizing, economic influence.

1. Introducción

Según el Instituto Geofísico (EPN) y el Servicio Geológico Norteamericano(USGS), Ecuador tiene un gran riesgo sísmico, debido a su ubicación geográfica el país presenta una gran actividad entre placas tectónicas[1][2], por lo que la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15) exige medidas mínimas de diseño para evitar que todo tipo de construcción colapse, manteniendo la filosofía de diseño sismo resistente[3]. La arquitectura es el arte y la técnica de diseñar edificios y espacios, centrándose en el diseño, creación, mejora y distribución de áreas físicas que satisfagan las necesidades de sus clientes[4]. A partir del diseño arquitectónico se realizó el diseño estructural, donde es necesario usar los estudios de mecánica de suelos para la determinación de parámetros fundamentales:

- γ: Peso específico del suelo.
- c: Cohesión del suelo.
- Ø: Ángulo de fricción.
- ν: Coeficiente de Poisson.

En Ecuador, tradicionalmente cuando se construye una estructura de categoría baja menor a 2 niveles, el estudio de mecánica de suelos no es un requisito para obtener los permisos de construcción de una vivienda, por consiguiente, en el análisis estructural normalmente se asumen parámetros de mecánica de suelos y se diseña una edificación sobre o subdimensionada.

2. Materiales y Métodos

2.1. Estudios de mecánica de suelos

El informe tiene como objetivo proporcionar los datos geográficos y geológicos recopilados del área de estudio, así como los resultados de los análisis de muestras de suelo obtenidas en diferentes puntos estratégicos y profundidades [5].

2.1.1. Parámetros resistentes del suelo

Los datos obtenidos de los ensayos de mecánica de suelos de los tres tipos de estratos (rígido, intermedio-rígido y blando) incluyen la resistencia a la compresión, ángulo de fricción, cohesión y coeficiente de poisson; datos esenciales para el análisis geotécnico y del diseño estructural de cimentaciones.

Estos datos proporcionan información esencial sobre cómo el suelo se comporta bajo diversas cargas, lo que permitió asegurar la estabilidad y seguridad de las edificaciones.

A partir de ensayos recopilados de mecánica de suelos y cálculos realizados, se consideró para la modelación las siguientes características las que se detallan:

Tabla 1. Parámetros considerados del suelo.

Parámetros	Suelo Rígido	Suelo Intermedio	Suelo Blando
Peso específico (Ton/m ³)	1.72	1.85	1.85
Cohesión (kg/cm ²)	0.30	0.30	0.05
Ángulo de fricción (Ø) (°)	9	9	13
Coeficiente de Poisson (ν)	0.30	0.35	0.40

Se determinó la clasificación SUCS en base del tamaño de las partículas y la plasticidad del suelo. La humedad presente está en relación con el peso seco del suelo y se expresa en forma de porcentaje.

Tabla 2. Clasificación SUCS.

Tipo de Suelo	Clasificación SUCS	Porcentaje de Humedad (%w)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)
Rígido	SM	17.3	30	24
Intermedio – Rígido	ML	11.7	27	24
Blando	SM	26.1	NP	NP

2.1.2. Perfil litológico del suelo

Es un gráfico que ilustra la distintas capas o estratos del suelo, junto con las características geológicas y litológicas de cada una. Esta representación gráfica es fundamental para comprender la composición y estructura del suelo en un lugar determinado. Este perfil se obtiene mediante la realización de perforaciones o sondeos en el terreno, durante los cuales se toman muestras del suelo a diversas profundidades.

A continuación, se presentan los perfiles litológicos para los tres estudios de mecánica de suelos recopilados.

Tabla 3. Perfil litológico – Suelo Blando.

Prof (m)	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
0.0 0		
1.0 0		Arcilla de alta plasticidad color café claro con arena de pintas color café rojizo. Últimos 16 cm, cambia a arena limosa de baja plasticidad.
2.0 0		Arena limosa de baja plasticidad.
3.0 0		Tubo Shelby
4.0 0		Hasta 3.3 m arena limosa de baja plasticidad. 30 cm de arena con un poco de limo color café con manchas rojizas indicando presencia de hierro. Últimos 20 cm de arena color gris oscuro.
5.0 0		Arena color gris saturada no plástica
6.0 0		

Tabla 4. Perfil litológico – Suelo Rígido.

Prof (m)	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
0.00		
1.00		Limo de baja plasticidad con poca humedad, color café claro de consistencia dura.
2.00		Arena limosa sin plasticidad con poca humedad, color café claro de consistencia muy dura. A 1.50 m. Rechazo Nspt > 50.

Tabla 5. Perfil litológico – Suelo Intermedio

Prof (m)	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
0.00		
1.00		Limo de baja plasticidad con poca humedad, color café claro de consistencia dura a muy dura. A los 1.50 existe rechazo Nspt > 50.

Corrección por número de golpes – Ensayo SPT

Se cuenta la cantidad de golpes requeridos para que penetre el suelo hasta una profundidad determinada. Este ensayo utiliza un martillo con una masa y altura estandarizadas que cae desde una altura fija para realizar la penetración.

Se procedió a realizar la respectiva corrección para cada tipo de suelo asumiendo que cuando exista más de 50 golpes se rechaza y el ultimo valor se repite hasta los 30 m.

Tabla 6. Corrección por número de golpes en ensayo SPT.

Tipo de suelo	N SPT	N1 (60)	Tipo de perfil de suelo
Rígido	50	67	C
Intermedio	50	67	C
Blando	10	14	E

2.1.3. Perfiles sísmicos del suelo y factores de sitio

Los perfiles de suelos previamente obtenidos a partir de ensayos de la mecánica de suelos son fundamentales para clasificar los diferentes tipos de estratos. La clasificación de estos, son esenciales en el diseño geotécnico y sísmico, puesto que cada tipo de suelo tiene propiedades y comportamientos diferentes ante las cargas y las fuerzas sísmicas[3].

Fa: Factor aumenta el espectro de aceleración de respuesta elástica para el diseño en terreno rocoso, considerando el efecto del sitio.

Fd: Amplifica el espectro elástico de respuesta en el desplazamiento para el diseño en suelos rocosos, considerando el efecto del sitio.

Fs: Consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la disminución del período de respuesta en función de la intensidad y el contenido de frecuencia del evento sísmico, así como las modificaciones relativas del suelo en los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

I: Coeficiente de importancia [3], el cual se estableció que era una estructura para vivienda, por lo que es 1.

Øp: El coeficiente estructural [3], se consideró en cuenta al retroceso en la esquina (A1), por lo que el 15% de la longitud horizontal es menor a la distancia donde existe esta irregularidad, entonces este coeficiente es 0.9.

Øe: El coeficiente de regularidad en elevación [3], se identificó que no cumple con ningún tipo de irregularidad que se menciona en la normativa NEC 15, entonces este valor es 1.

R: Factor de reducción de las fuerzas sísmicas de diseño [3], este parámetro toma en cuenta la tipología estructural y en este caso se contempló vigas, esto significa que su valor es 5.

Tabla 7. Parámetros usados en el espectro de diseño elástico.

Parámetros	Suelo Rígido	Suelo Intermedio	Suelo Blando
Perfil	C	C	E
Z	0.4	0.4	0.4
Fa	1.2	1.2	1
Fd	1.11	1.11	1.6
Fs	1.11	1.11	1.9
η	2.48	2.48	2.48
r	1	1	1
I	1	1	1
øp	0.9	0.9	0.9
øe	1	1	1
R	5	5	5

2.1.4. Capacidad de carga admisible del suelo (qa)

Se refiere a la máxima carga que puede soportar el suelo por unidad de área sin que se produzcan asentamientos excesivos o fallas estructurales[6].

$$\begin{aligned}
 qu = & (c * Nc * Fcs * Fci * Fcd) \\
 & + (q * Nq * Fqs * Fqd * Fqi) \\
 & + (0.5 * \gamma * B * N\gamma * F\gamma s * F\gamma d * F\gamma i)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$qa = \frac{qu}{FS}
 \tag{2}$$

qu: Capacidad de carga última.

qa: Capacidad de carga admisible.

Nc, Nq, Nγ: Factores de capacidad de carga para el ángulo de fricción.

Fcs, Fqs, Fγs: Factores de forma.

Fcd, Fqd, Fγd: Factores de profundidad.

Fci, Fqi, Fγi: Factores de inclinación.

B: Base de la estructura.

γ: Peso específico del suelo.

FS: Factor de seguridad para sismos (estático = 1.5 y sísmico = 3).

2.1.5. Módulo de reacción de subrasante (ks)

El propósito de este parámetro es reemplazar una masa de suelo por resortes flexibles equivalentes usando una constante ks que representa la rigidez del suelo en unidades de

fuerza por unidad de área por cada metro lineal[7]. Esta es en realidad una conveniencia matemática que permite el cálculo de tensiones y deformaciones en la interfase estructura-suelo. Esto se debe a que las deformaciones se realizan en proporción directa. al esfuerzo aplicado.

$$k = \frac{\sigma}{Se} \quad (3)$$

σ : Esfuerzo normal (T/m²).
 Se : Asentamiento elástico (m).

Tabla 8. Valores obtenidos para el diseño de cimentaciones.

Tipo de suelo	Perfil del suelo	Dimensión de la base de la cimentación (m)	Módulo de reacción de subrasante (ks) (Ton/m ² /m)	Capacidad de carga admisible (qa) (Ton/m ²)
Rígido	C	1	2198	18
		1.25	1758	18
		1.4	1570	18
Intermedio	C	1	2279	16
		1.35	1688	16
		1.4	1628	16
Blando	E	1.3	1832	7
		1.75	1361	7
		2.2	1082	7
Datos conservadores	E	1.3	-	10
		1.75	-	10
		2.2	-	10

2.2. Geometría arquitectónica

La arquitectura es el campo que involucra el diseño y la construcción de edificaciones y espacios habitables destinados a satisfacer las necesidades humanas, basándose en criterios arquitectónicos como la entrada de la luz, espacios requeridos para decoración o luces necesarias entre ejes, se adoptó una geometría preestablecida.

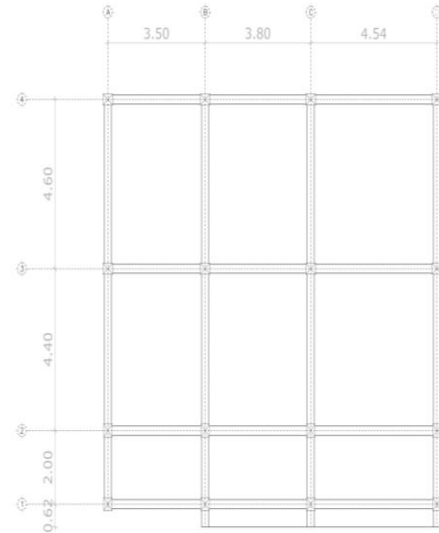


Figura 1. Geometría adaptada para diseño.

2.3. Prediseño de elementos estructurales

Corresponde a la primera aproximación de las dimensiones y características de los elementos que constituirán dicha estructura.

2.3.1. Cargas de diseño

En la normativa NEC 15 es clara en cuanto a la definición de las cargas vivas requeridas para el diseño estructural, considerando factores como el uso de los diferentes espacios. Estas cargas se adaptan a cada área de la edificación, garantizando un enfoque adecuado para asegurar la seguridad y estabilidad de la construcción. En la terraza se trata de una losa inaccesible, las condiciones de uso cambian es por esa razón que la carga viva es diferente. La sobrecarga muerta se refiere al peso propio de los elementos, los cuales son combinados en una sola carga. A continuación, se detallan por planta:

Tabla 9. Cargas empleadas en la estructura.

Planta	Sobrecarga muerta (T/m ²)	Carga viva (T/m ²)	Uso
1	0.32	0.2	Vivienda
2	0.32	0.1	Vivienda

2.3.2. Zapatas aisladas

Se prediseñó empleando el método de Meyerhoff en base al diagrama de carga admisible axial vs Base (B).

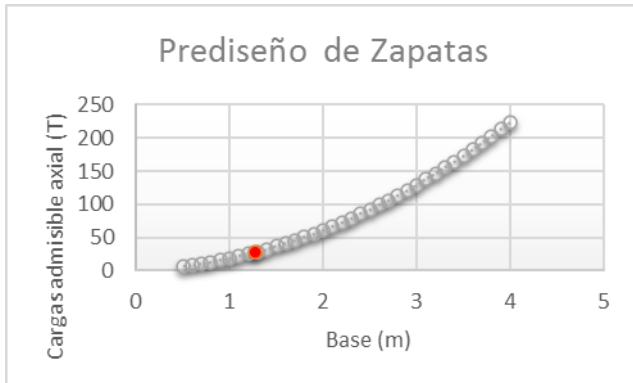


Figura 2. Prediseño de zapatas aisladas.

2.3.3. Columnas

Se realizó usando las áreas cooperantes, teniendo en cuenta las cargas de servicio, viva y muerta, así como el número de pisos y el tipo de columna según su posición (esquina, borde o central). Se consideró que las columnas trabajan combinadas, compartiendo la carga de manera uniforme cuando la excentricidad es cero.

2.3.4. Vigas

Se realizó un prediseño basado en los anchos colaborantes, teniendo en cuenta la distribución de cargas mayoradas. Se consideró que la losa y la viga trabajan en conjunto como una sección combinada, lo que implicó el uso de vigas bandas con la altura igual a la de las losas. Para el ancho de las vigas banda, es de 30 cm, mayor de la altura para aumentar su capacidad de carga y resistencia.

2.3.5. Losas de entrepiso

Se determinó el espesor inicial del elemento basándose en la tabla de la normativa, la cual proporciona diferentes condiciones para estimar este valor. Además, se tuvieron en cuenta las cargas mayoradas que el elemento debe soportar y

se consideraron las restricciones estructurales pertinentes. Para las losas se usó:

$$h_{min} = \frac{L}{28} \quad (4)$$

h_{min} : espesor mínimo de la losa, para apoyo en ambos extremos.

L: Longitud entre ejes de la sección analizada.

Este valor de altura mínima es considerado para una losa maciza la cual, por medio de cambio de dimensiones, elementos aligerantes y además de su capacidad se determina la losa aligerada.

A continuación, se presentan las distancias entre ejes y dimensiones asumidas:

Tabla 10. Dimensiones de los elementos estructurales.

Elementos	Dimensiones
Vigas en sentido X	30 x 25cm
Vigas en sentido Y	30 x 25cm
Columnas	30 x 35cm
	35 x 30cm
Espesor de losa alivianada	25 cm

2.4. Análisis estructural

Dentro del análisis estructural, se llevó a cabo el cálculo de las fuerzas internas de la estructura [8]. La edificación fue diseñada con el objetivo de soportar las cargas estáticas como las sísmicas, garantizando así su integridad y evitando fallos; además, se buscó que la estructura pueda disipar energía mediante deformaciones controladas en caso de que se presente un evento sísmico.

Se empleó la herramienta computacional ETABS para crear un modelo estructural, en el cual se incorporó la información recopilada de la geometría de la edificación a partir de los planos arquitectónicos, tanto planta como elevación. Este modelo permitió obtener el comportamiento

de la edificación, simulando la respuesta ante diversas cargas y escenarios.

Para el acero de refuerzo se utilizó una resistencia a la fluencia (f_y) de 4200 kg/cm², mientras que para el hormigón se empleó una resistencia a la compresión simple (f'_c) de 210 kg/cm² y se consideró las propiedades como peso específico como dato teórico 2.4T/m³, se determinó el módulo de elasticidad mediante la siguiente fórmula:

$$Eh = 13500 * \sqrt{f'_c} \tag{5}$$

Eh : Módulo de elasticidad del concreto,
 f'_c : Resistencia a la compresión simple.

Tabla 11. Información general de la estructura.

Especificaciones	Datos
Número de pisos	2
Altura total	6.20m
Tipología estructural	Sistema de pórtico de hormigón armado, vigas banda
Altura de entrepiso	Primer nivel: 3.20m Segundo nivel: 3.00m
Resistencia del hormigón (f'_c)	210 kg/cm ²
Peso específico del hormigón (γ)	2.4 T/m ³
Módulo de elasticidad (E)	1956335.861 T/m ²
Fluencia del acero (f_y)	4200 kg/cm ²

2.4.1. Análisis estático

Se usó para evaluar la estructura en equilibrio o reposo, mediante este método se determinó las cargas axiales, los momentos flectores y las fuerzas internas utilizadas en el diseño.[9]

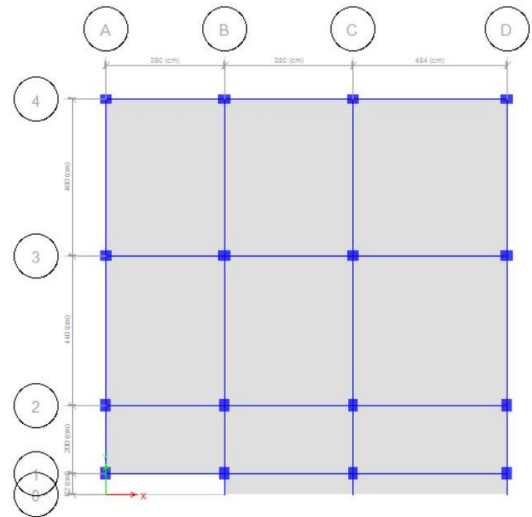


Figura 3. Secciones definidas en ETABS, vista en planta.

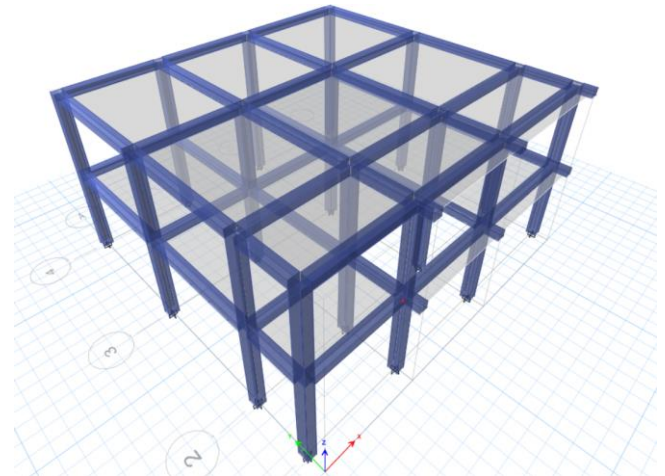


Figura 4. Modelo de ETABS, vista en 3D.

2.4.2. Espectro elástico horizontal de diseño en pseudo aceleraciones (S_a)

Es una herramienta esencial en el diseño sísmico de estructuras, ya que permite determinar la aceleración máxima que experimenta una edificación durante un evento sísmico. Esto resulta fundamental para garantizar la seguridad y estabilidad de las construcciones durante eventos sísmicos. Se consideró el valor del factor Z, el cual representa la aceleración máxima en roca (expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad); el conocimiento de este factor resulta fundamental para el cálculo de los "Factores de Sitio" (F_a, F_d, F_s), los cuales se

obtuvo mediante las tablas proporcionadas por la normativa Nec 15[3].

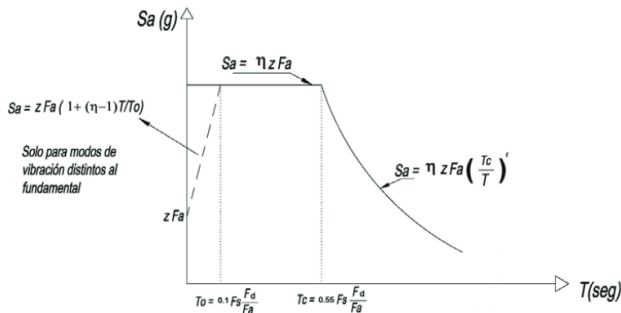


Figura 5. Espectro sísmico elástico de aceleraciones.

$$Sa = \eta * Z * Fa \rightarrow \text{para } 0 \leq T \leq Tc \quad (6)$$

$$Sa = \eta * Z * Fa * \left(\frac{Tc}{T}\right)^r \rightarrow \text{para } T > Tc \quad (7)$$

Sa: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

η: Razón entre la aceleración espectral Sa (T = 0.1 s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

r: Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

T: Período fundamental de vibración de la estructura.

Tc: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

2.4.3. Cargas sísmicas

Fuerzas que actúan sobre una estructura debido a un terremoto o movimiento sísmico.

Para obtener la fuerza que actúa en la edificación por efecto de una carga sísmica se determinó el cortante basal, por lo cual, se definieron los parámetros de cortante basal.

2.4.4. Combinación de carga

Se determinó las correspondientes combinaciones de cargas empleando la herramienta ETABS, se consideró acciones sísmicas, carga muerta, carga viva y envolventes para el análisis en la estructura.

- C1: 0.9(CM) + Sx
- C2: 0.9(CM) + Sy
- C3: 1.2(CM) + CV
- C4: 1.2(CM) + 1.6(CV)
- C5: 1.2(CM) + Sx
- C6: 1.3(CM) + CV + Sy
- C7: 1.4(CM)
- C8: CM+CV
- C9: CV+CM
- C10: Envolvente de análisis

CM: Carga Muerta,

CV: Carga Viva,

Sx: Fuerza sísmica en dirección X,

Sy: Fuerza sísmica en dirección Y.

2.4.5. Cortante basal de diseño (V)

Es la fuerza horizontal total calculada mediante las fuerzas inerciales que se induce en el sistema analizado, mediante la siguiente formula:[3]

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E} * W \quad (8)$$

V: Cortante basal de diseño.

I: Coeficiente de importancia.

Sa (Ta): Valor del espectro de diseño en aceleración.

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.

φp, φE: Coeficientes de configuración en planta y elevación.

W: Carga sísmica reactiva.

Ta: Período de vibración.

Los datos definidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12. Coeficientes para obtener el cortante basal.

Parámetros	Factores
Coeficiente de importancia I	1
Factor de reducción de resistencia R	5
Configuración en planta ϕ_p	1
Configuración en planta ϕ_e	1

Método de diseño basado en fuerzas (MDF)

Es un diseño sísmico basado en fuerzas, un procedimiento de diseño clásico que está presente en la mayoría de los códigos sísmicos. Este procedimiento caracteriza la composición en términos de rigidez inicial y amortiguamiento flexible, además, no considera explícitamente la compatibilidad entre los componentes reductores y el mayor movimiento permisible en la composición para limitar el daño estructural o no estructural para realizar el cálculo de las fuerzas a partir del espectro de respuesta[10].

2.4.6. Verificación de derivas de pisos

Se comprobó la deriva máxima inelástica en la edificación que no sobrepase el 2% de su desplazamiento horizontal mediante la siguiente ecuación:[3]

$$\Delta i = 0.75 * \Delta e * R \quad (9)$$

Δi : Deriva del piso i calculada en el centro de masas del piso

Δe : Deriva elástica, desplazamiento horizontal producido por fuerzas externas.

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.

2.5. Diseño de elementos estructurales

Se determinan las dimensiones necesarias para garantizar que los elementos puedan resistir las cargas y fuerzas que actúan sobre ellos. Esto implica calcular la capacidad de carga de cada elemento y asegurarse de que su resistencia sea adecuada para soportar las cargas estáticas y dinámicas que se esperan en la edificación.

También se determina el acero de refuerzo requerido para mejorar la capacidad de carga y la ductilidad de la estructura. [11]

2.5.1. Zapatas aisladas

Utilizando las dimensiones obtenidas de la base, se llevaron a cabo el análisis de esfuerzos considerando la carga vertical junto con la excentricidad, que representa la relación entre el momento y la carga aplicada cuando la carga está centrada:[12]

$$\sigma_s = \frac{P}{B^2} * \left(1 \pm \frac{6 * ex}{B}\right) \quad (10)$$

σ_s : Capacidad de carga admisible del suelo

Qs: Carga de servicio

B: Base de la cimentación.

P: Carga vertical más sismo

e: Excentricidad

Para el acero requerido por flexión se calculó con la siguiente expresión: [13]

f'_c : Resistencia a la compresión simple del concreto.

f_y : Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo.

b: base de la sección que se analizará.

d: peralte de la sección que se analizará.

M_u : Momento mayorado calculado.

ϕ_f : coeficiente de reducción a flexión.

El acero requerido por flexión no deberá ser inferior al acero de refuerzo mínimo.

2.5.2. Corte Unidireccional por Capacidad

Se evaluó si el elemento puede soportar las fuerzas cortantes sin exceder los límites de resistencia del material. Si el corte máximo que se presenta es menor que la capacidad de resistencia del elemento, por lo tanto, se

considera que el diseño es seguro y apropiado para las condiciones de carga previstas.

$$v_{cu} \geq v_{uu} \quad (11)$$

v_{cu} : Esfuerzo unidireccional que resiste el hormigón.

v_{uu} : Esfuerzo unidireccional último.

2.5.3. Punzonamiento

Para el corte bidireccional, se deberá escoger el menor valor del esfuerzo de corte bidireccional crítico (V_{cb}) según la normativa ACI 318 [13]. Se calculó el peralte necesario mediante la ecuación:

$$v_{ub} = \frac{V_{ub}}{\phi * A_h} \quad (12)$$

v_{ub} : Esfuerzo bidireccional crítico.

V_{ub} : Fuerza resultante de los esfuerzos en la zona exterior a la sección crítica, se refiere a la suma de todas las fuerzas que actúan en el elemento más allá del punto de análisis.

A_h : Área crítica para corte unidireccional, se refiere a una sección donde se evalúa y calcular los esfuerzos cortantes y momentos que actúan perpendicularmente a la longitud del elemento.

2.5.4. Vigas

Se calculó el acero mínimo para cada sección mediante:

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} * b * d \quad (13)$$

Se verificó el acero requerido en las secciones a partir de la siguiente fórmula:

$$A_{s_{req}} = \frac{0.85 * f'_c * b * d}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{0.85 * \phi * f * b * d^2}} \right) \quad (14)$$

f'_c : Resistencia a la compresión simple del concreto.

f_y : Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo.

b : base de la sección que se analizará.

d : peralte de la sección que se analizará.

M_u : Momento mayorado solicitado.

ϕ : coeficiente de reducción a flexión.

2.5.5. Columnas

Tomando en cuenta la cuantía obtenida mediante el diagrama de iteración para cada columna.[13]

$$A_s = \rho * b * d \quad (15)$$

Para el diseño de confinamiento de la columna se verificó con las ecuaciones indicadas en la NEC-SE-HM [14] y ACI 318 [13].

$$A_{sh1} = 0.3 * \frac{s * b_c * f'_c}{f_{yt}} * \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (16)$$

$$A_{sh2} = 0.09 * \frac{s * b_c * f'_c}{f_{yt}} \quad (17)$$

A_{sh} : Área total de refuerzo transversal

s : espaciamiento entre estribos

b_c : dimensión medida entre los extremos de los estribos

f'_c : resistencia a la compresión simple del concreto

f_y : resistencia a la fluencia del acero

A_g : Área bruta de hormigón

A_{ch} : Área interior confinada

El cálculo del área total de refuerzo transversal se verificó para las dos direcciones horizontal y vertical según corresponda el diseño de la columna.

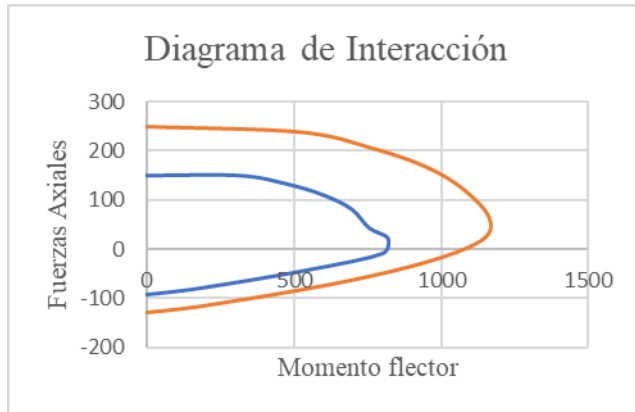


Figura 6. Diagrama de interacción de la columna 35x30cm.

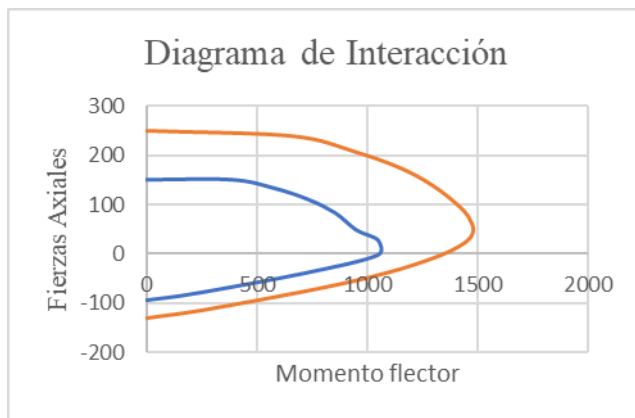


Figura 7. Diagrama de interacción de la columna 30x35cm.

2.5.6. Conexión viga - columna

Es la parte crucial en una estructura donde una viga se une a una columna. Es una unión esencial para la estabilidad y resistencia de toda la estructura, ya que aquí se transmiten las fuerzas entre ambos elementos y se distribuyen las cargas a lo largo de la construcción, esencial para garantizar la seguridad y eficiencia de la estructura en su conjunto.

Se realizó la comprobación mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Capacidad de Columna}}{\text{Capacidad de Viga}} \geq 1.2 \quad (18)$$

Para lo cual se lo realizó mediante la obtención del momento probable:

$$M_p = \frac{1.25 * A_s(\pm) * f_y * (d - \frac{a}{2})}{1.02} * 10^6 \text{ (N * m)} \quad (19)$$

M_p : Momento Probable (hiperestático).
 A_s : Acero requerido en la viga.
 f_y : Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo.
 d : peralte de la viga.

2.5.7. Losas de entrepiso

Determinación de las dimensiones, espesores, refuerzos y detalles constructivos necesarios para asegurar la resistencia y estabilidad de las losas que forman parte de una estructura.

$$A_{s_{req}} = \frac{0.85 * f'_c * b * d}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{0.85 * \phi * f'_c * b * d^2}} \right) \quad (20)$$

2.5.8. Secciones definidas

Se introdujo las secciones anteriormente determinadas mediante un prediseño, se presenta la geometría y material empleado en las secciones como columnas vigas y losas.

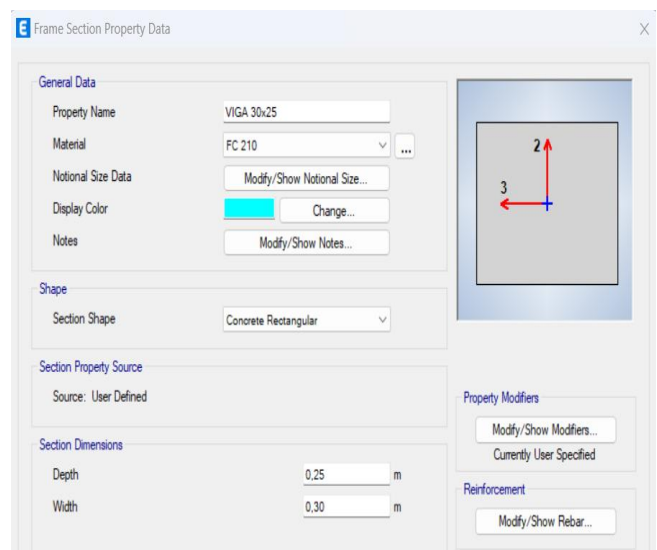


Figura 8. Sección definida para vigas de 30x25 en ETABS.

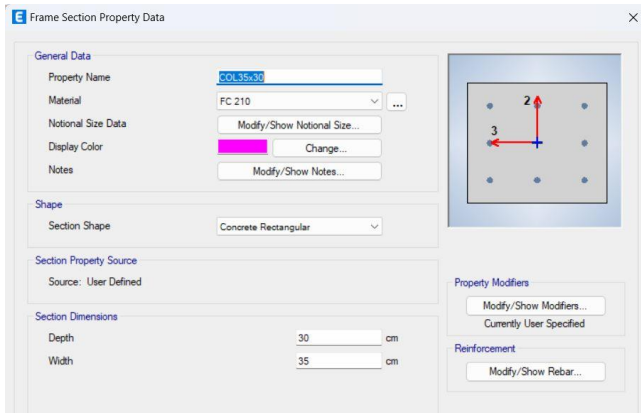


Figura 9. Sección definida para columnas de 35x30cm en ETABS.

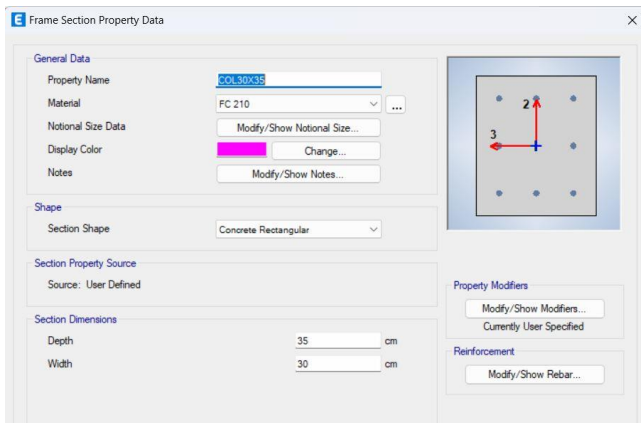


Figura 10. Sección definida para columnas de 30x35cm en ETABS.

2.5.9. Modelación de la estructura

Ya determinado todas las secciones, cargas actuantes y sísmicas sobre la edificación se procedió a modelar la geometría preestablecida en planta y elevación.

2.5.10. Análisis de resultados obtenidos en el software ETABS

Se realizó la verificación para las condiciones sísmicas que establece la norma ecuatoriana de la construcción (NEC15) para considerar que la edificación sea sismorresistente, además de comprobar que las secciones empleadas cumplen los parámetros en estructuras de hormigón armado.

2.5.11. Verificación de modos de vibración y periodo en la estructura

Primordial en un análisis modal “puesto que los modos de vibración no dependen directamente de las acciones a que se encuentran sujetas la estructura sino de la masa que se definió de esas acciones y los elementos que la constituyen.”[15], por lo que los modos de vibración deben ser mayor del 90% de la masa.

2.5.12. Obtención de momentos para el diseño

Mediante el software computacional ETABS se obtuvo los momentos, axiales y cargas nominales designadas para el diseño estructural de cada elemento.

2.6. Análisis de costos

Se realizó el cálculo de los costos en base a los precios unitarios de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON)[16] de los cuatro modelos diseñados, asociados a la cantidad y actividad que serán necesarias para la construcción en obra gris. Este análisis es fundamental para observar su viabilidad económica de cada uno de estos diseños.

2.6.1. Costos indirectos

Se los denomina así porque no interfieren directamente en la construcción de la estructura, en este caso se consideró un mismo porcentaje adicional en el costo final de cada una de las actividades. Al hacerlo, se buscó evitar que exista diferencias significativas en los costos y facilitar las comparaciones entre los cuatro modelos.

2.6.2. Costos directos

Se refiere a todos los gastos y costos que incurren en las actividades para la ejecución de la obra, así se determinó los rubros donde se

describirá a detalle qué tipo de costos y gastos se está considerando para la obtención del valor de costo por hora.

2.6.3. Presupuesto

Es la sumatoria de todos los rubros considerados en la obra, para la obtención de un valor monetario final de toda la obra.

3. Resultados y discusión

3.1. Estudio de mecánica de suelos

3.1.1. Capacidad de carga admisible

A continuación, se presentan las gráficas representativas para la capacidad admisible del suelo para determinar las dimensiones de cada zapata en la modelación estructural.

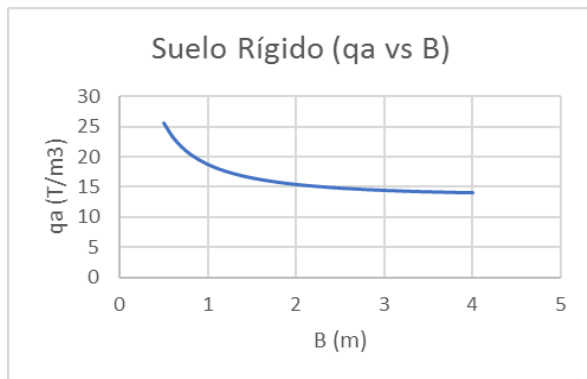


Figura 11. Capacidad de carga admisible – Suelo rígido.

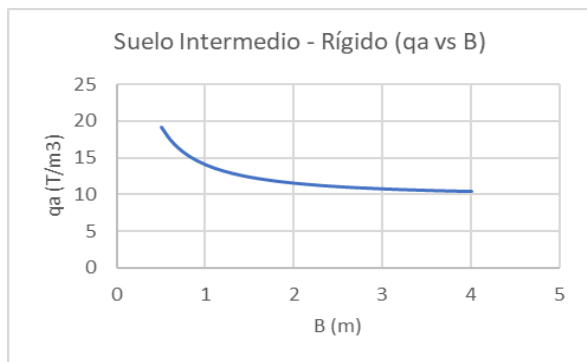


Figura 12. Capacidad de carga admisible – Suelo intermedio rígido.

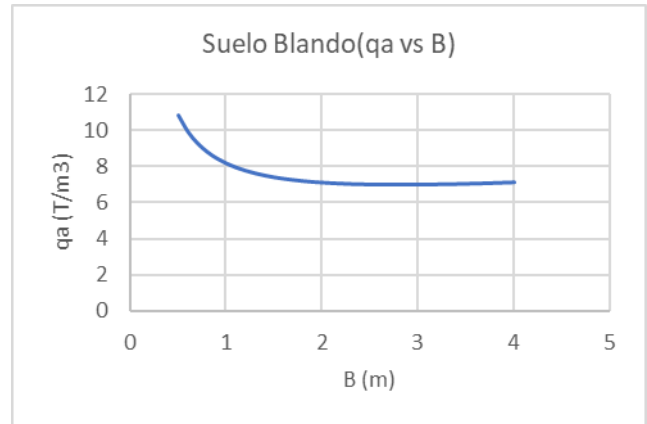


Figura 13. Capacidad de carga admisible – Suelo blando.

Se observó que la capacidad de carga admisible muestra una variación inversamente proporcional en relación la dimensión de base “B” de la cimentación.

Para suelo rígido dio como resultado una capacidad de carga admisible entre [16-25]T/m², para suelo rígido – intermedio se obtuvo [8-18]T/m², mientras que para suelo blando se determinó un rango entre [7-11]T/m².

3.1.2. Carga axial admisible

Se presentan las gráficas que representan la carga axial admisible para la obtención de las dimensiones zapatas en la modelación estructural.



Figura 14. Curva de carga axial admisible – Suelo rígido.

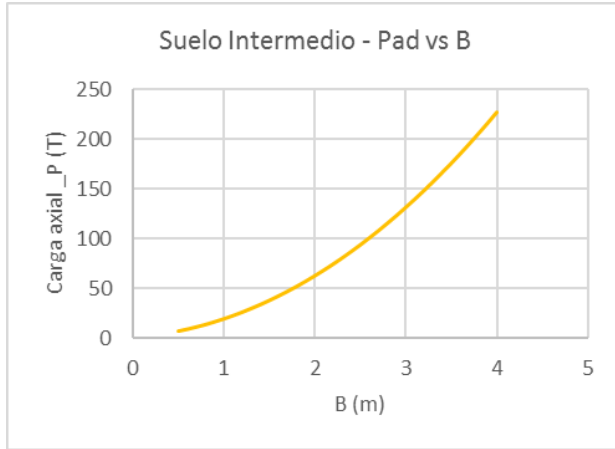


Figura 15. Curva de carga axial admisible – Suelo rígido intermedio.

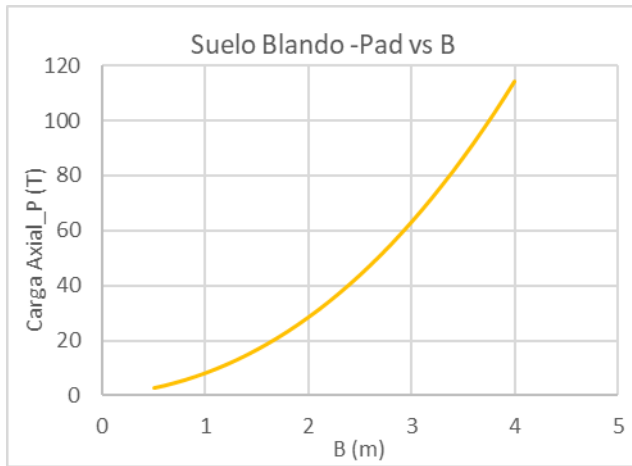


Figura 16. Curva de carga axial admisible – Suelo blando.

Para la carga axial admisible se obtuvo una relación directamente proporcional con relación a la base “B”.

Para un suelo rígido se obtuvo un rango entre cargas de [15-220]T, para suelo intermedio - rígido [20-225]T y para suelo blando [5-115]T.

3.2. Resultados del análisis estructural

3.2.1. Momentos flectores

Mediante la obtención de estos momentos se verifica si la cantidad y tamaño de acero

utilizados en los elementos (vigas y columnas) son los adecuados para resistir las cargas y fuerzas esperadas. Como se puede notar, una vez más, los momentos críticos de las vigas se encuentran en la primera planta y en las columnas se encuentra en la parte inferior.

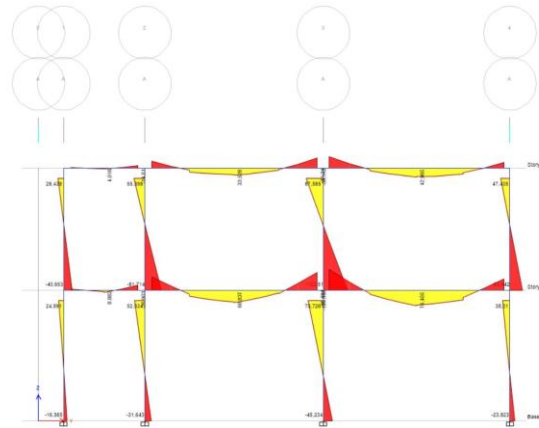


Figura 17. Momentos flectores para estructura de suelo tipo E.

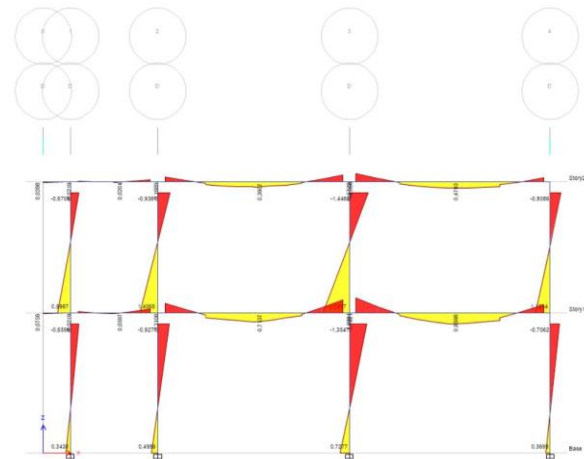


Figura 18. Momentos flectores para estructura de suelo tipo C.

3.2.2. Acero de refuerzo longitudinal

Vigas: Mediante el software ETABS se obtuvo el acero requerido en las secciones.

Columnas: La cantidad de acero es fundamental para la estabilidad de la estructura, de la misma fue obtenido mediante el software ETABS.

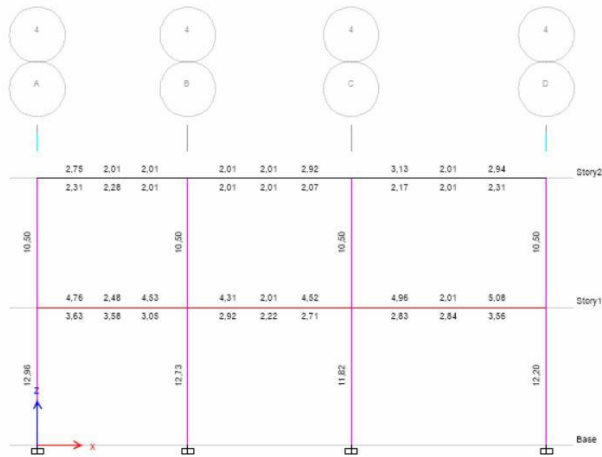


Figura 19. Acero de refuerzo requerido en vigas y columnas

Como se observa, el refuerzo de la viga se concentra en la primera planta debido a que se consideró una carga viva distribuida para vivienda y además de mampostería al contrario de la segunda planta que es una losa inaccesible, por lo que es necesario reforzar para asegurar su resistencia.

En las columnas, la parte inferior de la columna es donde la tensión debido a las cargas verticales a las que es sometida la columna es mayor. El software refleja la cantidad requerida de acero de 10.50 cm² en la segunda planta, haciendo comparación es la cantidad menor, la cual es muy importante para asegurar su resistencia y evitar deformaciones.

3.2.3. Modos de vibración

Se comprende el comportamiento, deformaciones y respuesta ante excitaciones dinámicas. Debido a la distribución de carga y geometría de los elementos, se observa que los desplazamientos producidos por los diferentes modos de vibración resultan pequeñas deformaciones en las estructuras. La magnitud de estas depende de la rigidez, la masa, la amplitud y el tipo de excitación de la estructura.

Tabla 13. Porcentaje de participación de masas para suelos tipo "C".

Dirección	Dirección	Porcentaje de participación de masas
Primer modo en X	Traslacional	93
Segundo modo en Y	Traslacional	94
Tercer modo en Z	Rotacional	94

Tabla 14. Porcentaje de participación de masas para suelos tipo "E".

Dirección	Dirección	Porcentaje de participación de masas (%)
Primer modo en X	Traslacional	93
Segundo modo en Y	Traslacional	94
Tercer modo en Z	Rotacional	94

Se puede apreciar que para los tipos de suelos la geometría y disposición de los elementos son acertados para que los modos de vibración sean superiores a 90%.

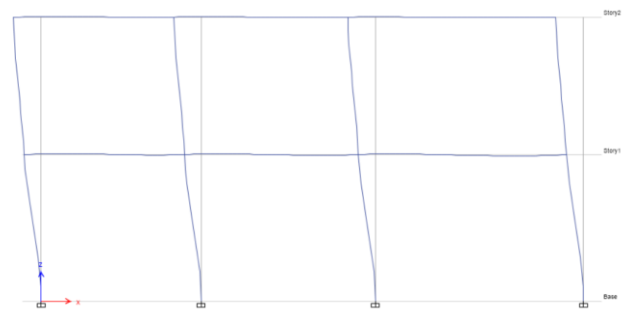


Figura 20. Modo de vibración en "X" con vista en elevación.

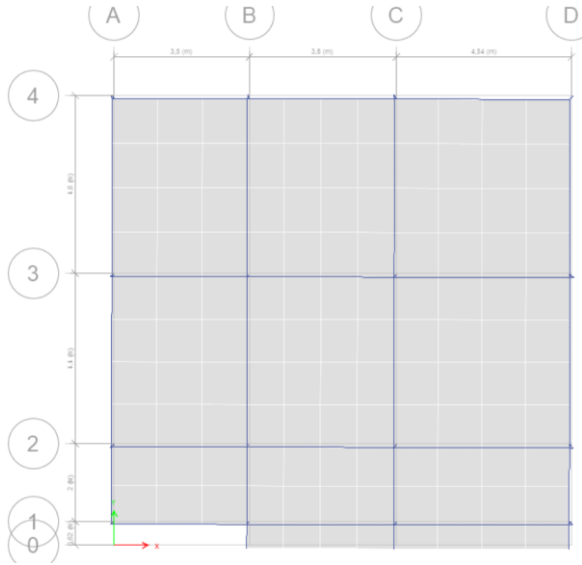


Figura 21. Modo de vibración en "X" con vista en planta.

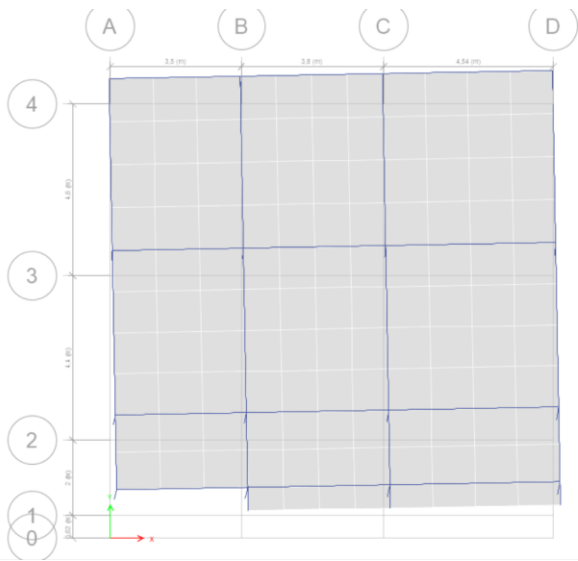


Figura 22. Modo de vibración en "Y" con vista en planta

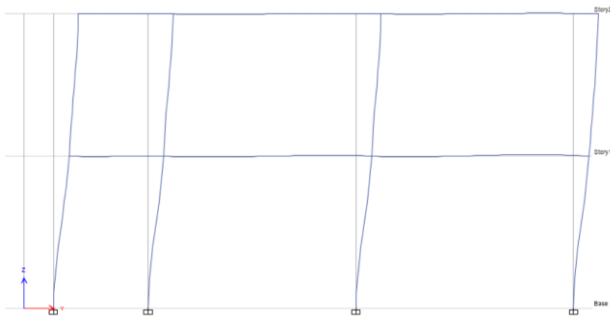


Figura 23. Modo de vibración en "Y", visto en elevación,

3.3. Secciones Definidas

3.3.1. Zapatas Aisladas

Se obtuvieron cimentaciones cuadradas detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 15. Dimensiones de zapatas por tipo de suelo.

Tipo de suelo	PC1 (m)	PC2 (m)	PC3 (m)
Datos asumidos	1.3x1.3x0.40	1.75x1.75x0.40	2.2x2.2x0.40
Blando	1.3x1.3x0.25	1.75x1.75x0.25	2.2x2.2x0.25
Intermedio	1.0x1.0x0.25	1.35x1.35x0.30	1.4x1.4x0.35
Rígido	1.0x1.0x0.40	1.25x1.25x0.45	1.4x1.4x0.45

Por cada tipo de suelo se obtuvieron dimensiones diferentes, para suelo rígido e intermedio en cuestión de medidas varía muy poco a excepción del peralte, mientras que para suelo blando con datos conservadores se elevan las dimensiones demasiado por la capacidad de carga admisible que presentan los suelos.

3.3.2. Columnas

Para el acero mínimo se obtuvo un valor de 10.5cm² para armadura de las secciones empleadas.

Se obtuvo la misma dimensión para todos los tipos de estratos. A continuación, se presentan las dimensiones obtenidas en diseño con su respectiva armadura:

Tabla 16. Dimensiones de columnas suelo tipo "C".

	Columna Tipo I	Columna Tipo II
Dimensiones	30X35cm	35X30cm
Armadura longitudinal	8φ18	8φ20
Sección Confinada	1φ12@10cm	1φ12@10cm
Sección No Confinada	1φ12@20cm	1φ12@20cm

Tabla 17. Dimensiones de columnas suelo tipo “E”.

	Columna Tipo I	Columna Tipo II
Dimensiones	30X35cm	35X30cm
Armadura longitudinal	8φ16	8φ18
Sección Confinada	1φ12@10cm	1φ12@10cm
Sección No Confinada	1φ12@20cm	1φ12@20cm

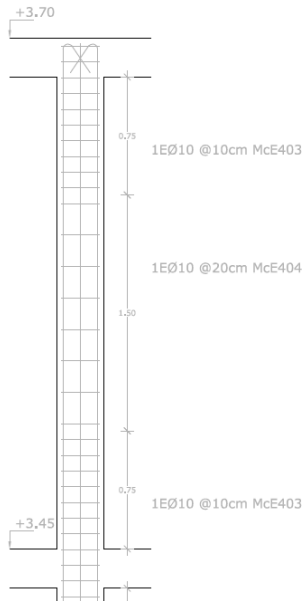


Figura 24. Armado de columna.

Los dos tipos de suelos “C” y “E”, tienen las mismas dimensiones en las columnas, pero la diferencia de acero es influenciada por las propiedades de los perfiles sísmicos de suelos.

3.3.3. Vigas

Se obtuvo las mismas dimensiones para todos los modelos, variando el acero longitudinal para cada tipo de suelo.

Se presentan las dimensiones con su armado longitudinal y transversal.

Tabla 18. Acero de refuerzo en viga A2, tipo de suelo “C”.

Acero de refuerzo	Viga 30X25cm
Longitudinal Superior	4φ12
Longitudinal Inferior	3φ12
Transversal Sección Confinada	1φ12@10cm
Transversal Sección No Confinada	1φ12@20cm

Tabla 19. Acero de refuerzo en viga A2, tipo de suelo “E”.

Acero de refuerzo	Viga 30X25cm
Longitudinal Superior	3φ12
Longitudinal Inferior	2φ12
Transversal Sección Confinada	1φ12@10cm
Transversal Sección No Confinada	1φ12@20cm

La armadura longitudinal va variando en cantidad de varillas manteniéndose el diámetro indicado.

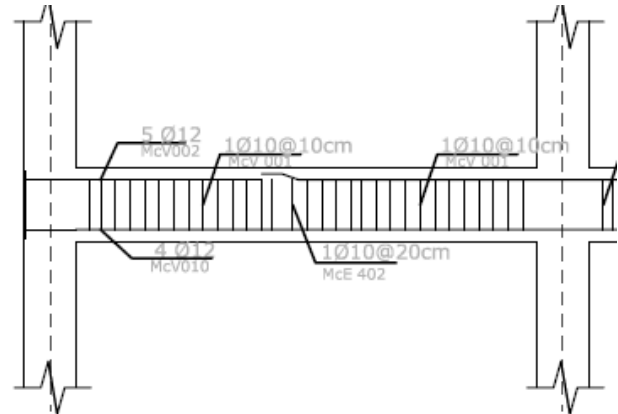


Figura 25. Armado de vigas.

3.3.4. Losa de entepiso

Se obtuvo una losa alivianada detallada a continuación.

Tabla 20. Dimensiones de losa alivianada.

Parámetros	Dimensiones
Altura de losa	25cm
Loseta de compresión	5cm
Bloque utilizado	40x20x20cm
Diámetro de varilla por nervio	12mm

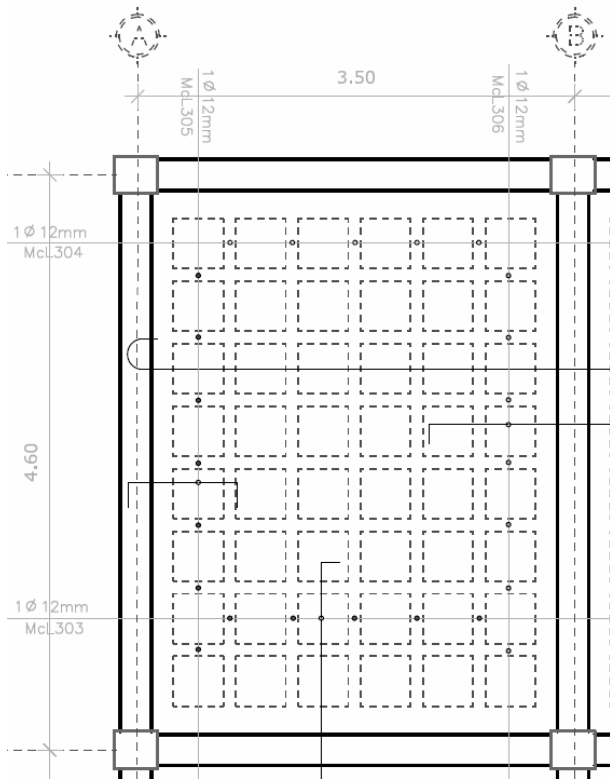


Figura 26. Armado de losa de entrepiso.

3.4. Análisis de Costos

En los costos directos se consideró todos los rubros que son necesarios para la construcción de la estructura. Para los costos indirectos se asumió un valor de 15%, el cual afecta directamente a cada uno de los rubros para ser aumentado.

A continuación, se presenta el porcentaje de diferencia con la cantidad para cada tipo de suelo y la cantidad para la cantidad “datos asumidos conservadores”:

Tabla 21. Porcentaje de diferencia de costos totales.

	Presupuesto (\$)	Porcentaje de Diferencia (%)
Datos Conservadores	56,789.18	-
Rígido	55,474.17	2.32%
Intermedio	55,563.92	2.16%
Blando	54,382.07	4.24%

Al analizar los distintos modelos, se observa que la diferencia más notable se encuentra en las cimentaciones, lo cual tiene un impacto directo en el presupuesto total.

Al comparar los resultados entre los modelos: datos asumidos conservadores, rígidos, intermedio - rígido y blando; es evidente que estas diferencias tienen influencia significativa en los costos finales. Es muy importante tener en cuenta estas variaciones al tomar decisiones sobre el uso del estudio de mecánica de suelos en el modelo estructural, ya que pueden afectar la viabilidad económica.

4. Conclusiones

La capacidad de carga admisible varía en función del tipo de suelo, densidad y cohesión, por lo tanto, las cimentaciones deben diseñarse según estas características de cada uno de los tipos: rígido, intermedio-rígido, blando y datos asumidos conservadores. Por esa razón el volumen más cargado por sus dimensiones son los datos conservadores.

La geometría y la disposición adoptadas en los elementos de la estructura, se determinó que la cantidad de acero utilizados en vigas, columnas y losas fueron similares entre los tipos de suelos "Rígido" e "Intermedio" (Tipo C), al igual que "Blando" y "Datos asumidos conservadores" (Tipo E).

En el análisis de la cantidad de kilogramos de acero, se obtuvo una menor cantidad en las zapatas para el suelo rígido esto se debe a que tiene una mayor capacidad de carga admisible; pero el coeficiente de Poisson es menor lo que indica una mayor rigidez y menor deformación bajo carga. En el caso del suelo de datos asumidos conservadores, tiene una capacidad de carga admisible menor y un coeficiente de Poisson mayor en comparación con el suelo rígido; lo que resulta la necesidad de una mayor cantidad de acero de refuerzo en las zapatas.

Se realizó una comparación de los aceros de refuerzo utilizados para cada tipo de suelo (Rígido, Intermedio-Rígido, Blando y Datos asumidos conservadores). Los resultados mostraron que, para el suelo tipo E, tanto en vigas como en columnas, se necesitó una cantidad menor de acero en comparación con los suelos tipo C. Esta diferencia se debe a la interacción del espectro de pseudo aceleración con los factores de sitio. El suelo tipo C tiene un factor de amplificación F_a de 1.2, mientras que en el suelo tipo E tiene un factor de 1, significa que las fueras sísmicas se amplifican más en el suelo tipo C que en el suelo tipo E. Por lo tanto, se necesitó una mayor cantidad de acero en el suelo tipo C para asegurar la estabilidad de las vigas y columnas, mientras que en el suelo tipo E se requiere una menor cantidad de acero.

Al comparar los resultados de presupuesto entre el tipo de suelo “Rígido” y “Datos asumidos conservadores”, existe una diferencia de 2.31% lo cual representa 1,315.01 \$. Si el proyecto se desarrolla en este tipo de suelo (rígido) y no se realiza un estudio de mecánica de suelos, el cual representa 1.32% del presupuesto de “Datos asumidos conservadores”.

La variación del presupuesto entre el “Intermedio – Rígido” y “Datos asumidos conservadores” es de 2.16% (1,225.26\$), el valor económico se útil para realizar los estudios de mecánica de suelos.

Entre el “Blando” y “Datos asumidos conservadores” existe una diferencia más alta que los anteriores, un ahorro económico 4.24% (2,407.86\$). El valor determinado antes, podría servir para realizar otra actividad en la obra gris.

Los resultados obtenidos revelan una diferencia notable en los costos entre los diferentes tipos de suelos. Es importante destacar que, incluso si se adoptan valores muy conservadores para el estudio de mecánica de suelos, el costo asociado a este informe

representa aproximadamente el 1.25% del presupuesto total de los “Datos asumidos conservadores”. A pesar de este porcentaje, se observa que las diferencias de costos entre los tipos de suelos son considerablemente.

Estos hallazgos destacan la importancia de realizar un estudio de mecánica de suelos antes del diseño estructural, ya que se puede lograr un ahorro en el presupuesto total de la construcción. Aunque es comprensible, que se busquen enfoques conservadores para minimizar los costos adicionales, se evidencia que al omitir o reducir la importancia del estudio de mecánica de suelos, se estaría perdiendo un ahorro económico considerable.

5. Referencias

- [1] Escuela Politécnica Nacional, “Informes de los Últimos Sismos - Instituto Geofísico - EPN,” *Instituto Geofísico del Ecuador*, 2022.
<https://www.igepn.edu.ec/portal/eventos/informes-ultimos-sismos.html> (accessed Mar. 02, 2023).
- [2] M. Moncayo; G. Velasco; C. Mora, “United States Geological Survey – Latest Earthquakes Terremotos.news. (2017),” 2017.
- [3] Comité Ejecutivo de la norma Ecuatoriana de la construcción, *NEC: Peligro sísmico. Diseño sismo resistente*. 2015.
- [4] Enciclopedia Humanidades, “Arquitectura: información, tipos, características y ejemplos,” <https://humanidades.com/>, Accessed: Mar. 02, 2023. [Online]. Available: <https://humanidades.com/arquitectura/>
- [5] Keobra, “¿Qué es un estudio de mecánica de suelos?” <https://keobra.com/que-es-y-para-que-sirve-un-estudio-de-mecanica-de-suelo> (accessed Mar. 02, 2023).
- [6] D. Braja, “Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición.”
- [7] A. Gonzáles, “Módulo de Reacción de

- Subrasante en Cimentaciones Superficiales,” *II Encuentro Ing. Suelos Y Estructuras - Esc. Colomb. Ing. - Bogotá, Septiembre 1993*, no. 2, pp. 1–8, 1993.
- [8] S. Carigliano, “¿Qué es el análisis estructural?? | SkyCiv Engineering.” <https://skyciv.com/es/education/what-is-structural-analysis/> (accessed Mar. 02, 2023).
- [9] C. MIDUVI, *Cargas (No Sísmicas)*. 2014. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CG.pdf>
- [10] O. González, “Estudio Comparativo entre el Método de Diseño Sísmico Basado en Fuerzas (DBF) y el Método de Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD) Aplicado a Estructuras de Múltiples Grados de Libertad de Hormigón Armado.” 2013. [Online]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1267>
- [11] MIDUVI, CAMICON, *NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m*, vol. 2. 2014. [Online]. Available: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-VIVIENDA-parte-2.pdf>
- [12] D. Z. M. Duarte, S. Dueñas, “Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción,” *Ministerios de Desarrollo Urbano y vivienda*, pp. 9–95, 2016. [Online]. Available: <http://desintecsa.com/Normativas/Ingenierias/NEC15/GUIA-2-HORMIGON-ARMADO.pdf>
- [13] American Concrete Institute, “ACI 318S/318SR-05 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario,” *Director*, p. 520, 2008, [Online]. Available: https://www.oaxaca.gob.mx/sinfra/wp-content/uploads/sites/14/2016/02/ACI_318_2005.pdf <https://blog.structuralia.com/aci-318>
- [14] J. Pérez, F. Estévez, E. Gutiérrez, E. Álvarez, *Estructuras de hormigón armado*. 1994.
- [15] J. Moreta, “Evaluación estructural mediante el FEMA 154 del NEC y propuesta de reforzamiento del centro educativo Juan Pablo I del DMQ,” *“Trabajo Titulación Pregrado. - Universidad Central del Ecuador,”* pp. 1–255, 2015.
- [16] CAMICON, “COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN / ABRIL 2023 – CAMICON.” <https://www.camicon.ec/lunes-27-al-viernes-10-de-marzo-de-2023/> (accessed Mar. 02, 2023).