PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

Trabajo de disertación para la obtención del título de Ingeniero Civil

"JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN EN ESTADIOS"

CASO PRÁCTICO DE UN ESTADIO EN LA CIUDAD DE QUITO

MARÍA VIOLETA SÁNCHEZ ORTIZ

Director:

Ing. Oscar Jaramillo

QUITO, 2022

RESUMEN

Las estructuras se encuentran afectadas diariamente por diferentes factores, tanto internos como externos que pueden dañar a la integridad de la estructura si no se tiene un control, pero se debe tener en cuenta que factores serán los que más afecten a la estructura; por lo que, en el siguiente estudio, mediante la utilización del programa "Robot Analysis Structural", se someterá a una estructura grande a un análisis por dos principales factores: cargas sísmicas (o laterales) y por cargas térmicas; para que, después de obtener los resultados, se considere si es necesario la utilización de un método constructivo para controlar las deformaciones y esfuerzos que producirán esas cargas, y dicho proceso en la construcción se le conoce como juntas de construcción. Se realiza el análisis por carga térmica debido a los cambios de temperatura que sufren los materiales, principalmente se debe conocer cómo reaccionará el concreto ante esas variaciones de temperatura, ya que será el material principal que se utilizará en este proyecto, y al ser afectado por estos cambios, éste se dilata o se contrae, ocasionando mayor cantidad de esfuerzos y estos ocasionan grietas en la estructura, las cuales si no se da un adecuado tratamiento pueden llegar a afectar a la vida útil de la estructura; y, se analizará por cargas sísmicas, debido a que el Ecuador se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, pero principalmente se realiza el análisis por las fuerzas laterales ya que es, el que más daño puede ocasionar a la estructura.

ABSTRACT

Structures are affected daily by different factors, both internal and external that can damage the integrity of the structure if it is not controlled, but it must be taken into account which factors will affect the structure the most; Therefore, in the following study, using the "Robot Analysis Structural" program, a large structure will be subjected to an analysis by seismic (or lateral) loads and by thermal loads, so that, after obtaining the results, it will be considered whether it is necessary to use a construction method to control the deformations and stresses that will produce these loads, and this process in construction is known as construction joints. The analysis by thermal load is carried out due to the temperature changes that the materials undergo, mainly it is necessary to know how concrete will react to these temperature variations, since it will be the main material used in this project, and when it is affected by these changes, it expands or contracts, causing a greater amount of stresses and these cause cracks in the structure, which if not properly treated can affect the useful life of the structure; and, it will be analyzed by seismic loads, because Ecuador is located in an area of high seismic activity, but mainly the analysis will be done by lateral forces since it is the one that can cause more damage to the structure.

CONTENIDO

RESUMEN II

ABSTRACT III

ÍNDICE DE FIGURAS VIII

ÍNDICE DE TABLAS X

1. CAPÍTULO 1: Generalidades 1

1.1. INTRODUCCIÓN 1

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.3. OBJETIVOS 3

1.3.1. Objetivo General. 3

1.3.2. Objetivos Específicos 3

1.4. JUSTIFICACIÓN 3

1.5. ALCANCE 4

2. CAPÍTULO 2: Marco Teórico 5

2.1. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN 5

2.1.1. Definición 5

2.2. Clasificación 5

2.2.1. Hormigón. 6

2.2.2. Acero 9

2.3. FALLAS EN LA ESTRUCTURA 12

2.3.1. Grietas 13
2.3.2. Falla por deslizamiento 14
2.3.3. Falla por golpeteo 15
2.3.4. Falla por configuración estructural 17
2.3.4.1. Irregularidad Torsional 19
2.4. BENEFICIOS DEL USO DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN 20
2.5. IMPORTANCIA 21
2.6. UBICACIÓN DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN 22
2.7. REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS 23
2.8. SELLADO DE JUNTAS 25
2.8.1. Tipos de Sellado 27
2.8.1.1. Sellantes Moldeables en Sitio 27
2.8.1.2. Sellantes Preformados 27
2.8.2. Materiales de Sellado 27
2.8.2.1. Selladores Elastoplásticos. 27
2.8.2.2. Selladores Plásticos. 28
2.8.3. Preparación de la Junta para el sellado 28
2.9. DILATACIÓN TÉRMICA 28
3. CAPÍTULO III: Modelamiento de la Estructura 30
3.1. UBICACIÓN 30

3.2. NORMATIVA 31
3.3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA 31
3.4. ELEMENTOS ESTRUCTURALES 32
3.5. CARGAS ESTRUCTURALES 33
3.5.1. Cargas Permanentes. 34
3.5.2. Cargas Variables 34
3.5.2.1. Carga Viva. 34
3.5.2.2. Carga de Viento. 34
3.5.2.3. Cargas Accidentales. 35
3.5.2.4. Cargas Sísmicas. 35
3.5.3. Combinación de cargas 35
3.6. COLUMNA FUERTE – VIGA DÉBIL 36
3.7. PELIGRO SÍSMICO EN EL ECUADOR 37
3.7.1. Espectro de Diseño 39
3.7.2. Factor de Importancia I 44
3.7.3. Configuración Estructural 45
3.7.3.1. IRREGULARIDAD TORSIONAL 48
3.7.3.1.1. Torsión 50
3.8. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA 51
3.8.1. Materiales 51

3.8.2. Predimensionamiento de los elementos 52

3.8.3. Dimensionamiento de los elementos estructurales 53

3.8.4. Cálculo de cargas 55

3.8.4.1. Cargas 55

3.8.4.2. Combinaciones de carga 57

3.8.5. Diagrama de Interacción de las columnas 60

3.8.6. Parámetros Sísmicos 62

3.8.7. Modos de Vibración 64

3.8.8. Carga Sísmica 64

3.8.9. Deformaciones 68

3.8.9.1. Deformación por Carga Sísmica. 69

3.8.9.1.1. Deformaciones por sismo en "X" 69

3.8.9.1.2. Deformaciones por sismo en "Y" 71

3.8.9.2. Deformación por Carga Térmica. 74

3.8.10. Torsión 77

3.8.11. Momentos 79

3.8.12. Deflexión de la losa 84

4. CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 87

4.1. CONCLUSIONES 87

4.2. RECOMENDACIONES 89

5. BIBLIOGRAFÍA 90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Juntas de Construcción 7

Figura 2 Junta de Contracción 8

Figura 3 Junta de Dilatación o Juntas de Aislamiento 9

Figura 4: Falla por deslizamiento en la junta de construcción. Edificio Obispo Salas, Concepción – Chile. 14

Figura 5: Golpeteo de edificios adyacentes irregulares 16

Figura 6: Junta de Separación Sísmica 17

Figura 7: Efecto de la excentricidad en las estructuras 19

Figura 8: Irregularidad torsional 20

Figura 9: Ubicación del Campus de la PUCE en Nayón 30

Figura 10: Vista en planta del Estadio 32

Figura 11: Criterio de Columna Fuerte – Viga Débil 36

Figura 12: Zonas Sísmicas para propósitos de diseño y el valor del factor de zona Z 38

Figura 13: Espectro elástico horizontal de Diseño NEC – SE – DS. 44

Figura 14: Configuraciones estructurales recomendadas 46

Figura 15: Coeficientes de irregularidad en planta 47

Figura 16: Coeficientes de irregularidad en elevación 48

Figura 17: Centro de masa y de rigidez de la estructura. 49

Figura 18: Esfuerzo de torsión 50

Figura 19: Vista en 3D de la tribuna 51

Figura 20: Propiedades mecánicas de los materiales 52
Figura 21: Diseño de vigas 52x112 cm 53
Figura 22: Diseño de columnas 100x100 cm 54
Figura 23: Diseño de la losa de piso de espesor 30 cm 54
Figura 24: Carga Muerta 55
Figura 25: Carga Viva 56
Figura 26: Carga Térmica 56
Figura 27: Diagrama de Interacción de una columna 60
Figura 28: Esquema Refuerzo transversal de la columna 61
Figura 29: Diagrama de Interacción de la columna 62
Figura 30: Espectro de Respuesta 63
Figura 31: Ingreso de coeficiente en el sentido X 66
Figura 32: Ingreso de coeficiente en el sentido Y 67
Figura 33: Deformación Modelo 1:2 69
Figura 34: Deformación Modelo 1:3 70
Figura 35: Deformación Modelo Inicial 70
Figura 36: Deformación Modelo 1:5 71
Figura 37: Deformación Modelo 1:2 71
Figura 38: Deformación Modelo 1:3 72
Figura 39: Deformación Modelo Inicial 72
Figura 40: Deformación Modelo 1:5 73
Figura 41: Deformación Relación 1:2 74
Figura 42: Deformación Relación 1:3 75

Figura 43: Deformación Modelo Inicial 75
Figura 44: Deformación Relación 1:5 76
Figura 45: Modelo 1:2 77
Figura 46: Modelo 1:3 78
Figura 47: Modelo Inicial 78
Figura 48: Modelo 1:5 79
Figura 49: Momento en X del Modelo 1:2 80
Figura 50: Momento en X del Modelo 1:3 80
Figura 51: Momento en X del Modelo Inicial..... 81
Figura 52: Momento en X del Modelo 1:5 81
Figura 53: Momento en Y del Modelo 1:2 82
Figura 54: Momento en Y del Modelo 1:3 82
Figura 55: Momento en Y del Modelo Inicial..... 83
Figura 56: Momento en Y del Modelo 1:5 83
Figura 57: Deflexión de la losa 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficientes de Dilatación Lineal 29
Tabla 2: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada..... 39
Tabla 3: Clasificación de los perfiles del suelo 40
Tabla 4: Tipo de suelo y Factores de sitio Fa..... 41
Tabla 5: Tipo de suelo y Factores de sitio Fd 42
Tabla 6: Tipo de suelo y Factores de sitio Fs 42

Tabla 7: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. 44

Tabla 8: Combinaciones de carga, método de última resistencia 57

Tabla 9: Combinaciones de carga utilizadas en el programa 58

Tabla 10: Factor de Reducción de Resistencia para elementos flexocompresión. 61

Tabla 11: Valores de los parámetros necesarios para el diseño del Espectro 62

Tabla 12: Porcentaje de participación modal de masa en los modos de vibración 64

Tabla 13: Fuerza sísmica en dirección “X” y “Y” 65

Tabla 14: Valores de carga sísmica corregida 68

Tabla 15: Resumen de valores de las deformaciones por carga sísmica 73

Tabla 16: Temperatura máxima y mínima de la ciudad de Quito 74

Tabla 17: Resumen de valores de las deformaciones por temperatura 76

Tabla 18: Resumen de los valores obtenidos de los Momentos en X y Y 84

Tabla 19: Deflexión Máxima admisible calculada 85

1. CAPÍTULO 1: Generalidades

1.1. INTRODUCCIÓN

Los estadios son construcciones irregulares cerradas que se construyen con el propósito de realizar eventos de gran importancia donde existe la participación de un gran número de personas como espectadores, por tal motivo, es de suma importancia construirlas seguras, cómodas, resistentes y funcionales para que abarquen cualquier necesidad; además, requieren de un amplio estudio, diseño y análisis, especialmente en la construcción de vigas inclinadas debido al diseño de los asientos que se asemejan a las escaleras; en este tipo de estructura se puede encontrar dos tipos de elementos: superficiales (muro, losa, diafragma) y lineales (viga, columna, cable).

Por ser estructuras complejas, en el análisis se debe considerar ciertas características, como por ejemplo, la interacción público-estructura, la configuración estructural, el comportamiento sísmico; todas las características antes mencionadas pueden llegar a afectar a la estructura si no existe un estudio adecuado, por lo que, una de las alternativas que se considera para evitar que estos factores afecten negativamente a la integridad de la estructura, es la utilización de juntas de construcción. A las juntas de construcción se les encuentra tanto en hormigón como en acero, debido a los cambios de volúmenes de los materiales ocasionados por las variaciones de humedad y temperatura, por lo tanto, existen dos importantes tipos de juntas: las de contracción que permiten los movimientos que se produce por causa de la contracción del hormigón después de que se ha endurecido y, las juntas de dilatación que permiten el libre movimiento debido a cambios de temperatura evitando que se forme el agrietamiento en la estructura.

Estas juntas de construcción son diseñadas para que resistan las fuerzas transversales que son causadas por los sismos, también ayudan al control de deformaciones y reducen los incrementos de esfuerzo que existen en los materiales debido a la dilatación térmica, además de

brindar mayor flexibilidad y facilidad de movimiento; otra característica del uso de juntas es separar edificios y evitar que se choquen entre si durante los sismos o posibles inclinaciones a través del tiempo.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El hormigón como elemento constructivo en la actualidad es el más utilizado en las construcciones, debido a su amplia versatilidad de aplicación como por sus buenas propiedades; pero en su proceso de fraguado, éste sufre variaciones por lo que se agrieta debido a su debilidad frente a esfuerzos por tensión y es inevitable la aparición de grietas afectando a la vida útil de la estructura; otro de los factores que puede perjudicar a la integridad de la estructura son las fuerzas laterales, las mismas que deben ser consideradas en nuestro país, el Ecuador se encuentra dentro del conocido "Cinturón de Fuego del Pacífico", lo que genera que exista una gran actividad sísmica entre sus placas, por lo tanto, una alta probabilidad de que ocurran terremotos, y estos movimientos telúricos (laterales) afectan a la estructura constantemente.

Las estructuras buscan de alguna forma alivianar las tensiones de compresión o tracción, para evitar que los movimientos laterales causen daños en la estructura, se requiere de una alternativa de construcción que se le conoce como juntas; el correcto diseño, construcción y sellado de estas es importante para el vital funcionamiento, para prevenir fallas a causa del equivocado proceso de la construcción y de la selección errónea del material en el sellado, ya que se debe evitar que ingrese el agua u otro elemento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General.

- Evaluar las juntas de construcción de un estadio, mediante la modelación de la estructura.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Conocer las diferentes fallas que producen las juntas para la utilización de estas en los estadios.
- Determinar los requisitos de juntas según normas y códigos que existen para la construcción de estructuras.
- Determinar los beneficios de las juntas en estadios (grandes estructuras irregulares)
- Determinar el comportamiento de la junta con cambios de temperatura
- Determinar el comportamiento de la junta con cargas sísmicas
- Determinar si la utilización de las juntas de construcción en los estadios resulta beneficiosa en la estructura para la construcción de éstas.
- Determinar los perjuicios al no usar juntas en estadios.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Los estadios son estructuras públicas que son dirigidas a todos los ciudadanos, para disfrutar de los diferentes eventos que se realicen en ellos; de tal forma, se debe garantizar que las estructuras son seguras ante cualquier eventualidad que se presente. En construcciones de gran importancia y tamaño, se debe considerar los diferentes factores que afectan diariamente sobre la estructura, ya que no se puede prever completamente la fisuración ni las grietas que se producen en el hormigón pero si controlarlas, por lo que se busca una alternativa para que no sufra daños y tenga una larga vida útil y en la construcción, la utilización de estas en las estructuras es de gran

importancia, y mediante un análisis comparativo se busca encontrar la solución óptima, de utilizar o no juntas de construcción en el estadio, para obtener los mejores resultados.

1.5. ALCANCE

Este trabajo de investigación se basa en la aplicación de los fundamentos teóricos para la obtención de resultados satisfactorios con la utilización de juntas de construcción en la estructura de un estadio, el cual se encuentra en etapa de diseño con el objetivo de controlar los efectos producidos por factores externos que pueden ocasionar daños internos como externos en la estructura.

El fin de esta tesis es aplicar de manera adecuada un modelo de la estructura de hormigón que permita cumplir con los objetivos planteados al inicio del proyecto y obtener así un resultado óptimo. Para realizar este modelo de la estructura, se utilizará el programa "Robot Structural Analysis", en el que el modelo será sometido a las diferentes cargas y con los resultados obtenidos, se observará si la utilización de juntas es apta o no, y se determinará que tipo de junta se debe utilizar para ese tipo de estructura, como también que norma se requiere utilizar.

El análisis de las juntas de construcción se realizará específicamente en el Estadio de la Universidad Católica, el mismo que construido en la sede de Nayón de la PUCE, este lugar será apto para las distintas actividades deportivas, culturales y recreativas, entre ellas para el uso del equipo de fútbol del Club Deportivo Universidad Católica, así como de la Universidad (Estudiantes, docentes y personal administrativo).

2. CAPÍTULO 2: Marco Teórico

2.1. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

2.1.1. Definición

No existe una terminología coherente para la palabra “juntas”, pero en 1979, el Comité de Actividades Técnicas del Instituto Americano del Concreto (TAC por sus siglas en inglés) adoptó una definición más acorde sobre juntas para su uso en los documentos de la ACI, la cual será en base a las características de resistencia, configuración, formación, ubicación, tipo de estructura y función. (ACI, 1995, p. 224)

En la mayoría de las estructuras de hormigón armado se utiliza juntas de construcción, porque son espacios que existen entre dos elementos estructurales que permiten que los movimientos producidos en la estructura debido a los diferentes factores tengan libertad, ya que si se restringe estos movimientos, pueden llegar a afectar gravemente al comportamiento de la estructura.

2.2. Clasificación

En la construcción, las juntas se les utiliza por diferentes razones, por ejemplo, por la expansión o contracción térmica del material, los movimientos ocasionados por causa de las fuerzas laterales (fuerza sísmica), entre otros. Por tal motivo, se tiene diferentes tipos de juntas que nos ayudarán a prevenir los daños que pueden producirse por las razones descritas anteriormente.

Los principales materiales que se utiliza en la construcción son el hormigón y el acero, por lo que, dependiendo del material, se utilizará el tipo de junta que se clasifica en base a los movimientos que se requiere controlar.

2.2.1. Hormigón.

El hormigón o concreto es el material que más se utiliza en los diferentes tipos de construcción, se le obtiene de la mezcla entre cemento, áridos (grava y arena) y que, al agregar agua se crea una masa moldeable y compacta, que luego de un cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, pero por presentar una baja resistencia a la tracción, se suele reforzar con barras de acero y se le conoce como hormigón armado. (Narayanan, 2013, p. 44)

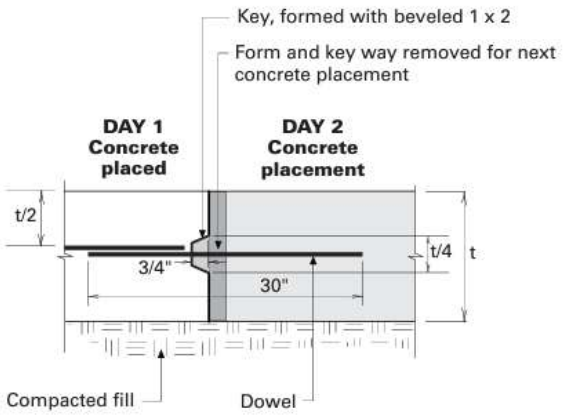
2.2.1.1. Juntas de Construcción

Las juntas de construcción se crean cuando existe una interrupción en el concreto, generando así espacios entre dos diferentes capas del material (hormigón antiguo y nuevo), este tipo de juntas deben ser planificadas con anterioridad en el diseño, ubicándoles de tal manera que no afecten a la resistencia de la estructura. En las estructuras no es óptico colocar al hormigón de manera continua, por lo que se requiere de juntas de construcción para establecer una secuencia de construcción para la colocación de este. (ACI, 1995)

Como se puede observar en la Figura 1, las juntas de construcción son puntos de parada en el proceso de construcción, su función principal es unir dos elementos o capas de hormigón sucesivos y se les ubica principalmente cerca del centroide debido a que el esfuerzo cortante en ese sitio es muy alto. Este tipo de juntas requieren de un cuidado especial, generalmente suelen ser diseñadas y construidas para que funcionen como juntas de contracción. (Kosmatka, Kerkhoff, & Panarese, 2002).

Figura 1

Juntas de Construcción



Fuente: (Kammel, 2005, p. 78). https://datcp.wi.gov/Documents/CDSChapter5.pdf

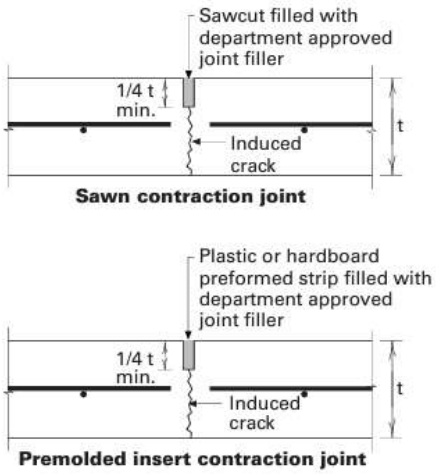
2.2.1.2. Junta de Contracción

Debido a los cambios de temperatura que se producen en el concreto, éste provoca esfuerzos de tensión cuando el material se encuentra restringido; se conoce que la capacidad a la tracción en el hormigón es relativamente baja, por lo que es casi seguro que se produzcan grietas al momento en que alcance la máxima resistencia a tracción, por esa razón se utiliza juntas de contracción. (Pfeiffer & David Darwin, 1987).

Las juntas de contracción o conocidas también como juntas de control, se les construye para permitir la transferencia de cargas perpendiculares al plano que se forman por el cambio de volumen en el material, ya que por la retracción y secado del mismo produce esfuerzos de tracción superiores a la resistencia a tracción del hormigón y si no se le controla, puede llegar a perjudicar a la resistencia de la estructura.

Figura 2

Juntas de Contracción



Nota: (Kammel, 2005, pp. 78-79) https://datcp.wi.gov/Documents/CDSChapter5.pdf

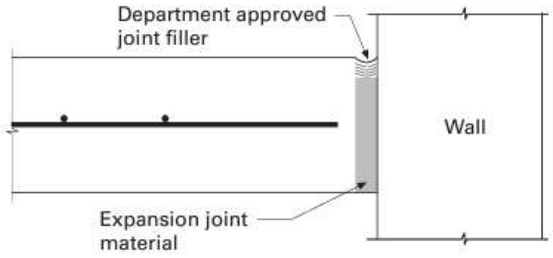
2.2.1.3. Juntas de Dilatación

Las juntas de dilatación o juntas de aislamiento permiten los movimientos diferenciales horizontales y verticales en la estructura. El concreto ante los cambios de temperatura se expande y se encoge al secado; estos cambios deben ser previstos en el diseño mediante juntas para aliviar las tensiones producidas. Este tipo de juntas se les utiliza para proteger a la estructura que no tenga contacto con fluidos o bajo una presión hidráulica. (Kosmatka, Kerkhoff, & Panarese, 2002, p. 206)

Frecuentemente se les coloca en donde hay cambios abruptos en el espesor, desplazamientos o cambios en el tipo de construcción, por ejemplo, entre una losa de pavimento de un puente y la losa de la carretera. (Hamón, 2009, p. 16).

Figura 3

Junta de Dilatación o Juntas de Aislamiento



Nota: (Kammel, 2005, pp. 77-78) https://datcp.wi.gov/Documents/CDSChapter5.pdf

2.2.2. Acero

El acero es otro de los materiales más importantes que se utiliza en la construcción, se compone de la aleación de hierro y carbono; este material obtiene ese alto grado de importancia debido a que posee una gran flexibilidad por ser un material fuerte y versátil, como también por la combinación de resistencia, ductilidad, elasticidad, durabilidad, tenacidad, facilidad y bajo costo en su fabricación. (Maldonado Flores, 1996). En el acero, las conexiones es la forma en la que mantiene unidos a los miembros estructurales, esa conexión se les realiza mediante pernos, tornillos, soldaduras, etc., y se debe evitar que existan fallas en los puntos de conexión de los miembros.

2.2.2.1. Conexiones Simples

Las conexiones simples son las más utilizadas en las construcciones con acero. Son conexiones de corte flexibles permitiendo a que se produzca una rotación en el extremo del miembro. Estas conexiones pueden concretarse conectando el alma del elemento soportado, mientras que las alas se encuentran desconectadas, (Csernak & McCormac, 2013, p. 529).

2.2.2.2. Conexiones Rígidas

Las conexiones rígidas o conexiones resistentes a momentos son aquellas donde la rotación en los extremos es nula, es decir son completamente restringida en los extremos empotrados de las vigas y celosías, por tal motivo el momento se transfiere completamente al empotramiento y las deformaciones a flexión se producen en los miembros (viga o pilares) cercanos al nudo. (Csernak & McCormac, 2013)

2.2.2.3. Conexiones Semirrígidas

Las conexiones semirrígidas son aquellas que tienen una apreciable resistencia a la rotación del extremo, desarrollando así momentos de extremo de consideración. Este tipo de conexión son capaces de proporcionar, como mínimo un previsible porcentaje de empotramiento (Csernak & McCormac, 2013, p. 530).

2.2.2.4. Conexiones Remachadas

Las conexiones remachadas son un tipo de conexiones rígidas debido a que no se pueden retirar al menos que se realice una reparación exacta. Este tipo de conexión trasmite la carga de diseño debido a la fricción que existe entre las placas engrapadas y así formar la junta.

2.2.2.5. Conexiones Soldadas

La soldadura es un proceso de conexión entre múltiples partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies que facilitan tener una unión íntima y permanente de los elementos metálicos, dejándolos con una continuidad apta, pero conservando sus cualidades físicas. Se les utiliza por su simplicidad en el diseño, ya que requiere de menos partes y menos material. Las especificaciones que se encuentran en la American Welding Society (AWS) son las que mejor describen los requerimientos y técnicas a utilizar. (Capa, 2009)

Las ventajas de la soldadura es cuando si está bien diseñada, ésta puede llegar a ser más resistente en comparación del metal base, también en el aspecto económico ya que el peso del acero permite un gran ahorro en comparación a otros materiales; pero como desventajas para estructuras grandes es la contracción de la soldadura y como los miembros se encuentran soldados entre sí, estas se vuelven rígidas en los extremos simples con baja resistencia a momentos, pero otra desventaja es en la parte del proceso, ya que se requiere de operarios calificados para realizar esta acción, por lo tanto aumenta el costo.

2.2.2.6. Conexiones Atornilladas

Este tipo de conexión es el más utilizado en las estructuras, debido a que existen normas específicas para su cálculo. Una de las ventajas que presenta es la rapidez en el proceso además de requerir una mano de obra menos especializada en comparación con las conexiones soldadas; su facilidad de remover es de gran importancia en el momento de montaje y desmontaje de los componentes estructurales. Pero la desventaja que existe es en el costo del tornillo, ya que se requiere obtener uno de alta resistencia, a pesar del costo sigue siendo más favorable este tipo de conexión en comparación a las anteriores conexiones descritas.

2.2.2.7. Juntas de Expansión

Como es en el caso del concreto, en las edificaciones con acero también se debe tomar muy en cuenta los cambios volumétricos de cada material, los materiales varían en los cambios ya que depende de las propiedades físicas, y como resultados de esos cambios se producen movimientos entre ellos; por lo que, a cada material se le debe estudiar a detalle los cambios que puede producir en la estructura.

Estas juntas se les utiliza especialmente en cubiertas y en estructuras donde las dimensiones en planta son grandes, ya que pueden ocasionar fallas locales o generales si no existe una apropiada

expansión de los materiales con respecto a los cambios de temperatura y estos cambios se producen más cuando en la estructura existe mampostería ya que esta puede ocasionar variaciones volumétricas mayores que la misma estructura. En el diseño se debe tener en cuenta de estos cambios porque en general en la etapa de construcción se presentan estos inconvenientes en los edificios hasta el punto de que en algunos casos se construyen juntas que permanecen funcionales solo en una específica etapa, y al finalizar la construcción las sellan.

2.3. FALLAS EN LA ESTRUCTURA

El entendimiento del comportamiento sísmico de las estructuras ha requerido de la identificación de las características que han conducido a las fallas, o bien, a un buen comportamiento estructural, y, también, del análisis de los tipos de daños y de sus causas. (Serrano Lizaola, 2001).

Las fallas en una estructura se pueden presentar debido a diferentes factores externos como internos, los factores externos que pueden afectar a la estructura son los movimientos causados por los sismos, los cambios de temperatura; los factores internos pueden relacionarse a los errores que se pueden cometer en la fase de construcción como por ejemplo la adicción de cantidades inadecuadas en los materiales o el erróneo curado del hormigón; estos errores ocasionan que se presente descamación como agrietamiento. Estas fallas generalmente se presentan en los planos débiles, ya que se producen por la presencia de irregularidades estructurales, en la rigidez, resistencia, masa y geometría de la estructura.

El principal problema que se presenta es el agrietamiento y se produce debido a la restricción de movimiento que tiene el hormigón, ya que esta restricción puede llegar a causar daños internos como externos en la estructura, debido a que provoca esfuerzos de tensión en los elementos. (ACI, 1995).

Los factores externos que pueden ocasionar daños son causados por los cambios de temperatura como de volumen ya que se originan cuando se produce el encogimiento del concreto al secarse y por la expansión o contracción del material, otra causa principal es los movimientos producidos por las ondas sísmicas, la gravedad por la que se verá afectada la estructura depende de las características del sismo, la calidad de la construcción como de la configuración estructural, ya que no todos los puntos de la edificación tendrán la misma acción sísmica. En base a estudios anteriores, los daños mas grandes que se han visto en las estructuras es las que presentan irregularidades tanto en planta como en elevación y en su geometría, ya que mayor es la longitud, mayor será el daño. (Gonzalez Herrera & Gómez Soberón, 2009).

Otro problema que generalmente se presentan en las estructuras es el agrietamiento, el cual puede ser interno como externo, al ser un problema externo no es de gravedad, pero si el agrietamiento es interno, en primer lugar, se debe observar porque esta presentando esta falla, la cual puede ser debido a que el hormigón presenta restricción de movimiento ocasionando esfuerzos de tensión en los elementos.

2.3.1. Grietas

Las grietas son el resultado de los esfuerzos de tracción aplicados en el hormigón cuando superan la resistencia a la tracción del mismo, existen diferentes causas para que aparezcan en los diferentes materiales: las de origen químico que son causadas debido a los cambios de hidratación que sufre el cemento o la oxidación del acero de refuerzo; y las de origen físico, que son cuando existen cambios de volumen en los materiales, como de expansión que causan esfuerzos de comprensión y de contracción que causa esfuerzos de tensión. (Corral, 2004)

Las grietas en las estructuras de hormigón armado con el tiempo producen efectos desfavorables para la estructura principalmente en su durabilidad, pero también afecta en la

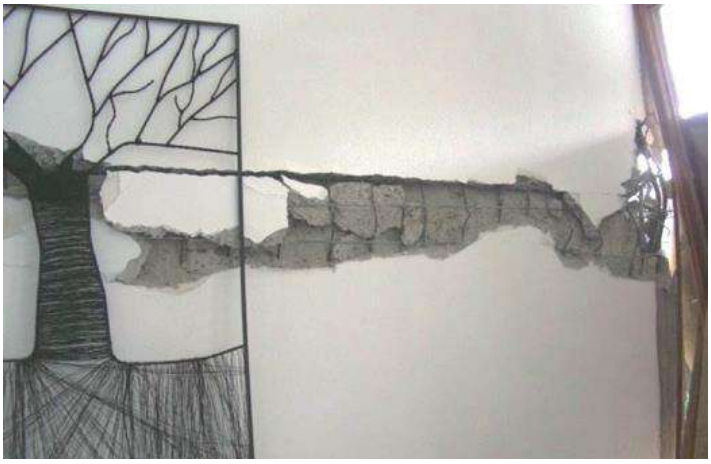
apariencia de ésta; por lo que, para evitar que se produzcan estas consecuencias, se recomienda controlarlas en la etapa de diseño, ya que, si se espera hasta que aparezcan, repararlas tendrá un costo elevado. (Naotunna, 2021)

2.3.2. Falla por deslizamiento

Este tipo de falla se produce cuando dos grietas formadas por flexión se conectan en ambos extremos del muro, y se genera usualmente en las juntas de construcción, son de gran peligro si las juntas son lisas o cuando los traslapes del refuerzo vertical solo por flexión son realizados en la misma sección transversal sin considerar que en simultáneo actúa la fuerza cortante, adoptando sus valores máximos en el momento del sismo.

Figura 4

Falla por deslizamiento en la junta de construcción. Edificio Obispo Salas, Concepción – Chile.



Fuente: (San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2011, pp. 36-48) http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000200004&lng=es&tlng=es

A partir de estudios y análisis de resultados anteriores causados por los sismos en las estructuras, se pudo determinar algunos factores que pudieron influenciar a que exista la falla, como son:

- Interrupciones en las cargas verticales y laterales del sistema resistente
- Fallo en las conexiones y anclajes
- Planos equivocados de diseño
- Ausencia de juntas
- Uso de elementos sin confinamiento de acero transversal en zonas donde se requiere.
- Flexibilidad ante cargas laterales

Los factores mencionados anteriormente no son los únicos que pueden afectar a la estructura, hay algunas razones que pueden ocasionar fallas en la misma:

- El diseño y colocación incorrecta de la junta, produce que la junta se desplace y ya no cumpla con su función.
- Si la junta se encuentra sobrecargada, en esta existirá demasiada presión ocasionando asentamientos en el hormigón y que se produzca la falla en el concreto.

2.3.3. Falla por golpeteo

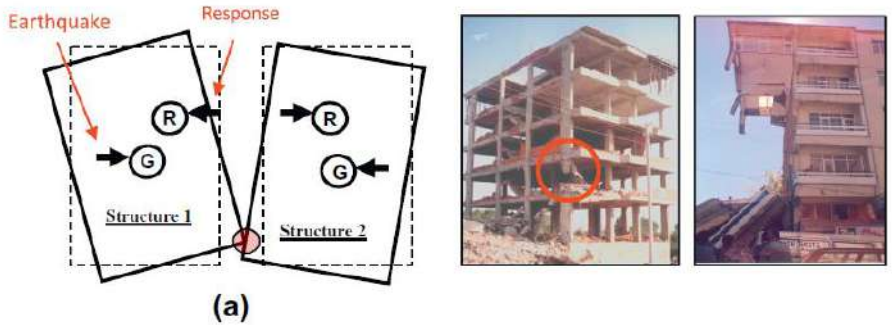
Una de las fallas más comunes que existe entre dos estructuras que se encuentran cerca y son afectadas por los terremotos fuertes, es el golpeteo estructural (Structural Pounding en inglés), y puede llegar a ser catastrófico. (Brown & Elshaer, 2022)

El efecto de golpeteo puede mitigarse proporcionando una distancia adecuada entre las estructuras, el cual existe al diseñar las juntas; la función de las juntas equivale al espacio que se

deja entre las dos estructuras con irregularidades en planta para separarlas, debido a que este tipo de estructuras tienen torsión ante su eje vertical.

Figura 5

Golpeteo de edificios adyacentes irregulares



Fuente: (Gokdemir, Ozbasaran, Dogan, Unluoglu, & Albayrak, 2013, pp. 713-717) https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.028

Para evitar que se produzca esta falla, en la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, nos indica que se debe colocar una junta con una distancia mínima "s", la cual sirve para evitar que exista el contacto entre dos estructuras ante un movimiento sísmico, como se puede observar en la Figura 6. Esta distancia s no será mayor a los 2/3 de los desplazamientos máximos de los bloques adyacentes, ni menor que:

a) $s = 3 + 0{,}004 * (h - 500)$, donde h y s están en centímetros.

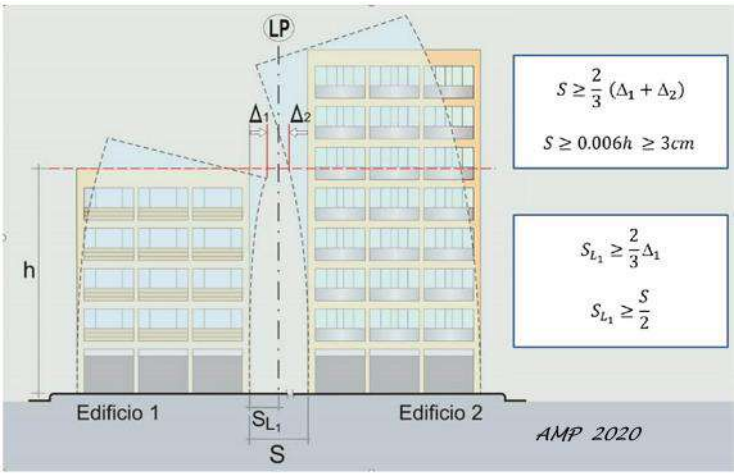
b) $s > 3$ cm

Donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar s. (Norma E.030, 2020, p. 49).

Si ya se encuentra construido un edificio, y este no tenga la distancia de la junta, la estructura que se está construyendo debe dejar la junta con una separación necesaria para las dos estructuras.

Figura 6

Junta de Separación Sísmica



Fuente: (SENCICO, 2020).

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS_A_LA_NORMA_PERUANA_E.030_DISE%C3%91O_SISMORRESISTENTE.pdf

2.3.4. Falla por configuración estructural

La regularidad o irregularidad estructural está determinado por la composición arquitectónica tanto en planta como en elevación y la configuración de la estructura, la que está definida por los elementos resistentes, es decir, muros, columnas, sistemas de piso, elementos no estructurales, etc. Los principales efectos son columna corta, discontinuidad de columnas o elementos estructurales, piso blando y torsión; por lo tanto, las irregularidades son frecuentemente los errores que causan más daños en las construcciones, al no ser analizados adecuadamente en el diseño o mal ejecutados por los constructores. (Gonzalez Herrera & Gómez Soberón, 2009)

Tener irregularidades en la construcción es inevitable en la actualidad, debido a que en la mayoría de las estructuras tienen importancia arquitectónica, por lo que es más complicado construir estructuras regulares, pero al tener estas irregulares, en el análisis se requiere de un estudio previo del comportamiento de estas. (Archana & Devi, 2019).

Las normas de construcción de los diferentes países recomiendan que se debe evitar que en las estructuras tengas irregularidades de masa, rigidez y resistencia, por lo que, según el ASCE 7-19, las irregularidades que se presentan tanto en planta como en elevación se clasifican en:

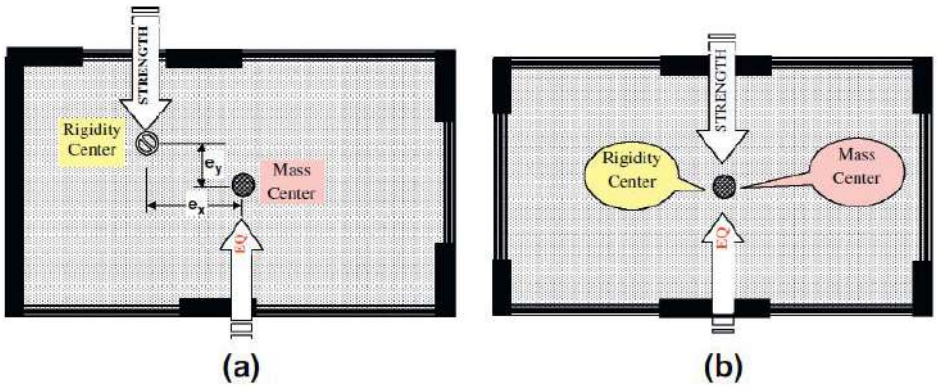
- Irregularidad de rigidez (piso blando): se define cuando el piso presenta una rigidez lateral es inferior al 50 - 70% del piso superior o inferior al 70 - 80% de la rigidez media de los tres pisos superiores.
- Irregularidad de masa: esta irregularidad existe cuando la masa efectiva de cualquier piso es superior al 110-150% de la masa efectiva del piso adyacente, no es necesario considerar un techo más ligero que del piso inferior.
- Irregularidad geométrica
    - En planta: se debe evitar este tipo de irregularidad, ya que ocurre cuando los ejes simétricos de la planta no son regulares ni perpendiculares entre sí, además de los elementos verticales resistentes a las cargas laterales no son paralelos ni simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales del sistema.
    - En elevación: se define irregularidad geométrica vertical cuando la dimensión horizontal en cualquier piso es mayor al 130% de la adyacente.
- Discontinuidad en la fuerza lateral: irregularidad del piso blando se define cuando la resistencia lateral del piso es inferior al 65% del piso superior u 80% de la del piso inferior. (ASCE 7-16, 2017)

2.3.4.1. Irregularidad Torsional

Existe torsión en la estructura debido a varias razones, la más común es la distribución asimétrica de la masa y rigidez a lo largo de la estructura, y se conoce que, cuanto mayor sea la excentricidad entre el centro de masa y de rigidez, mayores serán los efectos de torsión, como se observa en la figura 7, lo que conduce a mayores desplazamientos y derivas en los edificios seguido de una traslación y de la propagación de las ondas sísmicas.

Figura 7

Efecto de la excentricidad en las estructuras



Nota: a) Sistema de estructura Irregular, b) Sistema de una estructura regular

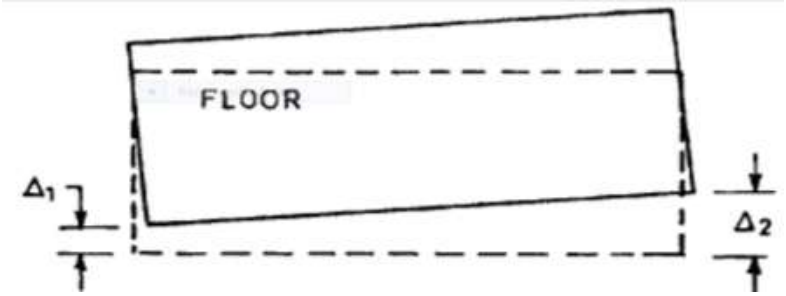
Fuente: (Gokdemir, Ozbasaran, Dogan, Unluoglu, & Albayrak, 2013) https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.028

Este tipo de irregularidad se aplican únicamente en las estructuras donde los diafragmas son rígidos o semirrígidos; se define cuando la deriva máxima de piso, incluyendo la torsión accidental en un extremo de la estructura transversal a un eje es más de 1.2 o 1.4 veces el promedio de las derivas de piso de los dos extremos de la estructura como se muestra en la figura 8. (ASCE 7-16, 2017).

Para evitar que existan estos problemas de torsión en la estructura, se debe diseñar a la planta de la forma más simétrica posible, y los elementos que la conforman deben estar simétricos con respecto a sus ejes. Pero, después de intentar realizarla simétrica a la planta no se logra, a la estructura se le debe dividir en módulos independientes, los cuales serán realizados a través de juntas, teniendo como resultado módulos individuales simétricos. (NSR-10 , 2010, pp. E-4)

Figura 8

Irregularidad torsional



Fuente: (Archana & Devi, 2019) http://www.ijirset.com/upload/2019/march/112_TORSIONAL.pdf

2.4. BENEFICIOS DEL USO DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

El concreto sufre una contracción por secado, lo que significa que a medida que se encoge desde la superficie hacia su centro de masa ocasiona que las tensiones a tracción se acumulen y se expande por la humedad, por lo que se utiliza juntas de contracción para alivianar las tensiones ocasionando que el material tenga espacio para el libre movimiento. Son de gran importancia en estructuras que se encuentran expuestas al aire libre.

El hormigón sufre expansión o contracción térmica debido a las variaciones de temperatura, por lo que, la utilización de juntas es importante para que la estructura tenga ese libre movimiento entre sus elementos, evitando así que estos movimientos formen las conocidas grietas

que son causadas por el cambio térmico de los materiales que perjudiquen a la estructura, y permite la transferencia de cargas perpendiculares.

Realizar un correcto análisis y diseño de las juntas, nos proporciona beneficios para no observar inconvenientes a largo plazo; ya que el rendimiento de la estructura estará en su punto máximo, permitiendo que las losas se expandan y contraigan naturalmente sin ocasionar daños en la estructura.

Una estructura presenta flexibilidad excesiva generalmente cuando existe grandes luces o cuando se encuentra ante cargas externas, por lo que puede sufrir desplazamientos laterales, conocidas como derivas de piso, esto ocasiona inestabilidad en la estructura y daños en los elementos no estructurales; por lo que, dicho anteriormente, se recomienda el uso de juntas, ya que éstas proporcionan el espacio ideal para que las deformaciones que se producen por ser una estructura de grandes luces, tengan donde moverse libremente, evitando así que la estructura presente las derivas de piso.

2.5. IMPORTANCIA

El uso de juntas en las estructuras es de alta importancia, ayuda a que la estructura evite que sufra daños por factores mecánicos, térmicos ocasionados por la distribución de cargas que existen sobre la estructura; y se les diseña para garantizar seguridad, durabilidad y capacidad para soportar las tensiones que se previeron en el análisis.

Las juntas son necesarias en las estructuras de hormigón debido a la baja tracción del concreto, éste provocaría fuerzas de tracción y eso ocasionaría la formación de grietas, de tal forma se colocan en lugares que ayuden a alivianar las tensiones de tracción o compresión que existirán en la estructura. El detalle de las juntas es un aspecto importante en el diseño del edificio, las juntas

bien diseñadas y construidas mejorarán tanto en el aspecto externo de un edificio como en el rendimiento deseado.

Cuando existen estructuras adyacentes, se corre el riesgo al momento de estar expuestas a las cargas, estas produzcan movimientos en las mismas, lo que ocasionaría que se choquen entre sí; por lo que, se utiliza una adecuada junta de construcción entre edificaciones para evitar que se produzca la falla de golpeteo, esta junta creará una separación entre las construcciones y así, al momento de que la estructura se encuentre afectada, ésta ayudará a que no existan fisuraciones en las mismas. Las juntas son de gran importancia para que la estructura tenga un buen funcionamiento, por lo que salvaguardar a la estructura de las adversidades ambientales sin colocar juntas no es posible, por lo que deben ser bien planificadas y diseñadas en la construcción. Se debe conocer bien el propósito de las juntas para una mejor trabajabilidad.

2.6. UBICACIÓN DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas de construcción generalmente se les debe ubicar perpendicularmente a las tensiones de comprensión, según la Norma Peruana E060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones nos indica que las juntas deben ser ubicadas de tal forma que no disminuyan la resistencia del elemento estructural y que, en losas o entrepisos, éstas deben ser ubicadas en el tercio central de la luz de la losa y vigas. (Norma E.030, 2009)

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción nos indica que, para la ubicación de las juntas de construcción se debe basarse en el Capítulo 6 de la ACI 318-19 (“Formwork, embedments, and construction joints”), en la sección 14.3.4.2 nos indica que para determinar el número y ubicación de juntas se debe tener en cuenta lo siguiente:

a) Las condiciones climáticas

b) Selección y dosificación de los materiales

c) Mezclado, colocación y curado del hormigón

d) Grado de restricción al movimiento

e) Esfuerzos debido a cargas que está sometido el elemento

f) Técnicas de construcción.

2.7. REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción no explica los requisitos a utilizar, pero nos indica en que norma guiarnos, lo cuales son los requisitos descritos de la ACI 318-19 capítulo 26.5.6.2 Juntas de Construcción, Contracción y Aislamiento. (ACI, 2019, p. 534)

a) Las ubicaciones y detalles de las juntas que no se especifican o que difieren de las indicadas en los documentos de construcción deben ser aprobadas por el profesional facultado para diseñar.

b) Excepto para el concreto presforzado, las juntas de construcción en entrepisos y cubiertas deben ubicarse dentro del tercio central del vano de las losas, vigas y vigas maestras a menos que el profesional facultado para diseñar apruebe otra ubicación.

c) Las juntas de construcción en vigas principales deben desplazarse a una distancia mínima de dos veces el ancho de las vigas que las intersecan, medida desde la cara de la viga que la interseca, a menos que el profesional facultado para diseñar apruebe otro modo de realizarlas.

d) Las juntas de construcción deben limpiarse y deben estar libres de lechada antes de colocar el concreto nuevo.

e) La superficie de las juntas de construcción debe hacerse intencionalmente rugosa cuando se especifique.

f) Inmediatamente antes de iniciar una nueva etapa de colocación, deben mojarse todas las juntas de construcción y eliminarse el agua empozada.

g) Para el hormigón, las superficies de las juntas de construcción se cortarán en un ángulo de 45 grados con respecto a la superficie acabada, a menos que se designe una junta cuadrada en los documentos de construcción.

h) En el caso del hormigón proyectado, las juntas de construcción propuestas en lugares que no se muestran en los documentos de construcción se presentarán al profesional de diseño autorizado para su aprobación antes de la colocación del hormigón proyectado.

Según la Norma Técnica Colombiana NSR-10, Capítulo C.6.4 Juntas de Construcción, nos indica los siguientes requisitos que se debe tener en cuenta al construir las juntas:

1) "La superficie de la junta de construcción de concreto debe limpiarse y estar libre de lechada.
2) Antes de comenzar una nueva etapa de la colocación del hormigón, se debe mojar a las juntas de construcción y eliminar el agua apozada.
3) Se les debe diseñar y ubicar de tal manera que no perjudique a la resistencia de la estructura; se debe tomar nota de las medidas de transferencia apropiada de cortante y de otras fuerzas mediante las juntas de construcción.
4) Para entrepisos, las juntas de construcción deben ubicarse dentro del tercio central del vano de las losas, vigas y vigas principales, utilizando productos que garanticen una buena adherencia.

5) En las vigas principales, las juntas de construcción deben estar ubicadas a una distancia mínima de dos veces el ancho de las vigas que les intersecan.” (NSR-10 , 2010, pp. C-49).

En la misma Norma Colombiana NSR-10, en el capítulo 22: Concreto estructural simple, nos indica que:

1) “Se utiliza juntas de contracción o aislamiento para dividir los elementos de concreto simple en elementos discontinuos en flexión. Se debe escoger un tamaño que limite el esfuerzo que es ocasionado por la restricción de movimiento causados por el flujo plástico, como por la variación de temperatura.
2) Para determinar la ubicación y el número de juntas de contracción o aislamiento, se debe tener muy en cuenta a: las condiciones climáticas; selección y dosificación de los materiales; mezclado, colocación y curado del concreto; grados de restricción al movimiento; esfuerzos causados por las cargas que se encuentran sometidos los elementos; y las diferentes técnicas de construcción.” (NSR-10 , 2010, pp. C-201)

2.8. SELLADO DE JUNTAS

El sellado de juntas es un proceso importante de cerrado e impermeabilización garantizando resistencia y durabilidad en las juntas con el pasar de los años, permite el movimiento necesario que necesitan los materiales, evitando que la superficie sea afectada por los cambios bruscos de temperatura, y tiene como objetivo evitar el ingreso de agua u otros elementos que pueden afectar al funcionamiento de las juntas.

Para el sellado de juntas, se necesita realizar un proceso de manera adecuada: escoger un correcto tipo de material, el cual se convertirá en el sellador; método de instalación y las

características de preparación según las especificaciones de los materiales, para la protección de la estructura manteniéndola sostenible durante su vida útil. El correcto sellado de juntas proporciona una buena apariencia externa a la propiedad, evitan cualquier tipo de infiltración.

En el ACI 504R "Guía de Selladores de Juntas de Estructuras de Concreto", nos presentan un amplio análisis que se debe seguir para tener un satisfactorio funcionamiento de sellado, los cuales son:

- Ser un material impermeable, porque actúa como impermeabilizante que protege a la superficie de cualquier afección causada por factores externos.
- Estar adherido a la superficie de hormigón para no fallar en la adherencia ni en las equinas u otras áreas locales de alto estrés.
- Resistir el flujo debido a la gravedad (o a la presión del fluido) o a un ablandamiento inaceptable a temperaturas de servicio más elevadas.
- No debe endurecerse ni ser frágiles ante temperaturas de servicio más bajas, ni ser afectado por el envejecimiento, la intemperie u otros factores de servicio para una vida útil.
- Evitan que el agua y otros elementos ingresen mediante las fisuras, llegando así a dañar al material y causando afectaciones a la estructura.

Una vez finalizado el sellado, se tendrá un carácter elástico capaz de comprimirse o deformarse, pero se debe comprobar de forma periódica para garantizar su correcto mantenimiento.

2.8.1. Tipos de Sellado

Se conoce dos tipos de sellado, el primero es en base a juntas abiertas en la superficie como en pavimentos y edificaciones, debido a que el material sellante estará expuesto a los factores ambientales; el segundo se encuentra constituido por juntas típicas de recipientes, presas, tuberías que se las coloca usualmente para frenar el paso del agua y se las denomina "juntas pasivas" porque no existen movimientos bruscos.

2.8.1.1. Sellantes Moldeables en Sitio

"Se aplican en estado líquido o semi líquido y adoptan la forma requerida dentro del molde conformado por la abertura de la junta." (Porrero S., Ramos R., Grases G. , & Velazco, 2009, p. 236).

2.8.1.2. Sellantes Preformados

"Son aquellos que han sido funcionalmente preformados en planta y requieren un mínimo de adaptación en el sitio." (Porrero S., Ramos R., Grases G. , & Velazco, 2009, p. 238)

2.8.2. Materiales de Sellado

Para escoger el correcto material para sellado, debe guiarse de las propiedades específicas, lo que mejorará su funcionalidad.

2.8.2.1. Selladores Elastoplásticos.

Son los polisulfuros y algunos acrílicos, epoxis y siliconas. Son adecuados para juntas que son afectadas por movimientos lentos y cíclicos, y para deformaciones permanentes. (Hutchinson, Pagliuca, & Woolman, 1995, p. 383).

2.8.2.2. Selladores Plásticos.

Son los materiales a base de acrílico, aceite. Son adecuados para juntas que son afectadas por escasos movimientos y deformación permanente por compresión. Las juntas de plástico se relajan bajo la deformación, minimizando el riesgo de fallo de adherencia. (Hutchinson, Pagliuca, & Woolman, 1995, p. 383).

2.8.3. Preparación de la Junta para el sellado

La función principal del sellado es crear un sello cuando se adhieren en ambos lados de la junta y el rendimiento de esta se verá dependiendo de que el sellante se adhiera y permanezca unido a las caras de la junta; el mantenimiento del sellado depende de la resistencia de las fuerzas que se requieren para estirar o comprimir el sellante. La experiencia ha demostrado que, con un diseño adecuado de la junta y la aplicación del sellante, el uso de materiales apropiados da como resultado juntas de mayor durabilidad, especialmente en condiciones de humedad prolongada. (Hutchinson, Pagliuca, & Woolman, 1995, p. 384)

2.9. DILATACIÓN TÉRMICA

Todo material posee una dilatación o contracción con variación de temperatura. La definición de la dilatación térmica es cuando existe un aumento de temperatura en una sustancia que origina que las moléculas se agiten más rápido y tiendan a separarse, por lo que, tanto en líquidos como en sólidos, cuando existe un aumento de temperatura, estos se dilatan y al disminuir se contraen; en los casos de los sólidos, cuando se calientan, estos experimentan un aumento en sus dimensiones, afectando así a la longitud inicial, área inicial hasta su volumen inicial. (Hernández, 2014)

Para determinar las variaciones de temperatura, se utiliza coeficientes de dilatación lineal, superficial y de volumen (α, β, γ), los cuales su valor dependerá del material que se utiliza y esos valores se les puede encontrar en Tabla 1

Tabla 1

Coeficientes de Dilatación Lineal

SUSTANCIA	COEFICIENTE DE DILATACIÓN LINEAL ($^oC^{-1}$)
ACERO	$1.1x10^{-5}$
ALUMINIO	$2.4x10^{-5}$
CONCRETO	$0.8 – 1.2x10^{-5}$
COBRE	$1.7\ x10^{-5}$
VIDRIO COMÚN	$0.9\ x10^{-5}$
HIERRO	$1.2\ x10^{-5}$
PLATA	$2\ x10^{-5}$
ZINC	$2.6\ x10^{-5}$

Fuente: (Hernández, 2014) http://www.uaeh.edu.mx/virtual

Para calcular el incremento en sus dimensiones, se puede utilizar las siguientes fórmulas:

- Para cambio de longitud

$$L = Lo(1 + \alpha\Delta T)$$

- Para cambio en su superficie

$$A_f = Ao(1 + \gamma\Delta T)$$

- Para cambio en su volumen

$$V = V(1 + \beta \Delta T)$$

3. CAPÍTULO III: Modelamiento de la Estructura

3.1. UBICACIÓN

La estructura analizada será construida en Nayón, donde su área corresponde a una zona sedimentaria de origen volcánico. Y, guiándonos de estudios de suelos anteriores, se observa que en el suelo hay presencia de lavas, aglomerados y tobas generalmente mal estratificados. En la figura 8, se puede observar la limitación del campus de la PUCE, en donde se realizará el proyecto.

Figura 9

Ubicación del Campus de la PUCE en Nayón



Nota: Google Earth (s.f.). [Ubicación de la sede en Nayón de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Recuperado el 02 de junio de 2022, de https://earth.google.com/web/search/PUCE+NAYON,+Quito/@-0.17534406,-78.43236182,2436.4627748a,2067.745953d,35y,20.25814183h,0.26261851t,0r/data=CigiJgokCQ_vw4xlCFBAEVmQtOtgCFBAGUGjGQg27DXAIfMsCUeR7DXA

3.2. NORMATIVA

Como se busca realizar estructuras seguras para el ser humano, para el diseño estructural del estadio, se utilizó de guía las siguientes normas tanto nacionales como internacionales.

- NEC – SG – CG Cargas No Sísmicas (Norma Ecuatoriana de la Construcción)
- NEC – SE – DS Peligro Sísmico (Norma Ecuatoriana de la Construcción)
- NEC – SE – HM Estructuras de Hormigón Armado (Norma Ecuatoriana de la Construcción)
- ACI 318 – 19 American Concrete Institute
- ACI 224.3R 95 American Concrete Institute
- ASCE 7 – 10 American Institute of Steel Constructions

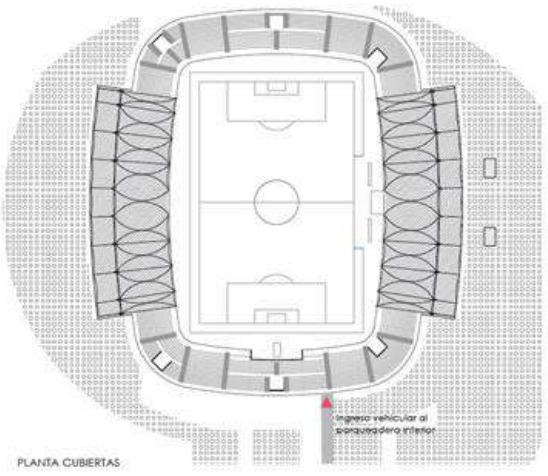
3.3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

Una estructura a lo largo de su vida útil se encuentra sometida a una serie de acciones externas las cuales pueden ocasionar que la estructura sufra cambios, por ejemplo, deformación, desplazamientos y/o esfuerzos, las cuales causarán grandes daños en la estructura.

La estructura será construida de hormigón armado, en que se evalúa las alternativas de las secciones que conforman el estadio para así aprovechar de mejor manera las ventajas de sus propiedades físicas y mecánicas.

Figura 10

Vista en planta del Estadio



Nota: Vista en planta del Complejo deportivo Universidad Católica. (2019). En Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Se realizará un modelo en el programa "Robot Structural Analysis" para sustentar el problema planteado inicialmente, en el cual se realizará dos análisis dependiendo de los resultados se recomienda el uso de juntas de construcción o no.

Se realiza la modelación de la estructura para idealizar una estructura real a través de un modelo factible recopilando datos importantes y las características como propiedades geométricas y de los materiales, para analizarla bajo las diferentes acciones. En base a los resultados obtenidos en ese proceso, se irán modificando los datos hasta obtener los resultados deseados.

3.4. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los elementos estructurales son los que se componen de manera individual o el armazón que soportan todas las cargas que genera la estructura, se pueden clasificar en vigas, columnas, muros, losas o entrepisos, cimentaciones y armaduras.

- Vigas: Son elementos lineales proyectados para soportar cargas perpendiculares a su eje, los esfuerzos producidos son de flexión. Son elementos importantes ya que éstas distribuyen el efecto ocasionado por las cargas.
- Columnas: Son elementos verticales proyectados para soportar cargas de compresión en su propio eje y los efectos del suelo.
- Losas de piso: Son los principales elementos horizontales que transmiten las cargas vivas de movimiento, así como las cargas muertas estacionarias a los apoyos verticales de los marcos de una estructura. Pueden ser losas sobre vigas, losas sin vigas (placas planas) y sistemas semi-prefabricados. Pueden proporcionarse de tal manera que actúen en una dirección o que actúen en dos direcciones perpendiculares. (Alvarado Chorro, Pineda Alvarado, & Ventura Ramirez, 2004).

  Son losas bidireccionales cuando en sus dos direcciones se encuentran apoyadas sobre elementos portantes, ocasionando así que en sus dos direcciones ortogonales se formen deformaciones y esfuerzos.

3.5. CARGAS ESTRUCTURALES

Las cargas estructurales son fuerzas externas que soporta una estructura; deben ser capaces de soportar, ya sea por factores naturales como gravitacionales. Las cargas son una fuerza que se genera sobre la estructura, y según la NEC, de manera general se clasifican de la siguiente forma:

- Permanentes (cargas muertas)
- Variables (cargas vivas, de viento y granizo)
- Accidentales

De este grupo, el diseñador y el calculista deben tener en consideración para el cálculo y el diseño de todo tipo de estructura.

3.5.1. Cargas Permanentes.

Las cargas permanentes son las cargas muertas, las cuales son los pesos de los diferentes tipos elementos estructurales y todos los pesos que se encuentren unidos en la estructura. Se puede determinar la magnitud de la carga con buena aproximación, debido a que depende de las dimensiones de la estructura y de la densidad de los diferentes materiales.

Normalmente el valor de la carga muerta no es muy grande en comparación a las cargas de diseño en estructuras simples, como una viga o un marco de una sola planta; sin embargo, para edificios con varios pisos, es importante considerar todas las cargas muertas a fin de diseñar correctamente las columnas, en especial para los pisos inferiores. (Hibbeler, 2012, p. 10).

3.5.2. Cargas Variables

Las sobrecargas que se utilicen en el cálculo dependen de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras. (NEC, 2015, p. 11)

3.5.2.1. Carga Viva.

Las cargas vivas son cargas de magnitud variable como en su ubicación. Estas cargas por lo general se les considera toda carga que se emplea en la estructura exceptuando la carga muerta. La posición de esta carga puede cambiar, por lo que cada elemento de la estructura se debe diseñar para la posición de la carga donde cause los máximos esfuerzos en el elemento. (Kassimali, 2015).

3.5.2.2. Carga de Viento.

Las cargas de viento se producen cuando las estructuras bloquean el flujo de viento, entonces 3wxla energía cinética del viento se convierte en energía potencial de presión. (Hibbeler, 2012)

3.5.2.3. Cargas Accidentales.

Las cargas accidentales son las cargas dinámicas, cargas no constantes y pueden llegar a ser de gran magnitud; estas cargas pueden suceder en cualquier momento de la vida de la estructura, por lo que este tipo de acción puede afectar a cualquier elemento de la estructura produciéndole así una falla.

En este tipo de cargas su duración es corta, tal vez pequeñas fracciones de tiempo, pero pueden llegar a ser dañinas para la estructura ya que pueden alcanzar intensidades significativas. Este tipo de cargas puede ocasionarse debido a factores como sismo, nieve, explosiones, entre otros.

3.5.2.4. Cargas Sísmicas.

Las cargas sísmicas son las acciones que produce el sismo sobre las estructuras. Para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes deben guiarse por la normativa vigente en cada país, en nuestro caso la norma vigente en Ecuador es la NEC 2015, específicamente en el capítulo referente al Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente; y por la Norma Americana ASCE 7-10.

3.5.3. Combinación de cargas

En la norma NEC como en la ASCE 7-16, existen 7 combinaciones básicas de carga para el método de la última resistencia, las cuales son:

- Combinación 1: 1.4D
- Combinación 2: 1.2 D + 1.6 L + 0.5max[S]
- Combinación 3: 1.2 D + 1.6 max[S]+ max[L ; 0.5W]
- Combinación 4: 1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[S]

- Combinación 5: 1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S
- Combinación 6: 0.9 D +1.0 W
- Combinación 7: 0.9 D + 1.0 E

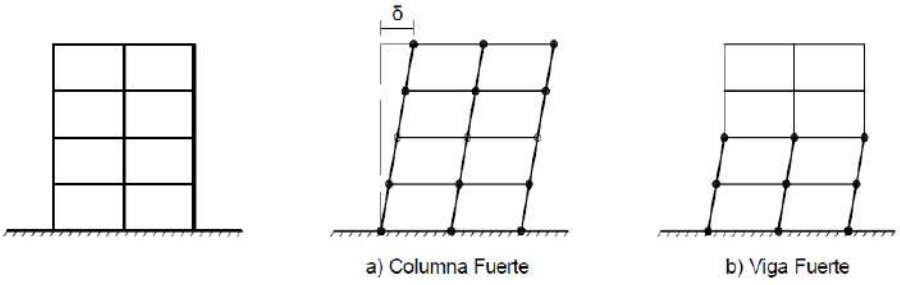
Donde, D es carga muerta, L carga viva, S carga de granizo, W carga de viento y E carga de sismo; en referente a nuestro país no se considera la carga de granizo debido a que solo existen dos estaciones definidas: verano e invierno.

Para las combinaciones 3, 4 y 5, L es igual a 0.5 si la sobrecarga mínima uniformemente distribuida es menos a 4.8 kN/m^2, con excepción de las áreas destinadas a estacionamientos y reuniones públicas. (NEC, 2014)

3.6. COLUMNA FUERTE – VIGA DÉBIL

Figura 11

Criterio de Columna Fuerte – Viga Débil



Nota: a) Como actúa la estructura ante un sismo cuando la columna es fuerte, b) Como actúa la estructura ante el sismo cuando la viga es fuerte.

En toda estructura debe cumplir con el criterio de columna fuerte – viga débil, la cual consiste en que la columna debe tener mayor rigidez en comparación con la viga para crear rótulas plásticas. Se cumple con este criterio debido al concepto de que las columnas son los miembros

más fuertes, ya que cuando se tiene las fuerzas del terremoto, fuerzas laterales, las rótulas se formarán en toda la estructura y así se obtiene mayores puntos de rótulas plásticas donde se disipará la energía sísmica mediante su ductilidad.

Pero, si se tiene el caso de viga fuerte – columna débil, al momento de que las fuerzas laterales actúen sobre la estructura, significará que las vigas quedarán intactas mientras que en las columnas inferiores se formarán las rótulas plásticas y se puede observar que no será capaz de tomar toda la energía sísmica y colapsarán, lo que hará que sea un fracaso en toda la estructura.

Por lo que, el código ACI ha mencionado la cantidad de capacidad de movimiento que se debe tener para el diseño que significa que la sumatoria de los momentos nominales de la columna debe ser mayor que 1.2 veces la sumatoria de los momentos nominales de la viga, lo que significa que la capacidad de momento de la columna debe ser mayor que la capacidad de momento de la viga para que la misma falle, o caso contrario cederá.

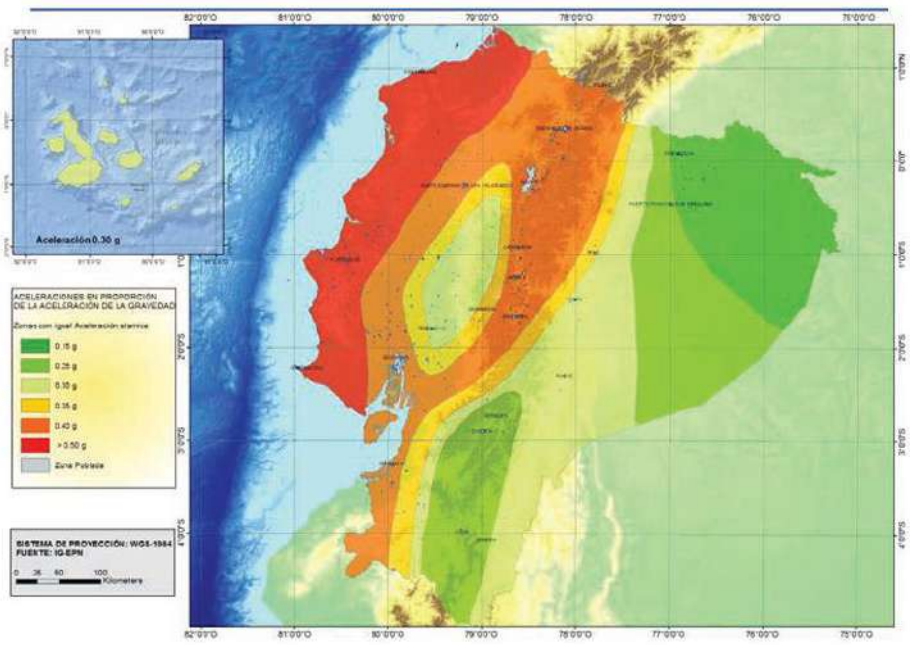
$$\sum M_{columnas} \geq \frac{6}{5} \sum M_{vigas}$$

3.7. PELIGRO SÍSMICO EN EL ECUADOR

Ecuador se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, por tal motivo existe una alta amenaza sísmica; a pesar de que se produzca un sismo de alta magnitud en la provincia de Pichincha son bajas, pero los terremotos de menos magnitud y superficiales son los más destructivos, por lo que se debe conocer la zonificación sísmica del lugar para diseñar y analizar a las estructuras a base del criterio sismorresistente.

Figura 12

Zonas Sísmicas para propósitos de diseño y el valor del factor de zona Z



Nota: El mapa de zonificación sísmica se encuentra a base de estudios de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica.

Fuente: (NEC, 2014) https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf

Las estructuras de hormigón armado son las más utilizadas en la construcción, a pesar de tener baja resistencia a tracción, pero son escogidas por su rigidez y su ductilidad, la cual ayuda a disipar la energía sísmica y a minimizar las deformaciones; reduce el daño de los elementos estructurales principales y de los no estructurales.

En las estructuras cuando existe pérdida de rigidez en el elemento, es porque se encuentra en el rango inelástico, ocasionando un leve daño en las propiedades del material; pero si existe una pérdida de resistencia, se formarán grietas en el hormigón y causará el deterioro de adherencia a

lo largo de las barras de refuerzo. El comportamiento sísmico en las estructuras varía dependiendo de diferentes factores:

- El tipo de material y sus propiedades mecánicas
- El nivel de carga que afecta a las columnas
- El diseño y construcción de las uniones viga – columna

3.7.1. Espectro de Diseño

En Ecuador, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) nos presenta un estudio de peligro sísmico con un mapa de zonificación sísmica para un 10% de excedencia en 50 años, lo que significa un periodo de retorno de 475 años. Dependiendo del sitio donde se construirá la estructura, se determinará el valor del factor de zona Z, dependiendo de las seis zonas sísmicas del Ecuador. (NEC, 2014, p. 27)

Tabla 2

Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Zona Sísmica	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: (NEC, 2014) https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf

El valor Z especificado en la Tabla 2, es la aceleración máxima esperada en roca para los sismos de diseño, y es una fracción de la gravedad. En este caso de estudio, la estructura se

construirá en Nayón, por lo que se utilizará un valor del factor Z=0.4 por encontrarse en la zona sísmica V. En la Tabla 3, se llega a observar cómo se encuentra el suelo clasificado en 5 perfiles (A, B, C, D, E, y E), según la Norma Ecuatoriana NEC-SE-DS.

Tabla 3

Clasificación de los perfiles del suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onde de cortante, o Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s $N \geq 50.0$ $S_V \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	360 m/s > $V_s \geq 180$ m/s $50 > N \geq 15.0$ 100 kPa > $S_V \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$V_s < 180$ m/s IP > 20 $w \geq 40\%$ $S_V < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada específicamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases: F1 – Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como, suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F2 – Turbas y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turbas o arcillas orgánicas y muy orgánicas) F3 – Arcillas de muy alta plasticidad (H>7.5 m con índice de plasticidad IP>75) F4 – Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m) F5 – Suelos con contrastes de impedancia o ocurrido dentro de los primeros 30m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte. F6 – Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Fuente: (NEC, 2014) https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf

En la Tabla 4, se encuentra los valores del coeficiente F_a, que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio. (NEC, 2014, p. 31).

Tabla 4

Tipo de suelo y Factores de sitio F_a.

Tipo de perfil del subsuelo	**Zona sísmica y factor Z**					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85

Fuente: (NEC, 2014, p. 31) https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf

En la Tabla 5, se presentan los valores del coeficiente F_d que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio. (NEC, 2014, p. 31).

Tabla 5

Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Fuente: (NEC, 2014, p. 31) https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf

En la Tabla 6, se encuentran los valores del coeficiente F_s, que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos. (NEC, 2014, p. 32).

Tabla 6

Tipo de suelo y Factores de sitio F_s

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.4
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Fuente: (NEC, 2014, p. 32) https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf

Para el diseño del espectro de respuesta elástico de aceleraciones Sa, se requiere de los siguientes parámetros:

Z: Factor de zona sísmica,

Fa, Fd, Fs: Coeficientes de amplificación del suelo.

η: Razón entre la aceleración espectral Sa (T = 0.1 s) y el PGA.

η= 1.80 Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas).

η= 2.48 Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

η= 2.60 Provincias del Oriente.

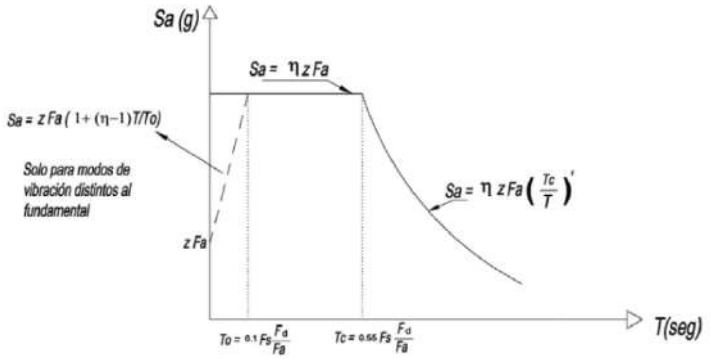
S_a: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado en fracción de la gravedad (g). Depende del periodo o modo de vibración.

T: Período fundamental de vibración de la estructura.

T_0: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Figura 13

Espectro elástico horizontal de Diseño NEC – SE – DS.



Fuente: (NEC, 2014, p. 33) https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf

3.7.2. Factor de Importancia I

En el diseño de toda estructura sismo resistente se adoptará el correspondiente factor I, el cual tiene como propósito incrementar la demanda sísmica de diseño en las estructuras, que por sus características de uso deben sufrir daños menores durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño. (NEC, 2014, p. 39).

Tabla 7

Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas	1.5

	para depósito de agua u otras substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	
Estructuras de ocupación especial	Museos, Iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trecientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1.0

Fuente: (NEC, 2014, p. 39) https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf.

Nota: Toda estructura que se encuentre diseñada con el factor de importancia 1.0 cumplirá con todos los requisitos establecidos en la NEC.

3.7.3. Configuración Estructural

El rendimiento sísmico de la estructura se verá afectado por el efecto de las irregularidades tanto en planta como en elevación, ya que los cambios en la rigidez como en masa ocasionan que las características estáticas y dinámicas sean diferentes a las estructuras que son regulares. Estas irregularidades son perjudiciales en las estructuras, por lo que los constructores deben tener un estudio previo y un diseño adecuado.

El diseño de una estructura se encuentra vinculada con la geometría, tipo, resistencia, entre otros aspectos, por lo que los principales problemas que se han encontrado en el diseño son relacionados a los cambios bruscos de dimensiones, masas, rigidez y flexibilidad. Existen ciertos principios básicos que pueden ayudar a tener un buen desempeño.

- Configuración en planta

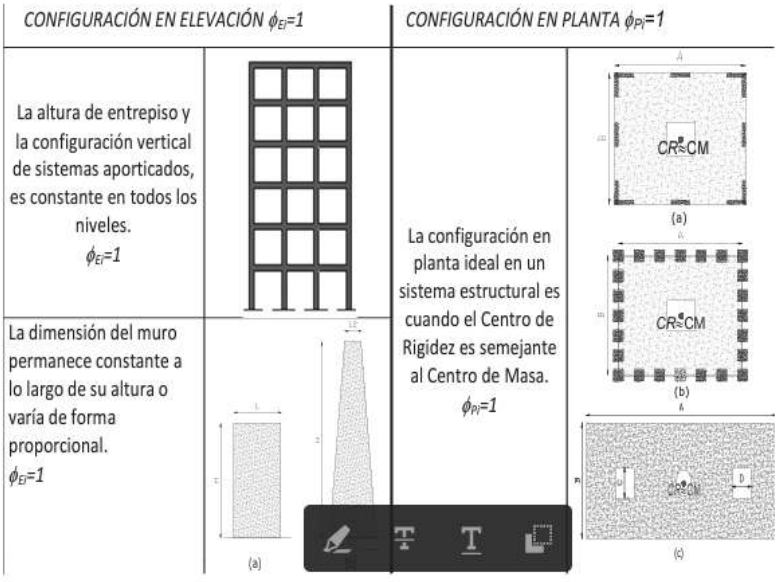
La disposición de la estructura en el plano horizontal, en relación con la forma y aspecto influye en la respuesta horizontal. Uno de los principales problemas que se presenta es el de torsión, debido a que la fuerza lateral no es soportada por la resistencia.

- Configuración en elevación

  La concentración de grandes esfuerzos en ciertos niveles de la estructura es causada por cambios bruscos de rigidez y masa, y esto se produce cuando no existen las mismas secciones en los elementos estructurales como en las columnas, muros estructurales.

Figura 14

Configuraciones estructurales recomendadas



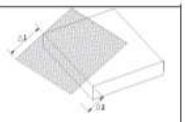
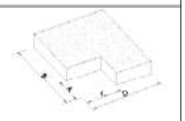
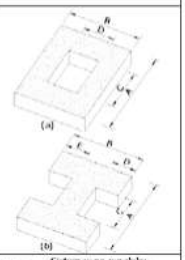
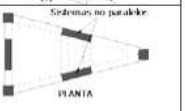
Fuente: (NEC, 2015, p. 48) www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-2.pdf

Si se tiene estructuras irregulares en planta como en elevación, se utilizarán coeficientes de configuración estructural que “penalizan” al diseño debido a un comportamiento estructural deficiente ante la ocurrencia de un sismo. Estos coeficientes aumentan el valor del cortante de

diseño dando así mayor resistencia a la estructura, pero sin evitar el comportamiento sísmico deficiente. En la Figura 15 y Figura 16 se puede observar las tipologías de irregularidades que se pueden presentar con mayor frecuencia en las estructuras. (NEC, 2014)

Figura 15

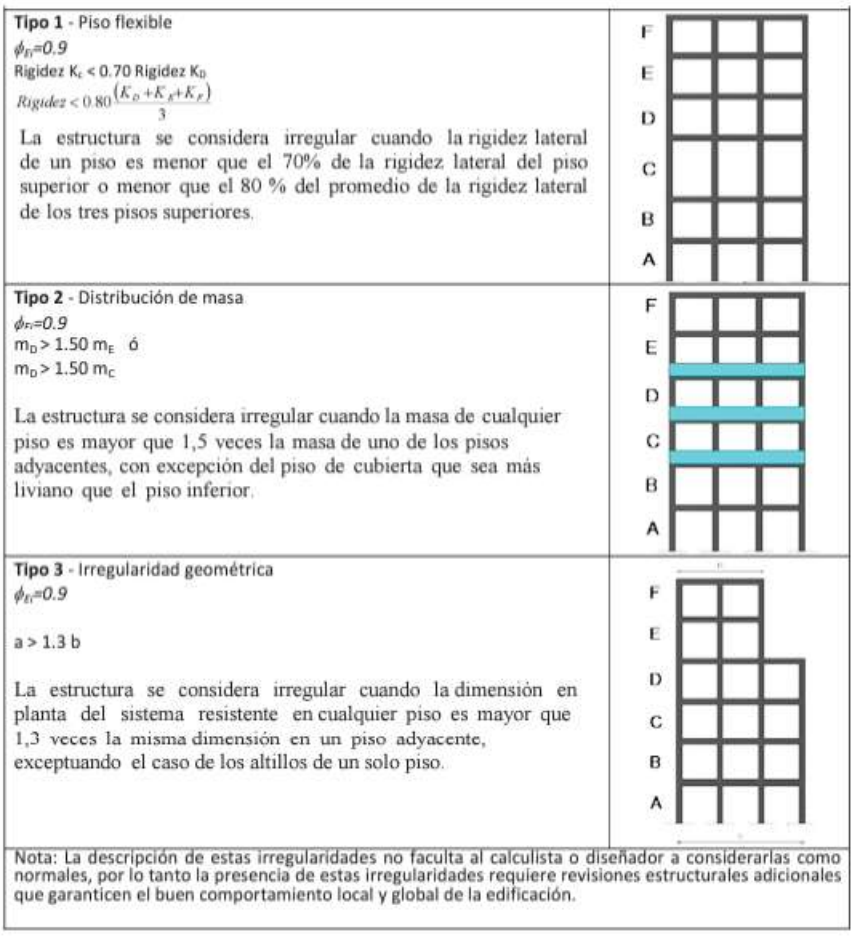
Coeficientes de irregularidad en planta

Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_{Pi}=0.9$ $\Delta > 1.2\frac{(\Delta 1+\Delta 2)}{2}$ 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. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.	
Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_{Pi}=0.9$ A > 0.15B y C > 0.15D 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.	
Tipo 3 -Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_{Pi}=0.9$ a) CxD > 0.5AxB b) [CxD + CxE] > 0.5AxB 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.	
Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_{Pi}=0.9$ La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.	
Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.	

Fuente: (NEC, 2015, p. 50) www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-2.pdf

Figura 16

Coeficientes de irregularidad en elevación



Fuente: (NEC, 2015, p. 51) www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-2.pdf

3.7.3.1. IRREGULARIDAD TORSIONAL

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción, nos indica que el largo de las estructuras debe ser 4 veces mayor que el ancho, por lo que, con los datos observados a continuación obtenidos del diseño de la estructura, si se divide al largo para 4, nos debe reflejar un valor aproximado al del ancho, por lo que se procede a realizar el siguiente cálculo:

$$Largo = 64\ m$$

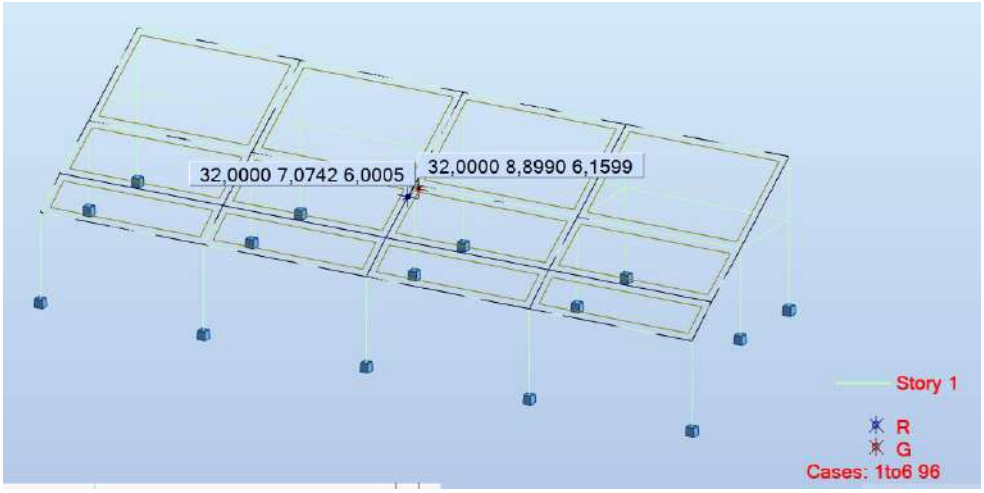
$$Ancho = 16.5\ m$$

$$L = \frac{64}{4} = 16\ m$$

Como se observa, se obtiene un valor distinto entre la relación y el ancho, lo que significa es que esta estructura no será regular, a pesar de tener un margen de error pequeño, esa diferencia de dimensiones puede afectar a la estructura y por tal motivo, se puede decir que esta estructura presentará irregularidad torsional, y es cuando el centro de masa como el de rigidez no se encuentran en el mismo punto, por lo que, en la figura 17 se puede constatar que el centro de masa y de rigidez de la estructura no se encuentran en el mismo sitio.

Figura 17

Centro de masa y de rigidez de la estructura.



Nota: El asterisco de color azul se refiere a la ubicación del centro de rigidez, y el asterisco de color rojo se refiere a la ubicación del centro de masa.

Como se puede observar en la Figura 17, los centros de masa como de rigidez no se encuentran en el mismo punto, y eso es ocasionado a que es una estructura irregular, por lo que puede llegar a presentar problemas de torsión.

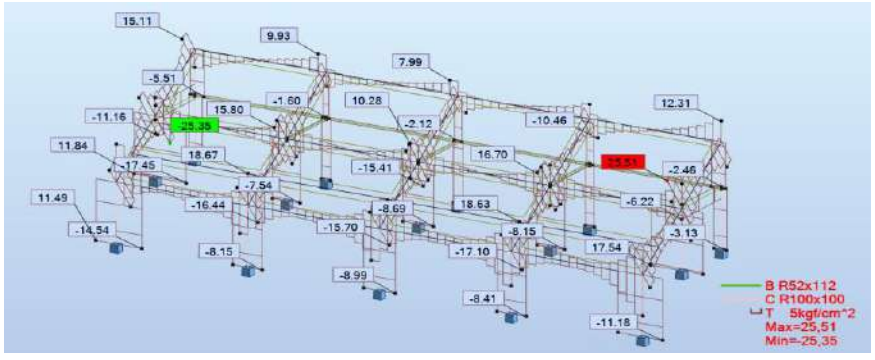
3.7.3.1.1. Torsión

Para entender mejor la irregularidad torsional, se debe conocer el significado se torsión. La torsión se produce cuando se aplica un momento de fuerza sobre un eje o elemento, lo que producirá esfuerzos. Los efectos de torsión son amplios y tienen diferentes consideraciones ante respuesta sísmica de edificios con asimetría en rigideces, sistema resistente o masa efectiva. (Herrera, 2016, 86).

En el diseño sismorresistente se debe tener en cuenta los efectos de torsión, porque proviene de las excentricidades de la masa y rigidez. Por lo que, Alonso, 2007, señala que las fuerzas laterales que se producen por efecto de los sismos actúan dentro de las masas de la estructura; por lo que, si la estructura no es regular, existirá los momentos de torsión debido a que los centros de rigidez como de masa no se encuentran alineados.

Figura 18

Esfuerzo de torsión



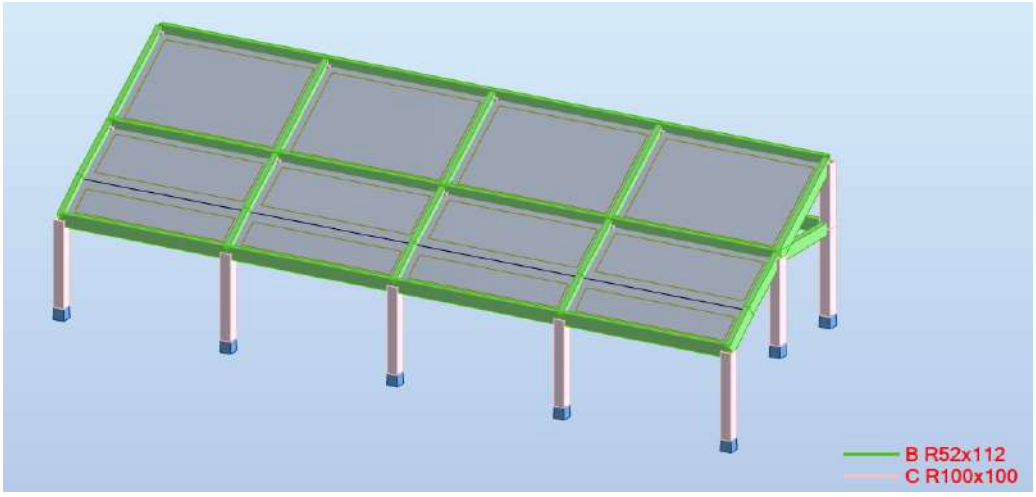
Nota: En la leyenda, se puede observar los valores máximo y mínimos del esfuerzo en torsión.

3.8. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

El proyecto por construir es la tribuna de un estadio que estará diseñada con columnas, vigas y losa bidireccional de hormigón armado. En la Figura 19 se puede observar cómo estará diseñada la estructura con el programa Robot Structural Analysis.

Figura 19

Vista en 3D de la tribuna



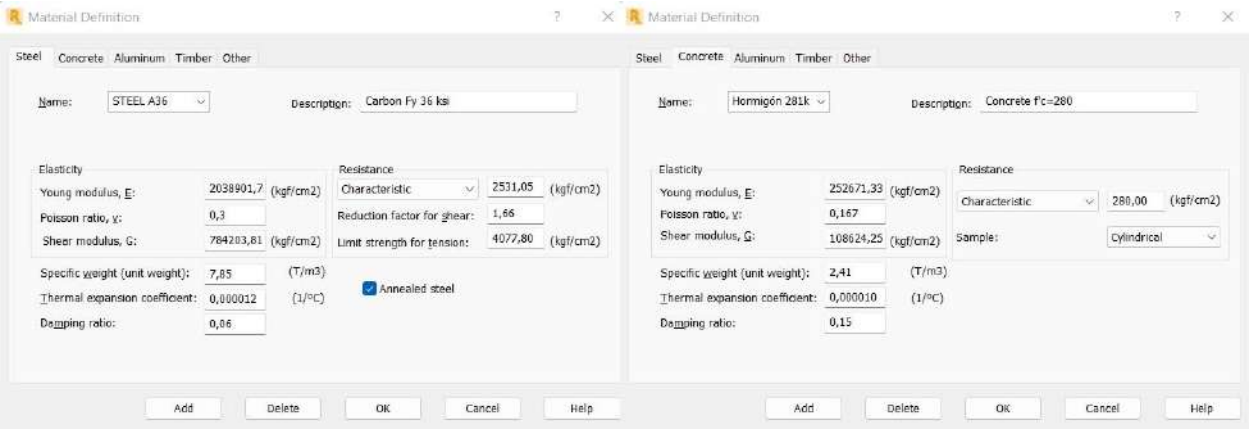
Nota: En la leyenda, se puede observar las dimensiones de los diferentes elementos estructurales que contiene la estructura, siendo B R de las vigas y C R de las columnas.

3.8.1. Materiales

Para los elementos estructurales tanto vigas, columnas y losa se utilizó un hormigón con resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 y el acero de refuerzo con una resistencia de fy= 4200 kg/cm^2. En la figura 20, se observa las propiedades de los materiales que se utilizó.

Figura 20

Propiedades mecánicas de los materiales



3.8.2. Predimensionamiento de los elementos

Para el prediseño de los elementos que se encuentran en la estructura, se guió de los datos que se obtuvieron en un análisis de un estudio anterior para empezar con el diseño de estas.

Para el prediseño de vigas, en el estudio constaban vigas de 50x112 cm, con los cuales se obtuvo los resultados del primer análisis y se llegó a determinar vigas de 52x112 cm para el nuevo análisis.

Para el prediseño de columnas, en el estudio de guía se determinó como conclusión utilizar columnas de 52x52 cm; pero al obtener el primer análisis, los resultados obtenidos son desfavorables si la estructura se encontrará sometida a cargas laterales, por lo que para el diseño del nuevo análisis se utilizará columnas de 100x100 cm.

Para el diseño de la losa bidireccional, en el estudio nos muestra una losa de 30 cm, la cual para este nuevo análisis se mantendrá las mismas propiedades.

3.8.3. Dimensionamiento de los elementos estructurales

Después del prediseño de los elementos estructurales, se llegó a determinar que las dimensiones de las vigas serán de 52x112cm y de las columnas de 100x100cm, los cuales cumplen con los requisitos previos.

En las figuras 21, 22 y 23, se muestra el diseño de las vigas, columnas y losa.

Figura 21

Diseño de vigas 52x112 cm

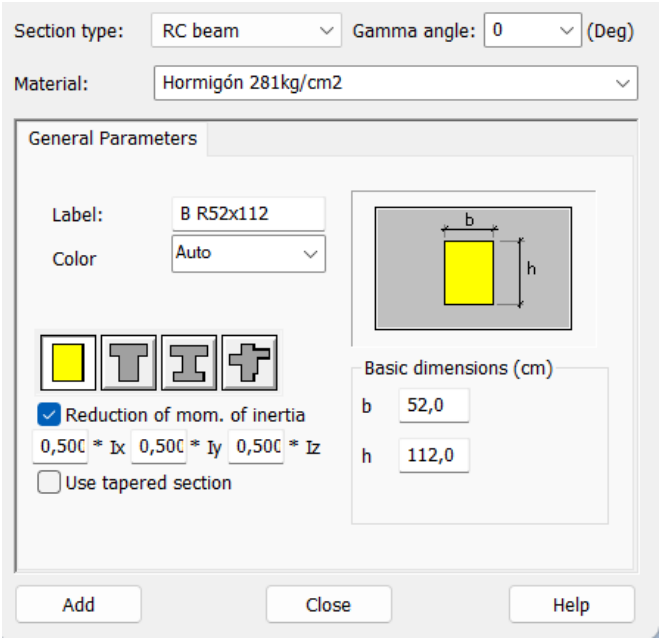


Figura 22

Diseño de columnas 100x100 cm

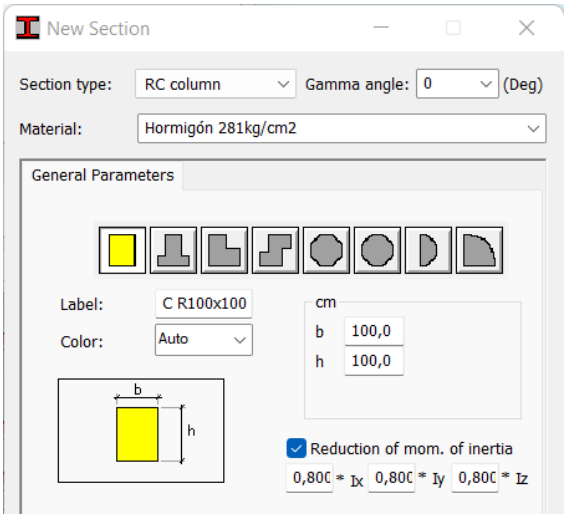
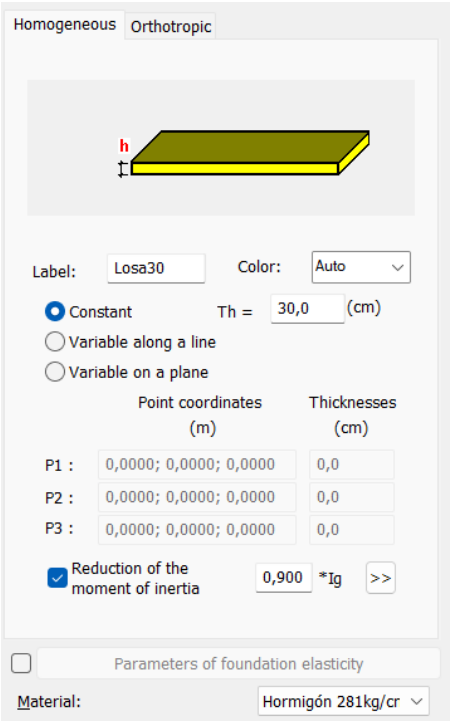


Figura 23

Diseño de la losa de piso de espesor 30 cm



3.8.4. Cálculo de cargas

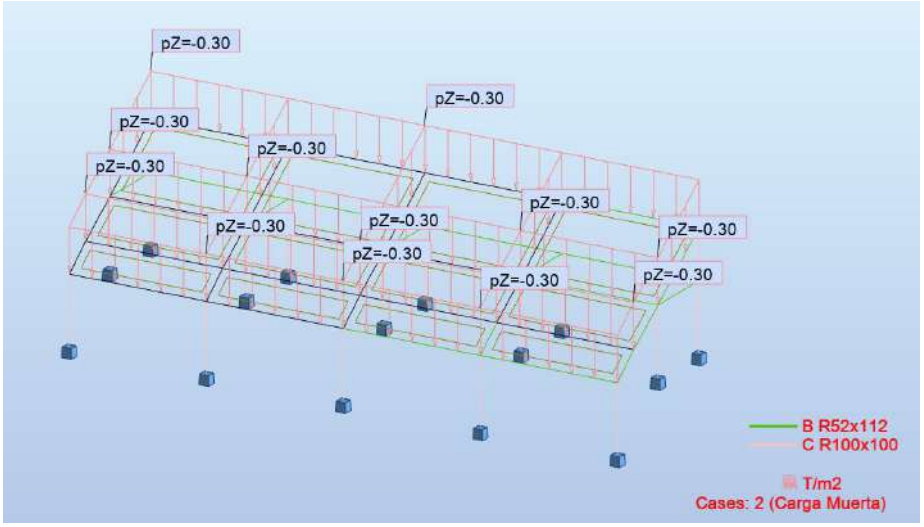
Para la carga muerta, se considera un valor de 300 kg/m^2, no se considera el valor de peso propio en el análisis. Para obtener el valor de cargas vivas, se basa en los datos de la Tabla 9: Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas L_o y concentradas P_o de la NEC, Cargas (No Sísmicas) capítulo 3, en el cual nos indica el valor de la sobrecarga para Estadios y coliseos donde se considera asientos fijos, con una carga uniforme de 4.8 kN/m^2.

3.8.4.1. Cargas

A continuación, en las Figuras 24, 25 y 26 se puede apreciar los valores y como se encuentran distribuidas en el modelo las diferentes cargas que actúan en la misma. Para el caso de carga viva como carga muerta, las cargas se encuentran aplicadas sobre la losa; pero en el caso de la carga térmica, las cargas se encuentran aplicadas sobre los miembros estructurales, específicamente en las vigas.

Figura 24

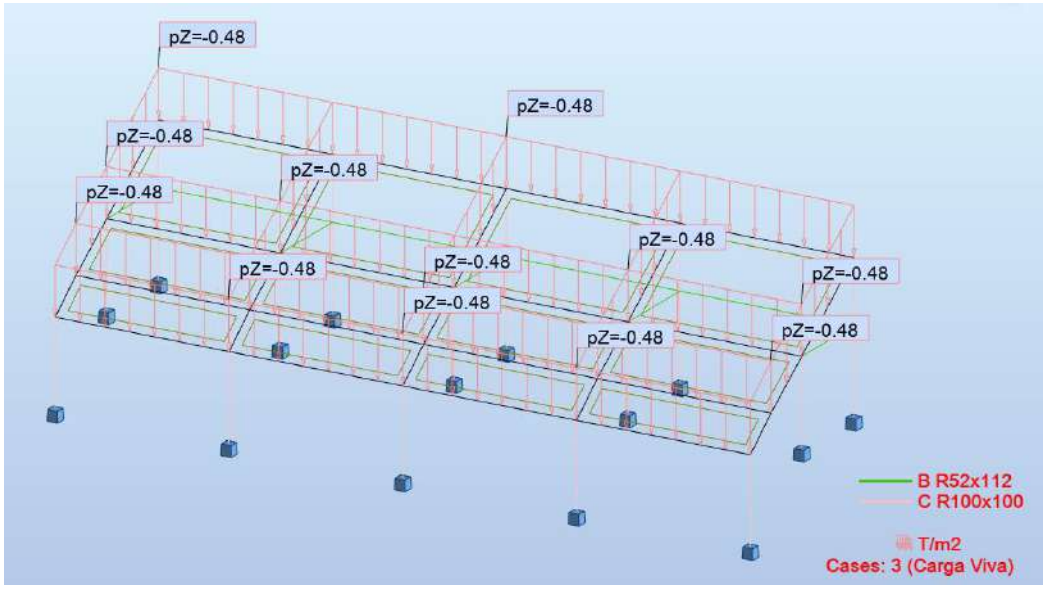
Carga Muerta



Nota: Los valores mostrados en la figura se encuentran en Toneladas (T) y metros (m)

Figura 25

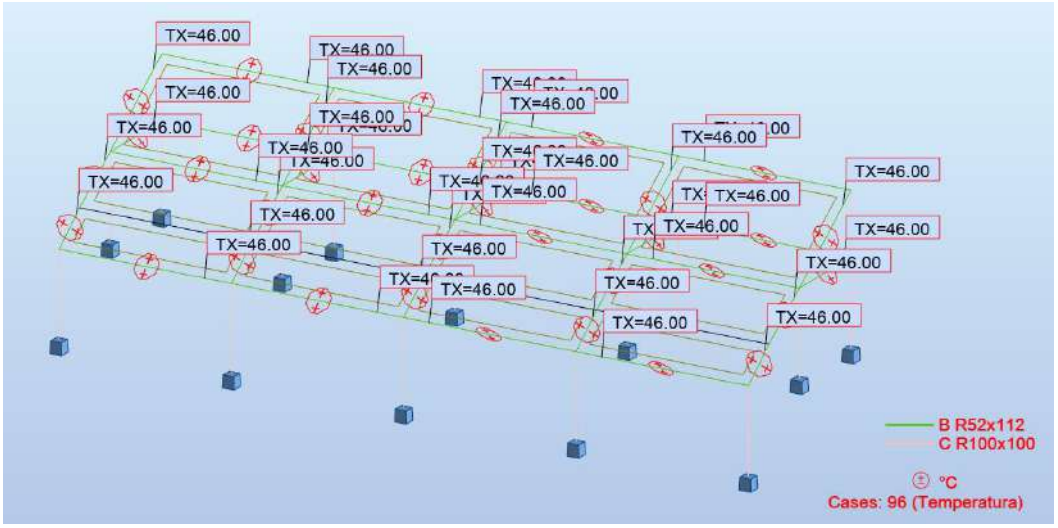
Carga Viva



Nota: Las unidades de los valores mostrados en la figura están en Toneladas (T) y metros (m)

Figura 26

Carga Térmica



Nota: Las unidades de los valores mostrados en la figura están en ºC.

3.8.4.2. Combinaciones de carga

En la norma NEC como en la ASCE 7-16, existen 7 combinaciones básicas de carga para el método de la última resistencia, las cuales son:

Tabla 8

Combinaciones de carga, método de última resistencia

COMBINACIONES BÁSICAS	
Combinación 1	1.4D
Combinación 2	1.2 D + 1.6 L + 0.5max[Lr; S ; R]
Combinación 3	1.2 D + 1.6 max[Lr; S ; R]+ max[L ; 0.5W]
Combinación 4	1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[Lr; S ; R]
Combinación 5	1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S
Combinación 6	0.9 D +1.0 W
Combinación 7	0.9 D + 1.0 E

Nota 1: Las cargas se encuentran expuestas mediante símbolos, los cuales son D: Carga Muerta, E: Carga de sismo, L y Lr: Carga Viva, S: Carga de granizo y W: Carga de Viento

Nota 2: Para las combinaciones 3, 4 y 5, L es igual a 0.5 si la sobrecarga mínima uniformemente distribuida es menos a 4.8 kN/m^2, con excepción de las áreas destinadas a estacionamientos y reuniones públicas.

Fuente: (NEC, 2015, p. 19)

Tabla 9

Combinaciones de carga utilizadas en el programa

Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
7 (C)	COMB1	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.400
8 (C)	COMB2	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*1.600
9 (C)	COMB3	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*1.000
10 (C)	COMB4	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200
11 (C) (CQC)	COMB5	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*1.000
12 (C) (CQC)	COMB6	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*-1.000
13 (C) (CQC)	COMB7	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*1.000
14 (C) (CQC)	COMB8	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*-1.000
15 (C) (CQC)	COMB9	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+6*1.000
16 (C) (CQC)	COMB10	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+6*-1.000
17 (C) (CQC)	COMB11	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+6*1.000
18 (C) (CQC)	COMB12	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+6*-1.000
19 (C)	COMB13	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900
20 (C) (CQC)	COMB14	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*1.000
21 (C) (CQC)	COMB15	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*-1.000
22 (C) (CQC)	COMB16	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+6*1.000
23 (C) (CQC)	COMB17	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+6*-1.000
24 (C) (CQC)	COMB18	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*1.000+6*0.300
25 (C) (CQC)	COMB19	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*1.000+6*-0.300
26 (C) (CQC)	COMB20	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*-1.000+6*0.300
27 (C) (CQC)	COMB21	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*-1.000+6*-0.300
28 (C) (CQC)	COMB22	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*1.000+6*0.300
29 (C) (CQC)	COMB23	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*-1.000+6*0.300
30 (C) (CQC)	COMB24	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*1.000+6*-0.300
31 (C) (CQC)	COMB25	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*-1.000+6*-0.300
32 (C) (CQC)	COMB26	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*0.300+6*1.000
33 (C) (CQC)	COMB27	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*-0.300+6*1.000
34 (C) (CQC)	COMB28	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*0.300+6*-1.000
35 (C) (CQC)	COMB29	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+3*0.500+5*-0.300+6*-1.000
36 (C) (CQC)	COMB30	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*0.300+6*1.000
37 (C) (CQC)	COMB31	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*-0.300+6*1.000
38 (C) (CQC)	COMB32	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*0.300+6*-1.000
39 (C) (CQC)	COMB33	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.200+5*-0.300+6*-1.000
40 (C) (CQC)	COMB34	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*1.000+6*0.300
41 (C) (CQC)	COMB35	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*1.000+6*-0.300
42 (C) (CQC)	COMB36	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*-1.000+6*0.300

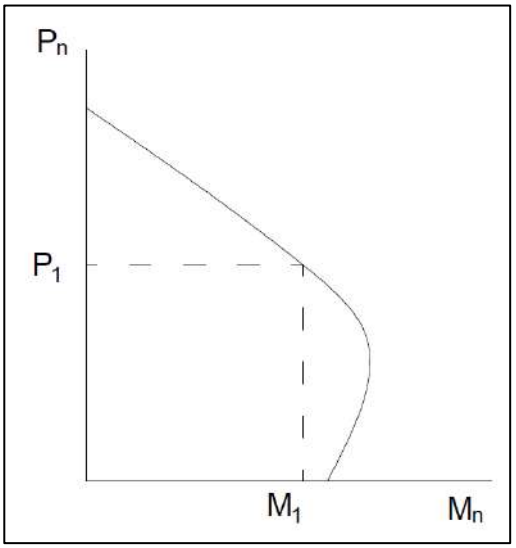
Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
43 (C) (CQC)	COMB37	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*-1.000+6*-0.300
44 (C) (CQC)	COMB38	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*0.300+6*1.000
45 (C) (CQC)	COMB39	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*0.300+6*-1.000
46 (C) (CQC)	COMB40	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*-0.300+6*1.000
47 (C) (CQC)	COMB41	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.900+5*-0.300+6*-1.000
48 (C) (CQC)	COMB42	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+3*0.500+5*1.000+6*0.300
49 (C) (CQC)	COMB43	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+3*0.500+5*1.000+6*-0.300
50 (C) (CQC)	COMB44	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+3*0.500+5*-1.000+6*0.300
51 (C) (CQC)	COMB45	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+3*0.500+5*-1.000+6*-0.300
52 (C) (CQC)	COMB46	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+3*0.500+5*1.000+6*0.300
53 (C) (CQC)	COMB47	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+3*0.500+5*1.000+6*-0.300
54 (C) (CQC)	COMB48	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+3*0.500+5*-1.000+6*0.300
55 (C) (CQC)	COMB49	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+3*0.500+5*-1.000+6*-0.300
56 (C) (CQC)	COMB50	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+5*1.000+6*0.300
57 (C) (CQC)	COMB51	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+5*1.000+6*-0.300
58 (C) (CQC)	COMB52	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+5*-1.000+6*0.300
59 (C) (CQC)	COMB53	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+5*-1.000+6*-0.300
60 (C) (CQC)	COMB54	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+5*1.000+6*0.300
61 (C) (CQC)	COMB55	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+5*1.000+6*-0.300
62 (C) (CQC)	COMB56	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+5*-1.000+6*0.300
63 (C) (CQC)	COMB57	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+5*-1.000+6*-0.300
64 (C) (CQC)	COMB58	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+3*0.500+5*0.300+6*1.000
65 (C) (CQC)	COMB59	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+3*0.500+5*-0.300+6*1.000
66 (C) (CQC)	COMB60	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+3*0.500+5*0.300+6*-1.000
67 (C) (CQC)	COMB61	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+3*0.500+5*-0.300+6*-1.000
68 (C) (CQC)	COMB62	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+3*0.500+5*0.300+6*1.000
69 (C) (CQC)	COMB63	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+3*0.500+5*-0.300+6*1.000
70 (C) (CQC)	COMB64	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+3*0.500+5*0.300+6*-1.000
71 (C) (CQC)	COMB65	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+3*0.500+5*-0.300+6*-1.000
72 (C) (CQC)	COMB66	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+5*0.300+6*1.000
73 (C) (CQC)	COMB67	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+5*-0.300+6*1.000
74 (C) (CQC)	COMB68	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+5*0.300+6*-1.000
75 (C) (CQC)	COMB69	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.470+5*-0.300+6*-1.000
76 (C) (CQC)	COMB70	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+5*0.300+6*1.000
77 (C) (CQC)	COMB71	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+5*-0.300+6*1.000
78 (C) (CQC)	COMB72	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+5*0.300+6*-1.000
79 (C) (CQC)	COMB73	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.930+5*-0.300+6*-1.000
80 (C) (CQC)	COMB74	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.170+5*1.000+6*0.300
81 (C) (CQC)	COMB75	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.170+5*1.000+6*-0.300
82 (C) (CQC)	COMB76	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.170+5*-1.000+6*0.300
83 (C) (CQC)	COMB77	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.170+5*-1.000+6*-0.300
84 (C) (CQC)	COMB78	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.630+5*1.000+6*0.300
85 (C) (CQC)	COMB79	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.630+5*1.000+6*-0.300
86 (C) (CQC)	COMB80	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.630+5*-1.000+6*0.300
87 (C) (CQC)	COMB81	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.630+5*-1.000+6*-0.300
88 (C) (CQC)	COMB82	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.170+5*0.300+6*1.000
89 (C) (CQC)	COMB83	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.170+5*-0.300+6*1.000
90 (C) (CQC)	COMB84	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.170+5*0.300+6*-1.000
91 (C) (CQC)	COMB85	Linear Combinati	ULS	dead	2*1.170+5*-0.300+6*-1.000
92 (C) (CQC)	COMB86	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.630+5*0.300+6*1.000
93 (C) (CQC)	COMB87	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.630+5*-0.300+6*1.000
94 (C) (CQC)	COMB88	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.630+5*0.300+6*-1.000
95 (C) (CQC)	COMB89	Linear Combinati	ULS	dead	2*0.630+5*-0.300+6*-1.000

3.8.5. Diagrama de Interacción de las columnas

Para el diseño de las columnas, el empleo de los diagramas de interacción resulta beneficioso para el dimensionamiento del elemento estructural, debido a que ayuda a determinar la capacidad resistente de la columna, es decir, el elemento estructural sometido a flexocompresión puede definir las zonas en la que cualquier combinación de momento flexionante (Mn) y carga axial (Pn) puede llegar a resistir la columna, ese conjunto de puntos creados define el diagrama de interacción.

Figura 27

Diagrama de Interacción de una columna



Para los valores de los factores de seguridad que se aplican a Mn y Pn de la columna, en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, nos indica que debemos basarnos en los especificados en la ACI 318-19, capítulo 21, donde los podemos observar en la Tabla 10.

Tabla 10

Factor de Reducción de Resistencia para elementos flexocompresión.

Net tensile stain ε_t	Classification	ϕ			
		Type of transverse reinforcement			
		Spirals conforming to 25.7.3		Other	
$\varepsilon_t \le \varepsilon_{ty}$	Compression-controlled	0.75	(a)	0.65	(b)
$\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < \varepsilon_{ty} + 0.003$	Transition[1]	$0.75 + 0.15\frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0.003)}$	(c)	$0.65 + 0.25\frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0.003)}$	(d)
$\varepsilon_t \ge \varepsilon_{ty} + 0.003$	Tension-controlled	0.90	(e)	0.90	(f)

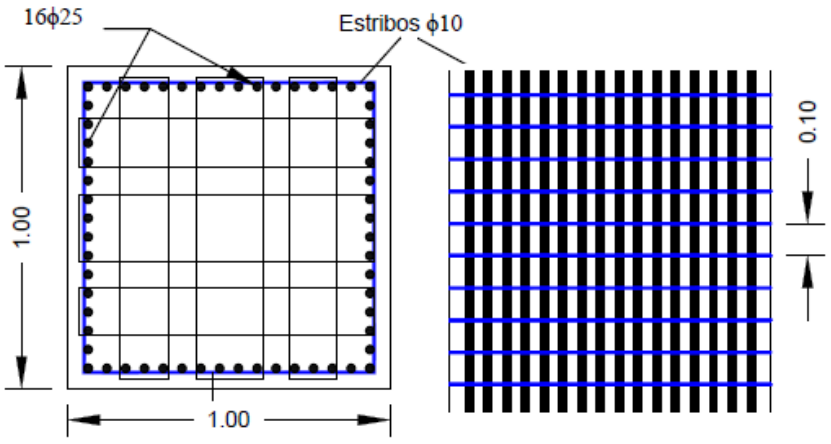
[1]For sections classified as transition, it shall be permitted to use ϕ corresponding to compression-controlled sections.

Fuente: ACI, 2019, p. 393.

En la figura 28 se puede apreciar el esquema de la columna de 100x100 cm que requiere de mayor refuerzo transversal, siendo éste de 16 varillas a cada lado con diámetro Φ 25, y en la figura 29 se muestra el diagrama de interacción de la misma columna analizada anteriormente obtenida desde el programa.

Figura 28

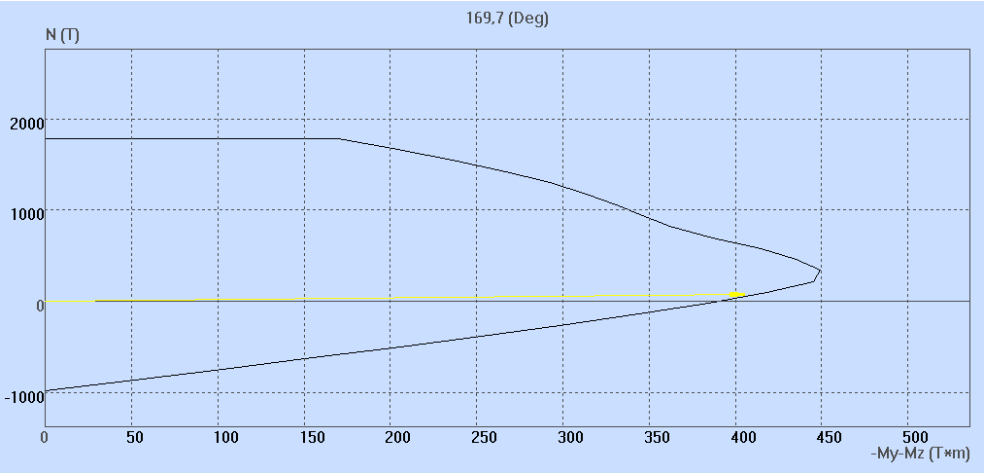
Esquema Refuerzo transversal de la columna



Nota: Los estribos están ubicados 1@10cm

Figura 29

Diagrama de Interacción de la columna



Nota: El diagrama fue obtenido del programa realizado en Robot Structural Analysis

3.8.6. Parámetros Sísmicos

Para el diseño del Espectro de Diseño, en base a las tablas mencionadas anteriormente se consideran los siguientes factores, como se muestra en la tabla11 y como resultado de esos datos, obtenemos el Espectro como se muestra en la figura 30.

Tabla 11

Valores de los parámetros necesarios para el diseño del Espectro

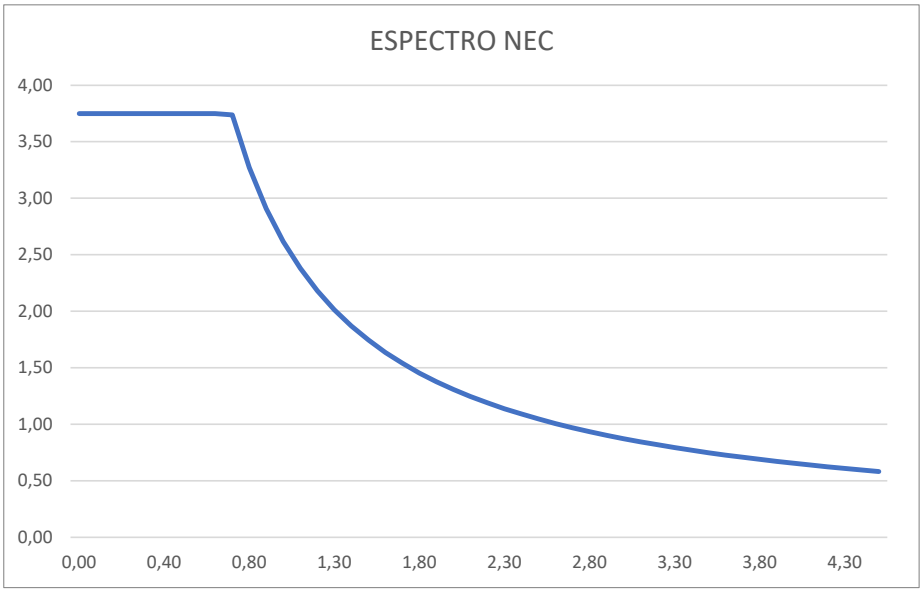
Z	**0,4**
Tipo de Suelo	D
g	9.8 cm/s^2
r	1
n	2,48

I	1,3
R	5
Φ_p	0.9
Φ_e	0,9
F_s	1,28
F_a	1,2
F_d	1,19
T_0	0,127
T_C	0,698

Nota: Para la obtención de estos valores, se basó en los datos de las tablas que se encuentran en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Capítulo Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente. Parte 1.

Figura 30

Espectro de Respuesta



3.8.7. Modos de Vibración

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción, las disposiciones para los modos de vibración deben estar más del 90%, por lo que si cumple ya que se encuentras casi al 100% tanto en el sentido x como y.

Tabla 12

Porcentaje de participación modal de masa en los modos de vibración

Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)
4/ 1	1,945	0,514	92,539	0,000	0,0
4/ 2	2,131	0,469	92,539	99,565	0,0
4/ 3	2,477	0,404	97,957	99,565	0,0
4/ 4	5,315	0,188	97,957	99,565	0,0
4/ 5	5,391	0,185	97,966	99,565	0,0
4/ 6	6,839	0,146	97,966	99,565	0,0
4/ 7	7,133	0,140	97,966	99,566	0,0
4/ 8	7,561	0,132	98,050	99,566	0,0
4/ 9	7,871	0,127	99,590	99,566	0,0
4/ 10	7,994	0,125	99,590	99,575	0,0

3.8.8. Carga Sísmica

Una vez cargado el sismo en el programa, como se puede observar en la tabla 12, obtuvimos los valores para la fuerza sísmica en dirección “X” como en “Y”.

Tabla 13

Fuerza sísmica en dirección “X” y “Y”

Case	1 - Peso Propio		
Mode			
Sum of val.	-0,00	0,00	1837,00
Sum of reac.	-0,00	0,00	1837,00
Sum of forc.	0,0	0,00	-1837,00
Check val.	-0,00	0,00	0,00
Precision	2,89670e-07	7,91554e-27	
Case	2 - Carga Muerta		
Mode			
Sum of val.	-0,00	0,00	386,25
Sum of reac.	-0,00	0,00	386,25
Sum of forc.	0,0	0,0	-386,25
Check val.	-0,00	0,00	0,00
Precision	2,94047e-07	1,49980e-26	
Case	5 - Spectral Direction_X		
Mode CQC			
Sum of val.	-745,88	0,00	0,00
Sum of reac.	-744,50	0,00	0,00
Sum of forc.	744,50	-0,00	0,0
Check val.	0,00	0,00	0,00
Precision	1,42995e-06	1,50430e-10	
Case	6 - Spectral Direction_Y		
Mode CQC			
Sum of val.	-0,00	-792,84	-0,01
Sum of reac.	-0,00	-792,84	0,00
Sum of forc.	0,00	792,84	0,0
Check val.	-0,00	0,00	0,00
Precision	1,43646e-06	1,40194e-10	

Para el cálculo de la carga sísmica, se requiere los datos por Peso Propio (PP) y de la Carga Muerta (CM), además del valor del cortante basal que se obtuvo al realizar el espectro de diseño, el cual es de 0.382.

$$PP = 1837.00\,T$$

$$CM = 386.25\,T$$

$$W = PP + CM = 2223.25\,T$$

$$Carga\ Sísmica = Cortante\ Basal * W$$

$$Carga\ Sísmica = 0.382 * 2223.25 = 849.282\ T$$

Realizando el cálculo, la fuerza sísmica obtenida es de 849.28 T, por lo que en ambos sentidos se debe corregir la carga. Para eso, se debe encontrar un factor de corrección en cada una de las direcciones analizadas.

El factor para la dirección X es:

$$fc_x = \frac{849.282}{745.88} = 1.139$$

El factor para la dirección Y es:

$$fc_y = \frac{849.282}{792.84} = 1.071$$

Una vez determinado estos factores, se procede a introducirlos en el programa en su respectiva dirección, para obtener la carga sísmica.

Figura 31

Ingreso de coeficiente en el sentido X

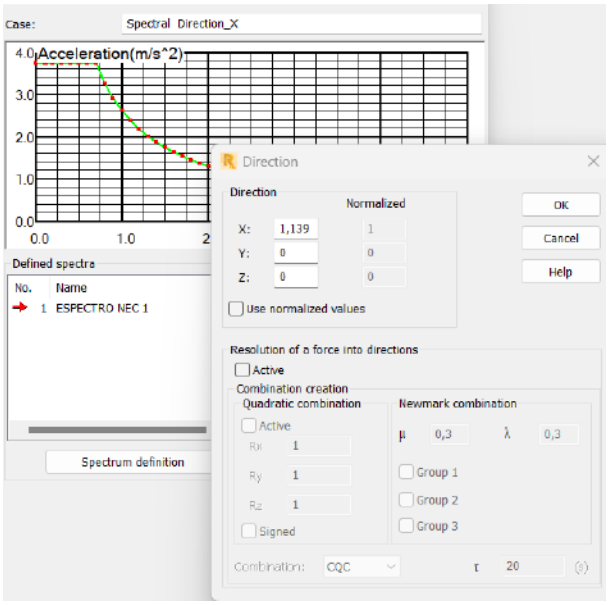
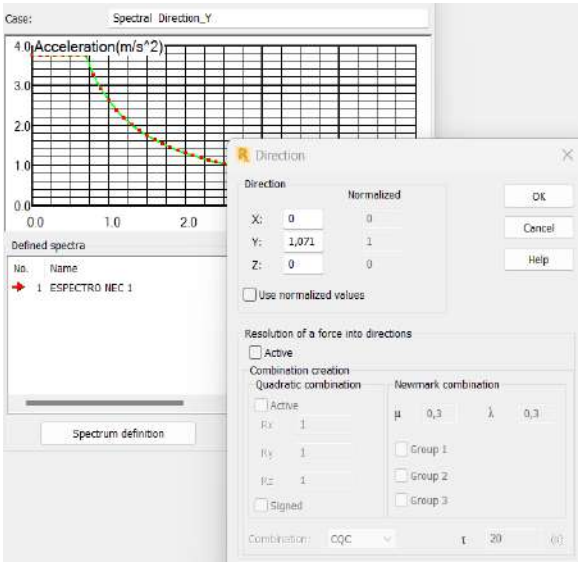


Figura 32

Ingreso de coeficiente en el sentido Y



Una vez que se haya realizado el procedimiento anterior, se corre el programa para obtener los nuevos valores de la carga sísmica en ambas direcciones como se puede observar en la Tabla 13, los valores están relativamente parecidos en ambos sentidos al valor de la carga sísmica calculada; la mínima diferencia que existe es por cuestión de decimales.

Tabla 14

Valores de carga sísmica corregida

Case	5 - Spectral Direction_X		
Mode CQC			
Sum of val.	-849.26	0.00	0.00
Sum of reac.	-847.69	0.00	0.00
Sum of forc.	847.69	-0.00	0.0
Check val.	0.00	0.00	0.00
Precision	1.42995e-06	1.50430e-10	
Case	6 - Spectral Direction_Y		
Mode CQC			
Sum of val.	-0.00	-849.29	-0.01
Sum of reac.	-0.00	-849.29	0.00
Sum of forc.	0.00	849.29	0.0
Check val.	-0.00	0.00	0.00
Precision	1.43646e-06	1.40194e-10	

3.8.9. Deformaciones

Deformación en un elemento estructural, se le puede definir como la alteración del estado físico causada por una fuerza externa, o por alguna variación de temperatura, etc.; todo elemento estructural que se encuentra sometido a la acción de cargas se deforma. Estas deformaciones pueden ser elásticas, lo que significa que desaparecen al concluir la acción que lo produce; y permanentes que es cuando la deformación aún existe a pesar de finalizar la causa que le provocó. (Morales, 2013).

Para tener una mejor perspectiva, a la estructura se le someterá a tres diferentes proporciones, las cuales son con relación a dos vanos (1:2), tres vanos (1:3), cuatro vanos (1:4) y cinco vanos (1:5); en las cuales se obtendrá diferentes resultados de deformación y se podrá comprobar que mientras más larga la estructura, mayor deformación tendrá.

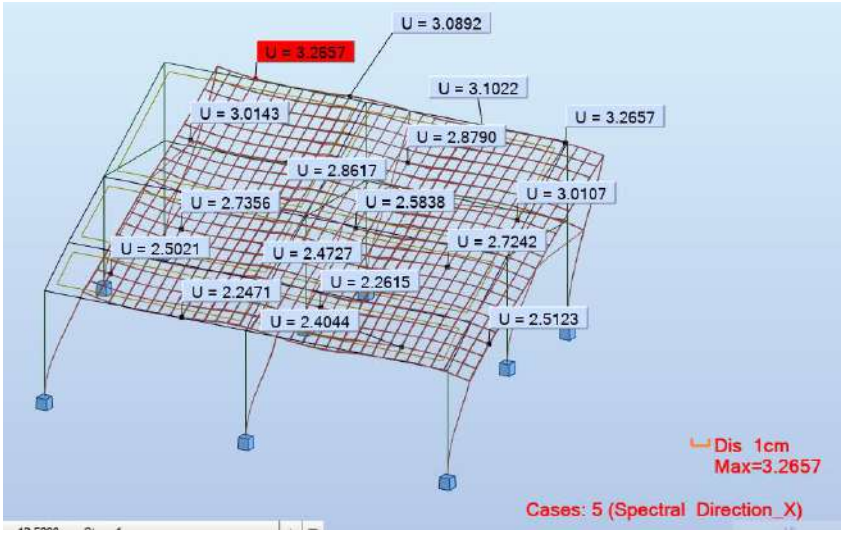
3.8.9.1. Deformación por Carga Sísmica.

Primero se le someterá a la estructura por carga sísmica tanto en X como en Y, además, se le analizará por combinaciones de carga para obtener la combinación que más perjudique a la estructura.

3.8.9.1.1. Deformaciones por sismo en "X"

Figura 33

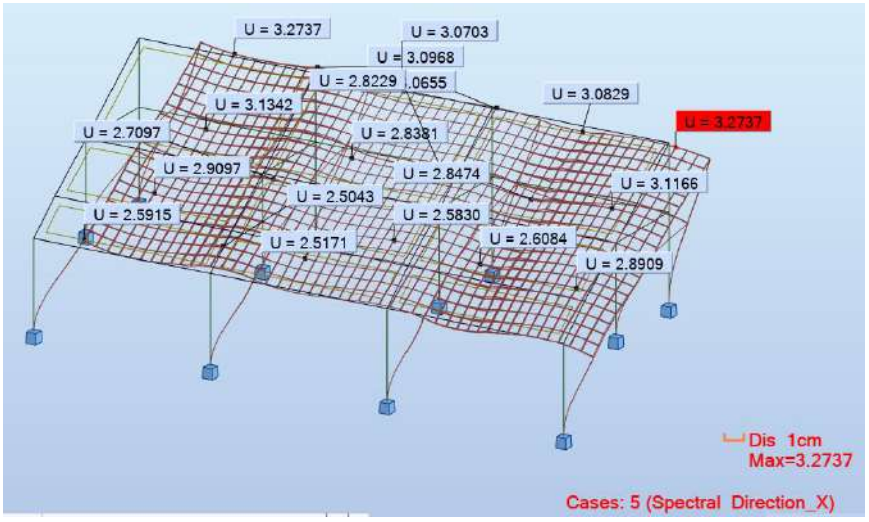
Deformación Modelo 1:2



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 34

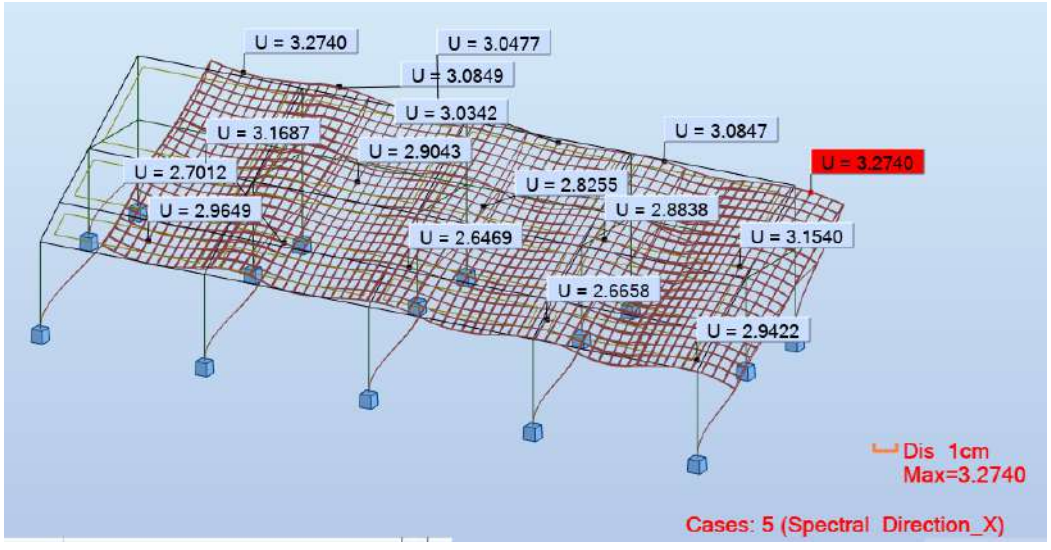
Deformación Modelo 1:3



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 35

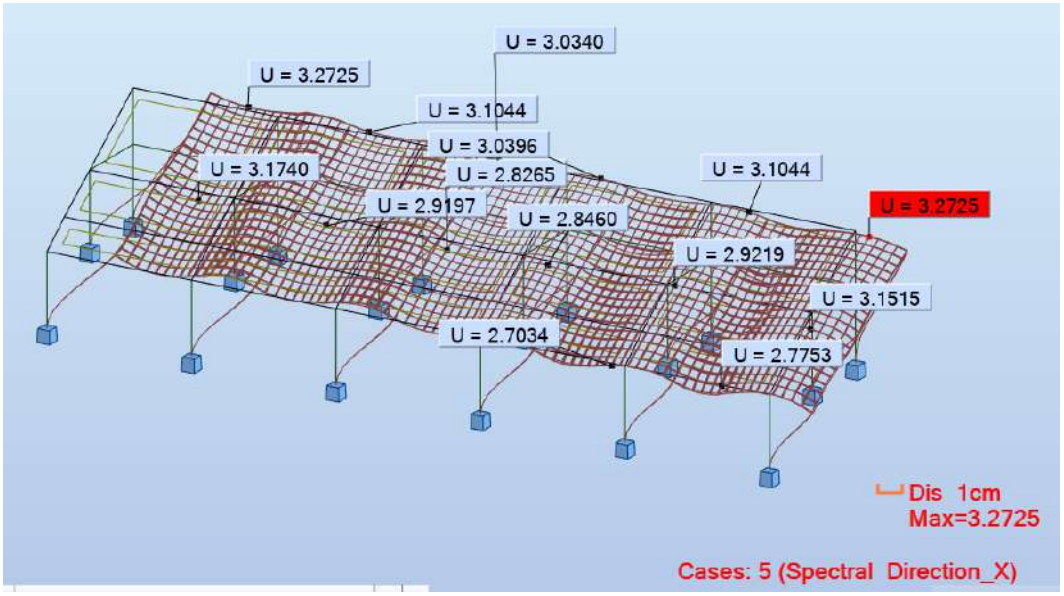
Deformación Modelo Inicial



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 36

Deformación Modelo 1:5

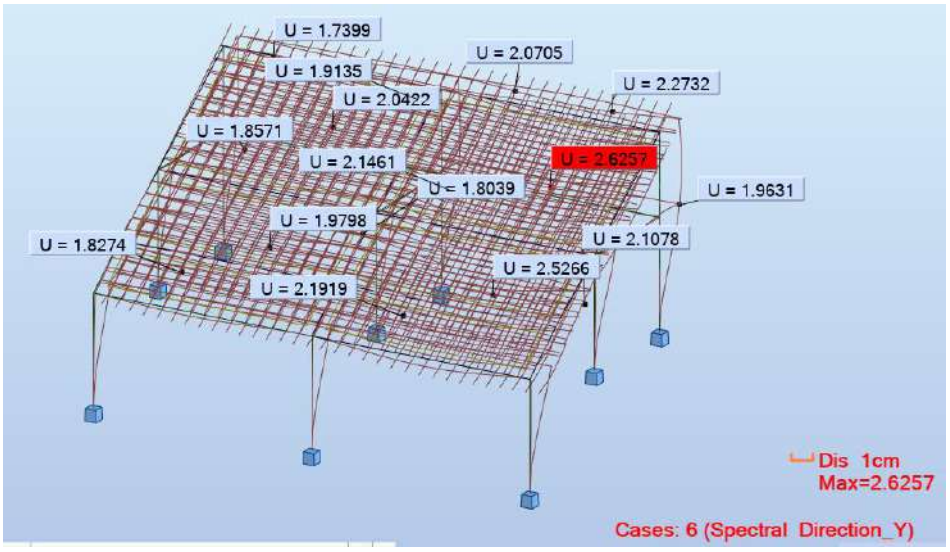


Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

3.8.9.1.2. Deformaciones por sismo en "Y"

Figura 37

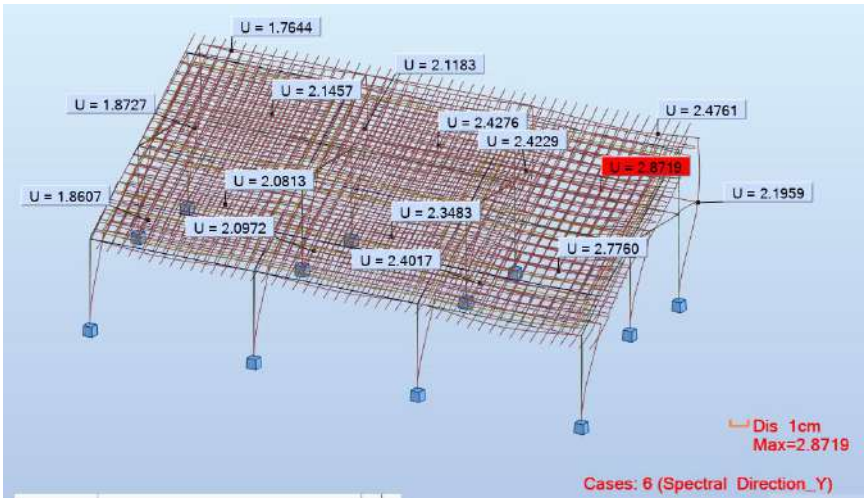
Deformación Modelo 1:2



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 38

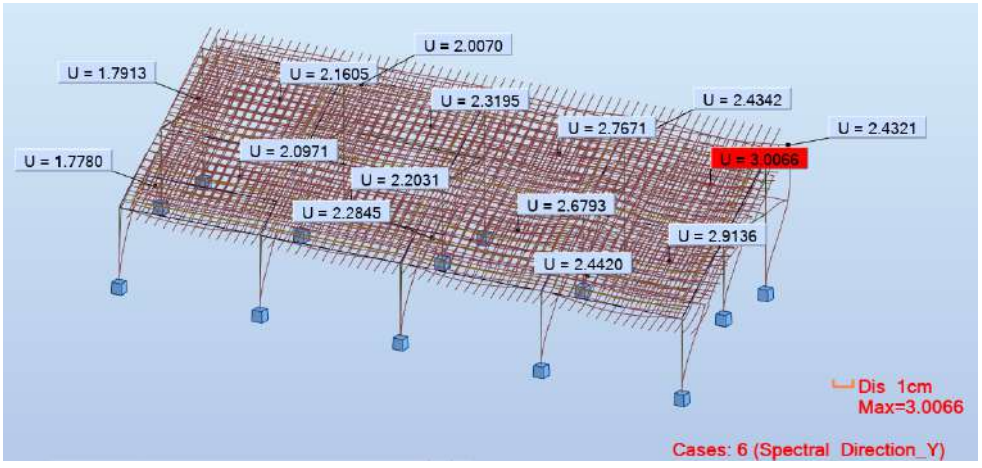
Deformación Modelo 1:3



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 39

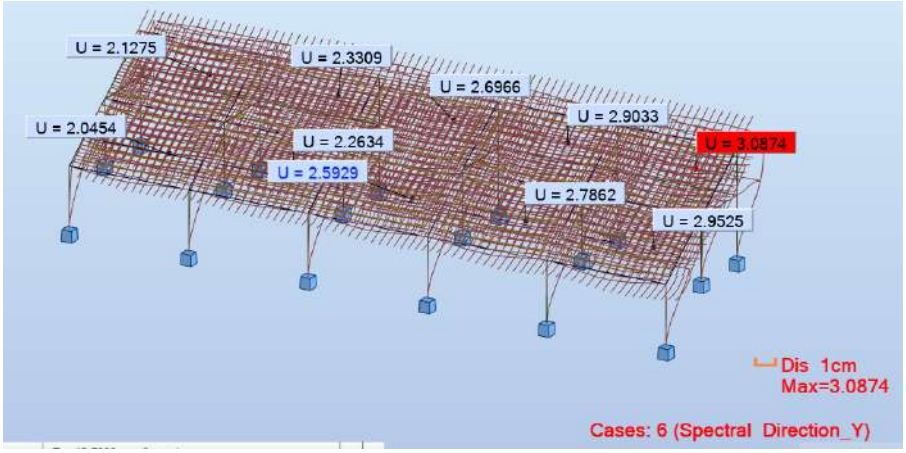
Deformación Modelo Inicial



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 40

Deformación Modelo 1:5



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Tabla 15

Resumen de valores de las deformaciones por carga sísmica

MODELO RELACIÓN	Deformación por Sismo "X" (cm)	Deformación por Sismo "Y" (cm)
Modelo 1:2	3.2657	2.6257
Modelo 1:3	3.2737	2.8719
Modelo Inicial	3.2740	3.0066
Modelo 1:5	3.2725	3.0874

En la tabla 15, se tiene un resumen obtenido de los valores anteriores, en donde analizando a los modelos anteriores y compararlos entre sí, se puede observar que en donde existe mayor deformación es por sismo en "X".

3.8.9.2. Deformación por Carga Térmica.

Igual que por deformación sísmica, por deformación térmica también se le analizará al modelo en las mismas relaciones. En la tabla 16 se tiene el dato histórico tanto de la temperatura máxima como mínima que concurrió en la ciudad de Quito, de los cuales nos basaremos en esos datos para este estudio y obtener los resultados después de someterle a la estructura ante carga por temperatura.

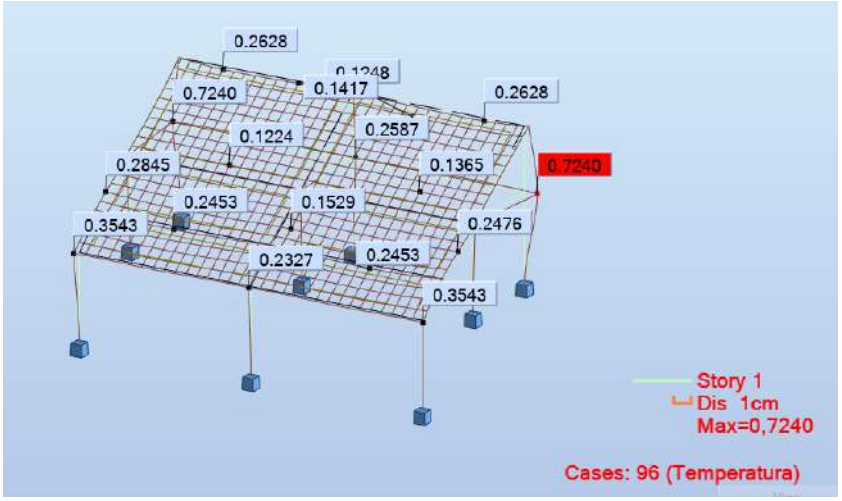
Tabla 16

Temperatura máxima y mínima de la ciudad de Quito

Temperatura Máxima (ºC)	Temperatura Mínima (ºC)
39	**-7**

Figura 41

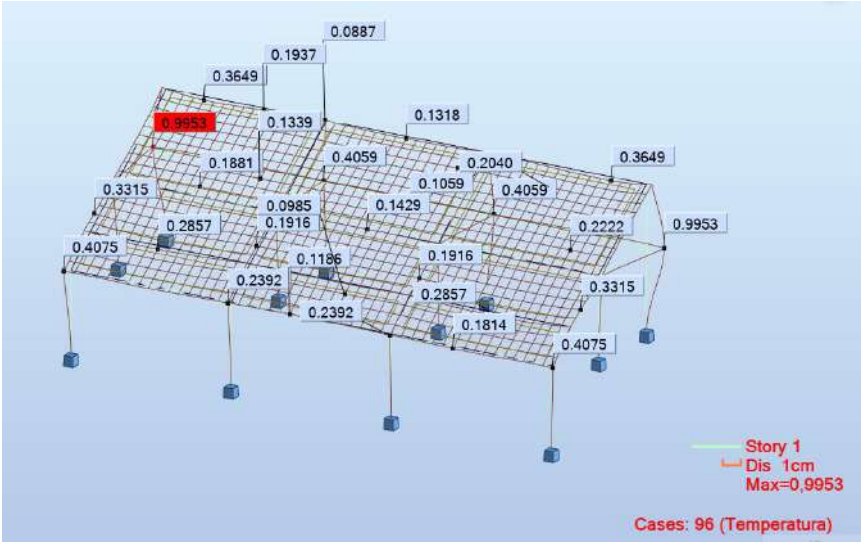
Deformación Relación 1:2



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 42

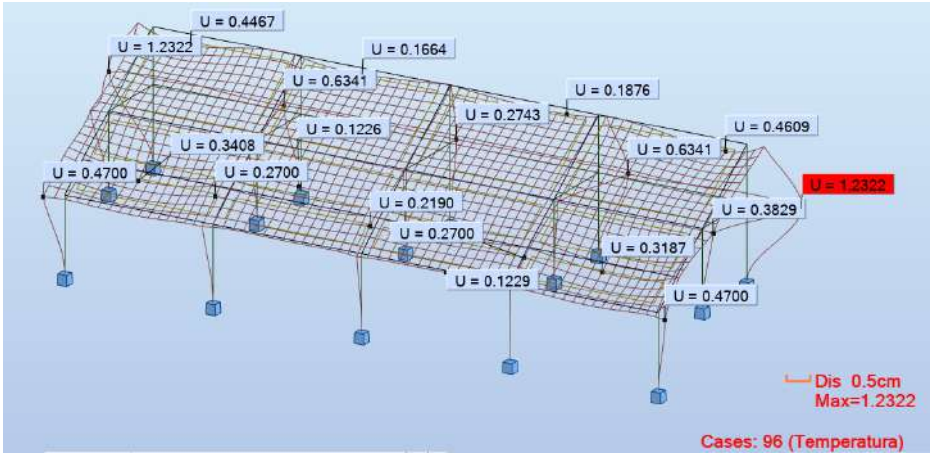
Deformación Relación 1:3



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 43

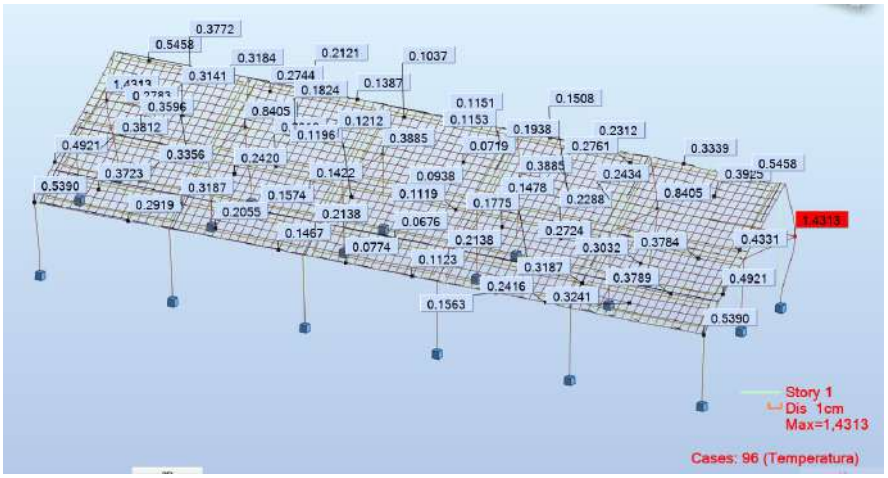
Deformación Modelo Inicial



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Figura 44

Deformación Relación 1:5



Nota: La deformación máxima obtenida en la leyenda se encuentra en cm.

Tabla 17

Resumen de valores de las deformaciones por temperatura

MODELO RELACIÓN	DEFORMACIÓN POR TEMPERATURA (cm)
Modelo 1:2	0.7240
Modelo 1:3	0.9953
Modelo Inicial	1.2322
Modelo 1:5	1.4313

En la tabla 17, se puede ver un resumen de las deformaciones por temperatura de los modelos analizados, en el que se ve que las deformaciones van aumentando cada vez que la

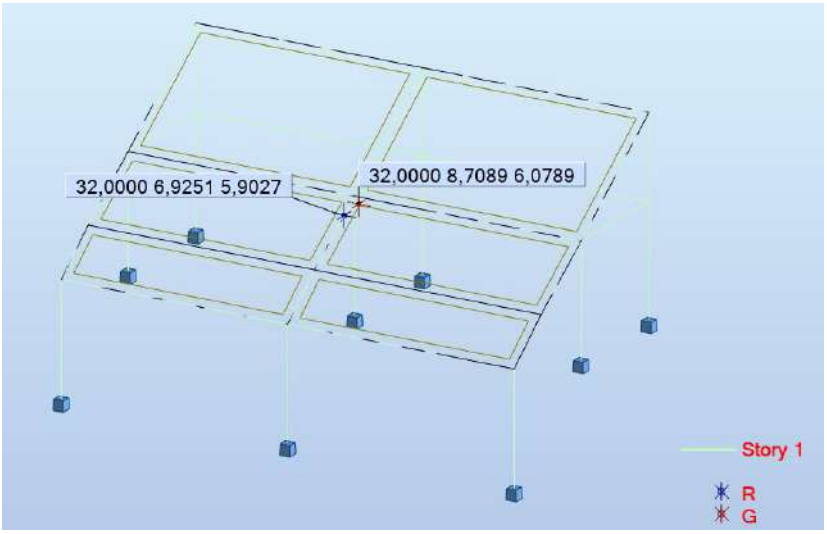
estructura se alarga, es decir que, a mayor longitud mayor deformación. Esto se debe a que existe irregularidad en planta, lo que se debe evitar en las estructuras con diseño sismorresistente, por lo que, para controlar estas deformaciones se utiliza juntas de construcción en el diseño.

3.8.10. Torsión

Como se explica anteriormente, en las estructuras donde presenta irregularidad en planta y en elevación puede presentar problemas de torsión, debido a que los centros de rigidez como de masa no se encontrarán en el mismo punto, como se observa en las figuras 45, 46, 47 y 48; este es uno de los principales factores que causan inestabilidad en los elementos estructurales, por lo que los elementos que presenten torsión, sufrirán tensiones diagonales causando mayor deformación como se observa en un resumen en las tablas 14 y 16; los cuales pueden causar daños en la estructura y un colapso progresivo de la misma.

Figura 45

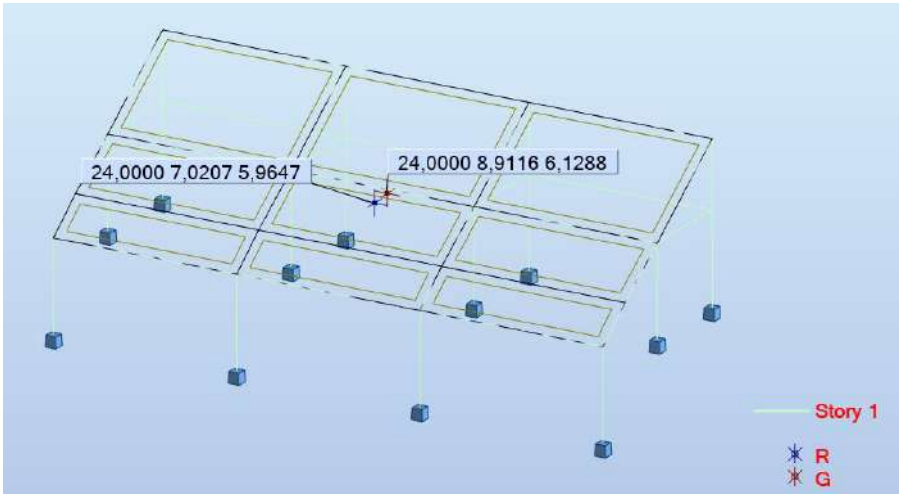
Modelo 1:2



Nota: El asterisco de color azul se refiere a la ubicación del centro de rigidez, y el asterisco de color rojo se refiere a la ubicación del centro de masa.

Figura 46

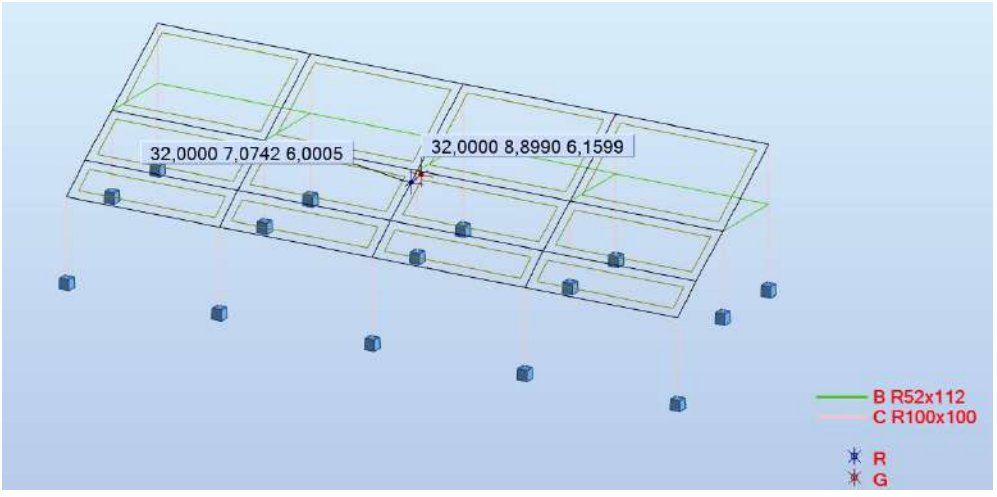
Modelo 1:3



Nota: El asterisco de color azul se refiere a la ubicación del centro de rigidez, y el asterisco de color rojo se refiere a la ubicación del centro de masa.

Figura 47

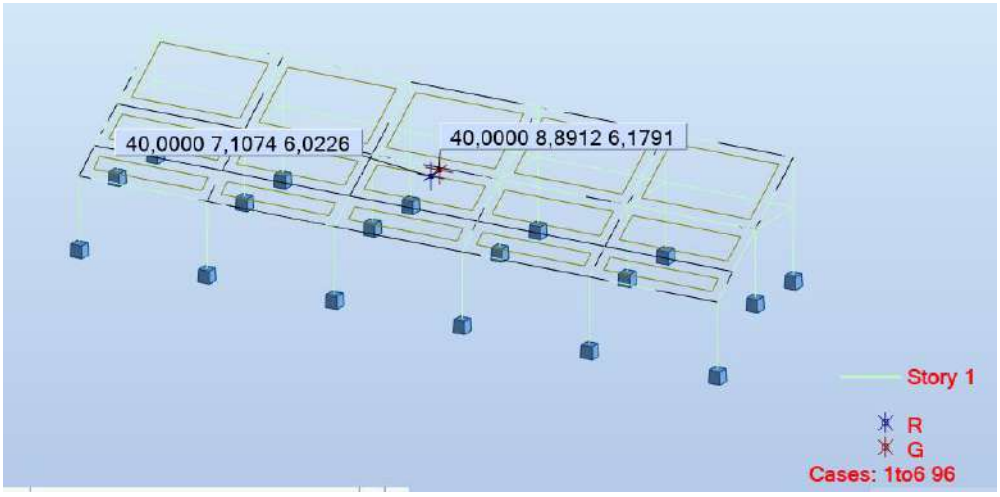
Modelo Inicial



Nota: El asterisco de color azul se refiere a la ubicación del centro de rigidez, y el asterisco de color rojo se refiere a la ubicación del centro de masa.

Figura 48

Modelo 1:5



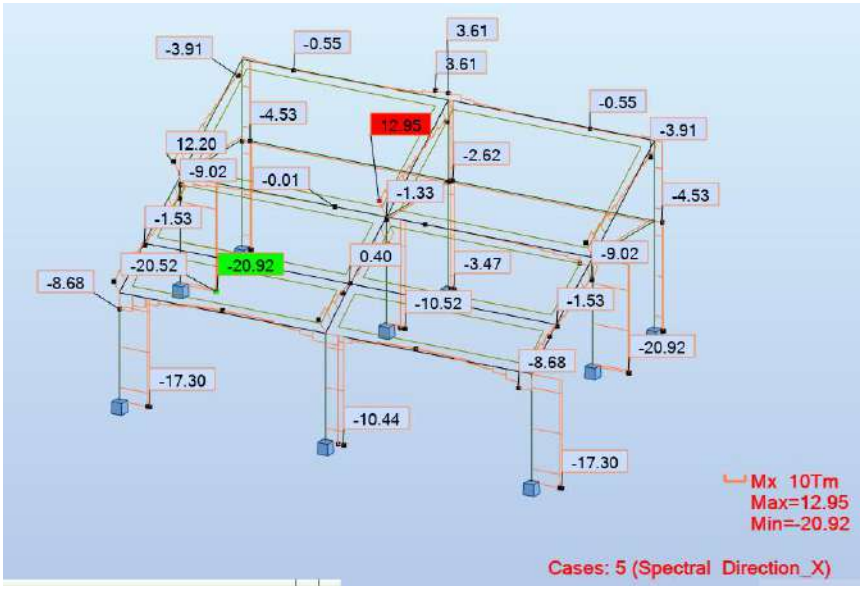
Nota: El asterisco de color azul se refiere a la ubicación del centro de rigidez, y el asterisco de color rojo se refiere a la ubicación del centro de masa.

3.8.11. Momentos

En las figuras 49, 50, 51 y 52 se puede observar los valores del Momento en "X" de la estructura; en cambio, en las figuras 53, 54, 55 y 56 se observa los valores de Momento en "Y", los resultados que se obtienen son por efecto de la carga sísmica en "X", ya que como se demostró anteriormente, es donde existe mayor deformación, y en la tabla 18 podemos encontrar un resumen de todos los valores de los momentos.

Figura 49

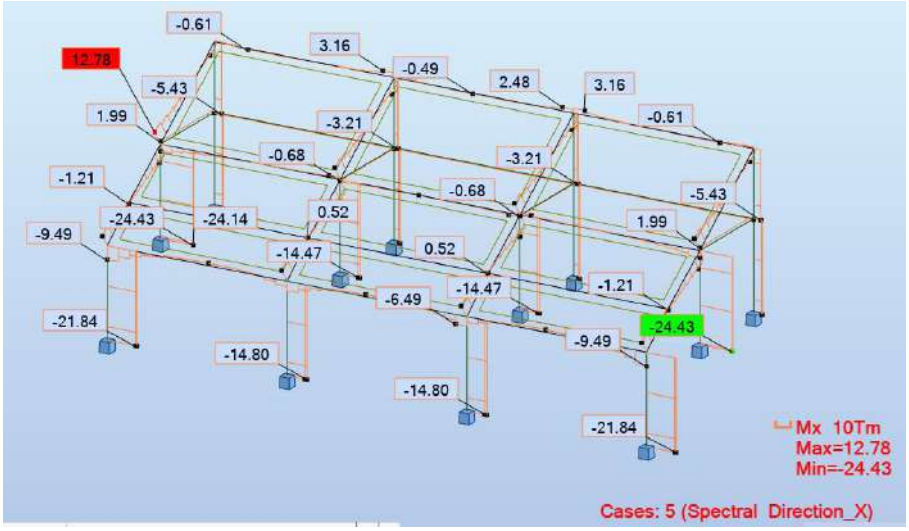
Momento en X del Modelo 1:2



Nota: En la leyenda se puede ver los valores de los momentos máximo y mínimo en T-m.

Figura 50

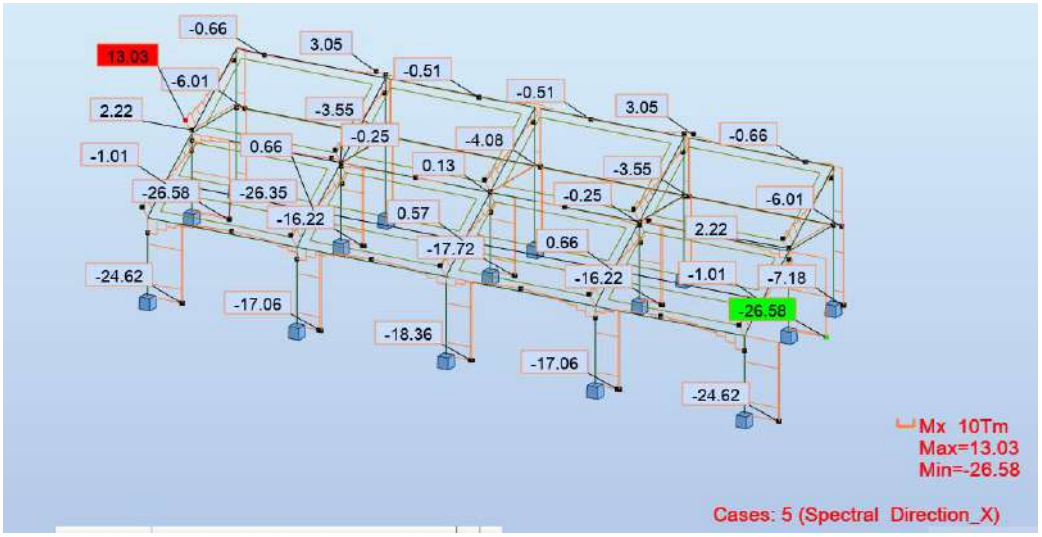
Momento en X del Modelo 1:3



Nota: En la leyenda se puede ver los valores de los momentos máximo y mínimo en T-m.

Figura 51

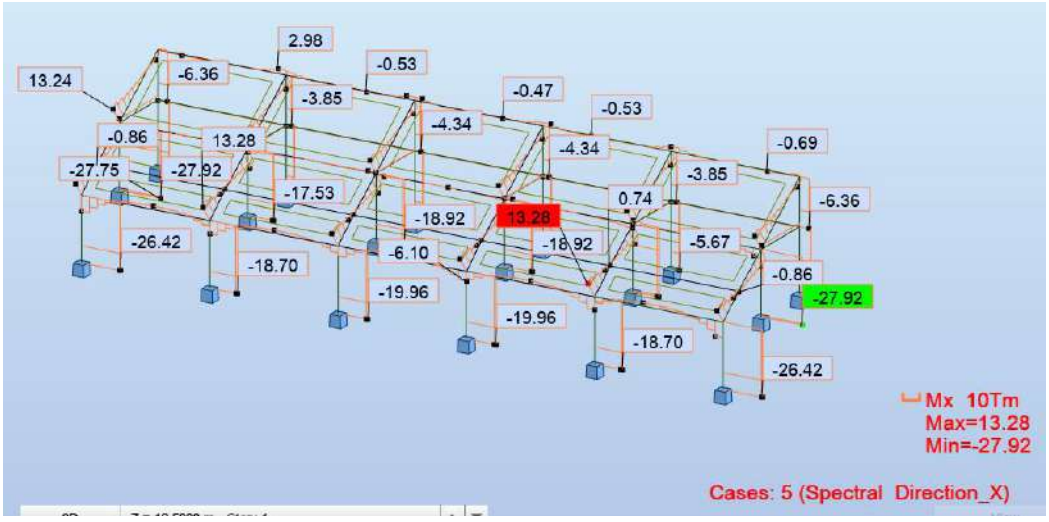
Momento en X del Modelo Inicial



Nota: En la leyenda se puede ver los valores de los momentos máximo y mínimo en T-m.

Figura 52

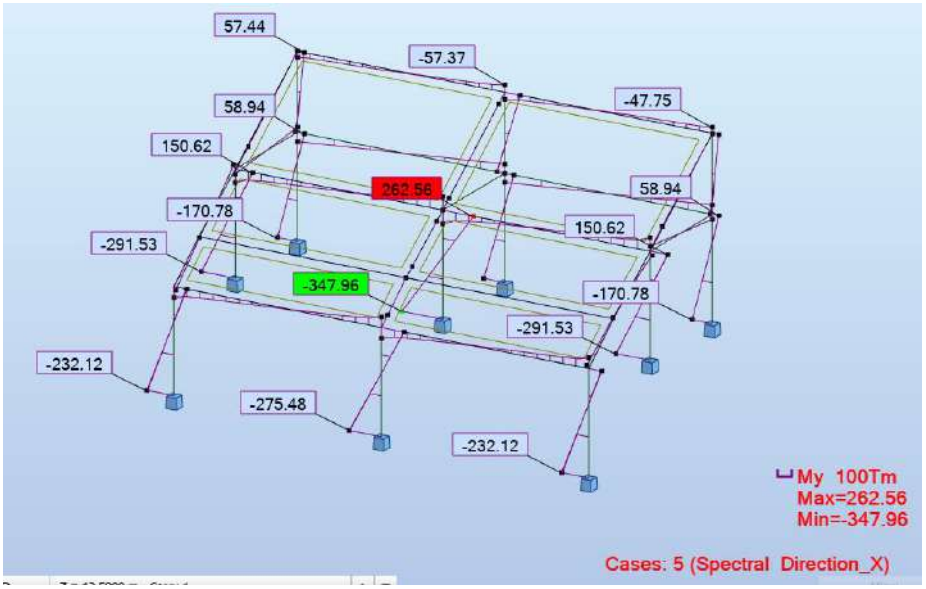
Momento en X del Modelo 1:5



Nota: En la leyenda se puede ver los valores de los momentos máximo y mínimo en T-m.

Figura 53

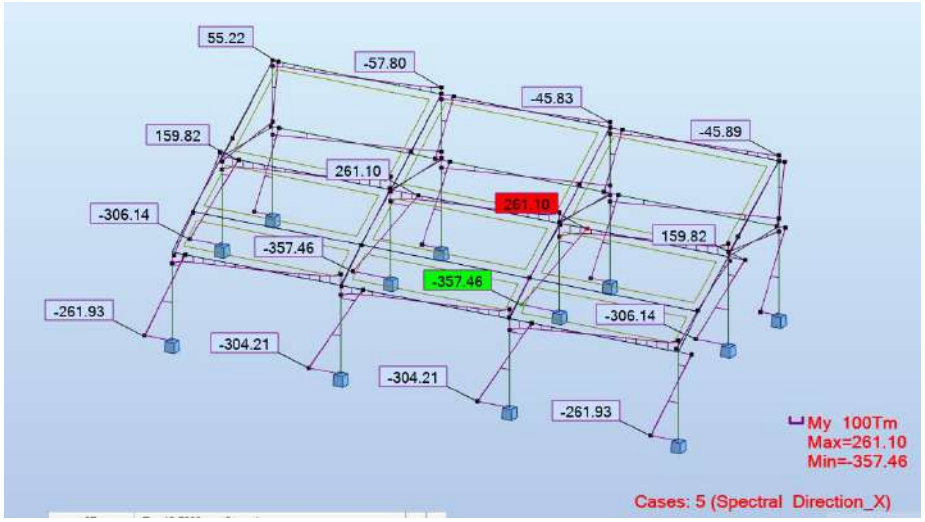
Momento en Y del Modelo 1:2



Nota: En la leyenda se puede ver los valores de los momentos máximo y mínimo en T-m.

Figura 54

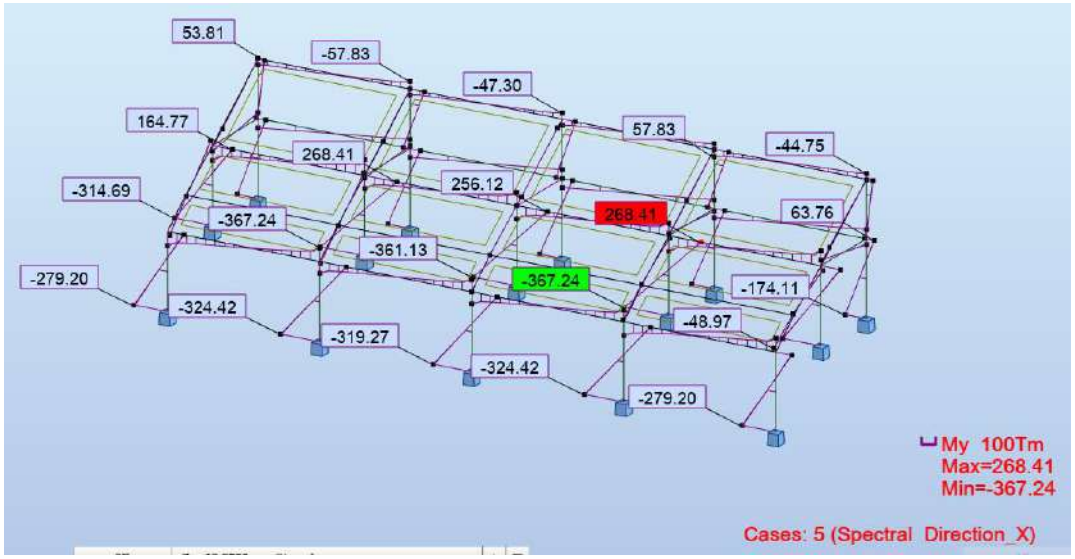
Momento en Y del Modelo 1:3



Nota: En la leyenda se puede ver los valores de los momentos máximo y mínimo en T-m.

Figura 55

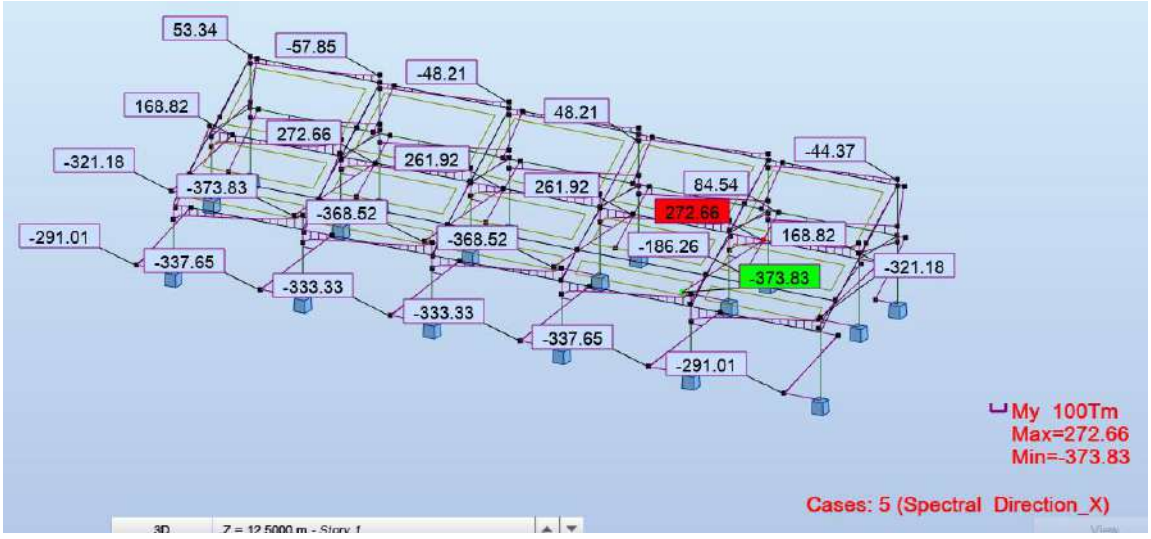
Momento en Y del Modelo Inicial



Nota: En la leyenda se puede ver los valores de los momentos máximo y mínimo en T-m.

Figura 56

Momento en Y del Modelo 1:5



Nota: En la leyenda se puede ver los valores de los momentos máximo y mínimo en T-m.

Tabla 18

Resumen de los valores obtenidos de los Momentos en X y Y

MODELO RELACIÓN	MOMENTO MÁXIMO EN X (Ton-m)	MOMENTO MÁXIMO EN Y (Ton-m)
Modelo 1:2	20.92	347.96
Modelo 1:3	24.43	357.46
Modelo Inicial	26.59	367.37
Modelo 1:5	27.92	373.83

Como se puede observar en la tabla 18, los valores de los momentos en X y Y se incrementan cada vez que la longitud de la estructura es más larga, por lo que existirán mayores problemas en estructuras donde el largo sea mayor al ancho.

3.8.12. Deflexión de la losa

Las deflexiones en la losa a lo largo del tiempo que se forman son causadas por las deformaciones que se producen debido a la contracción del material o temperatura, pero también existen por la fluencia del concreto, lo que ocasiona que existan deformaciones estimadas para un tiempo determinado después de ser construida la estructura, por lo que, para el diseño de los elementos estructurales es importante que cumplan con su grado de seguridad razonable, entonces para el análisis de la deflexión solo se considera las cargas que actúan de forma permanente, es decir, solo se considera las cargas de servicio (carga viva y carga muerta) sin mayorar. En la norma

ACI 318-19 capítulo 24, está especificado el valor máximo de la deflexión admisible, pero varía dependiendo de los diferentes casos, como se muestra en la tabla 19.

Es importante revisar las deflexiones debido a que como se explica anteriormente, se debe conocer el desempeño de la estructura para determinar las condiciones de carga a las que estará sujeto durante su vida útil, siempre es recomendable realizar esta comprobación, ya que si el elemento estructural, en este caso la losa presenta deflexiones excesivas, puede afectar a los otros elementos o si es visible el daño, causa inseguridad a las personas que observan de este acontecimiento en la estructura.

Tabla 19

Deflexión Máxima admisible calculada

Miembro	Condición		Deflexión considerada	Límite de deflexión
Techos planos	Que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes Deflexión inmediata debida a L		Deflexión inmediata debida a L_r, S y R	$\ell/180$[1]
Entrepisos			$\ell/360$	
Techos o entrepisos	Soporten o están ligados a elementos no estructurales	Susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de que los elementos no estructurales se liguen (la suma de la deflexión a largo plazo debica a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional)[2]	$\ell/480$[3]
		No susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.		$\ell/240$[4]

Fuente: (American Concrete Institute, 2019)

Existen dos tipos de deflexiones:

- Deflexión elástica inmediata se produce en la etapa del hormigonado, por lo que, para el calcula se utiliza la fórmula l/180 que se puede observar en la tabla 19.

- Deflexión elástica a largo plazo se produce debido al comportamiento del hormigón y por las diferentes cargas adicionales que pueden afectar a la estructura; y para su cálculo se utiliza la fórmula l/360 o l/480, las mismas que se encuentran en la tabla 19.

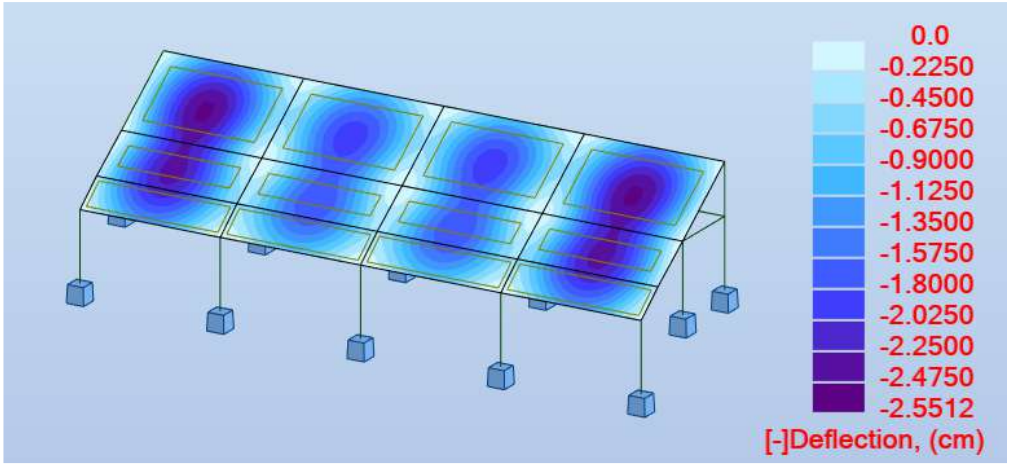
En Latinoamérica, la mayoría de las losas se les calcula con l/480, por ser la más crítica y para revisar las deflexiones a largo plazo, por lo que en nuestro caso consideraremos ese límite, el cual será:

$$\frac{l}{480} = \frac{16}{480} = 0.033\ m = 3.33\ cm$$

En el programa que se utilizó para el análisis de la estructura, se obtuvo una deflexión máxima de 2.55 cm como se muestra en la figura 61, en la cual podemos observar mediante el diagrama de colores que nos indica en qué panel se encuentra la sección más crítica de la estructura; comparando con el valor límite máximo obtenido de la tabla 19 de la ACI, el valor obtenido es menos al límite máximo que nos dice la norma, por lo que no existe ningún problema con la losa.

Figura 57

Deflexión de la losa



4. CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La colocación de juntas de construcción en las estructuras resulta beneficiosa ya que ayuda a aliviar los esfuerzos (tracción o compresión) que se producen por los materiales, dejándoles un espacio para el libre movimiento de éstas, los cuales no son considerados en el cálculo, evitando así que se formen grietas que pueden llegar a ser perjudiciales a la estructura.
- El objetivo de esta tesis fue la evaluación de utilizar juntas en un estadio que se encuentra afectado diferentes factores como son por cargas sísmicas, variación de temperatura, entre otros; al someter a la estructura ante cargas sísmicas, se obtuvo una deformación de 4.4389 cm, por lo que se concluye que la estructura requiere de la colocación de junta de construcción de 5 cm para controlar los daños que puede ocasionar las fuerzas laterales.
- La estructura ante una variación térmica, $\Delta T = 46ºC$, esta variación se calculó utilizando las temperaturas históricas de la Ciudad de Quito, con un coeficiente de dilatación del concreto de $1.0x10^{-5}$, obteniendo una deformación de 1.2322 cm en el programa; para comparar, se realizará un cálculo manual:

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T$$

$$\Delta L = 1.0x10^{-5} * 64 * 46$$

$$\Delta L = 0.02944\ m = 2.944\ cm$$

Como se puede observar, la elongación obtenida manualmente es mayor a la obtenida por el programa, por lo que se utilizará una junta de dilatación de 3 cm.

- Después de realizar el análisis a la estructura por ambas cargas (sísmica como térmica), con los resultados obtenidos se llega a determinar que la estructura ante cargas sísmicas corre mayor riesgo de que sea afectada, por lo tanto, se concluye que la estructura requiere una junta de construcción mínima de 4 cm a cada lado, es decir una junta total del 8 cm.
- La no utilización de juntas es perjudicial para la estructura, ya que, sin éstas, producirá que la estructura presente fallas como por ejemplo grietas, las cuales si son superficiales no se correría ningún problema, pero si esas grietas son internas, pueden hacer grande daño a la integridad de la estructura, por lo que, si no se utiliza juntas, la estructura no será segura para el propósito que se le diseña.
- La estructura ante las diferentes relaciones que se le analizó, mostro que a mayor longitud mayor deformación y mayor momento, esto se debe por el centro de interacción de la estructura, ya que las deformaciones dependen de las dimensiones de la estructura, de la fuerza, del tipo de material y del tipo de suelo en la que se encuentra la estructura; por lo que, se recomienda tener estructuras donde en planta sean regulares.

4.2. RECOMENDACIONES

- Después de analizar los resultados, se recomienda siempre realizar el análisis por cargas sísmicas, ya que es el más perjudicial para la estructura, para lo cual se sugiere considerar la construcción de estas en el diseño y comunicarse con las empresas especializadas en este trabajo, ya que el sellado de las juntas es la parte más importante, con la finalidad de obtener resultados esperados en la estructura.
- Es recomendable la utilización de juntas para los cambios de temperatura de los materiales, debido a que no se puede prever completamente las grietas, especialmente en el hormigón, pero se les controla a través de un buen diseño de las juntas.
- Se recomienda que, para la ubicación y diseño de las juntas se debe tomar en cuenta las condiciones climáticas, selección de los materiales, esfuerzos ocasionados por las cargas que la estructura se encuentra sometida y un especialista de este tema.

5. BIBLIOGRAFÍA

Alonso, J. L. (2007). *Vulnerabilidad Sísmica De Edificaciones.* . Caracas, Venezuela: Siderúrgica del Turbio S.A.

Alvarado Chorro, L. A., Pineda Alvarado, S. G., & Ventura Ramirez, J. A. (2004). *DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO.* Ciudad Universitaria: Universidad de El Salvador.

American Concrete Institute. (1995). Joints in Concrete Construction. *ACI 224.3R-95*. ACI Committee 224.

American Concrete Institute. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19). *Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-19)*. Farmington Hills: ACI Committee 224. doi:10.14359/51716937

Archana, K., & Devi, S. (2019). Torsional Irregularity of Building. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, *8*(3). Obtenido de www.ijirset.com

ASCE 7-16. (2017). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. *Minimum design loads for buildings and other structures*. Virginia: American Society of Civil Engineers. doi:https://doi.org/10.1061/9780784414248

Brown , T., & Elshaer, A. (2022). Pounding of structures at proximity: A state-of-the-art review. *48*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.103991.

Capa, V. E. (2009). *DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS.* ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, QUITO.

Corral, J. T. (2004). PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN GRIETAS Y FISURAS EN OBRAS DE HORMIGÓN ; ORIGEN Y PREVENCIÓN. *Ciencia y Sociedad, XXIX*(1), 72-114.

Csernak, S., & McCormac, J. (2013). *Diseño de estructuras de acero* (5ª Ed. ed.). Alfaomega.

Gokdemir, H., Ozbasaran, H., Dogan, M., Unluoglu, E., & Albayrak, U. (2013). Effects of torsional irregularity to structures during earthquakes. *35*. doi:https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.028

Gonzalez Herrera, R., & Gómez Soberón, M. C. (2009). Efectos de la irregularidad en planta por forma arquitectónica. *XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, *0301*. Puebla, México. Recuperado el 01 de Junio de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/261642084_Efectos_de_la_irregularidad_en_planta_por_forma_arquitectonica

Hamón, M. C. (2009). *Propuesta de un Manual de Documentación de Juntas en Elementos de Concreto Armado.* Tesis de Grado, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo.

Hernández, E. (2014). Dilatación Térmica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Obtenido de http://www.uaeh.edu.mx/virtual

Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis Estructural* (8ª Ed. ed.). Pearson Educación.

Hutchinson, A., Pagliuca, A., & Woolman, R. (1995). Construction and Building Materials. *Sealing and resealing of joints in buildings, 9, 6*. doi:https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00050-X

Kammel, D. W. (2005). Minimum Design and Construction Standards for Concrete Mixing and Loading Pads and Secondary Containment Structures. *Chapter 5. Concrete Design and Construction Details* . University of Wisconsin Cooperative Extension, WIisconsin.

Kassimali, A. (2015). *Análisis Estructural* (5ta Edición ed.). Thomson Learning.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., & Panarese, W. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures* (FOURTEENTH EDITION ed.). Skokie, Illinois, USA: Portland Cement Association,.

Maldonado Flores, J. L. (1996). *ACEROS Y SUS APLICACIONES.* Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.060 CONCRETO ARMADO. Perú. Obtenido de www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf

Naotunna, C. N. (2021). Cracking Behavior of Reinforced Concrete Structures Subjected to Service Load: Experimental and Numerical Investigation. *(Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of PHILOSOPHIAE DOCTOR).* University of Stavanger, Norway.

Narayanan, S. (2013). INTRODUCTION TO REINFORCED CONCRETE. En S. Narayanan, *Design of RC Structures* (1st edition ed.). Oxford University Press.

NEC. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE (NEC - SE - DS), 1ra*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Recuperado el 02 de Junio de 2022, de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf

NEC. (2015). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras. *5*. Obtenido de https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/08/GUIA_5.pdf

NEC. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. *Cargas No Sísmicas (NEC-SE-CG)*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Obtenido de www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-CG-Cargas-S%C3%ADsmicas.pdf

Pfeiffer, M., & David Darwin. (1987). JOINT DESIGN FOR REINFORCED CONCRETE BUILDINGS. *A Report on Research Sponsored by The University of Kansas Structural Engineering and Materials Laboratory* . LAWRENCE, KANSAS: UNIVERSITY OF KANSAS.

Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G. , J., & Velazco, G. (2009). *Manual del Concreto Estructural* (Tercera Edición ed.). Caracas: Impresos Minipres, C.A.

San Bartolomé, Á., Quiun, D., & Silva, W. (2011). *Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010*. Obtenido de Concreto y cemento. Investigación y desarrollo, 3(1), 36-48:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000200004&lng=es&tlng=es

SENCICO. (2020). *COMENTARIOS A LA NORMA PERUANA E.030 DISEÑO SISMORESISTENTE* (Primera Edición ed.). Lima: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

Serrano Lizaola, R. (2001). *Comportamiento Estructural en Obra Civil.*