



**Apoyo a la empresa Abril & Asociados S.A.S. en la ejecución de los procesos de análisis y
diseño estructural de edificaciones de concreto reforzado en sistema de pórtico**

Edwin Andres Calderon Valencia

Informe final para optar al título de Ingeniero Civil

Modalidad de Práctica Cursada

Semestre de industria

Asesor interno

Juan Carlos Vélez Cadavid, Doctor en Ingeniería de Materiales.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín

2024

Cita	(Calderon Valencia, 2024)
Referencia	(Calderon Valencia, 2024). <i>Apoyo a la empresa Abril & Asociados S.A.S. en la ejecución de los procesos de análisis y diseño estructural de edificaciones de concreto reforzado en sistema de pórtico, 2024</i> [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación de Ingeniería - CENDOI

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

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

Dedicatoria

Este título va dirigido especialmente a las personas más cercanas que han hecho parte de mi proceso de formación académica y profesional, desde mi familia, amigos y compañeros hasta profesores, entes administrativos y colegas que marcaron positivamente una etapa dentro de este gran logro. Quiero destacar a mi madre (Margarita Valencia), mi padre (Eduin Ferney Calderon), mi hermano (Jaider Calderon) por su apoyo incondicional; a mi novia, compañera y futura ingeniera (Valentina Quintero) por su acompañamiento y motivación para seguir nuestras pasiones y metas; a mi compañero (Neyder Arroyave) por su gran amistad en la cual no solo compartimos en entornos académicos sino también en entornos deportivos que fueron un gran plus para combinar nuestras pasiones como la ingeniería y el fútbol. Y, por último, a los ingenieros Jacobo Blandón, Carlos Mario González, Hernando González y Luis Hernan Cano, gracias a sus consejos y oportunidades para empezar esta etapa relacionada con la ingeniería civil y estructural.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la empresa Abril & Asociados S.A.S. por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas académicas en un entorno altamente enfocado al diseño estructural la cual fue una gran motivación para iniciar este proceso. Su apoyo y colaboración han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto. De igual forma, agradezco profundamente al Ingeniero Juan Carlos Vélez, profesor del curso Diseño Avanzado de Edificaciones, por su invaluable asesoría, su gran calidad humana y su constante disposición para guiarme durante esta práctica y la elaboración de este informe. Su orientación y conocimiento han sido esenciales para alcanzar este logro académico.

Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
1 Justificación.....	9
2 Objetivos	10
2.1 Objetivo general	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3 Marco teórico	11
4 Metodología	13
5 Resultados y Conclusiones.....	14
Referencias	16
Anexos.....	17

Siglas, acrónimos y abreviaturas

NSR-10

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente

Resumen

El proyecto busca aportar en la estandarización de los procesos de análisis y diseño estructural de edificaciones de concreto reforzado en sistema de pórtico para la empresa Abril & Asociados SAS a través de la elaboración de una memoria de cálculo y documentos complementarios, siguiendo los requerimientos especificados en los Títulos A, B y C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; donde en el A se presentan los requisitos generales de diseño y construcción sismo resistentes, en el B los requisitos mínimos respecto a las cargas que se deben emplear y sus respectivas combinaciones; y en el C, los requisitos mínimos para el diseño y construcción de elementos en concreto reforzado.

Además, se pretende mejorar la calidad y eficiencia en la ejecución de proyectos, facilitando la capacitación de futuros profesionales en esta metodología de trabajo, optimizando tiempos de aprendizaje y adaptación para su desarrollo profesional. La creación de plantillas y guías específicas para el diseño de pórticos de concreto reforzado facilitará procedimientos puntuales como la evaluación de irregularidades, el cálculo de longitudes de desarrollo y traslapos, y otros requerimientos de gran importancia para promover una mayor comprensión y cumplimiento de la normativa del Reglamento NSR-10 entre los profesionales de la ingeniería, mejorando la coherencia y precisión en los diseños estructurales y beneficiando tanto a la empresa como a la comunidad profesional en general que participe en el campo de la ingeniería estructural.

Palabras clave: Diseño estructural, edificaciones, concreto reforzado, sistema de pórtico, memorias de cálculo, ejecución, software de análisis, software de diseño.

Abstract

The project seeks to contribute to the standardization of the processes for structural analysis and design of reinforced concrete buildings in a frame system for the company Abril & Asociados SAS through the preparation of a calculation report and complementary documents, following the requirements specified in Titles A, B, and C of the Colombian Seismic Construction Code (NSR-10). Title A presents the general requirements for seismic design and construction, Title B specifies the minimum requirements regarding the loads to be used and their respective combinations, and Title C details the minimum requirements for the design and construction of reinforced concrete elements.

Additionally, it aims to improve the quality and efficiency in project execution, facilitating the training of future professionals in this work methodology, optimizing learning and adaptation times for their professional development. The creation of specific templates and guides for the design of reinforced concrete frames will facilitate specific procedures such as the evaluation of irregularities, the calculation of development lengths and splices, and other critical requirements. This will promote a greater understanding and compliance with the NSR-10 among engineering professionals, improving the consistency and accuracy of structural designs and benefiting both the company and the broader professional community involved in the field of structural engineering.

Keywords: Structural design, buildings, reinforced concrete, frame system, calculation reports, execution, analysis software, design software.

Introducción

Este documento tiene como objetivo principal sustentar la elaboración de una memoria de cálculo para aportar a los procesos de análisis y diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado en sistema de pórtico para la empresa Abril & Asociados SAS. Esta necesidad surge para mejorar la productividad en la ejecución de los diseños y facilitar la capacitación del personal en el uso de herramientas especializadas y en el cumplimiento de las normativas vigentes.

La empresa ha identificado la importancia de unificar sus métodos, especialmente en la presentación de memorias de cálculo. Por consiguiente, esta iniciativa busca establecer un marco de trabajo uniforme que garantice la calidad y eficiencia de los proyectos estructurales. Se empleará la normativa del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 como base para desarrollar plantillas y guías que faciliten el uso de software especializado en análisis y diseño estructural.

La selección de este tema se fundamenta en la necesidad de cumplir con cada uno de los requisitos del reglamento NSR-10 para documentar los cálculos necesarios para el diseño estructural de edificaciones. Además, se pretende organizar un formato o plantilla que abarque las estructuras en pórticos de concreto reforzado, profundizando en la evaluación de derivas, el cálculo de longitudes de desarrollo y traslapos, y otros procedimientos que comúnmente presentan discordancias entre ingenieros estructurales o diseñadores. De esta manera, se espera no solo mejorar la coherencia y precisión de los diseños, sino también promover una mayor comprensión y cumplimiento de la normativa NSR-10 entre los profesionales de la ingeniería.

En definitiva, este proyecto de práctica en ingeniería no solo satisface una necesidad operativa de la empresa, sino que también aporta un valor significativo a los ingenieros civiles o estructurales que utilicen estas herramientas. Al proporcionar una estructura clara y consistente para la documentación y presentación de cálculos estructurales, se fomenta el uso de prácticas más eficientes y estandarizadas.

1 Justificación

La elección del tema para la elaboración de una memoria de cálculo que aporte a los procesos de análisis y diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado responde a varias razones fundamentales. En primer lugar, la empresa Abril & Asociados SAS ha identificado una necesidad crítica de mejorar la productividad en la ejecución de sus diseños estructurales. Esto se debe a que unificación y estandarización de los métodos de presentación de memorias de cálculo es vital para garantizar la calidad y eficiencia de los proyectos, además de ayudar a evitar omisiones en estos procesos. Además, la capacitación del personal en el uso de herramientas especializadas y el cumplimiento de las normativas vigentes son aspectos esenciales para el desarrollo continuo de la empresa. La implementación de un marco de trabajo uniforme basado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10 permitirá no solo cumplir con los requisitos reglamentarios, sino también optimizar el uso del software especializado en análisis y diseño estructural.

El proyecto de práctica en ingeniería contribuirá significativamente a la empresa y al personal que participe de la utilización de esta plantilla al proporcionar una estructura clara y consistente para la documentación y presentación de cálculos estructurales. La creación de plantillas y guías específicas para el diseño de pórticos de concreto reforzado facilitará el proceso de evaluación de derivas, el cálculo de longitudes de desarrollo y traslapos, y otros procedimientos críticos que a menudo generan discordancia entre ingenieros estructurales. Al abordar estas áreas de forma sistemática, el proyecto no solo mejorará la coherencia y precisión de los diseños, sino que también promoverá una mayor comprensión y cumplimiento de la normativa NSR-10. En resumen, este trabajo no solo satisface una necesidad operativa de la empresa, sino que también aporta un valor significativo tanto a los participantes en los análisis y diseños de estructuras de pórtico en concreto reforzado como a los revisores de estos proyectos, promoviendo prácticas más eficientes y estandarizadas.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Aportar a la ejecución de los procesos de análisis y diseños estructurales de edificaciones nuevas en sistema de pórticos de concreto reforzado para la empresa Abril & Asociados SAS según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

2.2 Objetivos específicos

- Generar una plantilla para la presentación de memorias de cálculo de edificios aporticados de concreto reforzado según el Reglamento NSR-10.
- Elaborar hojas de cálculo o documentos complementarios a la memoria de cálculo.
- Mejorar la sustentación del cumplimiento de los requisitos especificados en el Reglamento NSR-10 para el diseño estructural de edificaciones aporticadas de concreto reforzado en las plantillas actuales utilizadas en Abril & Asociados S.A.S.
- Facilitar la capacitación del personal en la metodología de trabajo establecida.

3 Marco teórico

Aspectos fundamentales para el diseño estructural bajo el seguimiento del Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10 se enfocan en la importancia de las memorias de cálculo como documentación clave para garantizar la adecuada aplicación de normativas sísmicas en el diseño estructural y sustento del proceso realizado por parte de los profesionales facultados para este fin. El Reglamento NSR-10 establece los requisitos generales para el diseño y construcción sismo resistente, detallando procedimientos y especificaciones técnicas esenciales para asegurar la integridad y seguridad de las edificaciones en zonas sísmicas.

Para el caso específico de las edificaciones aperticadas en concreto reforzado, los contenidos más relevantes se encuentran en los Títulos A, B y C del Reglamento NSR-10. El Título A presenta los requisitos generales de diseño y construcción sismo resistentes, el B presenta los requisitos mínimos que deben cumplir las edificaciones con respecto a las cargas que deben emplearse en el diseño diferentes a las impuestas por eventos sísmicos (B.1.1, NSR-10) así como las combinaciones de carga para los estados límites de servicio y resistencia; y el C, presenta los requisitos mínimos para el diseño y construcción de elementos en concreto reforzado (C.1.1.1, NSR-10).

La Ley 400 de 1997, que sienta las bases para la creación del Reglamento NSR-10, fue un hito en la regulación de la construcción en Colombia. Esta ley establece la obligatoriedad de implementar normas técnicas que aseguren la resistencia de las construcciones frente a eventos sísmicos, promoviendo así la protección de vidas y bienes. La historia que llevó a la creación de esta ley se remonta a varios eventos sísmicos significativos que afectaron el país como el ocurrido en Popayán en el año 1983, evidenciando la necesidad de regulaciones más estrictas y la adopción de estándares internacionales en el diseño y construcción de edificaciones. La implementación de la Ley 400 de 1997 representa un esfuerzo consolidado para incorporar criterios sismorresistentes en todas las etapas de planificación, diseño y ejecución de proyectos estructurales (Congreso de Colombia, 1997).

Además, se exploran metodologías de estandarización de procesos en ingeniería civil, aquellas aplicadas tanto al diseño sísmico y estructural como al diseño de elementos no estructurales, con el fin de asegurar una ejecución eficiente y segura de los proyectos. La estandarización de estos procesos es crucial para mantener la coherencia y calidad en los diseños,

facilitando también la capacitación y adaptación de nuevos profesionales en el campo y evitando reprocesos para mejorar la productividad. La creación de plantillas y guías específicas permite una implementación más uniforme de las normativas y un seguimiento más riguroso de los procedimientos establecidos.

Complementariamente, se considera la elaboración de memorias de cálculo, como una herramienta versátil para documentar y validar los resultados obtenidos en el análisis y diseño estructural conforme a las normativas establecidas. Las hojas de cálculo permiten realizar cálculos precisos y detallados, facilitando la revisión y actualización de los datos según sea necesario. Esta práctica no solo mejora la transparencia de los cálculos realizados, sino que también permite una fácil integración de los resultados en informes y presentaciones profesionales, contribuyendo a una mejor comunicación y comprensión de los aspectos técnicos del diseño estructural.

4 Metodología

Para llevar a cabo este proyecto, se inicia con la recopilación de información detallada del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y la Resolución número 0017 de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistente. Esta recopilación se centra en los requerimientos esenciales para la realización de diseños estructurales. Se incorporan herramientas prácticas en el proceso de análisis y diseño estructural, debidas a un trabajo conjunto entre el practicante y la empresa. El objetivo principal es mejorar la productividad y eficiencia en los trabajos de diseño estructural, especialmente en el ámbito de los pórticos de concreto reforzado, altamente demandados en el mercado local.

Durante el desarrollo de la práctica académica, se implementará una mejora constante de los procesos, enfocándose en elevar el nivel de detalle y presentación de los productos finales. Entre estos productos se incluye una plantilla base para la memoria de cálculo estructural y plantillas de hojas de cálculo específicas para proyectos de edificaciones. Estas herramientas serán desarrolladas y ajustadas de acuerdo con las normativas vigentes y las necesidades específicas de la empresa, asegurando que los resultados sean coherentes, precisos y de alta calidad.

Las actividades se agrupan en varias etapas, comenzando con la elaboración de la propuesta de práctica, donde se plantean los pasos necesarios para llevar a cabo este proyecto. Posteriormente, se recopila la información necesaria del Reglamento NSR-10, se desarrolla un derrotero de diseño estructural en formato digital, y se crean la plantilla de memoria de cálculo y hojas de cálculo complementarias. Finalmente, se realizarán ajustes basados en pruebas internas y se redactarán conclusiones sobre la optimización de los procesos dentro de la empresa, mejorando la presentación y eficiencia en los proyectos de diseño estructural.

5 Resultados y Conclusiones

Los avances en la estandarización de los procesos de análisis y diseño estructural de edificaciones de concreto reforzado en sistema de pórtico para la empresa Abril & Asociados SAS han tenido una buena acogida, debido a que la implementación de una memoria de cálculo detallada y documentos complementarios siguiendo la normativa del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 son importantes para mejorar y garantizar la coherencia y calidad en los proyectos estructurales. La creación de estas metodologías específicas ha facilitado procedimientos críticos como la evaluación de irregularidades, el cálculo de longitudes de desarrollo y traslapes, y otros aspectos de gran relevancia especificados en el Reglamento NSR-10 para edificaciones nuevas, contribuyendo en la reducción de posibles discordancias entre los ingenieros estructurales.

Se espera que la capacitación del personal en el uso de estas nuevas herramientas y metodologías optimice los tiempos de aprendizaje y adaptación, promoviendo un desarrollo profesional más eficiente. Los resultados proyectados muestran una clara mejora en la eficiencia y calidad de los diseños estructurales, lo que se traduciría en una mayor competitividad y cumplimiento de las normativas vigentes. La metodología planteada permite no solo documentar y validar los resultados de manera más transparente, sino también integrar estos resultados en informes y presentaciones profesionales, mejorando la comunicación y comprensión de los aspectos técnicos entre los miembros del equipo y posteriormente en la revisión de los proyectos por los entes encargados respectivamente.

Este proyecto proporcionará un valor significativo tanto a la empresa como a la comunidad profesional en general participante en esta metodología. La estandarización de los procesos y la creación de herramientas específicas mejorarán la coherencia y precisión en los diseños estructurales, beneficiando la ejecución de proyectos y asegurando el cumplimiento de la normativa NSR-10.

6 Recomendaciones

Es fundamental que los procesos de análisis y diseño estructural implementados sean sometidos a una mejora continua. La retroalimentación obtenida durante su uso y prueba debe ser sistemáticamente evaluada e integrada para optimizar aún más la eficiencia y la precisión de los diseños estructurales. Además, se recomienda investigar y adoptar nuevas tecnologías y herramientas de software que puedan complementar y mejorar las actuales metodologías de análisis y diseño estructural. Esto incluye la actualización constante del software de análisis y diseño para aprovechar las últimas innovaciones del mercado.

Realizar estudios comparativos entre los métodos y resultados obtenidos con la normativa NSR-10 y otros estándares internacionales permitirá identificar posibles áreas de mejora y asegurar que las prácticas adoptadas están a la vanguardia de la ingeniería estructural. En esta línea, promover la formación y actualización continua del personal en las últimas tendencias y metodologías en ingeniería estructural es crucial. Los programas de capacitación deben incluir módulos sobre las actualizaciones de la normativa NSR-10 y el uso eficiente de las herramientas de software.

Referencias

Ley 400 de 1997. *Por el cual se adoptan normas sobre construcciones sismo resistentes*. 25 de agosto de 1997. Diario Oficial No 43.113.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica.

Resolución número 0017 de 2017 [Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistente]. *Por medio de la cual se actualiza la Resolución 0015 de octubre 15 de 2015 respecto a los procedimientos para fijar el alcance de las labores profesionales y establecer los honorarios mínimos que se utilicen para retribuir las labores mencionadas en el Artículo 42 de la Ley 400 de 1997*. 04 de diciembre de 2017.

Anexos

En este apartado se presenta la memoria de cálculo elaborada para los procesos de análisis y diseño estructural de edificaciones de concreto reforzado en sistema de pórtico, siguiendo las directrices del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. La memoria de cálculo incluye todas las etapas y procedimientos detallados que se han llevado a cabo, así como las plantillas y guías específicas desarrolladas para este propósito.

ANEXO A INFORME FINAL

MEMORIA DE CÁLCULO - DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES

Edwin Andres Calderon Valencia

Abril & Asociados S.A.S.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín

2024

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	<i>NORMAS DE REFERENCIA Y CUMPLIMIENTOS LEGALES</i>	6
2	<i>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES, DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO NSR-10</i>	7
2.1	Predimensionamiento y coordinación con los otros profesionales (Paso 1)	7
2.1.1	Descripción del proyecto estructural	7
2.1.2	Predimensionamiento de vigas	7
2.1.3	Predimensionamiento de columnas	9
2.2	Evaluación de las solicitaciones definitivas (Paso 2)	10
2.2.1	Evaluación general de cargas verticales (Título B, NSR-10).....	10
2.3	Obtención del nivel de amenaza sísmica y los valores de A_a y A_v (Paso 3)	12
2.3.1	Zona de amenaza sísmica	12
2.4	Movimientos sísmicos de diseño (Paso 4)	13
2.4.1	Definición del tipo de perfil de suelo y de los coeficientes (F_a) y (F_v) (Capítulo A.2.4 – NSR10).....	13
2.4.2	Coeficiente de importancia (I) (Capítulo A.2.5. – NSR10).....	14
2.4.3	Espectro elástico de aceleración de derivas y diseño (Capítulo A.2.6. – NSR10)	14
2.5	Características de la estructura y del material estructural empleado (Paso 5)	15
2.5.1	Definición del sistema estructural (Capítulo A.3.2, NSR-10).....	15
2.5.2	Materiales estructurales empleados.....	16
2.6	Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis (Paso 6)	16
2.6.1	Irregularidades en planta	16
2.6.2	Irregularidades en altura.....	21
2.6.3	Irregularidades por ausencia de redundancia	25
2.6.4	Coeficiente de disipación de energía (R) (Capítulo A.3, NSR-10)	25
2.6.5	Procedimiento de análisis.....	26
2.7	Determinación de las fuerzas sísmicas (Paso 7)	26
2.8	Análisis sísmico de la estructura (Paso 8)	30
2.8.1	Modelo utilizado	30
2.8.2	Dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas: (Capítulo A.3.6, NSR-10).....	31

2.9	Desplazamientos horizontales (Paso 9)	31
2.10	Verificación de derivas (Paso 10)	32
2.11	Combinación de las diferentes solicitaciones (Paso 11)	33
2.11.1	Combinaciones de carga (Titulo B, NSR-10).....	33
2.12	Diseño de los elementos estructurales (Paso 12)	34
2.12.1	Descripción de los lineamientos utilizados en el diseño.	34
2.12.2	DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN	35
2.13	DISEÑO SÍSMICO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	35
3	<i>ANEXOS A MEMORIA DE CÁLCULO</i>	37
3.1	Cálculo de longitud de empalmes por traslapo	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Altura o espesores mínimos de vigas no pre-esforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calcule las deflexiones, Tomado de tabla CR.9.5, NSR-10.</i>	8
Tabla 2.	<i>Cálculo de altura mínima de vigas de acuerdo con la tabla CR.9.5(a).</i>	8
Tabla 3.	<i>Cálculo de separación máxima entre nervios de acuerdo con C.8.13.3 (NSR-10).</i>	9
Tabla 4.	<i>Cálculo de Cargas por losas según su uso</i>	10
Tabla 5.	<i>Cálculo detallado del peso propio de las losas. Fuente: Elaboración propia.</i>	12
Tabla 6.	<i>Valores de F_a y de F_v. Tomado de: Tabla A.2.4-3 y Tabla A.2.4-4 del reglamento sismorresistente NSR-10.</i>	13
Tabla 7.	<i>Valores de coeficiente de importancia, I. Tomado de: Tabla A.2.5-1 del reglamento sismorresistente NSR-10.</i>	14
Tabla 8.	<i>Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección X.</i>	23
Tabla 9.	<i>Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección Y.</i>	23
Tabla 10.	<i>Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección Y.</i>	24
Tabla 11.	<i>Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección X.</i>	24
Tabla 12.	<i>Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección Y.</i>	25
Tabla 13.	<i>Cálculo de coeficiente de disipación de energía en las direcciones principales.</i>	26
Tabla 14.	<i>Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del periodo aproximado T_a. Tomado de: Tabla A.4.2-1.</i>	27
Tabla 15.	<i>Coefficientes para el cálculo de la aceleración sísmica para chequeo de derivas Y diseño.</i>	28
Tabla 16.	<i>Participación modas de las masas de la estructura.</i>	29
Tabla 17.	<i>Cálculo de ajuste de fuerza sísmica espectro de derivas.</i>	30
Tabla 18.	<i>Combinaciones de carga para deriva.</i>	32
Tabla 19.	<i>Cálculo de índice de estabilidad en cada nivel.</i>	32
Tabla 20.	<i>Verificación de derivas máximas en las dos direcciones perpendiculares x y y.</i>	33
Tabla 21.	<i>Combinaciones de carga usadas en el diseño estructural</i>	34
Tabla 22.	<i>Longitud de traslapo a tracción (Clase B según C.12.15.1, NSR-10) - Barras inferiores.</i>	37

Tabla 23. Longitud de traslapeo a tracción (Clase B según C.12.15.1, NSR-10) - Barras superiores. ____ 38

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Diseño estructural. Vista en 3D del proyecto. _____	7
Ilustración 2.	Valores mínimos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no se efectúe un análisis más detallado. Fuente: Tabla B.3.4.3-1 (NSR-10). _____	11
Ilustración 3.	Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas. Fuente: Tabla B.4.2.1-1 (NSR-10). _	11
Ilustración 4.	Espectro de Aceleración de Chequeo de derivas y diseño _____	15
Ilustración 5.	Sistema estructural de pórtico resistente a momentos. Fuente: Tabla A.3-3 (NSR-10). __	16
Ilustración 6.	Irregularidades en planta. Fuente: Tabla A.3-6 (NSR-10). _____	17
Ilustración 7.	Irregularidades en planta (Gráficas). Fuente: Figura A.3-1 (NSR-10). _____	18
Ilustración 8.	Irregularidades tipo 1aP y 1bP. _____	20
Ilustración 9.	Irregularidades en altura. Fuente: Tabla A.3-7 (NSR-10). _____	21
Ilustración 10.	Irregularidades en altura (Gráficas). Fuente: Figura A.3-2 (NSR-10). _____	22
Ilustración 11.	Esquema estructural. Fuente: ETABS. _____	30
Ilustración 12.	Derivas máximas como porcentaje de h_{pi} . Fuente: Sección A.6.4, NSR-10. _____	33

1 NORMAS DE REFERENCIA Y CUMPLIMIENTOS LEGALES

La presente memoria de cálculo estructural para el diseño de edificaciones se ha elaborado en cumplimiento estricto con los criterios y requisitos mínimos establecidos por las normas sismo resistentes, vigentes en el territorio de la República de Colombia. Estas normas están compuestas por:

- (a) La Ley 400 de 1997, que establece los principios generales y las directrices fundamentales para la construcción sismo resistente en el país.
- (b) La Ley 1229 de 2008, que complementa y actualiza las disposiciones anteriores, reforzando los aspectos técnicos y de supervisión en la construcción de edificaciones.
- (c) El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), que proporciona las especificaciones detalladas y los procedimientos técnicos necesarios para garantizar la seguridad y estabilidad de las estructuras frente a eventos sísmicos.
- (d) Las resoluciones expedidas por la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, adscrita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, creada por el Artículo 39 de la Ley 400 de 1997, que emite orientaciones y actualizaciones periódicas para la correcta aplicación de las normas sismo resistentes.

Este documento asegura que tanto el diseño estructural de las edificaciones se realiza bajo los más altos estándares de seguridad y calidad, contribuyendo así a la protección de la vida y los bienes de los ciudadanos colombianos. Este se hace para documentar aspectos legales y la utilización de referencias a otras normas como la ACI y ASCE por sus siglas en inglés (American Concrete Institute y American Society of Civil Engineers) para los casos en los que el reglamento NSR-10 no presente información clara.

2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES, DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO NSR-10

Para garantizar que el diseño de las estructuras tenga resistencia y rigidez adecuadas ante las cargas mínimas de diseño prescritas en el Reglamento NSR-10 y limitar la deformabilidad ante las cargas de servicio, de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de la edificación y siguiendo la tabla A.1.3-1 (NSR-10), se especifican las etapas que deben llevarse a cabo en el diseño estructural de edificaciones nuevas, diferentes a las cubiertas en A.1.3.11 (NSR-10).

2.1 *Predimensionamiento y coordinación con los otros profesionales (Paso 1)*

2.1.1 Descripción del proyecto estructural

Se plantea el diseño estructural de una edificación de seis niveles más sótano de uso comercial y residencial. Dicha edificación se plantea con un sistema estructural de pórticos de concreto en coordinación con el equipo de arquitectura, satisfaciendo las necesidades de ambas partes. En la ilustración 1 se presenta el esquema estructural del proyecto.

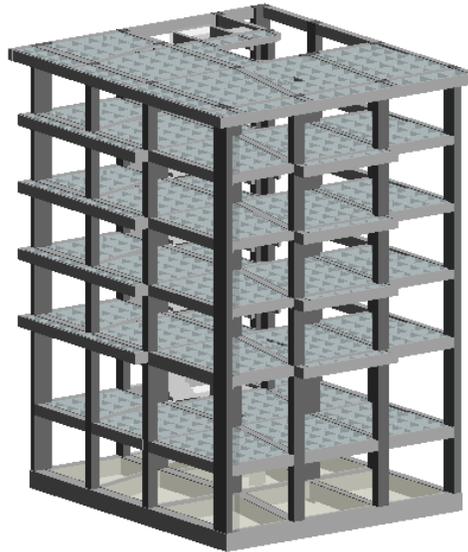


Ilustración 1. Diseño estructural. Vista en 3D del proyecto.

2.1.2 Predimensionamiento de vigas

El sistema estructural por emplear será de pórticos de concreto reforzado resistente a momentos. La altura de los elementos estructurales sometidos a flexión se hizo con base a las tablas existentes en el Título C; de acuerdo con la tabla CR.9.5 del reglamento NSR-10 se establecen los espesores mínimos

de vigas que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones.

Elementos	Simplemente apoyado	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Losas macizas en una dirección	L/14	L/16	L/19	L/7
Vigas y losas nervadas en una dirección	L/11	L/12	L/14	L/5

Tabla 1. Altura o espesores mínimos de vigas no pre-esforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calcule las deflexiones, Tomado de tabla CR.9.5, NSR-10.

Los valores dados en esta tabla se deben usar directamente en elementos de concreto de peso normal y refuerzo grado 420 MPa. Para otras condiciones, los valores deben modificarse como sigue:

- (a) Para concreto liviano estructural con densidad w_c dentro del rango de 1 440 a 1 840 kg/m³, los valores de la tabla deben multiplicarse por $(1,65 - 0.0003W_c)$, pero no menos de 1.09.
- (b) Para f_y distinto de 420 MPa, los valores de esta tabla deben multiplicarse por $(0.4 + f_y / 700)$.

Una vez determinada la altura de las vigas requeridas el ancho se maneja de acuerdo con la configuración en planta, los resultados de Predimensionamiento de vigas se presentan en la Tabla 2.

	Simplemente apoyado	Con un extremo continuo	Con ambos extremos continuos	En voladizo
Longitud máx.	5.45 m	4.50 m	5.10 m	1.50 m
Espesor requerido	0.50 m	0.38 m	0.37 m	0.30 m
Espesor elegido min	0.50 m	0.40 m	0.40 m	0.40 m

Tabla 2. Cálculo de altura mínima de vigas de acuerdo con la tabla CR.9.5(a).

El predimensionamiento de los nervios se realizó con base a los numerales C.8.13.2 y C.8.13.3 de la norma NSR-10.

“C.8.13.2 - El ancho de las nervaduras no debe ser menor de 100 mm en su parte superior y su ancho promedio no puede ser menor de 80 mm; y debe tener una altura no mayor de 5 veces su ancho promedio.”

“C.8.13.3 - Para losas nervadas en una dirección, la separación máxima entre nervios, medida centro a centro, no puede ser mayor que 2.5 veces el espesor total de la losa, sin exceder 1.20 m. Para losas nervadas en dos direcciones, la separación máxima entre nervios, medida centro a centro, no puede ser mayor que 3.5 veces el espesor total de la losa, sin exceder 1.50 m.”

“C.8.13.5.2 - La porción vaciada en sitio de la loseta superior debe tener al menos 45 mm de espesor, pero ésta no debe ser menor de 1/20 de la distancia libre entre los nervios. El espesor de la losa de concreto vaciada en sitio sobre aligeramientos permanentes de concreto, de arcilla cocida, o plaquetas prefabricadas, la parte vaciada en sitio del espesor mínimo de la loseta superior puede reducirse a 40 mm.”

De acuerdo con las consideraciones anteriores, el cálculo de la separación máxima de nervios se presenta en la Tabla 3 para un sistema de losa aligerada con nervios en las dos direcciones.

Separación de nervios centro a centro para losas en una dirección escogida	100	cm
Espesor de loseta (según C.8.13.5.2)	5	cm
Altura total de los nervios	40	cm
Espesor de nervios	10	cm

Tabla 3. Cálculo de separación máxima entre nervios de acuerdo con C.8.13.3 (NSR-10).

2.1.3 Predimensionamiento de columnas

Iniciando con el planteamiento arquitectónico de tener una dimensiones de las columnas no mayor a 0.30 m en algunos elementos, cumpliendo con los requisitos mínimos establecidos en la sección C.21 del Reglamento NSR-10 para el diseño sismo resistente de los elementos estructurales con una capacidad moderada de disipación de energía DMO, se inicia el predimensionamiento de la columna más crítica debido a su centralidad en la estructura y a que sus vigas que soporta tienen las luces más grandes, obteniendo la mayor área aferente para realizar el análisis.

De las dimensiones calculadas del sistema de losa, se obtiene su peso propio por metro cuadrado, incluyendo las cargas vivas y muertas adicionales que actúan sobre esta, especificadas en el avalúo de cargas; se asume el peso propio de las vigas con dimensiones de 0.30 m x 0.50 m que hacen parte del área aferente y se asume un peso propio de columnas de 0.50 m x 0.50 m x 2.90 m. De la sumatoria de los pesos calculados se obtiene una carga axial para esta columna de 794.91 kN; y asumiendo un concreto de 21 MPa se requiere un área bruta para la columna de 0.126 m². Resultando así una columna con dimensiones mínimas de 0.30 m x 0.45 m.

2.2 Evaluación de las solicitaciones definitivas (Paso 2)

2.2.1 Evaluación general de cargas verticales (Título B, NSR-10)

De acuerdo con las consideraciones para cargas mínimas muertas y vivas establecidas en los capítulos B.3 y B.4 del reglamento sismo resistente NSR-10, se presentan para cada nivel las cargas empleadas de acuerdo con su uso y distribución.

CARGAS DE LA EDIFICACIÓN					
Ocupación	Comercio	Oficinas	Residencial	Residencial	DETALLE
Losas aéreas	Losa 1	Losa 2	Losa 3 a 5	Terraza	NSR-10
Cargas muertas					
Fachadas y particiones (kN/m ²)	1.50	2.00	3.00	-	Tabla B.3.4.3-1
Afinado de piso (kN/m ²)	1.40	1.80	1.60	1.60	Tabla B.3.4.3-1
Peso propio (kN/m ²)	3.10	3.10	3.10	3.10	Ver Nota.
Cargas vivas					
Balcones (kN/m ²)	-	5.00	5.00	5.00	Tabla B.4.2.1-1
Escaleras (kN/m ²)	3.00	3.00	3.00	3.00	Tabla B.4.2.1-1
Carga viva principal (kN/m ²)	5.00	2.00	1.80	5.00	Tabla B.4.2.1-1

Tabla 4. Cálculo de Cargas por losas según su uso

MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES

Ocupación		Fachada y particiones (kN/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m ²) m ² de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios.	1.0	1.8	100	180
Oficinas	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
Educativos	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
Fábricas	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
Institucional	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías.	2.0	1.6	200	160
Comercio	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
Residencial	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
Almacenamiento	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
Garajes	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Ilustración 2. Valores mínimos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no se efectúe un análisis más detallado. Fuente: Tabla B.3.4.3-1 (NSR-10).

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestibulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
Oficinas	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
Educativos	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
	Estanterías	7.0	700
Fábricas	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
Institucional	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
Comercio	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
Residencial	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
Almacenamiento	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
Garajes	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
Coliseos y Estadios	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Ilustración 3. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas. Fuente: Tabla B.4.2.1-1 (NSR-10).

Nota: El cálculo detallado del peso propio de la loseta y nervios se determinó de la siguiente manera para obtener un valor promedio en kN/m² para este sistema de losa:

ID	Geometría panel			Información de nervios					Carga muerta por panel [kN/m ²]
Panel	Ancho [m]	Largo [m]	Área panel [m ²]	Cant. Nervios X	Cant. Nervios Y	Área de nervios [m ²]	Altura de nervios [m]	Carga por nervios [kN/m ²]	
1	8.20	4.55	37.31	4	8	8.65	0.35	1.95	3.15
2	5.55	8.18	45.4	8	5	10.66	0.35	1.97	3.17
3	5.55	3.81	21.15	3	5	4.46	0.35	1.77	2.97
								Promedio carga muerta	3.10

Tabla 5. Cálculo detallado del peso propio de las losas. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Obtención del nivel de amenaza sísmica y los valores de A_a y A_v (Paso 3)

2.3.1 Zona de amenaza sísmica

El proyecto está ubicado en el municipio de *Medellín - Antioquia*, en zona de amenaza sísmica intermedia. Los coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva y de velocidad horizontal pico efectiva fueron seleccionados de las Fig. A.2.3-2 Y A.2.3-3 NSR-10, y son los que se presentan a continuación, de acuerdo con el lugar de ejecución para el presente proyecto. El proyecto está ubicado en zona de amenaza sísmica intermedia, por lo tanto, los parámetros son:

- **Aa:** 0.15 “Coeficiente que representa la Aceleración horizontal pico efectiva”
- **Av:** 0.20 “Coeficiente que representa la Velocidad horizontal pico efectiva”.
- **Ae:** 0.13 “Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva reducida para diseño con seguridad limitada, dado en A.10.3”
- **Ad:** 0.07 “coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para el umbral de daño, dado en A.12.2.”

2.4 Movimientos sísmicos de diseño (Paso 4)

2.4.1 Definición del tipo de perfil de suelo y de los coeficientes (F_a) y (F_v) (Capítulo A.2.4 – NSR10)

El procedimiento que se emplea para definir el tipo de Perfil de suelo se basa en los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil, medidos en el sitio que se describen en A.2.4.3 del reglamento. La clasificación se da en la tabla A.2.4-1. Según lo especificado en el estudio de suelos realizado para la construcción de la estructura, el tipo de perfil de suelo que se encuentra en la zona es Tipo D. F_a y F_v : Según la tabla A.2.4-3 NSR-10, se puede obtener los valores F_a y F_v de las tablas A.2.4-3 Y A.2.4-4.

Tabla A.2.4-3 VALORES DEL COEFICIENTE F_a PARA LA ZONA DE PERIODO CORTOS DEL ESPECTRO						Tabla A.2.4-4 VALORES DEL COEFICIENTE F_v PARA LA ZONA DE PERIODO CORTOS DEL ESPECTRO					
TIPO PERFIL	INTENSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS					TIPO PERFIL	INTENSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS				
	$A_a \leq$	$A_a =$	$A_a =$	$A_a =$	$A_a \geq$		$A_v \leq$	$A_v =$	$A_v =$	$A_v =$	$A_a \geq$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1	1	1	1	1	B	1	1	1	1	1
C	1.2	1.2	1.1	1	1	C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1	D	2.4	2	1.8	1.6	1.5
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9	E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	VEASE LA NOTA					F	VEASE LA NOTA				

Tabla 6. Valores de F_a y de F_v . Tomado de: Tabla A.2.4-3 y Tabla A.2.4-4 del reglamento sismorresistente NSR-10.

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Para este caso se define un Coeficiente de amplificación del suelo para periodos cortos (**F_a**): **1.5**

Para nuestro caso se define un Coeficiente de amplificación del suelo para periodos intermedios (**F_v**): **2.0**

2.4.2 Coeficiente de importancia (I) (Capítulo A.2.5. – NSR10)

Se determinó una importancia ($I=1.00$), según el título A.2.5.3 (a), por ser considerada *Estructuras de ocupación normal*.

Grupo de Uso	Coefficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Tabla 7. Valores de coeficiente de importancia, I. Tomado de: Tabla A.2.5-1 del reglamento sismorresistente NSR-10.

2.4.3 Espectro elástico de aceleración de derivas y diseño (Capítulo A.2.6. – NSR10)

Según tabla A.2.6 del Reglamento NSR-10 que se refiere al espectro correspondiente a los movimientos sísmicos, el valor del espectro de aceleración de diseño para un periodo de vibración dado.

$$T_0 = 0.1 \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

$$T_L = 2.4 F_v$$

$$\text{Si } 0 < T \leq T_c \text{ entonces } S_a = 2.5 A_a F_a I$$

$$\text{Si } T_c < T \leq T_L \text{ entonces } S_a = \frac{1.2 A_v F_v}{T}$$

$$\text{Si } T \geq T_L \text{ entonces } S_a = \frac{1.2 A_v F_v T_L I}{T^2}$$

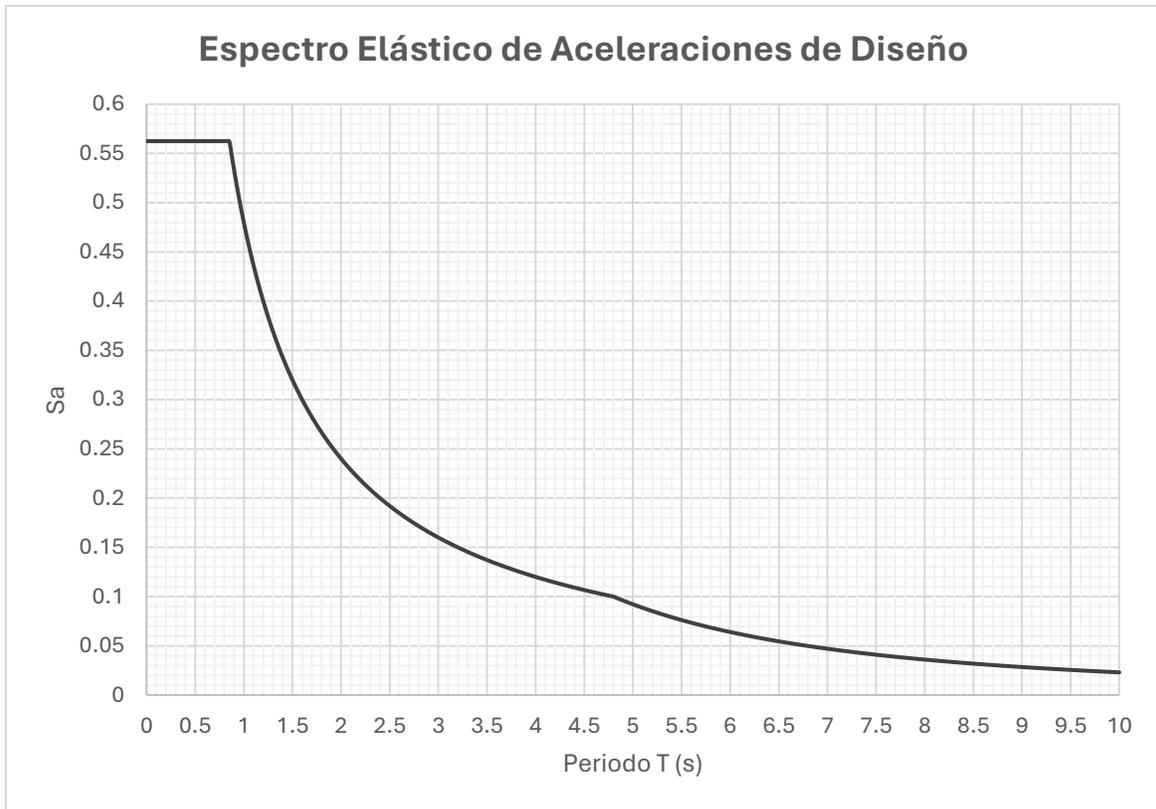


Ilustración 4. Espectro de Aceleración de Chequeo de derivas y diseño

2.5 Características de la estructura y del material estructural empleado (Paso 5)

2.5.1 Definición del sistema estructural (Capítulo A.3.2, NSR-10)

Según las tablas A.3.2.1, A.3.2, A.3.3 y A.3.4 del reglamento NSR-10 se reconocen cuatro sistemas estructurales y combinación entre estos; los cuales se diferencian según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía. El sistema estructural empleado en este proyecto está compuesto de un sistema de pórtico de concreto resistente a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO).

La elección de este sistema estructural se realizó siguiendo los requerimientos de ubicación del proyecto y sus límites en altura definidos según la zona de amenaza sísmica intermedia, como se puede observar en la siguiente tabla:

C. SISTEMA DE PÓRICO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Alta		Intermedia		baja	
		uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.		
1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)									
a. De concreto (DES)	el mismo	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DES)	el mismo	7.0 (Nota-3)	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. De acero con cerchas dúctiles (DES)	Pórticos de acero resistentes o no a momentos	6.0	3.0	si	30 m	si	45 m	si	sin límite
2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)									
a. De concreto (DMO)	el mismo	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DMO)	el mismo	5.0 (Nota-3)	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos con conexiones rígidas (DMO)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite

Ilustración 5. Sistema estructural de pórtico resistente a momentos. Fuente: Tabla A.3-3 (NSR-10).

2.5.2 Materiales estructurales empleados

Los materiales estructurales empleados para los elementos de la estructura tales como columnas y muros estructurales se especifican en concreto reforzado con una resistencia a la compresión de $f'_c=35$ MPa, las vigas se con $f'_c=28$ MPa, los sistemas de fundación, nervios, escaleras y muros de contención con concreto de $f'_c=21$ MPa. La resistencia a la fluencia del acero a utilizar en el refuerzo de los elementos de concreto es de $f_y=420$ MPa. Nota: Además, todos los materiales utilizados deberán cumplir las especificaciones dispuestas en la sección C.3 – MATERIALES, del Reglamento NSR-10.

2.6 Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis (Paso 6)

2.6.1 Irregularidades en planta

La estructura se considera como irregular cuando ocurran uno o varios de los siguientes casos:

MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES

Tipo	Descripción de la irregularidad en planta	ϕ_p	Referencias
1aP	Irregularidad torsional — La irregularidad torsional existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.2 y menor o igual a 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	0.9	A.3.3.6, A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.3.6.7.1, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
1bP	Irregularidad torsional extrema — La irregularidad torsional extrema existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	0.8	A.3.3.6, A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.3.6.7.1, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
2P	Retrocesos excesivos en las esquinas — La configuración de una estructura se considera irregular cuando ésta tiene retrocesos excesivos en sus esquinas. Un retroceso en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15 por ciento de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso.	0.9	A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.3.6.8.5, A.5.2.1.
3P	Discontinuidades en el diafragma — Cuando el diafragma tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos con áreas mayores al 50 por ciento del área bruta del diafragma o existen cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50 por ciento, entre niveles consecutivos, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
4P	Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales — La estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en las trayectorias de las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos, tales como cuando se traslada el plano que contiene a un grupo de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, en una dirección perpendicular a él, generando un nuevo plano. Los altillos o manzardas de un solo piso se eximen de este requisito en la consideración de irregularidad.	0.8	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.3.6.12, A.5.2.1.
5P	Sistemas no paralelos — Cuando las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.5.2.1.

Notas:

1. En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 1aP, 1bP, 3P y 4P (Véase A.3.3.7).
2. En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes a los grupos de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades tipo 1aP e 1bP (Véase A.3.3.6).

Ilustración 6. Irregularidades en planta. Fuente: Tabla A.3-6 (NSR-10).

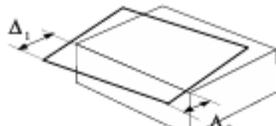
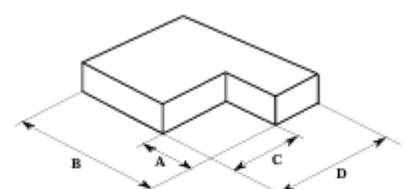
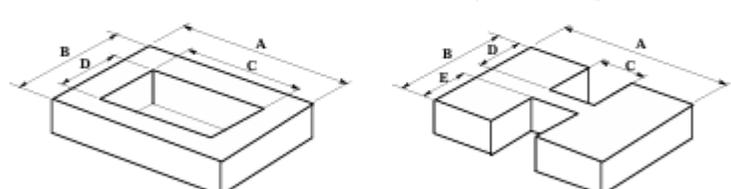
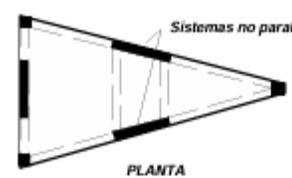
<p>Tipo 1aP — Irregularidad torsional $\phi_p = 0.9$ $1.4 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right) \geq \Delta_1 > 1.2 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$</p>	<p>Tipo 1bP — Irregularidad torsional extrema $\phi_p = 0.8$ $\Delta_1 > 1.4 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$</p>
	
<p>Tipo 2P — Retrocesos en las esquinas — $\phi_p = 0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> 	
<p>Tipo 3P — Irregularidad del diafragma — $\phi_p = 0.9$</p> <p>1) $C \times D > 0.5A \times B$ 2) $(C \times D + C \times E) > 0.5A \times B$</p> 	
<p>Tipo 4P — Desplazamiento de los planos de Acción — $\phi_p = 0.8$</p> 	
<p>Tipo 5P — Sistemas no paralelos — $\phi_p = 0.9$</p> 	

Ilustración 7. Irregularidades en planta (Gráficas). Fuente: Figura A.3-1 (NSR-10).

Irregularidad tipo 1aP y 1bP:

- Para la estructura existe irregularidad torsional para la dirección **X** y para la dirección **Y**, por lo cual para esta edificación se emplea un valor $\phi_p=0.9$ en el sentido X y en el sentido Y de $\phi_p=0.9$.

MEMORIA DE CÁLCULO – DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES

Determinación de Irregularidad en planta 1aP-1bP										
Nivel de análisis: Terraza										
1.4Δprom		0.0069258		Sismo en Y			Sismo en X			
1.2Δprom		0.0059364		Δ1		Δ2	Δ1		Δ2	
Irregularidad torsional		IRREGULAR		0.006182		0.003712	0.002394		0.002467	
1.4Δprom		0.0070595		[Green Matrix]			[Red Matrix]			
1.2Δprom		0.006051								
Irregularidad torsional		IRREGULAR		0.006264		0.003821	0.003676		0.002467	
1.4Δprom		0.0070595		Δ3		Δ4	Δ3		Δ4	
1.4Δprom		0.004249					1.4Δprom			0.0034538
1.2Δprom		0.003642					1.2Δprom			0.0029604
Irregularidad torsional		IRREGULAR					Irregularidad torsional			REGULAR

Nivel de análisis: Losa 5										
1.4Δprom		0.0093401		Sismo en Y			Sismo en X			
1.2Δprom		0.0080058		Δ1		Δ2	Δ1		Δ2	
Irregularidad torsional		REGULAR		0.007852		0.005491	0.003761		0.00371	
1.4Δprom		0.0093338		[Green Matrix]			[Red Matrix]			
1.2Δprom		0.0080004								
Irregularidad torsional		REGULAR		0.007861		0.005473	0.005525		0.005431	
1.4Δprom		0.0093338		Δ3		Δ4	Δ3		Δ4	
1.4Δprom		0.0065002					1.4Δprom			0.0063987
1.2Δprom		0.0055716					1.2Δprom			0.0054846
Irregularidad torsional		REGULAR					Irregularidad torsional			REGULAR

Nivel de análisis: Losa 4										
1.4Δprom		0.0113337		Sismo en Y			Sismo en X			
1.2Δprom		0.0097146		Δ1		Δ2	Δ1		Δ2	
Irregularidad torsional		REGULAR		0.009273		0.006918	0.005085		0.004984	
1.4Δprom		0.0113036		[Green Matrix]			[Red Matrix]			
1.2Δprom		0.0096888								
Irregularidad torsional		REGULAR		0.009268		0.00688	0.007234		0.007104	
1.4Δprom		0.0113036		Δ3		Δ4	Δ3		Δ4	
1.4Δprom		0.0086233					1.4Δprom			0.0084616
1.2Δprom		0.0073914					1.2Δprom			0.0072528
Irregularidad torsional		REGULAR					Irregularidad torsional			REGULAR

Nivel de análisis: Losa 3										
1.4Δprom		0.0116277		Sismo en Y			Sismo en X			
1.2Δprom		0.0099666		Δ1		Δ2	Δ1		Δ2	
Irregularidad torsional		REGULAR		0.009545		0.007066	0.006037		0.006334	
1.4Δprom		0.0116802		[Green Matrix]			[Red Matrix]			
1.2Δprom		0.0100116								
Irregularidad torsional		REGULAR		0.009604		0.007082	0.008174		0.008279	
1.4Δprom		0.0116802		Δ3		Δ4	Δ3		Δ4	
1.4Δprom		0.0099477					1.4Δprom			0.0102291
1.2Δprom		0.0085266					1.2Δprom			0.0087678
Irregularidad torsional		REGULAR					Irregularidad torsional			REGULAR

Nivel de análisis: Losa 2						
1.4Δprom		0.0110026	Sismo en Y		Sismo en X	
1.2Δprom		0.0094308	Δ1	Δ2	Δ1	Δ2
Iregularidad torsional		REGULAR	0.008625	0.007093	0.007228	0.007192
1.4Δprom		0.0109774	Sismo en Y		Sismo en X	
1.2Δprom		0.0094092	Δ3	Δ4	Δ3	Δ4
Iregularidad torsional		REGULAR	0.008599	0.007083	0.009473	0.009498
1.4Δprom		0.0116907	Sismo en Y		Sismo en X	
1.2Δprom		0.0100206	Δ3	Δ4	Δ3	Δ4
Iregularidad torsional		REGULAR	0.008599	0.007083	0.009473	0.009498
1.4Δprom		0.011683	Sismo en Y		Sismo en X	
1.2Δprom		0.010014	Δ3	Δ4	Δ3	Δ4
Iregularidad torsional		REGULAR	0.008599	0.007083	0.009473	0.009498

Nivel de análisis: Losa 1						
1.4Δprom		0.0053109	Sismo en Y		Sismo en X	
1.2Δprom		0.0045522	Δ1	Δ2	Δ1	Δ2
Iregularidad torsional		REGULAR	0.003985	0.003602	0.003713	0.003681
1.4Δprom		0.003871	Sismo en Y		Sismo en X	
1.2Δprom		0.003318	Δ3	Δ4	Δ3	Δ4
Iregularidad torsional		IRREGULAR	0.001933	0.003597	0.005151	0.005232
1.4Δprom		0.0062048	Sismo en Y		Sismo en X	
1.2Δprom		0.0053184	Δ3	Δ4	Δ3	Δ4
Iregularidad torsional		REGULAR	0.001933	0.003597	0.005151	0.005232
1.4Δprom		0.0062391	Sismo en Y		Sismo en X	
1.2Δprom		0.0053478	Δ3	Δ4	Δ3	Δ4
Iregularidad torsional		REGULAR	0.001933	0.003597	0.005151	0.005232

Ilustración 8. Irregularidades tipo 1aP y 1bP.

Irregularidad tipo 2P:

- La estructura no presenta retrocesos en las esquinas mayores al 15 % de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso, por lo cual el coeficiente $\phi_p=1.0$ en ambas direcciones.

Irregularidad tipo 3P:

- La estructura no presenta discontinuidades en el diafragma, por lo cual el coeficiente $\phi_p=1.0$ en ambas direcciones.

Irregularidad tipo 4P:

- La estructura no presenta desplazamientos del plano de acción de elementos verticales, por lo cual el coeficiente $\phi_p=1.0$ en ambas direcciones.

Irregularidad tipo 5P:

- La estructura no posee sistemas no paralelos, por lo cual el coeficiente $\phi_p=1.0$ en ambas direcciones.

2.6.2 Irregularidades en altura

La estructura se considera como irregular cuando ocurran uno o varios de los siguientes casos:

Tipo	Descripción de la irregularidad en altura	ϕ_a	Referencias
1aA	Piso flexible (Irregularidad en rigidez) — Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 70 por ciento pero superior o igual al 60 por ciento de la rigidez del piso superior o menor del 80 por ciento pero superior o igual al 70 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.3.5.1, A.3.4.2,
1bA	Piso flexible (Irregularidad extrema en rigidez) — Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 60 por ciento de la rigidez del piso superior o menor del 70 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	0.8	A.3.3.5.1, A.3.4.2,
2A	Irregularidad en la distribución de las masas — Cuando la masa, m_i , de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos contiguos, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de cubiertas que sean más livianas que el piso de abajo.	0.9	A.3.3.5.1, A.3.4.2.
3A	Irregularidad geométrica — Cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia sísmica en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de los altillos de un solo piso.	0.9	A.3.4.2.
4A	Desplazamientos dentro del plano de acción — La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, dentro del mismo plano que los contiene, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos, se eximen de esta consideración de irregularidad.	0.8	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.12.
5aA	Piso débil — Discontinuidad en la resistencia — Cuando la resistencia del piso es menor del 80 por ciento de la del piso inmediatamente superior pero superior o igual al 65 por ciento, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.2.4.1, A.3.3.6, A.3.3.7, A.3.4.2.
5bA	Piso débil — Discontinuidad extrema en la resistencia — Cuando la resistencia del piso es menor del 65 por ciento de la del piso inmediatamente superior, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	0.8	A.3.2.4.1, A.3.3.6, A.3.3.7, A.3.4.2.

Notas:

1. Cuando la deriva de cualquier piso es menor de 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A, ó 3A (Véase A.3.3.5.1).
2. En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Véase A.3.3.7).
3. En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes a los grupos de usos I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a la irregularidad tipo 5aA y 5bA (Véase A.3.3.6).

Ilustración 9. Irregularidades en altura. Fuente: Tabla A.3-7 (NSR-10).

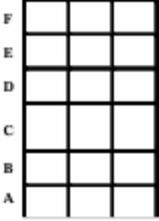
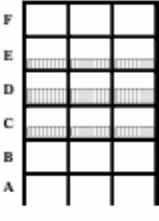
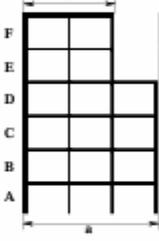
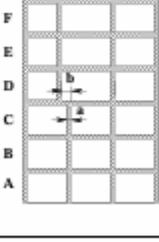
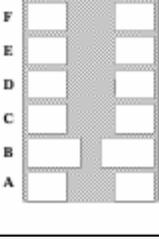
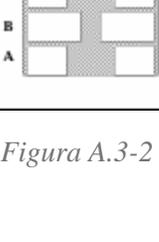
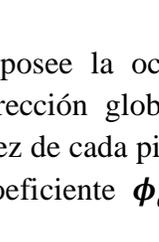
<p>Tipo 1aA — Piso flexible $\phi_a = 0.9$ $0.60 \text{ Rigidez } K_D \leq \text{Rigidez } K_C < 0.70 \text{ Rigidez } K_D$ o $0.70 (K_D + K_E + K_F) / 3 \leq \text{Rigidez } K_C < 0.80 (K_D + K_E + K_F) / 3$</p>	
<p>Tipo 1bA — Piso flexible extremo $\phi_a = 0.8$ $\text{Rigidez } K_C < 0.60 \text{ Rigidez } K_D$ o $\text{Rigidez } K_C < 0.70 (K_D + K_E + K_F) / 3$</p>	
<p>Tipo 2A — Distribución masa — $\phi_a = 0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ o $m_D > 1.50 m_C$</p>	
<p>Tipo 3A — Geométrica — $\phi_a = 0.9$ $a > 1.30 b$</p>	
<p>Tipo 4A — Desplazamiento dentro del plano de acción — $\phi_a = 0.8$ $b > a$</p>	
<p>Tipo 5aA — Piso débil $\phi_a = 0.9$ $0.65 \text{ Resist. Piso C} \leq \text{Resist. Piso B} < 0.80 \text{ Resist. Piso C}$</p>	
<p>Tipo 5bA — Piso débil extremo $\phi_a = 0.8$ $\text{Resistencia Piso B} < 0.65 \text{ Resistencia Piso C}$</p>	

Ilustración 10. Irregularidades en altura (Gráficas). Fuente: Figura A.3-2 (NSR-10).

Irregularidad tipo 1aA y 1bA:

- Para la dirección global X la estructura no posee la ocurrencia de irregularidades tipo 1aA o 1bA y para la dirección global Y posee irregularidad tipo 1aA según la relación de rigidez de cada piso con la de su piso inferior. Por lo cual, se asume un coeficiente $\phi_a=0.9$ en la dirección X y $\phi_a=1.0$ en la dirección Y.

Irregularidad por piso flexible - Tipos 1aA o 1bA			
Piso	RIGIDEZ (kN) en X	PISO FLEXIBLE: 1-A en X	ÍNDICE en X
Terraza	149731.66	N/A	N/A
Losa 5	199513.85	Regular - 1.0	1.33
Losa 4	214339.58	Regular - 1.0	1.07
Losa 3	223948.44	Regular - 1.0	1.04
Losa 2	165062.08	Piso flexible (1aA) - 0.9	0.74
Losa 1	422536.44	Regular - 1.0	2.56

Tabla 8. Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección X.

Irregularidad por piso flexible - Tipos 1aA o 1bA			
Piso	RIGIDEZ (kN) en Y	PISO FLEXIBLE: 1-A en Y	ÍNDICE en Y
Terraza	82126.89	N/A	N/A
Losa 5	141459.39	Regular - 1.0	1.72
Losa 4	177660.99	Regular - 1.0	1.26
Losa 3	207691.31	Regular - 1.0	1.17
Losa 2	190848.68	Regular - 1.0	0.92
Losa 1	611847.27	Regular - 1.0	3.21

Tabla 9. Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección Y.

Irregularidad tipo 2A:

- Según la Nota 2 de la Tabla A.3-7, se establece que la irregularidad para edificaciones en zonas de amenaza sísmica intermedia y pertenecientes al grupo de uso I, se puede limitar las irregularidades de tipos 4^a, 5aA y 5bA, sin embargo, se presenta la evaluación para este tipo de irregularidad.

Irregularidad en la distribución de las masas - Tipo 2A					
Piso	Peso (kN)	ÍNDICE respecto piso superior	IRREGULARIDAD respecto piso superior	ÍNDICE respecto piso inferior	IRREGULARIDAD respecto piso inferior
Terraza	1836.29	N/A	N/A	0.96	Regular - 1.0
Losa 5	1915.37	1.04	Regular - 1.0	1.00	Regular - 1.0
Losa 4	1915.37	1.00	Regular - 1.0	1.00	Regular - 1.0

Losa 3	1915.37	1.00	Regular - 1.0	0.96	Regular - 1.0
Losa 2	1996.20	1.04	Regular - 1.0	1.07	Regular - 1.0
Losa 1	1863.32	0.93	Regular - 1.0	N/A	N/A

Tabla 10. Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección Y.

Irregularidad tipo 3A:

- Según la Nota 2 de la Tabla A.3-7, se establece que la irregularidad para edificaciones en zonas de amenaza sísmica intermedia y pertenecientes al grupo de uso I, se puede limitar las irregularidades de tipos 4^a, 5aA y 5bA, sin embargo, no se presentan casos en los que la dimensión horizontal del sistema de resistencia sísmica en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente; por lo cual, no se tiene este tipo de irregularidad.

Irregularidad tipo 4A:

- No se presenta desplazamiento en el plano de acción de los elementos encargados de transmitir las cargas de la estructura a las fundaciones, por lo cual el coeficiente $\phi_a=1.0$ en ambas direcciones.

Irregularidad tipo 5aA y 5bA:

- La estructura no presenta irregularidad por piso débil o débil extremo, por lo cual el $\phi_a=1.0$ en ambas direcciones.

Irregularidad por piso débil - Tipos 5aA o 5bA			
Piso	CORTANTE (kN) en X	PISO DEBIL: 5-A en X	ÍNDICE en X
Terraza	1390.41	N/A	N/A
Losa 5	2768.85	Regular - 1.0	1.99
Losa 4	3923.62	Regular - 1.0	1.42
Losa 3	4833.72	Regular - 1.0	1.23
Losa 2	5494.11	Regular - 1.0	1.14
Losa 1	5687.91	Regular - 1.0	1.04

Tabla 11. Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección X.

Irregularidad por piso débil - Tipos 5aA o 5bA			
Piso	CORTANTE (kN) en Y	PISO DEBIL: 5-A en Y	ÍNDICE en Y

Terraza	1535.91	N/A	N/A
Losa 5	2999.51	Regular - 1.0	1.95
Losa 4	4161.39	Regular - 1.0	1.39
Losa 3	5025.67	Regular - 1.0	1.21
Losa 2	5611.30	Regular - 1.0	1.12
Losa 1	5774.58	Regular - 1.0	1.03

Tabla 12. Irregularidad en altura tipos 1aA y 1bA por niveles en dirección Y.

2.6.3 Irregularidades por ausencia de redundancia

Según la sección A.3.3.8 del Reglamento NSR-10, debe asignarse un factor de reducción de resistencia por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica.

Para el chequeo de la ausencia de redundancia de la estructura se considera que al no cumplir lo especificado en A.3.3.8.2 por presentar irregularidad en planta, se asume que para el análisis de redundancias en el sentido X se tiene un $\phi_r=0.75$ y en el sentido Y de $\phi_r=0.75$.

2.6.4 Coeficiente de disipación de energía (R) (Capítulo A.3, NSR-10)

Cuando una estructura es irregular en planta, en altura o por ausencia de redundancia, el valor de R debe reducirse multiplicando por el valor de ϕ_a, ϕ_p, ϕ_r .

$$R = R_o \cdot \phi_a \cdot \phi_p \cdot \phi_r$$

Se tiene entonces que el coeficiente de reducción de resistencia R está dado por:

CÁLCULO DE COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA DISEÑO		
	Dirección X	Dirección Y
Coefficiente de capacidad de disipación de energía básico (DMO) R_o	5.00	5.00
Irregularidad en planta ϕ_p	0.90	0.90
Irregularidad en altura ϕ_a	0.90	1.00
Ausencia de redundancia ϕ_r	0.75	0.75
Coefficiente de capacidad de disipación de energía para el diseño R	3.04	3.375

Tabla 13. Cálculo de coeficiente de disipación de energía en las direcciones principales.

2.6.5 Procedimiento de análisis

Cada uno de los elementos que conforman estos sistemas incluyendo los elementos no estructurales, losas, vigas, columnas, cimentaciones entre otros, fueron analizados y calculados con base en el reglamento NSR- 10. La carga sísmica se calculó mediante un análisis dinámico elástico de la tal como lo permite la sección A.3.4.2.2 del Reglamento NSR-10, utilizando el espectro de respuesta definido en la sección A.2.6 de este.

Para el análisis estructural se empleó el programa ETABS en el que los elementos como vigas y columnas del pórtico fueron modelados como tipo (frame) y los muros como tipo área (Shell). También, para la distribución de cargas de la estructura que no se encontraban directamente sobre vigas se emplearon elemento tipo membrana sin espesor ni peso, de tal manera que se despreció la rigidez de la losa y de los nervios ante cargas sísmicas y la única labor de esta es distribuir las cargas que se suministraron manualmente en los paneles de área hacia vigas y columnas por áreas aferentes.

El programa empleado para el análisis estructural trabaja bajo el método de análisis matricial, en el cual cada elemento que compone la estructura es representado a partir de una matriz de rigidez en coordenadas locales, a partir de la implementación de matrices de transformación se llevan todas las matrices locales a coordenadas globales y empleando la suma matricial se llega a la matriz global de la estructura con el objeto de resolver el sistema conformado $\{F\}=[K]*\{\Delta\}$ '.

De acuerdo con los métodos de análisis sísmicos reconocidos y enumerados en A.3.4.1 del Reglamento NSR10, se empleó el método de análisis: b) Método de análisis dinámico elástico, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.5.

2.7 Determinación de las fuerzas sísmicas (Paso 7)

El numeral A.5.4.5 de la NSR-10 indica que si el resultado obtenido para la cortante basal mediante el análisis dinámico es menor que el 80% para estructuras regulares o 90% para estructuras irregulares del obtenido por el método de la fuerza horizontal equivalente se deben ajustar todos los parámetros de respuesta dinámica. Para este análisis se realizará el ajuste para el 90%, debido a la condición irregular de la estructura, para los espectros participantes en el análisis (chequeo de derivas y diseño).

Para efectos de calcular el cortante basal de fuerza horizontal equivalente necesario para realizar el ajuste requerido, A.5.4.5 (a) del Reglamento indica que el periodo fundamental de la estructura obtenido en el análisis dinámico T no debe exceder de $C_u T_a$. El valor de T_a se determina como: $T_a = C_t h_n^\alpha$ donde C_t y α son coeficientes que se toman de la tabla A.4.2-1 NSR-10, De acuerdo con el valor del periodo de vibración si son periodos cortos.

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resiste la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería.	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Tabla 14. Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del periodo aproximado T_a . Tomado de: Tabla A.4.2-1.

A continuación se presenta un resumen de los coeficientes y valores empleados para el cálculo de la aceleración sísmica de diseño, donde se utilizaron secciones brutas, considerando nudos parcialmente rígidos con un coeficiente de 0.5 en las uniones viga-columna. Además, según la zona de amenaza sísmica intermedia, se considera una fuerza vertical en la punta de los elementos voladizos del 15% de de la carga muerta soportada por estos como efecto sísmico como se indica en la seccion A.3.6.13 sel reglamento NSR-10..

Datos generales de la edificación

Ubicación del proyecto	Medellín
Zona de amenaza sísmica	Intermedia
Niveles de la edificación	6
Tipo de perfil de suelo	D
Capacidad de disipación de energía	DMO

Datos para espectro sísmico		
C. de aceleración horizontal pico	Aa	0.15
C. de velocidad horizontal pico	Av	0.20
C. de aceleración pico (umbral de daño)	Ad	0.07
C. de aceleración pico (reducida)	Ae	0.13
C. de amplificación de aceleración (T corto)	Fa	1.50
C. de amplificación de aceleración (T medio)	Fv	2.00
C. de importancia de uso	I	1.00
Altura de la edificación [m]	h	16.44
Periodo fundamental calculado (dinámico) [s] Ver Nota.	T	0.771
Coeficientes para obtención de periodo aproximado	Ct	0.047
	α	0.9

Cálculos de periodos a partir del espectro sísmico y Sa		
Periodo de vibración (T inicial) [s]	T0	0.178
Periodo de vibración (T Cortos) [s]	TC	0.853
Periodo de vibración (T Largos) [s]	TL	4.800
Periodo fundamental aproximado [s]	Ta	0.584
Coeficiente Cu	Cu	1.270
Periodo máximo	CuTa	0.742
Periodo de la estructura [s]	T	0.742
Aceleración espectral de diseño para T	Sa	0.5625

Tabla 15. Coeficientes para el cálculo de la aceleración sísmica para chequeo de derivas Y diseño.

Nota: El periodo dinámico de la estructura utilizado corresponde al del primer modo de vibración de la estructura, este último, es un modo traslacional sobre el eje global X según las coordenadas de la edificación en el software de análisis. Los detalles de los demás modos de vibración se observan en la siguiente tabla, donde se obtuvieron la suficiente cantidad de modos de vibración para garantizar que al menos el 90% de las masas de la edificación se tengan en cuenta para el análisis estructural según lo indicado en la sección A.5.4.2 del Reglamento NSR-10.

Participación de masa de la edificación

Caso	Modo	Periodo (s)	SumUX	SumUY	SumUZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.768	77.06%	3.03%	0.00%	1.03%	19.11%	1.50%
Modal	2	0.755	79.85%	76.17%	0.00%	24.39%	19.77%	2.78%
Modal	3	0.639	81.56%	77.38%	0.00%	24.73%	19.98%	79.52%
Modal	4	0.378	81.78%	77.56%	0.00%	24.80%	20.01%	80.10%
Modal	5	0.252	82.22%	77.59%	0.00%	24.92%	24.97%	80.10%
Modal	6	0.249	88.41%	78.52%	0.00%	28.25%	60.63%	80.13%
Modal	7	0.238	89.61%	86.24%	0.00%	58.49%	66.93%	80.35%
Modal	8	0.225	89.65%	87.01%	0.00%	60.97%	66.94%	80.59%
Modal	9	0.225	89.70%	87.59%	0.00%	62.23%	67.01%	80.70%
Modal	10	0.204	89.75%	88.50%	0.00%	67.00%	67.20%	86.71%
Modal	11	0.191	89.76%	88.60%	0.00%	67.50%	67.25%	88.83%
Modal	12	0.185	89.85%	88.64%	0.00%	67.57%	67.31%	88.96%
Modal	13	0.164	90.06%	88.70%	0.00%	67.70%	68.16%	89.28%
Modal	14	0.16	90.09%	88.80%	0.00%	68.03%	68.21%	89.42%
Modal	15	0.158	90.14%	88.80%	0.00%	68.04%	68.31%	89.52%
Modal	16	0.145	90.54%	88.83%	0.00%	68.15%	70.99%	89.92%
Modal	17	0.141	92.46%	88.83%	0.00%	68.15%	75.54%	89.95%
Modal	18	0.134	92.46%	90.85%	0.00%	72.71%	75.54%	90.18%

Tabla 16. Participación modas de las masas de la estructura.

AJUSTE DE RESULTADOS A.5.4.5 (Antes de ajuste)	
% de ajuste en dirección X	90%
% de ajuste en dirección Y	90%
Peso sísmico de la estructura [M.g]	11432.93kN
Aceleración espectral de diseño para T [Sa]	0.5625
Cortante basal de F.H.E [Vs]	6431.02kN
Cortante basal dinámico en X [Wx]	5220.04kN
Cortante basal dinámico en Y [Wy]	4867.78kN
Ajuste de resultados en X	1.11
Ajuste de resultados en Y	1.19
AJUSTE DE RESULTADOS A.5.4.5 (Después del ajuste)	
% de ajuste en dirección X	90%
% de ajuste en dirección Y	90%
Peso sísmico de la estructura [M.g]	11432.93kN

Aceleración espectral de diseño para T [Sa]	0.5625
Cortante basal de F.H.E [Vs]	6431.02kN
Cortante basal dinámico en X [Wx]	5800.18kN
Cortante basal dinámico en Y [Wy]	5781.85kN
Ajuste de resultados en X	1.00
Ajuste de resultados en Y	1.00

Tabla 17. Cálculo de ajuste de fuerza sísmica espectro de derivas.

2.8 Análisis sísmico de la estructura (Paso 8)

2.8.1 Modelo utilizado

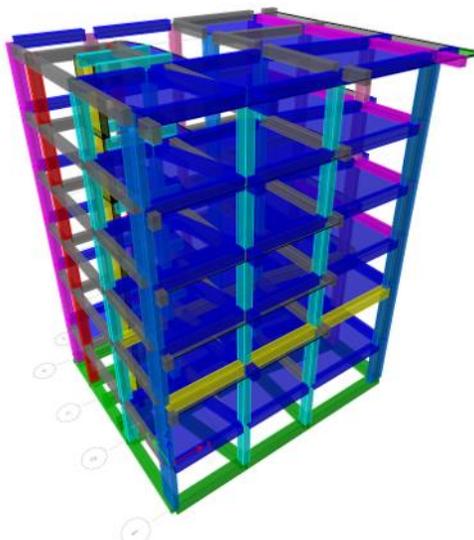


Ilustración 11. Esquema estructural. Fuente: ETABS.

Las dimensiones de los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica empleados en el diseño estructural para el análisis sísmico de la edificación fueron las siguientes:

Vigas (ancho x alto): (40 cm x 50 cm), (30 cm x 50 cm), (40 cm x 60 cm), (40 cm x 40 cm).

Columnas (lado 1 x lado 2): (80 cm x 40 cm), (30 cm x 50 cm), (40 cm x 60 cm), (40 cm x 50 cm), (100 cm x 30 cm).

Nota: El modelo se realiza desde el nivel de las vigas de fundación; y estas se modelan con concreto sin peso, con el fin de que este no haga parte del peso sísmico para el cálculo de la fuerza horizontal aplicada en la estructura; esto con el fin de tener las geometrías de estos elementos para su posterior diseño no sísmico en el software de diseño de elementos estructurales.

2.8.2 Dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas: (Capítulo A.3.6, NSR-10)

Como se indica en el numeral A.3.6.3 de la NSR-10, se definen unas combinaciones de carga E_x y E_y tal que se considere la aplicación simultánea de las fuerzas sísmicas en un 100% en una dirección y en un 30% en la dirección perpendicular.

2.9 Desplazamientos horizontales (Paso 9)

La evaluación de los desplazamientos horizontales y de las derivas es realizada para las fuerzas sísmicas sin ser divididas por el coeficiente de reducción de resistencia R , y se realizó según lo estipulado en el numeral A.6.3.1.2 NSR-10. En donde se define la deriva máxima en cualquier punto del piso i , como la diferencia entre los desplazamientos totales máximos, de acuerdo con A.6.2.4, del punto en el piso i y los desplazamientos horizontales totales máximos de un punto localizado en el mismo eje vertical en el piso inmediatamente inferior ($i-1$), por medio de la siguiente ecuación:

En el numeral A.6.4 de la NSR-10 se estipulan los límites de deriva según la tipología estructural. Para este proyecto en particular se tiene una estructura en concreto reforzado y su correspondiente deriva máxima se define como el 1% ó el 0.01 de la altura de piso correspondiente.

$$\Delta^i_{max} = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (\delta^i_{tot,j} - \delta^{i-1}_{tot,j})^2} < \Delta_i = 0.01h_{pi}$$

Donde

Δ^i_{max} = deriva máxima para cualquier punto del piso i .

$\delta^i_{tot,j}$ = desplazamiento total horizontal, de cualquier grado de libertad del piso i de la estructura, en la dirección j .

$\delta^{i-1}_{tot,j}$ = desplazamiento total horizontal, de cualquier grado de libertad del piso $i-1$ de la estructura, en la dirección j .

h_{pi} = altura del piso i , medida desde la superficie del diafragma del piso i hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior, $i-1$.

Combinaciones de carga para deriva:

Combinaciones de carga para deriva
D01:D+H+Ex
D02:D+H+Ey
D03:D+H+0.75L+0.75Ex
D04:D+H+0.75L+0.75Ey
D08:0.6D+H+Ex
D09:0.6D+H+Ey
Deriva X: Ex + 0.3Ey
Deriva Y: Ey + 0.3Ex

Tabla 18. Combinaciones de carga para deriva.

2.10 Verificación de derivas (Paso 10)

Se verifica el índice de estabilidad de cada piso conforme al numeral A.6.2.3 de la NSR-10 para determinar si es necesario considerar los desplazamientos horizontales provocados por efectos P-DELTA. De esta manera, se determina que el índice de estabilidad para cada piso es inferior a 0.1, por lo tanto, no es necesario considerar los efectos P-DELTA. El cálculo se muestra a continuación:

Nivel	P _i (kN)	Δx	Δy	V _i (kN)	h _{pi} (m)	Q _{ix}	Q _{iy}	Incidencia
Terraza	2037.6	0.0039	0.0074	1572.3	3.06	0.0017	0.0031	No se consideran efectos δ _{pd}
Losa 5	4347	0.0056	0.0075	4680.2	3.06	0.0017	0.0023	No se consideran efectos δ _{pd}
Losa 4	6656.3	0.0074	0.0075	9061.9	3.06	0.0018	0.0018	No se consideran efectos δ _{pd}
Losa 3	8965.7	0.0084	0.0083	14449	3.06	0.0020	0.0017	No se consideran efectos δ _{pd}
Losa 2	11234	0.0098	0.0081	20564	4.08	0.0013	0.0011	No se consideran efectos δ _{pd}

Tabla 19. Cálculo de índice de estabilidad en cada nivel.

La deriva máxima para cualquier piso no puede exceder los límites establecidos en la tabla A.6.4-1 del reglamento NSR-10, mostrada a continuación.

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ($\Delta_{\max}^i \leq 0.010 h_{pi}$)
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ($\Delta_{\max}^i \leq 0.005 h_{pi}$)

Ilustración 12. Derivas máximas como porcentaje de h_{pi} . Fuente: Sección A.6.4, NSR-10.

A continuación, se muestra un resumen de las derivas obtenidas donde se puede observar que cumplen el requisito de ser menores a 1% según el caso para estructuras de concreto reforzado utilizando la combinación de carga Deriva X y Deriva Y para cada eje respectivamente.

Deriva máxima en dirección X		Deriva máxima en dirección Y	
Nivel	Deriva máx.	Nivel	Deriva máx.
Losa 1	0.54%	Losa 1	0.41%
Losa 2	0.97%	Losa 2	0.88%
Losa 3	0.84%	Losa 3	0.98%
Losa 4	0.73%	Losa 4	0.95%
Losa 5	0.56%	Losa 5	0.94%
Terraza	0.39%	Terraza	0.93%

Tabla 20. Verificación de derivas máximas en las dos direcciones perpendiculares x y y.

2.11 Combinación de las diferentes solicitaciones (Paso 11)

2.11.1 Combinaciones de carga (Titulo B, NSR-10)

Las combinaciones de carga para servicio (para ser utilizadas con el método de esfuerzos de trabajo o en las verificaciones del estado límite de servicio) y para diseño (usando el método de resistencia) se definen según lo estipulado en el capítulo B.2.3 y B.2.4 del reglamento NSR-10. Para estas combinaciones de carga las fuerzas sísmicas son disminuidas en su magnitud dividiéndolas por el coeficiente de reducción de resistencia R. A continuación, se muestran las utilizadas en el presente diseño estructural.

COMBINACIONES DE CARGA	
Para servicio	Para diseño

S01:D+L	U01:1.4D
S02:D+L+H	U02:1.2D+1.6L+1.6H+0.5G
S03:D+H+0.7Ex	U03:1.2D+1.6G+0.8W
S04:D+H+0.7Ey	U03:1.2D+1.6G+L
S05:D+H+W	U04:1.2D+1.6W+L+0.5G
S06:D+H+0.75L+0.53Ex	U05:1.2D+L+Ex
S07:D+H+0.75L+0.53Ey	U06:1.2D+L+Ey
S08:D+H+0.75L+0.75W	U07:0.9D+1.6W+1.6H
S09:0.6D+H+W	U08:0.9D+Ex+1.6H
S10:0.6D+H+0.7Ex	U09:0.9D+Ey+1.6H
S11:0.6D+H+0.7Ey	

Tabla 21. Combinaciones de carga usadas en el diseño estructural

Dónde:

D: Carga Muerta.

L: Carga Viva.

H: Carga de empuje.

Ex: Carga Sísmica en dirección del eje global X.

Ey: Carga Sísmica en dirección del eje global Y.

G: Carga de granizo.

W: Carga de viento.

Nota: En las combinaciones de carga para servicio y para diseño $Ex=1.0Ex+0.3Ey$, $Ey=1.0Ey+0.3Ex$, para cumplir los efectos de ortogonalidad.

2.12 *Diseño de los elementos estructurales (Paso 12)*

2.12.1 Descripción de los lineamientos utilizados en el diseño.

Para el diseño estructural de los elementos tipo, viga y columna, se siguieron los lineamientos del Título C del Reglamento NSR-10, y en especial los requisitos de diseño sísmico para estructuras con capacidad moderada de disipación de energía DMO especificados en el Capítulo C.21. Para ello, empleó el software DC-CAD3 en el cual se diseñó a partir de las solicitaciones del modelo del software de análisis, la memoria resumen del programa muestra las áreas de acero requeridas por cortante, torsión y momento para vigas y nervios, y el área de acero suministrado para cada caso, todo de manera gráfica.

Del mismo modo, se presenta los diagramas de interacción, verificación de cortante plástico y relación columna fuerte-viga débil para las columnas. Por

otra parte, las vigas auxiliares que reciben las escaleras fueron diseñadas para atender combinaciones sísmicas entendiéndose que sostienen la ruta de evacuación ante un evento sísmico.

2.12.2 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

El diseño de la cimentación de la estructura se ha realizado siguiendo estrictamente los requerimientos establecidos en la sección A.1.3.5 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Este proceso garantiza que los efectos de las diferentes sollicitaciones utilizadas sean considerados adecuadamente en el diseño de los elementos de la cimentación.

Para el diseño estructural de los elementos de cimentación, se han utilizado los resultados de las combinaciones de cargas obtenidas en el paso 11 de A.1.3.4, aplicando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño (E), derivadas de las reacciones de la estructura sobre estos elementos.

Para evaluar los esfuerzos sobre el suelo de cimentación se parte de las reacciones de la estructura y su cimentación sobre el suelo, empleando las combinaciones de carga del método de esfuerzos de trabajo descrito en la sección B.2.3, utilizando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño (E).

Este diseño se complementará con la inclusión de los anexos de los cálculos realizados, los cuales proporcionan un detalle preciso de las combinaciones de cargas, los análisis y las verificaciones correspondientes para asegurar la integridad y estabilidad de la cimentación de la estructura.

2.13 ***DISEÑO SÍSMICO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES***

El diseño sísmico de los elementos no estructurales se ha llevado a cabo en conformidad con los requisitos establecidos en la sección A.1.3.6 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Este diseño considera los siguientes aspectos fundamentales:

- Grado de desempeño: Se ha asegurado que los elementos no estructurales cumplan con el grado de desempeño superior, bueno o bajo, tal como lo define el Capítulo A.9, dependiendo del grupo de uso al cual pertenezca la edificación.
- Profesionales facultados: El diseño de estos elementos ha sido realizado por profesionales capacitados y facultados según los artículos 26 y 29 de la Ley 400 de 1997. Se han seguido los requisitos

del Capítulo A.9, tomando en cuenta los parámetros de diseño sísmico proporcionados por el diseñador estructural.

- Elementos fabricados: Se permite el uso de elementos diseñados e instalados por su fabricante o cuya instalación se realiza siguiendo sus instrucciones, cumpliendo con lo indicado en A.1.5.1.2.
- Responsabilidades del constructor: El constructor que suscribe la licencia de construcción debe recopilar los diseños de los diferentes elementos no estructurales, así como la documentación de aquellos que se acogen a lo permitido en A.1.5.1.2, para presentarlos en una memoria ante la Curaduría o la oficina encargada de expedir las licencias de construcción. Además, debe firmar los diferentes diseños, responsabilizándose de que los elementos no estructurales se construyan según lo diseñado y cumpliendo con el grado de desempeño especificado.

Este diseño se complementa con la inclusión de los anexos de los cálculos realizados, proporcionando detalladamente las evaluaciones y verificaciones pertinentes para garantizar la seguridad y funcionalidad de los elementos no estructurales.

3 ANEXOS A MEMORIA DE CÁLCULO

3.1 Cálculo de longitud de empalmes por traslazo.

La longitud mínima se empalme por traslazo se calcula siguiendo la sección C.12.15 del Reglamento NSR-10 utilizando traslazos Clase B. La cual es de 1.3 veces la longitud de desarrollo (l_d). Donde l_d se calcula de acuerdo con C.12.2 para desarrollar f_y pero sin los 300 mm mínimos de C.12.2.1 y sin el factor de modificación de C.12.2.5.

Para los cálculos presentados posteriormente se utilizó el primer caso mencionado en la tabla de la sección C.12.2.2; en la que se especifica que el espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo empalmados o desarrolladas no menor que d_b , recubrimiento no menor que d_b , y estribos a lo largo de l_d no menos que el mínimo del Título C del Reglamento NSR-10 o espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo desarrolladas o empalmadas no menor a $2d_b$ y recubrimiento libre no menor a d_b .

A continuación, se presentan los cálculos tanto para barras inferiores como superiores.

Longitud de empalme por traslazo a tracción (Clase B según C.12.15.1) - Barras inferiores					
N°	21 MPa	28 MPa	35 MPa	42 MPa	49 MPa
2	0.40	0.35	0.30	0.30	0.25
3	0.55	0.50	0.45	0.40	0.40
4	0.75	0.65	0.60	0.55	0.50
5	0.90	0.80	0.70	0.65	0.60
6	1.10	0.95	0.85	0.80	0.75
7	1.60	1.35	1.25	1.15	1.05
8	1.80	1.55	1.40	1.30	1.20
10	2.30	2.00	1.80	1.65	1.50

Tabla 22. Longitud de traslazo a tracción (Clase B según C.12.15.1, NSR-10) - Barras inferiores.

Nota: El cálculo presentado en la tabla anterior es para barras inferiores (refuerzo positivo). Para el cálculo de la longitud de traslazo a tracción para barras superiores (refuerzo negativo), debe realizarse según la sección C.12.2.4 (a), en la que se especifica que cuando para el refuerzo horizontal se colocan más de 300 mm de concreto fresco debajo de la longitud de desarrollo o un empalme, se debe multiplicar esta longitud por un factor de (1.3).

Por lo cual, la longitud de empalme por traslapo cuando se cumple la condición mencionada en C.12.2.4, es la siguiente:

Longitud de traslapo a tracción (Clase B según C.12.15.1) - Barras superiores según C.12.2.4 (a)					
N°	21 MPa	28 MPa	35 MPa	42 MPa	49 MPa
2	0.50	0.45	0.40	0.35	0.35
3	0.75	0.65	0.55	0.50	0.50
4	0.95	0.85	0.75	0.70	0.65
5	1.20	1.05	0.90	0.85	0.80
6	1.45	1.25	1.10	1.00	0.95
7	2.05	1.80	1.60	1.45	1.35
8	2.35	2.05	1.80	1.65	1.55
10	2.95	2.55	2.30	2.10	1.95

Tabla 23. Longitud de traslapo a tracción (Clase B según C.12.15.1, NSR-10) - Barras superiores.