

## COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL ENTRE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE IBAGUÉ Y EL REGLAMENTO NSR-10

### Comparison of the analysis and structural design between the Ibague seismic microzoning and the NSR-10 regulation

Jean Paul Alejandro Toro Ruiz<sup>1</sup>, Juan Sebastian Quintero Pinzón<sup>2</sup>, Juan David Del Río Gaitán<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Universidad de Ibagué, programa de ingeniería Civil, Colombia.

Email: <sup>1</sup>2520161093@estudiantesunibague.edu.co, <sup>2</sup>2520161074@estudiantesunibague.edu.co, <sup>3</sup>juan.delrio@unibague.edu.co

(Recibido el 03 de abril de 2021 – Aceptado el 16 de junio de 2021)

#### Resumen

El diseño estructural es una rama esencial en la ingeniería civil y en el desarrollo de la sociedad, puesto que brinda sistemas estructurales seguros y eficientes para los diversos tipos de edificaciones y obras civiles necesarias para mejorar la calidad de vida de sus usuarios y ocupantes. Considerando lo anterior, en este proyecto se realizó un estudio en la ciudad de Ibagué en el cual se buscó determinar y comparar las variables requeridas para diseñar una estructura de concreto reforzado. Por esta razón, se comparan los coeficientes de amplificación sísmica del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) dados para los tipos de suelo más comunes en Ibagué y la microzonificación sísmica vigente de la ciudad, los cuales afectan y generan una variación en el sismo de diseño. Además de esto, se planteó el estudio de la capacidad de disipación de energía de la estructura para generar un análisis completo de las variables de diseño y obtener parámetros y recomendaciones seguras y óptimas para la ejecución del diseño estructural de edificaciones regulares con menos de 5 pisos. Se utilizó la herramienta BIM Revit, la cual permite tener información completa del proyecto estructural relacionada con los materiales y así estimar las variaciones entre los diferentes diseños obtenidos.

**Palabras clave:** *diseño estructural, microzonificación sísmica, NSR-10, sismo de diseño, coeficientes de amplificación, disipación de energía, BIM.*

#### Abstract

Structural design is an essential field in civil engineering and in the development of society, since it provides safe and efficient structural systems for the several types of buildings and civil works necessary to improve the quality of life of its users and occupants. Considering this situation, in this project, it was carried out a study in the city of Ibague in which it was sought to determine and compare the variables required to design a reinforced concrete structure. For this reason, the seismic amplification coefficients of the Colombian Seismic Resistant Construction Regulation (NSR-10) given for the most common types of soil in Ibague and the current seismic microzoning of the city are compared, which affect and generate a variation in the design earthquake. In addition, the study of the energy dissipation capacity of the structure was proposed to generate a complete analysis of the design variables and obtain safe and optimal parameters and recommendations for the execution of the structural design of regular buildings with less than 5 floors. The BIM Revit tool was used, which allows to have complete information of the structural project related to the materials and thus estimate the variations between the different designs obtained.

**Key words:** *structural design, Seismic microzoning, NSR-10, amplification coefficients, energy dissipation, BIM.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La microzonificación sísmica es una herramienta que permite obtener valores exactos de los coeficientes de amplificación que afecta la aceleración de la zona en periodos cortos ( $F_a$ ) e intermedios ( $F_v$ ), por otro lado, el Reglamento sismo resistente NSR-10 atribuye valores de  $F_a$  y  $F_v$  según el tipo de suelo y la ubicación de forma general. Por lo cual existe una gran divergencia entre los diferentes sectores de la ciudad y su tipo de suelo, con respecto a los valores que atribuye el Reglamento. Por ende, se requiere un estudio detallado de las variables y parámetros que se pueden presentar en el proceso de diseño.

Así también, existe un parámetro esencial que es la aceleración espectral, el cual depende de algunos parámetros como lo son los coeficientes de amplificación en periodos cortos ( $F_a$ ) e intermedios ( $F_v$ ), además, de los coeficientes de aceleración ( $A_a$ ) y velocidad ( $A_v$ ) horizontal pico efectiva, entre otros; los cuales afectan y generan una variación en la aceleración sísmica. El NSR-10 plantea una formulación que integra los parámetros anteriormente mencionados que afectan la aceleración espectral, los cuales varían dependiendo únicamente de la ubicación y el tipo de suelo del proyecto, como resultado se observa una generalización del diseño estructural.

Por otro lado, la ciudad de Ibagué cuenta con una microzonificación sísmica que indica curvas de detalle para los valores de los coeficientes de amplificación ( $F_a$ ,  $F_v$ ) tomados en campo a lo largo de la ciudad. De igual importancia, otro factor fundamental en el diseño estructural es la capacidad de disipación de energía de las estructuras, que, en el Reglamento, para la ciudad de Ibagué, puede ser moderada (DMO) o especial (DES). Este parámetro también es considerado en la investigación para su análisis.

De acuerdo con el mapa de zonificación sísmica, las ciudades pueden avanzar en sus planes de desarrollo, en los cuales se define claramente las políticas de uso del suelo y las restricciones necesarias en ciertos tipos

de edificios. Al mismo tiempo, se puede adelantar un proyecto de mitigación del riesgo sísmico, a través del diseño de edificaciones, donde se identifican los efectos que un sismo máximo probable pueda producir en la zona donde ocurra [1].

Con base en los factores mencionados anteriormente, que influyen en la respuesta dinámica de la estructura, se busca analizar la diferencia en el diseño estructural de edificaciones regulares de concreto reforzado entre la microzonificación y el reglamento, para lo cual se seleccionó lugares en torno de la ciudad de Ibagué, de tal manera, que se contemple la sectorización y se extraigan coeficientes que presenten mayor divergencia. En este sentido, es posible analizar el comportamiento que se genera en las diferentes ubicaciones a partir de los resultados completos.

A partir de esta investigación se obtienen algunas recomendaciones para el diseño estructural en la ciudad de Ibagué, teniendo en cuenta las ubicaciones predeterminadas dentro de la ciudad y los parámetros que se utilizaron para el diseño basados en el Reglamento, de tal manera que, se tenga información de las variaciones en el comportamiento de las estructuras y su diseño.

A su vez, todo el modelamiento de la estructura se realizó con la herramienta Revit 2019 con el propósito de crear modelos inteligentes en formato 3D compatibles con la tecnología BIM. De igual forma, además del modelamiento estructural, el software Revit generó un cálculo de cantidades preciso que permite comparar las cantidades de los materiales estructurales, los cuales influyen directamente en los costos de obra en la ciudad.

## 2. ANTECEDENTES

A continuación, se presentarán los antecedentes teóricos y prácticos que generan aportes para la investigación, divididos en dos partes: en el primero, los aportes con respecto a la tecnología BIM, sus aplicaciones y casos históricos. El segundo, da cuenta de las investigaciones relacionadas con la microzonificación sísmica y la vulnerabilidad en las estructuras.

La utilización del BIM puede contribuir a toda la industria de la construcción en la reducción de pérdidas, generalmente, al influir en etapas más tempranas (por ejemplo, en el diseño) o en la etapa de ejecución de los proyectos. Sus alcances van más allá, cubriendo todos los espacios del periodo de vida y proceso constructivo de un plan, debido a que es un sistema capaz de reordenar ideas, coordinar los proyectos y trabajos de especialidades, además, estimula la función de laborar en grupo, así como servir de herramienta de administración y control a lo largo de la vida eficaz de la construcción (Fase de operación y mantenimiento del edificio) [2].

Además, se define como un grupo de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por la utilización de información de manera coordinada, coherente, computable y continua; utilizando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo relacionado al inmueble que se pretende diseñar, edificar o utilizar. Esta información podría ser de tipo formal, asimismo, puede referirse a criterios como los materiales empleados y sus calidades físicas, los usos de cada espacio, la eficiencia energética de los cerramientos, etcétera [3].

Por otro lado, el mapa de microzonificación sísmica sirve para entablar los requisitos mínimos de diseño sismo resistente. Para cada punto que esté en el perímetro urbano o en el área de extensión de la localidad, la microzonificación sísmica instituye una explicación de diseño de tipo espectral (para cada una de las variaciones probables de construcciones en ciertos límites) de forma que cualquier construcción, diseñada con la descripción concedida, va a tener generalmente la misma posibilidad de padecer daño o colapso frente a un acontecimiento sísmico futuro [4].

Asimismo, hay otros tipos de estudios asociados con la microzonificación sísmica que identifican la vulnerabilidad, como lo son los estudios de vulnerabilidad física o vulnerabilidad social, o identifican medidas para la reducción del peligro como las tipologías edilicias recomendadas por microzonificación sísmica [5].

Finalmente, se pone en evidencia que los antecedentes y estudios realizados sobre microzonificación sísmica centrados en la vulnerabilidad que se puede generar con respecto a la normativa nacional NSR-10 no existen, lo que significa para este proyecto es un reto incrementar el conocimiento teórico, en la búsqueda de recomendaciones para evitar futuros daños o posibles fallas en las estructuras.

### 3. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico de esta investigación corresponde al enfoque cuantitativo, porque su característica principal, es medir la variación de los fenómenos de aceleración y amplificación del suelo. Para ello se desarrolló la metodología por fases, de forma que se presente un proceso continuo con el fin de tener claridad y orden en el progreso del proyecto.

#### *Fase 1. Determinar la ubicación de las zonas de estudio*

Para el desarrollo de esta fase, se usó el mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Ibagué, por el cual se determinó la ubicación exacta en el mapa de los puntos en los cuales se interceptan las curvas de valores  $F_a$  y  $F_v$ . Así mismo, se obtuvo también la cantidad de puntos a estudiar, de la misma manera, se definió su ubicación geográfica en el casco urbano de la ciudad de Ibagué donde se realizó y evaluó la diferencia en el comportamiento sísmico.

#### *Fase 2. Precisar los parámetros sísmicos de las zonas de estudio*

Para esta fase se tuvo en cuenta las variables que se presentaron al momento en el que se definieron los parámetros sísmicos, como lo son: el nivel de amenaza sísmica de la ciudad, los coeficientes de aceleración y los diferentes tipos de suelo que se presentan, mayoritariamente, en la ciudad de Ibagué, en paralelo con los coeficientes de amplificación suministrados por la microzonificación.

#### *Fase 3. Establecer la tipología estructural estandarizada*

Se definieron las características de la estructura como

lo son: el tipo de estructura, el material estructural y su resistencia, el sistema estructural, el número de pisos de la estructura, el número de ejes y la separación entre ejes. Asimismo, se definieron otros parámetros como lo son: las irregularidades, el grupo de uso, el método de análisis sísmico y las solicitaciones de carga viva y muerta.

Por otra parte, en el desarrollo de esta fase se agregó otro criterio para el análisis y comparación de parámetros, como lo es la capacidad de disipación de energía permitida en la ciudad de Ibagué.

#### Fase 4. Análisis y Diseño sismorresistente

Para la fase de análisis y diseño sismorresistente se determinaron características tales como: la aceleración espectral y el cortante sísmico en la base con el fin de obtener un predimensionamiento para que cumpliera con la verificación de las derivas. Este proceso se realizó con cada una de las zonas de estudio seleccionadas, y además de eso, también se realizó el proceso con los tipos de suelo más comunes en la ciudad de Ibagué. Después de cumplir con las derivas de cada una de las estructuras, se procedió a la etapa de diseño.

Se tuvo en cuenta en esta etapa las combinaciones de carga, las envolventes y el coeficiente de disipación de energía de la estructura para obtener las fuerzas de diseño, tanto para DES como para DMO, y se realizó su respectivo diseño.

#### Fase 5. Realización dibujos y planos estructurales

En esta fase se utilizó el software REVIT con el cual se realizó el dibujo y los despieces de todos los elementos estructurales ya diseñados en la fase previa; todo el modelamiento y dibujo de la estructura se realizó en formato 3D, siendo esta una herramienta esencial e innovadora con la cual todos los parámetros de diseño se acercan a la realidad constructiva implementando tecnología BIM.

#### Fase 6. Obtención de cantidades

Para esta fase se realizó la obtención de cantidades de obra necesarias para cada pórtilo diseñado usando el

software REVIT, mediante el cual se hizo el cómputo de cantidades de concreto y acero de refuerzo.

## 4. RESULTADOS

Las ubicaciones seleccionadas se distribuyeron en el mapa de Ibagué con el fin de tener varios puntos de referencia de acuerdo con las diversas magnitudes de  $F_a$  y  $F_v$  en la ciudad, por consiguiente, se definieron 5 ubicaciones que se indican a continuación:

- Barrio Comfenalco: Carrera 20Sur Calle 112.
- Barrio el Salado: Carrera Octava calle 141.
- Barrio la Francia: Avenida Ferrocarril calle 26.
- Barrio la Gaviota: Carrera 16B calle 97.
- Barrio la Pola: Carrera segunda calle 7.

La Figura 1 muestra la distribución de las ubicaciones a lo largo de la ciudad, con su respectiva ubicación en comunas.

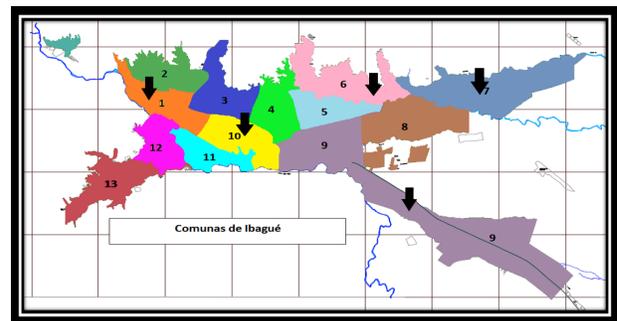


Figura 1. Ubicaciones de estudio en el mapa de Ibagué.

Así mismo, se precisaron los parámetros sísmicos generales para la ciudad de Ibagué, como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros sísmicos establecidos por el reglamento NSR-10 para Ibagué.

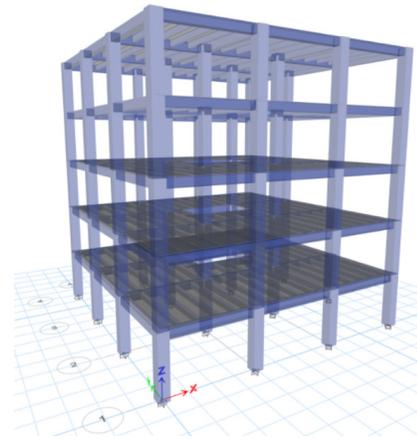
Ciudad	Ibagué
Aa	0.20
Av	0.20
Ae	0.15
Ad	0.08
Zona de amenaza sísmica	Intermedia

De acuerdo con la definición de los parámetros sísmicos, se determinan los coeficientes de amplificación ( $F_a$ ,  $F_v$ ) en sitio de las ubicaciones previamente seleccionadas, y además de los tipos de suelo C, D y E que son los más comunes en la ciudad de Ibagué como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Coeficientes de amplificación de los tipos de suelo y las ubicaciones.

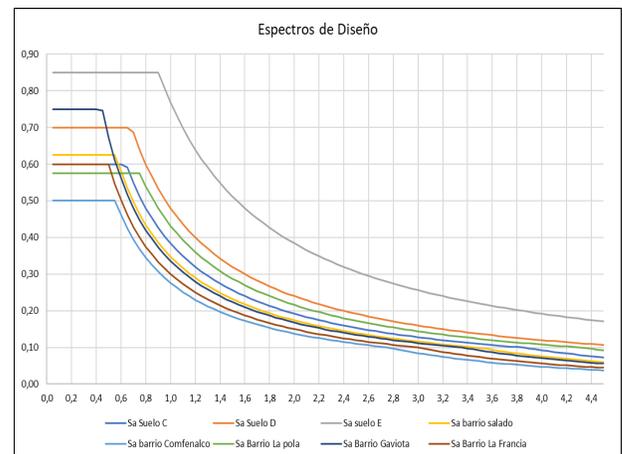
Ubicación o Tipo de suelo	$F_a$	$F_v$
Comfenalco	1	1.15
Salado	1.25	1.45
La Francia	1.2	1.25
La Gaviota	1.5	1.4
La Pola	1.15	1.8
Suelo C	1.2	1.6
Suelo D	1.4	2
Suelo E	1.7	3.2

En concordancia con la tipología estructural estandarizada, se determinó realizar el estudio por el método de la fuerza horizontal equivalente (FHE) por tratarse de una estructura regular aporticada de concreto, con uso de ocupación normal, una resistencia de 28MPa, de 5 niveles, con una altura por nivel de 3 metros. Del mismo modo, se determinó que la cantidad de ejes por sentido iban a ser 4 metros, separados entre sí a 4 metros desde su eje central. En la Figura 2, se muestra el modelo de la estructura.



**Figura 2.** Estructura estandarizada.

Después de obtener todos los parámetros de aceleración y de sitio, además del grupo de uso y el coeficiente de importancia de la estructura, se procede a determinar el espectro de diseño, de manera general, como se muestra a continuación, están todas las aceleraciones espectrales de las 5 ubicaciones por microzonificación y los 3 tipos de suelo más comunes en Ibagué.



**Figura 3.** Espectros de diseño.

Se prosigue a predimensionar la estructura para que cumpla con las solicitaciones de carga muerta, carga viva, los efectos sísmicos y no sobrepase los desplazamientos máximos permitidos por el Reglamento. Para esta investigación se realizó el proceso de análisis y diseño estructural para dos disipaciones de energía, DMO y DES,

que son permitidas para el nivel de amenaza sísmica de la ciudad de Ibagué.

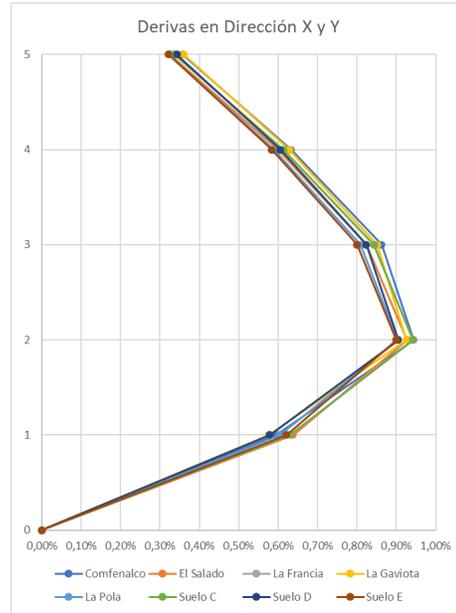
Posteriormente, en un proceso iterativo en el cual se determinaron las dimensiones de cada estructura, para que así cumpliera los requisitos geométricos mínimos, con las cargas de servicio. De esta manera, se obtuvo las dimensiones de columnas, vigas, viguetas como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Dimensiones de las estructuras.

Ubicación Elemento	Columna (cm)	Viga (cm)	Vigueta (cm)
Comfenalco	45x45	30x40	12x30
Salado	45x45	35x45	12x30
La Francia	45x45	30x45	12x30
La Gaviota	50x50	30x45	12x30
La Pola	45x45	30x40	12x30
Suelo C	45x45	30x45	12x30
Suelo D	50x50	35x45	12x30
Suelo E	50x50	40x50	12x30

Después de obtener el dimensionamiento adecuado, se procede a verificar las derivas, con el fin de no sobrepasar el desplazamiento máximo permitido por el NSR-10, el cual corresponde al 1% de la altura de piso.

Lo anterior, con el fin de evitar deformaciones inelásticas, la inestabilidad global de la estructura y el pánico en las personas que se encuentran en la misma durante un evento sísmico. La siguiente ilustración muestra el chequeo de las derivas de todas las estructuras.



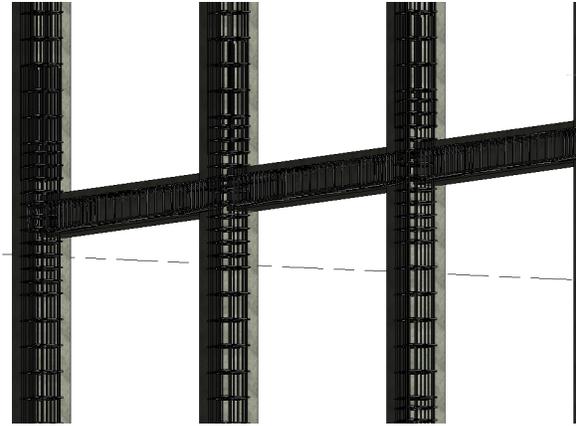
**Figura 4.** Chequeo de derivas de las estructuras.

Los elementos estructurales de una edificación deben diseñarse bajo todas las solicitaciones de carga establecidas por el avalúo, mayoradas y combinadas como se exige por el reglamento. De ahí se establecen también unos parámetros sísmicos, los cuales se deben reducir con un coeficiente de capacidad de disipación de energía con el fin de obtener las fuerzas sísmicas para el diseño reducido.

Luego de obtener las cargas de diseño reducidas, se procede a realizar el diseño tanto de vigas como de columnas; como se mencionó anteriormente, se realizó el diseño del pórtico más cargado de la estructura, de tal manera que, se evitara sobrecargas de información, y una optimización de esta. Dicho esto, se procede a determinar el diseño tanto de vigas, como de columnas. Este diseño se realizó por el método de la resistencia última.

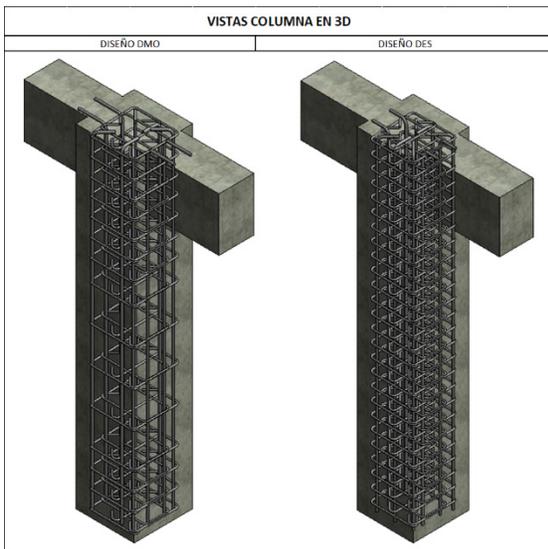
Mediante el software Revit se realizó el dibujo del acero de refuerzo para columnas y vigas, además de sus respectivas dimensiones para las mismas, el proceso fue mediante el modelado y el dibujo en 3D para que así, después de tener dibujados los aceros, mediante cortes en el plano se pudiese crear sus respectivos despieces y

planos en 2D. Como se muestra en la siguiente figura el pórtico con sus respectivos aceros.

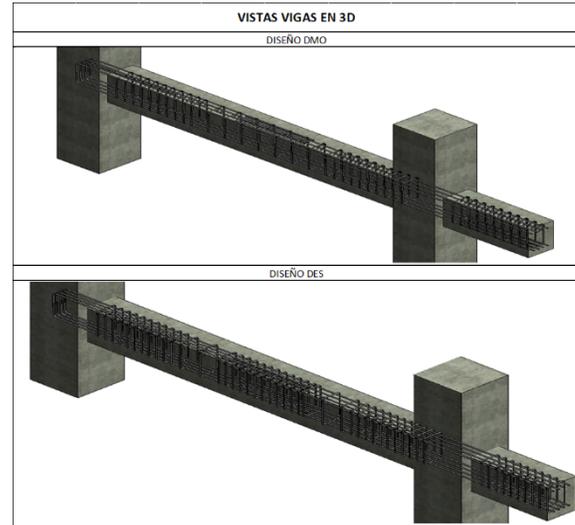


**Figura 5.** Pórtico con su acero de refuerzo.

El proceso de diseño y dibujo se realizó tanto para la disipación de energía moderada, como la especial, donde visualmente se pueden observar variaciones muy grandes con respecto a la cantidad de acero, para observar dichas diferencias, en la siguiente ilustración se mostrará cómo se ve una columna diseñada en disipación de energía moderada y una diseñada en disipación especial en 3D.



**Figura 6.** Columna diseñada en DMO y DES en vista 3D.



**Figura 7.** Viga diseñada en DMO y DES en vista 3D.

Finalmente, se llega a la herramienta por la cual se puede determinar las diferencias estructurales, reflejadas en las cantidades de obra, las cuales son el resultado del proceso de análisis y diseño estructural. Dicho proceso se realizó mediante la herramienta que tiene el software Revit, el cual permite realizar el cómputo de cantidades de manera predeterminada, que, en este caso, se realizó para el concreto de 28 MPa del pórtico más cargado de la estructura, y también a el acero de refuerzo de los elementos tipo viga y columna del pórtico anteriormente mencionado.

Para el barrio Comfenalco el espectro tenía un valor menor al valor del tipo de suelo C, y en el cálculo de cantidades para la disipación moderada (DMO) efectivamente las cantidades de aceros dieron 6% menos que el tipo de suelo C, analizándose de esa manera, a pesar de la similitud con el tipo de suelo C, al momento de diseñar y catalogarlo como dicho tipo de suelo, se estaría gastando 6% de acero de refuerzo con respecto a la microzonificación, como se muestra a continuación.

**Tabla 4.** Cantidad de acero de refuerzo barrio Comfenalco.

COMFENALCO				
ESTRUCTURAS	AGROS	DMO		
		Microzonificación sísmica	Suelo Tipo C	Suelo Tipo D
Bastones (Kg)	57,95	26,03	59,84	48,92
Estribos Columnas (Kg)	730,89	809,71	1124,5	1128,21
Estribos Vigas (Kg)	286,34	280,84	303,52	323,04
Longitudinales Columnas (Kg)	1452,66	1449,82	1713,9	1728,25
Longitudinales Vigas (Kg)	434,69	562,08	562,47	706,59
TOTAL (Kg)	2962,53	3128,48	3761,23	3935,01
AUMENTO PORCENTUAL	0%	6%	27%	33%

En el análisis sísmico del barrio el Salado se notó que la aceleración espectral de la microzonificación era mayor respecto al tipo de suelo C de manera mínima. Produciendo así una variación en el diseño de disipación moderada que se notó en el cálculo de cantidades. Puesto a que la estructura de la microzonificación tiene 3% más de acero respecto al tipo de suelo C. De esta manera, en el barrio el Salado no se puede catalogar el tipo de suelo C para el diseño estructural, debido a que se puede generar una vulnerabilidad en la estructura.

**Tabla 5.** Cantidad de acero de refuerzo barrio el Salado.

EL SALADO				
ESTRUCTURAS	AGROS	DMO		
		Microzonificación sísmica	Suelo Tipo C	Suelo Tipo D
Bastones (Kg)	41,33	26,03	59,84	48,92
Estribos Columnas (Kg)	790,72	809,71	1124,5	1128,21
Estribos Vigas (Kg)	302,9	280,84	303,52	323,04
Longitudinales Columnas (Kg)	1522,28	1449,82	1713,9	1728,25
Longitudinales Vigas (Kg)	575,96	562,08	562,47	706,59
TOTAL (Kg)	3233,19	3128,48	3764,23	3935,01
AUMENTO PORCENTUAL	0%	-3%	16%	22%

Continuando con el barrio la Francia, se observa una característica especial, puesto que el sismo de diseño de la microzonificación presenta la misma aceleración que el tipo de suelo C, con la única diferencia en su periodo corto, pero que, para este caso, no presenta ningún tipo de afectación. Al no presentar afectaciones, las cantidades de acero entre la microzonificación y el suelo C son iguales. Siendo así, se puede confirmar que se puede

diseñar en el barrio la Francia con las características del reglamento NSR-10 respecto a los coeficientes de sitio.

**Tabla 6.** Cantidad de acero de refuerzo barrio la Francia.

LA FRANCIA				
ESTRUCTURAS	AGROS	DMO		
		Microzonificación sísmica	Suelo Tipo C	Suelo Tipo D
Bastones (Kg)	26,92	26,03	59,84	48,92
Estribos Columnas (Kg)	836,28	809,71	1124,5	1128,21
Estribos Vigas (Kg)	303,52	280,84	303,52	323,04
Longitudinales Columnas (Kg)	1386,06	1449,82	1713,9	1728,25
Longitudinales Vigas (Kg)	565,28	562,08	562,47	706,59
TOTAL (Kg)	3118,06	3128,48	3764,23	3935,01
AUMENTO PORCENTUAL	0%	0%	21%	26%

En el barrio la Gaviota se presenta la condición especial donde el periodo de la estructura en el que se determina la aceleración en la microzonificación se encuentra en la curva descendente, lo cual genera que el valor de la aceleración sea similar a la aceleración del tipo de suelo D, generando así que el tipo de suelo D en la disipación moderada tenga 1% más de acero con respecto al valor de la microzonificación. Cabe resaltar que el valor de la aceleración se ve muy afectado por el periodo de la estructura, por lo cual se debe realizar un análisis minucioso del periodo de la estructura para determinar cuál es el valor real de la misma, que afecta el diseño, aclarando que el periodo corto de la microzonificación tiene un valor bajo respecto a los demás.

**Tabla 7.** Cantidades de acero de refuerzo barrio la Gaviota.

LA GAVIOTA				
ESTRUCTURAS	AGROS	DMO		
		Microzonificación sísmica	Suelo Tipo C	Suelo Tipo D
Bastones (Kg)	42,78	26,03	59,84	48,92
Estribos Columnas (Kg)	1127,21	809,71	1124,5	1128,21
Estribos Vigas (Kg)	280,84	280,84	303,52	323,04
Longitudinales Columnas (Kg)	1718,56	1449,82	1713,9	1728,25
Longitudinales Vigas (Kg)	568,99	562,08	562,47	706,59
TOTAL (Kg)	3738,38	3128,48	3764,23	3935,01
AUMENTO PORCENTUAL	0%	-16%	1%	5%

Finalmente, para el barrio la Pola mediante la aceleración

espectral se determinó que la microzonificación presenta un valor similar al tipo de suelo C, sin embargo, la microzonificación tiene un valor menor. Por ende, determinar que el suelo del barrio la Pola es tipo C, se asumiría que se presenta un aumento en las cantidades de acero del 1% respecto a la microzonificación, cabe aclarar que las cantidades que se realizaron son del pórtico más cargado, por lo que, en una estructura de gran magnitud, ese 1% puede presentar un gran ahorro en la cantidad de acero de refuerzo.

**Tabla 8.** Cantidades de acero de refuerzo barrio la Pola.

LA POLA				
ESTRUCTURAS	Microzonificación sísmica	DMO		
		Suelo Tipo C	Suelo Tipo D	Suelo Tipo E
AGROS				
Bastones (Kg)	25,71	26,03	59,84	48,92
Estribos Columnas (Kg)	831,64	809,71	1124,5	1128,21
Estribos Vigas (Kg)	280,84	280,84	303,52	323,04
Longitudinales Columnas (Kg)	1366,59	1449,82	1713,9	1728,25
Longitudinales Vigas (Kg)	581,27	562,08	562,47	706,59
TOTAL (Kg)	3086,05	3128,48	3764,23	3935,01
AUMENTO PORCENTUAL	0%	1%	22%	28%

Con respecto a las cantidades de acero de refuerzo en la disipación especial (DES), se analizó que, debido a las solicitudes más estrictas en el diseño, las cantidades se mantuvieron en un mismo rango similar entre la microzonificación y el tipo de suelo más similar.

Finalmente, en todos los casos de estudio que en todos los casos para DES, el aumento más significativo en las cantidades de acero de refuerzo con respecto al diseño en DMO fueron los estribos en las columnas puesto a que en este diseño todas las columnas se encontraban confinadas debido a las restricciones de dicha disipación.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo se desarrolló con el fin de profundizar en el diseño estructural, con un procedimiento completo que abarca desde el análisis sísmico hasta el detallado y elaboración de planos, consiguiendo resultados que se pueden utilizar para el diseño, ejecución de proyectos y

como herramienta de orientación académica.

Se identificaron los sectores de la ciudad de Ibagué que presentan características especiales, por la diferencia que existe entre la microzonificación sísmica y el reglamento NSR-10. A partir del análisis de resultados, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Para el barrio Comfenalco se concluyó que el valor arrojado en el espectro de diseño por la microzonificación se encuentra por debajo del espectro determinado por el tipo de suelo C. Así que, si se cataloga este sector con este tipo de suelo se pueden generar sobre diseños y por ende sobrecostos en la estructura del 6%.

En el barrio la Francia se determinó que la microzonificación presenta las mismas características del tipo de suelo C en la aceleración. Sin embargo, presentó variaciones en los periodos cortos de los espectros de diseño, en consecuencia, esto puede afectar a las edificaciones según su altura y puede encontrarse fuera de este rango lineal del espectro.

Se estableció en el barrio el Salado que el espectro de la microzonificación sísmica se encuentra por encima del espectro determinado por el tipo de suelo C, según el Reglamento. Si se llegase a catalogar como tipo de suelo C, se generaría vulnerabilidad en el diseño estructural respecto a la microzonificación sísmica en el acero de refuerzo del 3%.

En el barrio la Gaviota se encontró que el periodo corto según la microzonificación sísmica tiene un valor pequeño, por ende, el valor de la aceleración espectral depende de la altura de la estructura, como consecuencia, su ubicación en el espectro se ve afectada únicamente por el periodo de la estructura.

Para el barrio la Pola se concluyó que se puede diseñar con las características del tipo de suelo C, debido a que sus condiciones son similares con respecto a la microzonificación, con la ventaja de que se estaría generando un rango de seguridad del 1% respecto a la

microzonificación.

Respecto a los parámetros de diseño que se obtuvieron se determinaron las siguientes conclusiones:

De acuerdo con el análisis de resultados y considerando la microzonificación sísmica de Ibagué, se determina que la aceleración espectral para el barrio Comfenalco produce el menor valor de cortante basal en las estructuras tipo. Por otra parte, en el barrio la Gaviota se presenta la mayor aceleración espectral para la estructura tipo.

Para los barrios Salado, la Pola y la Francia se tienen variaciones menores al 3% en el valor de la aceleración espectral por microzonificación sísmica respecto a la obtenida considerando tipo de suelo C.

Las derivas se ven afectadas directamente por la aceleración espectral que se define por los valores de la microzonificación y del Reglamento. No obstante, las estructuras analizadas para diferentes sectores presentan derivas similares, porque se manejó la misma tipología estructural.

Para el diseño con disipación especial de energía (DES) no es conveniente el detallado del refuerzo con barras comerciales de 6 metros, ya que induce a un mayor número de traslapes y por consiguiente de zonas confinadas, incrementando así la cantidad de acero en las secciones longitudinales. Para esto, se puede considerar el uso de barras comerciales de 12 metros particularmente en elementos horizontales.

Con relación a los tipos de disipación de energía permitidos para la ciudad de Ibagué, se determinó que en estructuras regulares la consideración de disipación especial de energía reduce las fuerzas sísmicas, pero no implica una reducción en la cantidad de refuerzo necesaria para satisfacer los requisitos del Reglamento.

Considerar el efecto de irregularidades estructurales. Las irregularidades estructurales influyen directamente en el comportamiento de la estructura frente a las fuerzas

horizontales y sus desplazamientos, asimismo, afectan el coeficiente de disipación de energía R que determina la magnitud de las fuerzas sísmicas de diseño.

Evaluar por medio de análisis dinámico. Por medio de este análisis se consideran factores adicionales que determinan un comportamiento estructural más aproximado a la realidad. Tales como, modos de vibración, periodos y corrección en el cortante basal; también permite realizar análisis a estructuras de gran altura y con cualquier tipo de irregularidad estructural.

Diseño de múltiples sistemas estructurales. Teniendo en cuenta la posibilidad de proyectar con diferentes sistemas estructurales en la ciudad de Ibagué, es conveniente evaluar los resultados de diseño con sistemas diferentes a los pórticos resistentes a momentos, ya que cada sistema tiene sus propias características geométricas y mecánicas que influyen directamente en la cantidad de los materiales.

## REFERENCIAS

- [1] Secretaria de planeación Ibagué; IGAG, Mapa de Microzonificación sísmica, Ibagué, 2014.
- [2] G. J. GOYZUETA BALAREZO y H. PUMA LUPO, IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM Y EL SISTEMA LAST PLANNER 4D PARA LA MEJORA DE GESTION DE LA OBRA "RESIDENCIA MONTESOLDOLORES"-TOMO I, Arequipa, 2016.
- [3] P. Eloi Coloma, «INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA BIM,» 2008.
- [4] Universidad de los andes, CEDERI, Alcaldía de Ibagué, «Estudios de amenaza, respuesta dinámica y microzonificación sísmica para la ciudad de Ibagué,» 2006.
- [5] K. C. M. M. S. J. J. H. CARLOS PADRÓN, «La microzonificación sísmica en el proceso de planificación urbana,» Revista de la facultad de ingeniería U.C.V, 2011.
- [6] R. R. Awad, Análisis y diseño sísmico de edificios, Medellín, 2012.
- [7] J. O. Montoya V., Elementos de concreto reforzado

I, 2017.

- [8] Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, 2010.