

Capítulo 1

Introducción

El presente proyecto estructural tiene como objetivo el diseño y análisis de una casa de un piso ubicada en la parroquia Cojitambo, en el cantón Azogues, Ecuador. Esta región, caracterizada por su belleza natural y su contexto geográfico particular, presenta desafíos específicos en términos de diseño y construcción para garantizar la seguridad y estabilidad de las estructuras ante las condiciones locales.

La casa de un piso se diseñará cumpliendo con las normativas y regulaciones de construcción ecuatorianas vigentes, garantizando la resistencia sísmica adecuada y considerando las cargas gravitacionales y de viento pertinentes para esta ubicación geográfica. Además, se utilizará el software ETABS en conjunto con Python, aprovechando su potencial para la modelización, análisis y optimización de estructuras, así como su capacidad para interactuar con la API de ETABS.

El desarrollo de este proyecto implica una cuidadosa planificación y un análisis detallado, con el fin de asegurar la integridad estructural y la durabilidad de la vivienda, proporcionando un entorno seguro y confortable para sus futuros ocupantes.

1.1. Objetivos

- a Diseñar una estructura residencial segura y funcional que cumpla con las normativas y regulaciones de construcción ecuatorianas aplicables, garantizando la seguridad de los ocupantes.
- b Optimizar el diseño estructural para maximizar la eficiencia en el uso de materiales y recursos, asegurando un balance adecuado entre costo, resistencia y durabilidad.
- c Integrar consideraciones sísmicas específicas para la región de Cojitambo, utilizando técnicas de análisis avanzadas para evaluar y mitigar los efectos de los movimientos telúricos en la estructura.
- d Implementar prácticas sostenibles de construcción que minimicen el impacto ambiental del proyecto, incluyendo la selección de materiales ecoamigables y soluciones de diseño que fomenten la eficiencia energética.
- e Utilizar herramientas computacionales como el software ETABS y Python para modelar, analizar y optimizar la estructura, aprovechando las ventajas de la tecnología para mejorar la precisión y la eficacia del proceso de diseño.
- f Colaborar estrechamente con otros profesionales involucrados en el proyecto, como arquitectos, ingenieros civiles y contratistas, para garantizar la coherencia y la integración de los aspectos estructurales con el diseño arquitectónico y los requisitos de construcción.
- g Proporcionar documentación detallada y clara, incluyendo planos, cálculos y especificaciones técnicas, que sirva como guía para la construcción y el mantenimiento de la estructura a lo largo de su vida útil.

1.2. Normativa y Regulaciones Aplicables

1. Diseñar una estructura residencial segura y funcional que cumpla con las normativas y regulaciones de construcción ecuatorianas aplicables, garantizando la seguridad de los ocupantes.

2. Optimizar el diseño estructural para maximizar la eficiencia en el uso de materiales y recursos, asegurando un balance adecuado entre costo, resistencia y durabilidad.
3. Integrar consideraciones sísmicas específicas para la región de Cojitambo, utilizando técnicas de análisis avanzadas para evaluar y mitigar los efectos de los movimientos telúricos en la estructura.
4. Implementar prácticas sostenibles de construcción que minimicen el impacto ambiental del proyecto, incluyendo la selección de materiales ecoamigables y soluciones de diseño que fomenten la eficiencia energética.
5. Utilizar herramientas computacionales como el software ETABS y Python para modelar, analizar y optimizar la estructura, aprovechando las ventajas de la tecnología para mejorar la precisión y la eficacia del proceso de diseño.
6. Colaborar estrechamente con otros profesionales involucrados en el proyecto, como arquitectos, ingenieros civiles y contratistas, para garantizar la coherencia y la integración de los aspectos estructurales con el diseño arquitectónico y los requisitos de construcción.
7. Proporcionar documentación detallada y clara, incluyendo planos, cálculos y especificaciones técnicas, que sirva como guía para la construcción y el mantenimiento de la estructura a lo largo de su vida útil.

Por supuesto, es importante mencionar que además de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, se emplearán normativas internacionales reconocidas como la ACI 19 (American Concrete Institute) y la AISC (American Institute of Steel Construction), que proporcionan estándares y criterios ampliamente aceptados en la industria de la construcción. Algunos puntos a destacar sobre la utilización de estas normativas son:

1. **ACI (American Concrete Institute):** Se utilizarán las especificaciones y criterios de diseño de la ACI 19 para el diseño de elementos de concreto, como columnas, vigas, losas y cimentaciones.

La ACI proporciona recomendaciones detalladas sobre la resistencia del concreto, la disposición de refuerzos, los factores de seguridad y otros aspectos relevantes para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras de concreto.

2. **AISC (American Institute of Steel Construction):** Se seguirán las normativas y estándares de la AISC para el diseño de elementos estructurales de acero, incluyendo vigas, columnas, conexiones y sistemas de arriostramiento.

La AISC establece criterios para la selección de perfiles estructurales, el diseño de conexiones soldadas y atornilladas, así como otros aspectos relacionados con la resistencia y estabilidad de las estructuras de acero. Al integrar normativas como la ACI 19 y la AISC en el proceso de diseño y cálculo estructural, se garantiza que la estructura cumpla con estándares de calidad y seguridad reconocidos a nivel internacional, además de los requisitos locales establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. Esta combinación de normativas permite obtener diseños estructurales robustos y confiables que se adecuan a las condiciones y exigencias específicas del proyecto en Cojitambo, Azogues.

1.3. Descripción del diseño estructural

faltaaaaaaaaaaaaaaaaa

Capítulo 2

Cargas y Combinaciones

La NEC15 establece que en general las contrucciones deberán diseñarse para resistir las combinaciones de cargas permanentes, cargas variables y cargas accideantales.

2.1. Cargas Permanentes

Las cargas permanentes consideradas para el proyecto son:

- Fibrocemento = 0.16 KN/m^2
- Acero en frío = 0.08 KN/m^2
- Acero en caliente = 1.2 KN/m^2
- Instalaciones = 1 KN/m^2
- Cielo Raso = 0.5 KN/m^2

2.2. Cargas Variables

Para el proyecto unicamente existen sobrecargas variables de cubierta. La NEC señala que la carga de cubierta es de 0.7

2.3. Cargas de granizo

Según la NEC se debe considerar una acumulación de granizo en un corto periodo de tiempo. Para cubiertas con pendientes menores de 15 % se debe considerar una carga mínima de 0.50 kN/m^2 ; para cubiertas con pendientes menores del 5 % se debe considerar 1.0 kN/m^2 . Se determinan de la siguiente forma:

$$S = \rho H_s$$

Donde:

ρ : Peso específico del granizo (en defecto: 1000 Kg/m^3)

H_s : Altura de acumulación (m)

La fórmula mencionada nos da una carga de granizo igual a 2.0

2.4. Cargas Por viento

Para obtener las cargas por viento primero hay que calcular la velocidad del viento. Para esto la NEC nos da la siguiente fórmula:

$$V_b = V \cdot \alpha$$

Donde:

V_b : Velocidad corregida del viento en m/s

V : Velocidad instantánea máxima del viento en m/s , registrada a 10 m de altura sobre el terreno.

Coef. de correlación	Velocidad instantánea (m/s)	Velocidad corregida (m/s)
0.91		19.11

2.4.1. Presión del viento

La NEC establece la siguiente fórmula para el cálculo de la presión del viento:

$$P = \frac{1}{2} \rho V_b^2 c_e c_f$$

Donde:

P : Presión de cálculo expresada en Pa N/m^2

ρ : Densidad del aire expresada en Kg/m^3 (En general, se puede adoptar 1.25 Kg/m^3)

c_e : Coeficiente de entorno/altura

c_f : Coeficiente de forma

Con la fórmula se obtienen los valores del Barlovento y Sotavento, cuyos valores son presentados en las siguientes tablas.

Densidad del aire (kg/m^3)	Velocidad del viento (m/s)	Coef. Entorno/altura	Coef. De forma	Barlovento (kN/m^2)
1.25	19.11	0.3	0.8	0.054778815

Densidad del aire (kg/m^3)	Velocidad del viento (m/s)	Coef. Entorno/altura	Coef. De forma	Barlovento (kN/m^2)
1.25	19.11	-0.6	0.8	-0.10955763

2.5. Cargas de granizo

Según la NEC se debe considerar una acumulación de granizo en un corto periodo de tiempo. Para cubiertas con pendientes menores de 15 % se debe considerar una carga mínima de 0.50 kN/m^2 ; para cubiertas con pendientes menores del 5 % se debe considerar 1.0 kN/m^2 . Se determinan de la siguiente forma:

$$S = \rho H_s$$

Donde:

ρ : Peso específico del granizo (en defecto: 1000 Kg/m^3)

H_s : Altura de acumulación (m)

La fórmula mencionada nos da una carga de granizo igual a 2.0

2.6. Carga sísmica

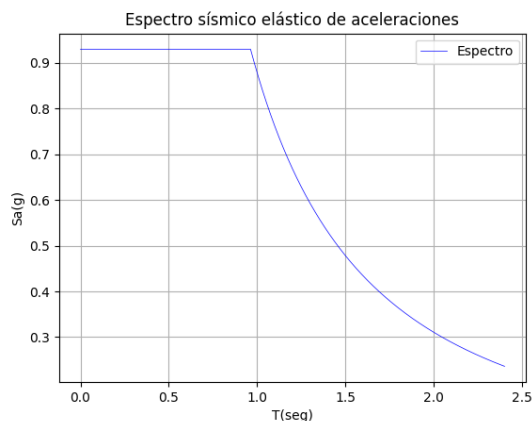
Para obtener el valor de la carga sísmica se construye el espectro a partir de los datos de la geología local determinados por el estudio de suelos. De esta manera los parámetros que permiten la construcción del espectro de acuerdo a la NEC son:

- **Fa** - Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.
- **Fd** - Desplazamiento para diseño en roca.
- **Z** - Factor de zona sísmica.
- **n** - Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
- **r** - Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

Los valores de los parámetros se muestran en la siguiente tabla:

Con los valores presentados en la tabla se grafica el espectro.

ZONA SISMICA	Perfil suelo	Fa	Fd	Fs	Z	r	n
0.25	E	1.5	1.75	1.6	0.25	1.5	2.48



2.7. Combinaciones para el diseño de última resistencia

La NEC señala que las estructuras, componentes y cimentaciones deber'an diseñarse para que la resistencia de diseño iguale o supere las siguientes combinaciones:

1. **Combinación 1** - $1.4D$
2. **Combinación 2** - $1.2D + 1.6L + 0.5\max(Lr ; S ; R)$
3. **Combinación 3** - $1.2D + 1.6\max(Lr ; S ; R) + \max(L ; 0.5W)$
4. **Combinación 4** - $1.2D + 1.0W + L + 0.5 \max(Lr ; S ; R)$
5. **Combinación 5** - $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
6. **Combinación 6** - $0.9D + 1.0W$
7. **Combinación 7** - $0.9D + 1.0E$

En donde cada símbolo significa:

- **D** - Carga permanente
- **E** - Carga de sismo
- **L** - Sobrecarga (carga viva)
- **Lr** - Sobrecarga cubierta (carga viva)
- **S** - Carga de granizo
- **W** - Carga de viento

Las cargas para el proyecto se presentan en la siguiente tabla:

Carga Muerta	Sobrecarga Cubierta	Barlovento	Sotavento	Granizo
2.94	0.7	0.054	-0.109	2.0

Las cargas sísmicas se calcularán con ayuda del programa ETABS. El proyecto por sus características arquitectónicas no cuenta con cargas vivas.

Capítulo 3

Metodología de diseño estructural - Diseño basado en fuerzas

La NEC establece que las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de las combinaciones de las fuerzas horizontales. Además que las fuerzas sísmicas de diseño actúan de manera no concurrente en la dirección de cada eje principal de la estructura para luego ser combinadas de acuerdo a las siguientes combinaciones:

1. **Combinación 1** $E_{h1} = \max[(E_x + 0,3E_y), (E_y + 0,3E_x)]$

2. **Combinación 2** $E_{h2} = \pm\sqrt{E_x^2 + E_y^2}$

Donde:

- E_h Componente horizontal de la fuerza sísmica
- E_x Componente horizontal de la fuerza sísmica según el eje x
- E_y Componente horizontal de la fuerza sísmica según el eje y

El diseñador considerará el siguiente valor de la componente sísmica horizontal:

1. **Combinación más desfavorable** $E_h = \max[E_{h1}, E_{h2}]$

3.1. Factor de reducción de respuesta R

La NEC nos indica que el valor del factor de reducción debe ser escogido de acuerdo a criterios relacionados con aspectos de agrupamiento de estructuración, diferencias entre realidades constructivas y de calidad entre los materiales y la construcción, penalizaciones dirigidas hacia cierto tipo de estructuras que no permiten disponer de ductilidad global apropiada para soportar las deformaciones inelásticas requeridas por el sismo de diseño. Así también depende del tipo de suelo, periodo de vibración considerado, factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite.

Inicialmente el valor de R se escoge de la tabla 11 de la NEC-SE-DS, para posteriormente reducirlo de acuerdo a las irregularidades presentes en la estructura.

3.2. Irregularidades estructurales

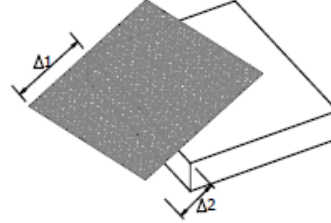
Las irregularidades estructurales son desviaciones o características no deseables en la geometría, la distribución de masa o la rigidez de un edificio o estructura que pueden afectar su comportamiento sísmico y su capacidad para resistir fuerzas laterales, como las producidas por un terremoto. Estas irregularidades pueden influir en la distribución de las fuerzas y las deformaciones dentro de la estructura durante un evento sísmico, lo que a su vez puede afectar la seguridad y la estabilidad del edificio. Se clasifican en dos tipos, irregularidades en planta, irregularidades en elevación.

3.2.1. Irregularidades en planta

3.2.1.1. Irregularidad Torsional

Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia.

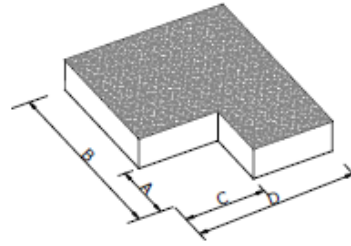
$$\Delta = 1,2 \cdot \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$$



3.2.1.2. Retrocesos excesivos en las esquinas

La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15 % de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.

$$A > 0,15B \quad \text{y} \quad C > 0,15D$$

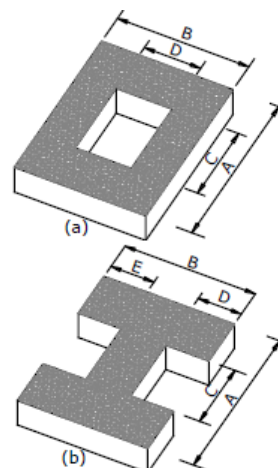


3.2.1.3. Discontinuidades en el sistema de piso

La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50 % del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50 % entre niveles consecutivos.

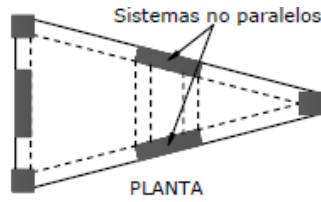
$$C \times D > 0,5A \times B$$

$$[C \times D + C \times E] > 0,5 \times A \times B$$



3.2.1.4. Ejes estructurales no paralelos

La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.



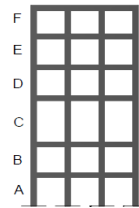
3.2.2. Irregularidades en elevación

3.2.2.1. Piso flexible

La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70 % de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.

$$K_C < 0,70K_D$$

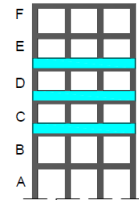
$$K_C < 0,80 \cdot \frac{K_D + K_E + K_F}{3}$$



3.2.2.2. Distribución de masa

La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.

$$m_D = 1,50m_E \text{ ó } m_D > 1,50m_C$$



3.2.2.3. Irregularidad geométrica

La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.

$$a > 1,3b$$

