

## VARIACION EN LA CUANTIA DE ARMADO DE UN MARCO DE CONCRETO REFORZADO SEGÚN SU NIVEL DE DUCTILIDAD

*Josué Noel Bárcena Aquino <sup>(1)</sup>, Joel Martínez Martínez <sup>(1)</sup>*

<sup>1</sup> MM Engineers SC. Sierra de Zimapán #4 Local 47, Fracc. Villas del Sol, Santiago de Querétaro, C.P. 76026,  
[josueb@mm-eng.com](mailto:josueb@mm-eng.com), [joel.martinez@mm-eng.com](mailto:joel.martinez@mm-eng.com).

### III. Análisis, diseño y normatividad sísmica de edificios

#### RESUMEN

Las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México (NTC) contienen diferentes requisitos de ductilidad para el diseño de estructuras de concreto reforzado sujetas a fuerzas sísmicas, y dependiendo de la ductilidad utilizada será el nivel de detallado de la estructura. Según las NTC la ductilidad en una estructura de concreto reforzado se clasifica en tres: baja, media y alta. El objetivo de este trabajo es evaluar las diferencias en la cantidad de armado de refuerzo en una estructura hipotética de oficinas tras aplicar los requisitos para los tres diferentes niveles de ductilidad anteriormente mencionados, en la ciudad de Mexicali, B.C. De esta manera se pretende determinar las ventajas técnicas y económicas de utilizar los diferentes niveles de ductilidad, ya que comúnmente en la práctica se considera que el tener estructuras de ductilidad alta el diseño resulta más económico, pero si se realiza con estricto apego a las normas no siempre resulta así. El caso de estudio propuesto consiste de un marco de concreto reforzado de seis niveles con tres crujías para cada nivel, y para efectos de este trabajo se diseñó en una sola dirección cumpliendo los requisitos de las NTC para los tres niveles de ductilidad. En los resultados se presentan las comparativas de las cuantías de acero requeridas en cada caso, un estimado del costo asociado al habilitado y construcción.



La estructura estudiada es un edificio de oficinas hipotético de concreto reforzado con 6 niveles con tres crujeías en cada sentido. Los 6 niveles tienen una altura de entrepiso de 3.5m y tienen la misma planta tipo. El claro libre de cada crujeía es de 8.0m sin contar el espesor de las columnas. Este estudio se enfocará solamente en los elementos tipo columna y viga por lo que no se incluirá en los resultados el diseño de los elementos de cimentación ni el sistema de entrepiso. La planta del edificio hipotético se muestra en la Figura 1, la planta fue concebida para que fuera doblemente simétrica. Para fines prácticos, el modelado, el análisis y el diseño se hará solo del marco intermedio sobre el eje C y de forma aislada en un modelo de 2 dimensiones. También se ignorará la aportación del sistema de entrepiso a la resistencia tanto para cargas gravitacionales como para cargas laterales. Quedando así, el marco mostrado en la Figura 2 como la estructura de concreto reforzado a diseñar.

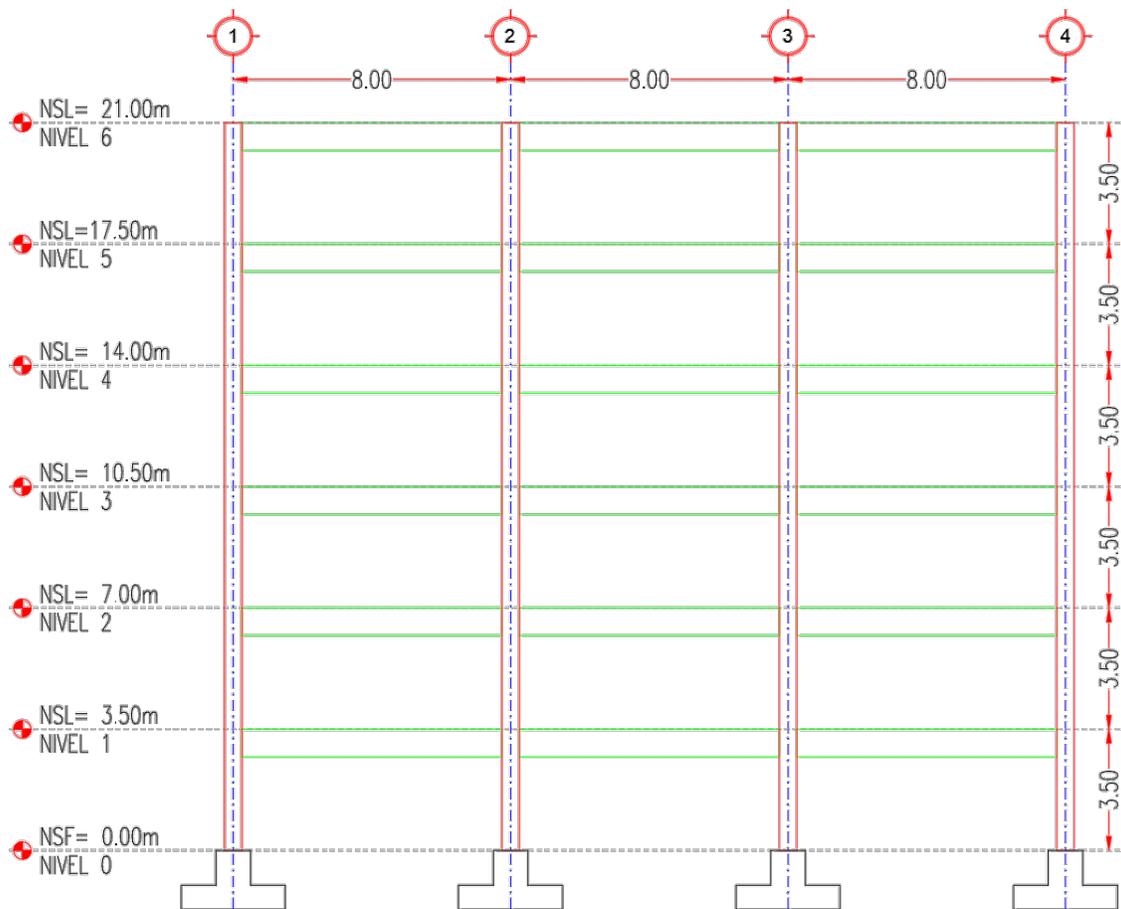


Figura 2. Marco tipo de concreto reforzado para el caso de estudio.

### 3 ANALISIS DE CARGAS

El marco tipo de concreto reforzado de la Figura 2 estará sometido a 2 tipos de carga, las cargas gravitacionales y las cargas por la acción sísmica. Las cargas gravitacionales se dividen en 2; la carga muerta y la carga viva. Las cargas por la acción sísmica están ligadas al espectro de diseño y al de servicio.

La carga muerta se compone del peso propio de la estructura más el peso de la carga muerta colateral que incluye el peso de los elementos no estructurales fijos tales como muros divisorios, empastes de nivelación, acabados, equipos, instalaciones, etc. La carga viva es la carga variable y que no siempre está presente en la estructura y que depende del uso del edificio, tales como mobiliario no fijo y las personas. La carga viva de diseño para uso de oficinas viene especificada en las NTC, así como la carga viva instantánea que es la carga viva que se ocupa en conjunto para el diseño sísmico. En la tabla 1 se listan las cargas gravitacionales a usar. Para fines prácticos al marco tipo se le asignaran las cargas correspondientes a una franja de 8.0m de ancho.

Tabla 1. Tabla de cargas gravitacionales

Tipo de carga	Magnitud [kg/m <sup>2</sup> ]
Carga Muerta por Peso Propio de Columnas y Vigas	Calculada automáticamente por el software de diseño.
Carga Muerta por Peso Propio del sistema de entrepiso	400
Carga Muerta Colateral	200
Carga Viva de Entrepiso	250
Carga Viva instantánea de Entrepiso	180
Carga Viva de Azotea	100
Carga Viva instantánea de Azotea	70

Los espectros sísmicos de diseño para el caso de estudio se obtuvieron del programa PRODISIS v.4.1. Los factores de comportamiento sísmico,  $Q$ , se escogieron según lo indican las NTC para los diferentes niveles de ductilidad, los cuales son los siguientes:  $Q=4$  para Marcos de Ductilidad Alta,  $Q=3$  para Marcos de Ductilidad Media, y  $Q=2$  para Marcos de Ductilidad Baja. Los factores de sobrerresistencia,  $R$ , de acuerdo con el CDS-MDOC, quedando  $R=2.5$  para  $Q=4$  y  $R=2.0$  para  $Q=3$  y  $Q=2$ . Adicionalmente se hizo uso del factor por redundancia,  $\rho$ , igual a 1.25. En la Figura 3 se muestran los espectros utilizados para el caso de estudio, en todos se consideró suelo tipo I y 5% de amortiguamiento.

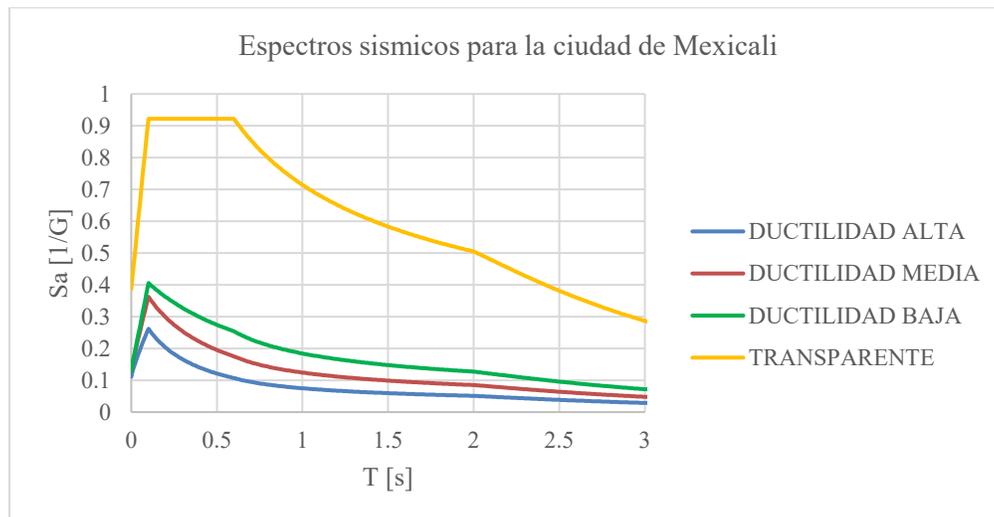


Figura 3. Espectros sísmicos para diferente nivel de ductilidad para la ciudad de Mexicali.

#### 4 MODELO COMPUTACIONAL Y RESULTADOS DEL ANALISIS

Los modelos computacionales para el análisis del caso de estudio se elaboraron en el programa ETABS, cada modelo será analizado con los diferentes espectros sísmicos. En la Figura 4 se muestra el alzado del modelo tipo computacional. Para el caso de estudio se dividirá el diseño en cuatro tipos de columnas y dos tipos de vigas. Las columnas se dividirán como dos tipos de centro y dos de esquina, cada uno dividido en los tres primeros y los tres últimos niveles. Las vigas se dividen entre las que se encuentran en los primeros tres niveles y los tres últimos. En la figura 4 se puede apreciar la división de los elementos por tipo.

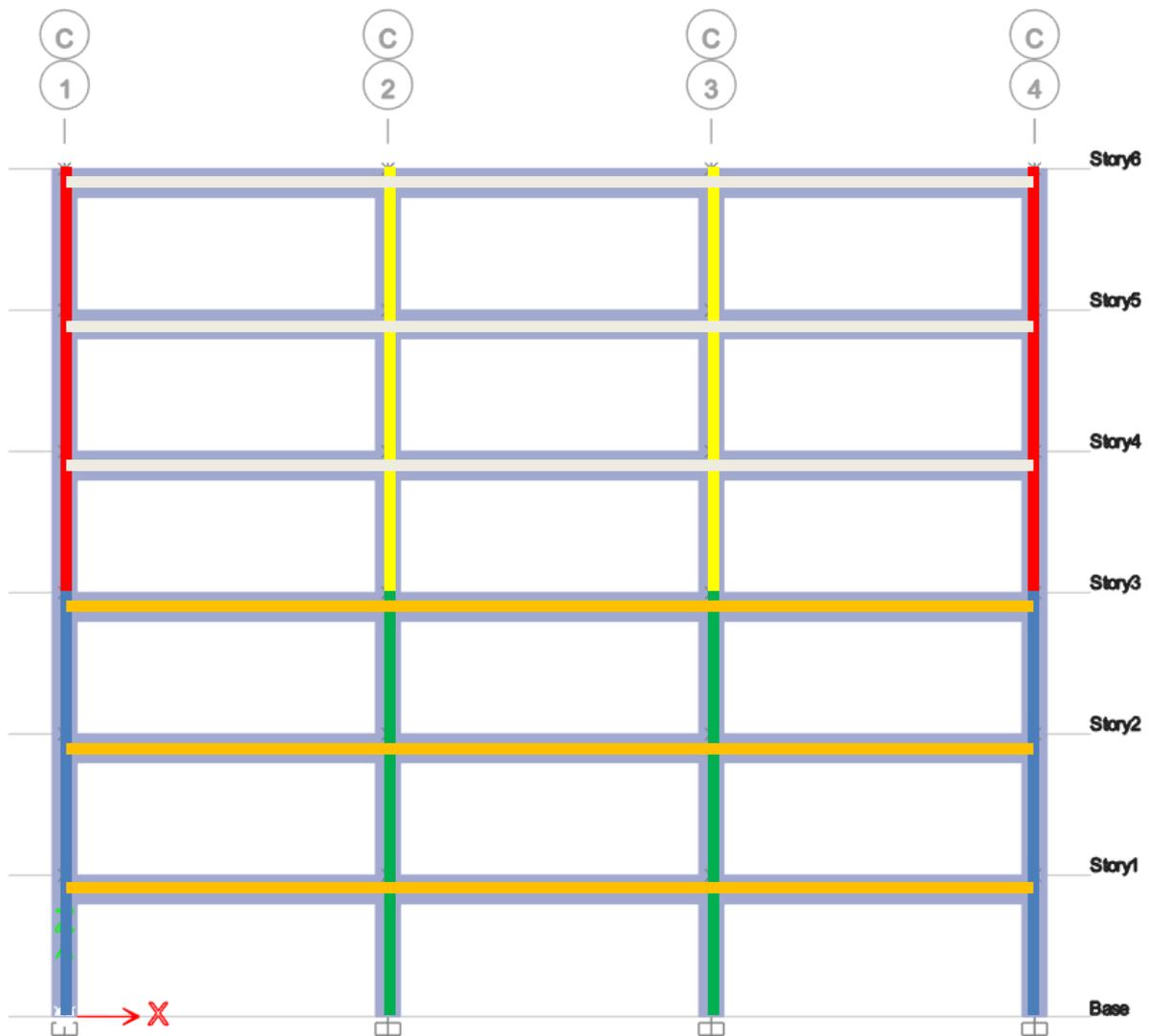


Figura 4. Modelo computacional en Etabs. Coloreado por elemento tipo.

Las propiedades como el periodo fundamental y las participaciones de masa para cada modo son iguales para los diferentes niveles de ductilidad, en la Tabla 2 se listan estos datos resultantes. El

efecto de la ductilidad y de la intensidad de las diferentes Zonas sísmicas se puede observar en el cortante basal de la estructura. En la Tabla 3, se muestran los cortantes basales para cada uno de los modelos a analizar, como se puede observar la diferencia de magnitud en los cortantes entre el modelo con ductilidad alta y el de ductilidad baja es casi de 3 a 1. Cabe mencionar que los cortantes basales en los tres casos son mayores al mínimo según la norma.

Tabla 2. Resultados del análisis modal.

Modo	Periodo [s]	Participación de masa
1	1.229	0.820
2	0.391	0.103
3	0.218	0.041
4	0.145	0.022
5	0.108	0.011

Tabla 3. Cortante base para los diferentes niveles de ductilidad.

	Mexicali
Ductilidad Baja	144.59 Ton
Ductilidad Media	98.07 Ton
Ductilidad Alta	59.68 Ton

Los requisitos que dependen del nivel de ductilidad están estipulados en las NTC y abarcan requisitos geométricos de la sección de concreto, disposición del armado y de resistencia. En la figura 5 se muestra la cantidad de acero, en kg/m, para cada caso especificado y para cada tipo de elemento. En la figura 6 se comparan los costos asociados con los materiales de los elementos, tomando un costo de \$3500 MXN por metro cúbico de concreto y \$21 MXN por kilogramo de acero ya habilitado.

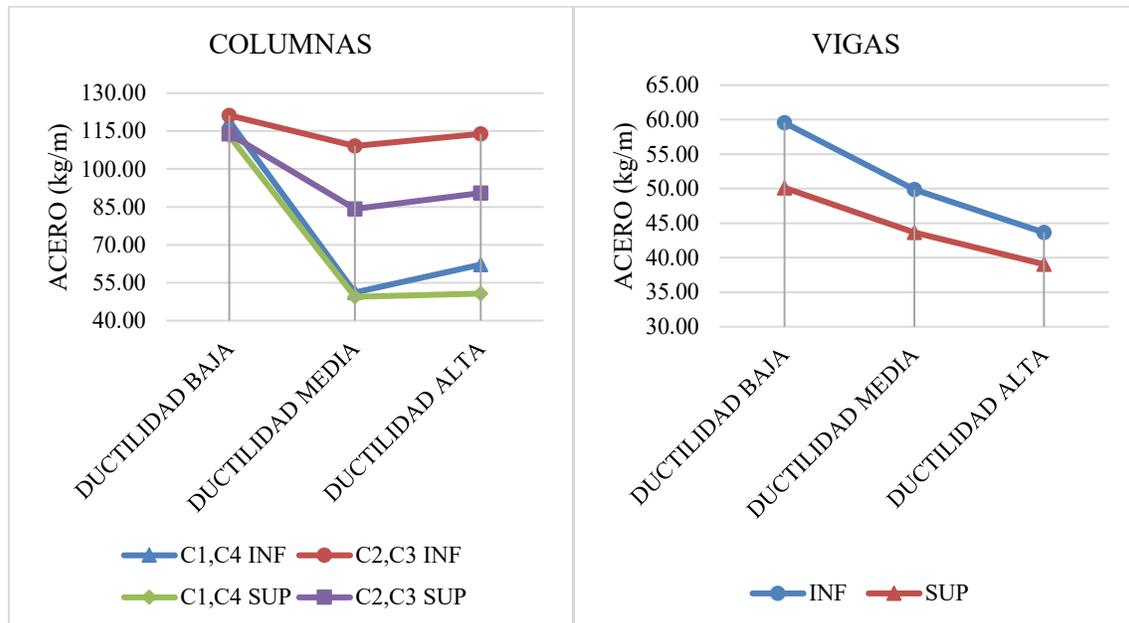


Figura 5. Cantidades de acero para columnas y vigas.

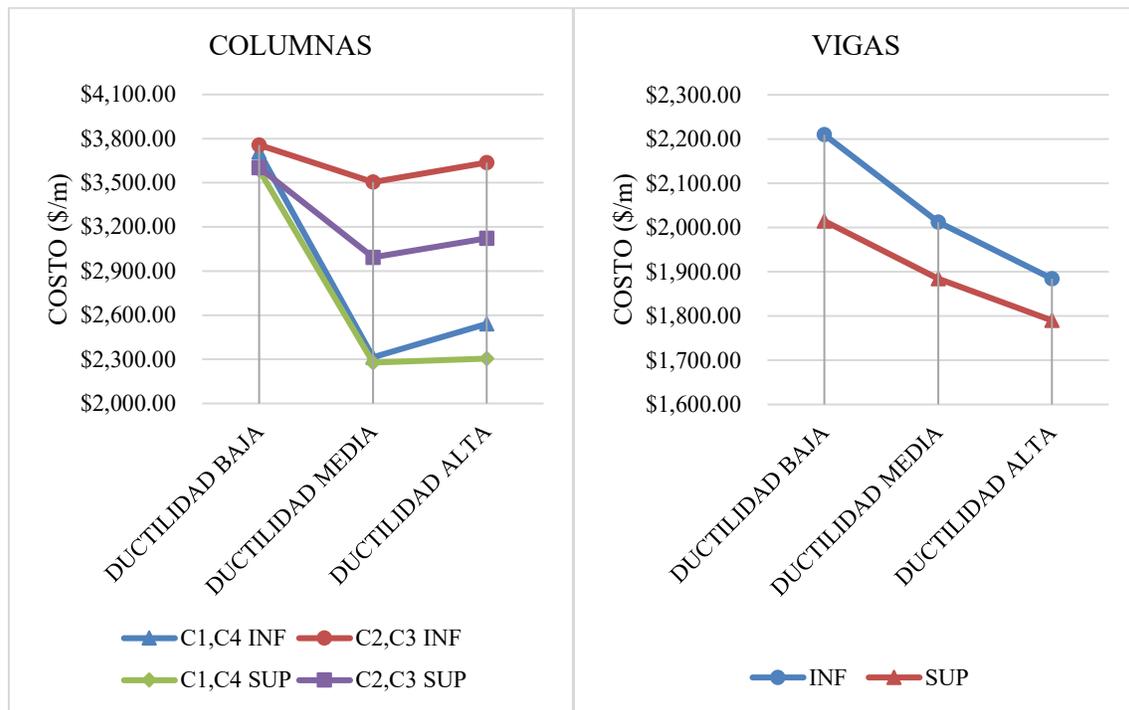


Figura 6. Costos asociados para columnas y vigas.

## 5 CONCLUSIONES

Para el caso de estudio se puede observar como el costo en las vigas es muy similar siendo mayor el de ductilidad baja puesto las fuerzas por sismo son mayores y los requisitos de armado por ductilidad en ocasiones resultan redundantes, ya que por temas constructivos ya se cumplen con ciertos requisitos, por ejemplo el acero para momento positivo en los extremos se cumple dado que es común indicar alrededor del 50% en armado corrido y el 50% restante en bastones, asimismo con el momento negativo, se acostumbra a dejar varillas corridas al centro del claro para el amarre de los estribos.

En columnas, sin embargo, para el caso de estudio, se nota el inicio de un cambio de la tendencia entre la ductilidad media y alta tanto para el costo como para las cuantías de acero de refuerzo, puesto los requisitos para ductilidad son más demandantes. Principalmente para cumplir la condición de columna fuerte-viga débil que se debe cumplir en todos los casos, aumentando el área de acero hasta un 340%; además que para el caso de ductilidad alta se debió aumentar la resistencia a compresión del concreto en las columnas inferiores centrales para cumplir con el criterio geométrico que establece que el área bruta de la columna debe superar  $P_u / 0.5f'_c$  para todo caso de carga, es decir, las columnas se ven afectadas aunque la combinación sísmica no sea la más crítica.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que el nivel de ductilidad óptimo para un edificio depende de las fuerzas sísmicas actuantes. Entre mayores sean convendrá utilizar un mayor nivel de ductilidad. Sin embargo, a pesar de que el caso de estudio está en la zona de alta actividad sísmica, los requisitos de ductilidad alta no fueron los mejores. Esto debido a que el edificio de estudio se



puede clasificar entre baja y media altura y se estudió el caso para una zona hipotética con suelo tipo 1. Por lo que un edificio más alto, más irregular o en una zona con suelo más blando aunque se encuentre en una zona sísmica de menor riesgo puede resultar conveniente diseñarlo con los parámetros de ductilidad alta.

## 6 BIBLIOGRAFIA

CDS-MDOC (2015). Capítulo de Diseño por Sismo del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad.

NTC CDMX (2017). Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México. Gaceta Oficial 15 de diciembre 2017.