

Análisis comparativo del diseño de edificaciones mediante el método de los esfuerzos de trabajo (Allowable Stress Design Method), y el método de la resistencia ultima (Load Resistance Factor Design) de acuerdo a lo establecido en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

/Comparative analysis of building design with ASD (Allowable Stress Design) and LRFD (Load Resistance Factor Design) methods, according seismic resistance rules of Colombia (NSR-10).

Francisco José Restrepo Albarello¹, Hernando Restrepo Huelgos²

¹ M.Sc. Ingeniería estructural y de la construcción, Docente Catedrático de la Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia, ingfrestrepa@gmail.com

² Candidato a Master en Estructuras Metálicas y Mixtas, Docente Catedrático de la Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia, hrestrepoh@ut.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN DEL ARTÍCULO: 26/05/2016 FECHA DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO: 01/09/2016

RESUMEN

Se realizó un análisis comparativo de métodos de diseño de edificaciones entre los cuales se encuentran el método elásticos y de resistencia ultima ASD y LRFD planteados o permitidos en la normativa colombiana de construcciones sismo resistentes, NSR-10, con el fin de determinar, dado que uno de ellos se considera obsoleto y ha sido eliminado de otras normativas a nivel mundial como lo es el método ASD, o elástico. Con el cual se logra establecer las mayores cantidades de materiales y los sobre costos que este método conllevarían en los distintos proyectos de edificaciones.

PALABRAS CLAVES

Método elástico, método de resistencia ultima, diseño de edificaciones, comparativo de diseños.

ABSTRACT

A comparative analysis of the methods to design buildings was achieved with ASD and LRFD, which are included into the rules of seismic resistance in Colombia (NSR-10), intended to determine the viability of using neither one nor another, and to assess materials quantities and costs of buildings, to stablish which method would be the best to design the safety and low costs structures.

KEYWORDS

Elastic method, breaking or ultimate strength, building design.

INTRODUCCIÓN

El uso de materiales artificiales para la construcción proviene probablemente desde el inicio de las primeras civilizaciones, cuando la necesidad de satisfacer sitios de habitación duraderos, resistentes y que suplieran sus necesidades de confort los llevó a desarrollar mejores métodos constructivos, empezando así a aparecer los primeros materiales cementantes, que junto con rocas u otros elementos permitían dar forma a su imaginación [1].

La utilización del material más relevante de la construcción de los últimos siglos denominado concreto armado u hormigón armado, empezó a principios del siglo XIX, cuando el británico Joseph Aspdin en (1824) obtuvo la patente del Cemento Portland, cuyo uso se afianzó con la invención del concreto reforzado, lo cual se le atribuye a Jack Monier, un jardinero parisiense, quien en 1861 utilizó un armado de alambres de acero para reforzar un jarrón que fabrico con mortero de cemento, apareciendo así entonces las primeras sinergias de los dos materiales [2]. Del mismo modo en que apareció la utilización del hormigón armado, aparecieron múltiples

teorías que trataron de brindar una explicación matemática del comportamiento físico de estos materiales al momento de ser expuestos a diferentes solicitaciones, como lo es la flexión de distintos elementos, pero fue solo hasta el año 1938 cuando los códigos rusos, y posteriormente los códigos Ingleses y Americanos, en el año 1956, que implementaron un método denominado de esfuerzos admisibles, o ASD por sus siglas en inglés (Allowable Stress Design), el cual consiste en estimar las cargas que actúan sobre una estructura y posteriormente determinar las proporciones de materiales necesarios para no sobre pasar las tensiones admisibles de los mismos. Estas tensiones admisibles se estipulan dentro del comportamiento elástico de los materiales por lo que el método también se denomina método elástico [3].

Por otra parte en los últimos 20 años del siglo XX, los códigos, principalmente los europeos y posteriormente los códigos americanos, introdujeron un método conocido como de estados límites de resistencia o de resistencia ultima, el cual no trabaja en los rangos elásticos del material, sino que considera su resistencia teórica máxima, y el factor de seguridad no se obtiene de reducir la resistencia del material sino de considerar la mayor carga probable mediante factores de mayoración de las cargas, por lo que se conoce también como el método LRFD por sus siglas en inglés (Load Resistance Factor Design) [4].

Este método denominado de resistencia última, es limitado por el código de construcción sismo resistente de Colombia NSR-10, y es presentado en él como el método de la resistencia, dado que se busca garantizar la seguridad de los usuarios u ocupantes y no se permite en el diseño someter al elemento a esfuerzos que lo lleven a desarrollar la resistencia ultima, sino valores inferiores a esta, ya sea refiriéndose a la resistencia de vigas, a la resistencia de columnas, a la resistencia al cortante u otras [5].

En Colombia la normativa que reglamenta el diseño y la construcción sismo resistente, el código NSR-10, se basa en la normativa ACI (American Concrete Institute), la cual contempla diferentes metodologías de diseño, como lo son la de diseño elástico o ASD y la de diseño por resistencia LRFD. La primera referenciada en el apéndice C-G, con aplicaciones o especificaciones de diseño de lo referido en el título C, y la segunda, el método LRFD, dado que es el actualmente más utilizado

en Colombia, se explica a lo largo del Título C de la NSR-10. Por esta razón es importante establecer cuál es la relevancia para que la norma implemente ambas metodologías, y su implicación en el diseño y las edificaciones. [6]

Por el motivo anteriormente expuesto es necesario realizar entonces un análisis comparativo basándose en el comportamiento de distintas tipologías de edificaciones bajo los conceptos de combinaciones de cargas y esfuerzos admisibles de los materiales, de acuerdo en lo establecido en la norma NSR-10, para determinar la influencia de estos en las edificaciones, en el diseño y la valides o no de mantener un método desechado en algunas normativas, aun presente en la normativa colombiana.

En primera medida, establezcamos lo que se define como el método elástico, el cual consiste en diseñar los elementos para que de una serie de cargas combinadas los elementos diseñados trabajen dentro del rango elástico. De manera matemática se puede representar como [7]:

$$R_a \leq R_n / \Omega \quad (1)$$

Donde:

R_a: Es la resistencia requerida determinada por medio del análisis de una serie de combinaciones de carga. Las combinaciones de cargas son propuestas por las especificaciones AISC en el método ASD, las cuales se detallaran más adelante.

R_n: Es el esfuerzo nominal de los materiales, los cuales son estandarizados y propuestos por los proveedores y/o comprobados en base a diferentes pruebas de materiales.

Ω: Es el factor de seguridad que hace que los materiales trabajen dentro de sus estados límites. Estos factores de seguridad son estandarizados por el AISC, los cuales tiene diferentes valores dependiendo de la acción interna al que esté sometido el elemento.

Las combinaciones de carga para este método quedan expuestas en el título B.2.3 "COMBINACIONES DE CARGA PARA SER UTILIZADAS CON EL MÉTODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO O EN LAS VERIFICACIONES DEL ESTADO LIMITE DE SERVICIO", así como también se

encuentran estipulados los esfuerzos admisibles en el Apéndice C-G de la Nsr-10 [8].

De otro lado, tenemos el método de la resistencia que se basa en diseñar los elementos de una estructura para que resistan cargas mayores a las de servicio, de manera que se considera la resistencia o la condición de falla. En forma matemática la relación que describe el método es la siguiente [9]:

$$R_u \leq \Phi R_n \quad (2)$$

Donde:

R_u : Es la carga factorizada, la cual es la suma de todas las cargas de servicio que resistirán los miembros. Cada una de estas cargas es multiplicada por su propio factor de carga, los cuales son valores mayores que la unidad (a excepción de la combinación de carga seis donde relacionan la carga muerta con la sísmica o de viento), y estos son propuestos por el AISC en su metodología LRFD.

R_n : Es la resistencia nominal de los materiales, la cual es estandarizada por sus proveedores y verificada por pruebas de materiales.

Φ : Es el factor de resistencia dado por las especificaciones para cada estado límite, los cuales son generalmente valores inferiores a la unidad.

De manera general este método trata de que los miembros resistan como cargas máximas aquellas que no hagan alcanzar sus estados límites de falla. El objetivo principal de este método es proveer una confiabilidad uniforme a la estructura bajo varias consideraciones de carga [10].

Por el método elástico o de los esfuerzos de trabajo, el diseñador obtiene los esfuerzos y deformaciones que se presentan en una estructura sometida a las cargas para las cuales se diseña, suponiendo parámetros elásticos de los materiales.

Por el método de la resistencia última, también llamado solamente método de la resistencia, el diseñador podrá estudiar el comportamiento de la estructura en el instante de falla; por tanto, si este instante se hace lo suficientemente mayor que el de su trabajo para las cargas que soporta normalmente, se podrá tener un diseño con factores de seguridad apropiados [11]. Para este método las combinaciones

de carga con los distintos valores de mayoración de las mismas se encuentran estipulados en el artículo B.2.4 “COMBINACIONES DE CARGAS MAYORADAS USANDO EL MÉTODO DE RESISTENCIA”, sin embargo los esfuerzos de resistencia que se le pueden atribuir a cada material van estipulados por el fabricante mas no restringidos por la norma [12].

METODOLOGÍA

Los edificios que se diseñaron para llevar a cabo el análisis y comparación de costos fueron de tipo residencial. Tomando este tipo de edificación dado que es el tipo de edificación más usual al momento de diseñar edificaciones en Colombia, y teniendo en cuenta las necesidades de vivienda dentro del país. Para este análisis se plantean 3 tipos de edificación con el fin de identificar la variabilidad de los elementos estructurales, tanto en el diseño mediante el método ASD y LRFD para una edificación, como la variabilidad de estos a medida que aumenta la altura, por lo que los edificios son de 5, 8 y 12 pisos de altura, considerando además que este nivel de separación entre número de plantas en los edificios es lo suficientemente adecuado como para poder abarcar un amplio rango de edificaciones y poder obtener parámetros que nos sirvan para la comparación.

Las luces entre columnas se eligieron de tal manera que representen luces típicas que pueden ser encontradas dentro de edificaciones; las luces establecidas son de 5 metros para la dirección Y con un total de 6 vanos, obteniendo una longitud total de la edificación de 30 metros, y en la dirección X, luces de 6 metros y 5 vanos, obteniendo una longitud igual de 30 metros. Considerando estas un rango razonable para darnos diferencias en el comportamiento estructural de los edificios. Al dar estas luces entre columnas se busca también verificar cómo influye el crecimiento de las mismas en el comportamiento global de la estructura y cómo en el costo del edificio.

Por otra parte, cada edificación fue diseñada suponiendo losas nervadas armadas en la dirección X, la luz más larga; en la dirección Y, la cual es la dirección más corta, y finalmente una losa maciza armada en las dos direcciones.

Edificio tipo 1

Consta de luces entre columnas de 5 y 6 metros en alturas de 5, 8 y 12 pisos, armado con losa nervada en la dirección larga o dirección X, con 6 vanos en la dirección corta (Y) con luces de 5 metros, y 5 vanos en la dirección larga (X), con luces de 6 metros.

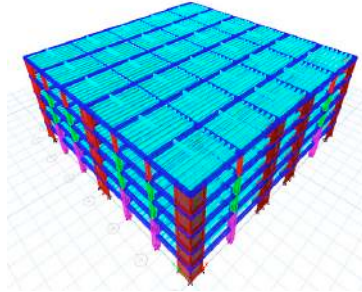


Figura 1. Esquema edificio de 5 niveles armado en la dirección larga. Fuente: Autores

Edificio tipo 2

Consta de luces entre columnas de 5 y 6 metros en alturas de 5, 8 y 12 pisos, armado con losa nervada en la dirección corta o dirección Y, con 6 vanos en la dirección corta (Y), con luces de 5 metros, y 5 vanos en la dirección larga (X), con luces de 6 metros.

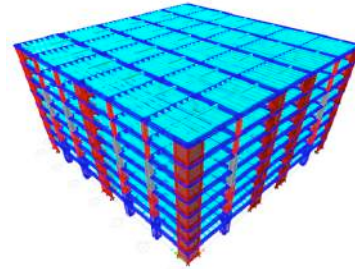


Figura 2. Esquema edificio de 8 niveles en armado en dirección corta. Fuente: Autores

Edificio tipo 3

Consta de luces entre columnas de 5 y 6 metros en alturas de 5, 8 y 12 pisos, armado con losa maciza, con 6 vanos en la dirección corta (Y) con luces de 5 metros, y 5 vanos en la dirección larga (X), con luces de 6 metros.

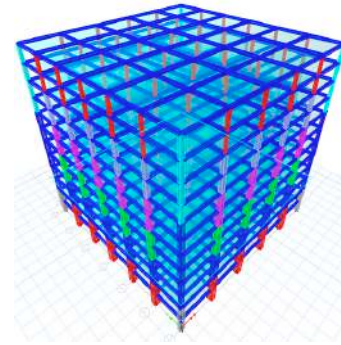


Figura 3. Esquema edificio de 12 niveles armado con losa maciza. Fuente: Autores

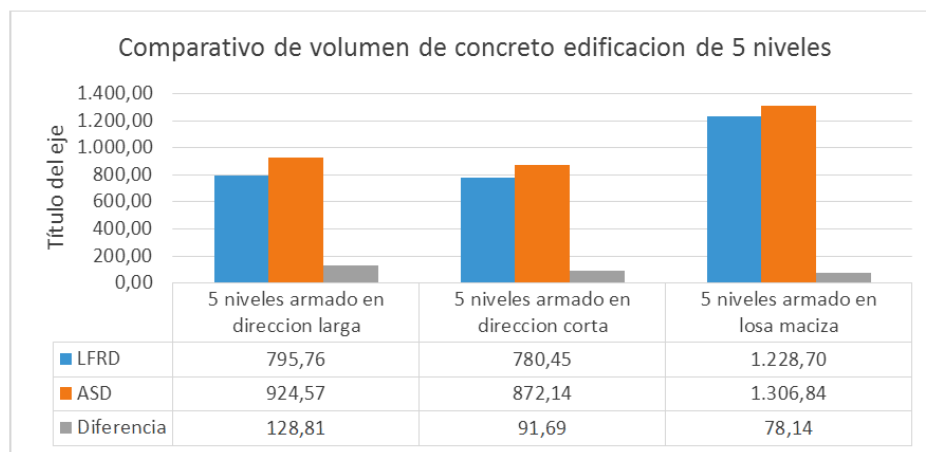


Figura 4. Comparativo de volúmenes de concreto edificio de 5 niveles. Fuente: Autores

El análisis y diseño estructural de un edificio tiene gran importancia a la hora de plantear un proyecto. Sin embargo, tiene igual importancia el factor económico, ya que de este depende en gran medida la viabilidad del proyecto, por lo que es necesario definir los costos de tal manera que la solución estructural escogida sea la más eficiente.

Dentro del análisis económico para estructuras existen dos grandes aspectos a tomarse en cuenta: a) Cantidades de materiales de construcción y b) Seguridad estructural. Estos aspectos serán la base para la comparación de las alternativas y la posterior elección del sistema más adecuado.

Los análisis de las distintas edificaciones se realizaron mediante software de diseño estructural reconocido y bastante utilizado, cuyos resultados fueron revisados en varias ocasiones para llevar el diseño de los elementos estructurales al límite necesario para cumplir los requerimientos expuestos en la normativa, NSR-10, tanto de

flexión de elementos horizontales, como de derivas de los elementos verticales, con el objeto de optimizar las secciones de estos elementos, y por ende la cantidad de materiales, brindando así igualdad de condiciones en los diferentes diseños.

RESULTADOS

De este análisis de cantidades se puede realizar un primer análisis comparativo de los volúmenes totales de concreto de cada edificación, referente a cada uno de los métodos.

El primero que se presenta es el de los edificios de 5 niveles, armados en la dirección corta, la dirección larga y el armado en dos direcciones mediante la utilización de una losa maciza. En la siguiente figura se observan tres columnas en las cuales se presentan las cantidades de concreto para cada método y la diferencia entre ellas.

En esta gráfica se observa que las estructuras de

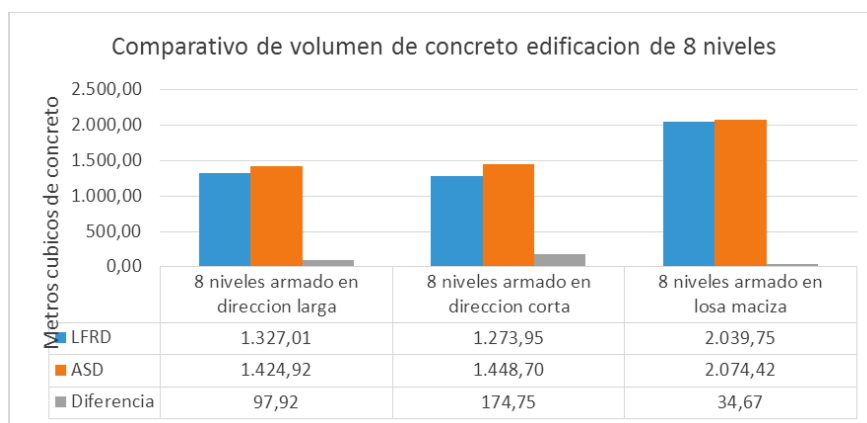


Figura 5. Comparativo Volumen de concreto edificación de 8 Niveles. Fuente: Autores

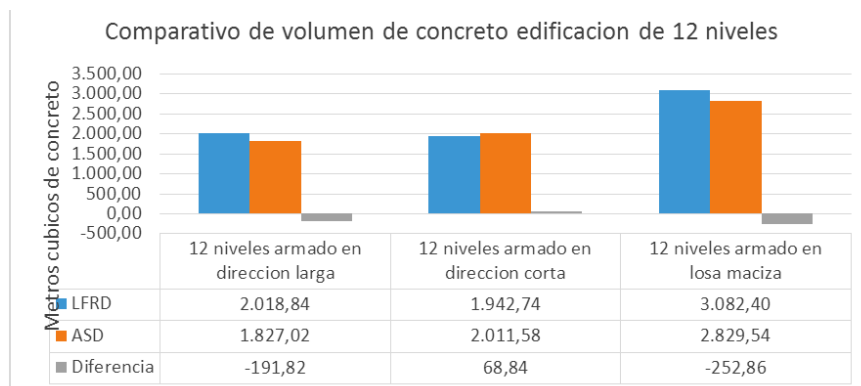


Figura 6. Comparativo de volúmenes de concreto edificación de 12 niveles. Fuente: Autores

concreto diseñadas mediante la metodología de los factores de carga y de resistencia LRFD requieren un menor volumen de concreto; así mismo se observa que la metodología o armado más favorable es el de losas nervadas armadas en la dirección corta, lo cual presenta cierta lógica desde el punto de vista de que las cargas por peso propio de la edificación son menores y que la distribución de cargas y los esfuerzos que estas generen en los elementos son más fácilmente distribuibles en la dirección corta.

Adicionalmente se observa una tendencia a reducir la diferencia en volúmenes de concreto a medida que la longitud desde los puntos de aplicación de la carga hasta los elementos de transmisión de cargas sea menor, es decir que en las edificaciones diseñadas en una sola dirección y con el sentido más largo, presentan mayor diferencia en el volumen total de concreto, que la estructura armada en dos direcciones con losa maciza.

Del mismo modo, analizando las edificaciones de 8 niveles se obtiene la siguiente gráfica (ver figura 6)

En esta gráfica se observa que la tendencia continúa en relación a la edificación anterior; las edificaciones armadas en una sola dirección y en la dirección más corta requieren menor volumen de concreto que las armadas en la dirección larga, aunque en este la diferencia de volúmenes de concreto pasa a ser mucho menor que en el edificio de 5 niveles, del orden del 7%, a diferencia del esquema anterior donde alcanzaba un 14%. Por otra parte la edificación armada en la dirección más corta, mantiene su comportamiento de volúmenes de concreto con una diferencia promedio del 12%, tanto para edificios de 5 niveles como para el de 8 niveles.

Adicionalmente se observa que la edificación que menor diferencia da respecto a los dos métodos es la de losa maciza armada en las 2 direcciones donde la diferencia se reduce a tan solo un 2%, esto al parecer es reflejo de los modos de vibración, o comportamientos sísmicos que pueda llegar a tener la estructura, la cual al momento de diseñar es referenciada básicamente por las cargas sísmicas que para ambas edificaciones (ASD y LRFD) son iguales.

Finalmente, las edificaciones de 12 niveles presentan una variabilidad dispereja que no concuerda con la tendencia de los edificios anteriores, por lo que no se considerarían

coherentes los datos al momento de un comparativo cuantitativo. Al hacer un análisis más detallado de los modelos, esto podría deberse al efecto de no poderse definir un rango uniforme de derivas, por lo que los volúmenes de concreto estarían directamente relacionados con los efectos sísmicos con el objeto de brindar mayor rigidez a la estructura, por lo cual la variabilidad de estos volúmenes en estructuras de gran altura, estarían más relacionadas con los efectos sísmicos que con los casos de cargas y resistencias otorgadas a los materiales, los cuales influirían al momento de definir los aceros de refuerzo de elementos verticales.

Adicionalmente a estos comparativos de volúmenes de concreto que se logró establecer que estarían referenciados con parámetros sísmicos, mas no de combinaciones de cargas gravitatorias o de uso, ni de las resistencias permitidas al momento de un diseño, es necesario realizar un análisis de los aceros de refuerzo de los elementos que componen la estructura.

Para el comparativo de las cantidades de acero se analizaron los elementos horizontales, los cuales están directamente relacionados con los materiales empleados, siendo además estos elementos para los cuales aplican las diferentes metodologías de diseño.

El diseño de los aceros de refuerzo obedece a muchas variables, dentro de las cuales están las limitaciones y especificaciones técnicas de la norma, tales como la ubicación de traslapes, diámetros mínimos y demás requerimientos que intervienen directamente en la escogencia del refuerzo y su distribución real en los elementos, razón por la cual se podría perder la referencia real de lo que son los aceros solicitados por los métodos de cálculo (ASD y LRFD).

Por este motivo se planteó un modelo que comparara las áreas de refuerzo reales solicitadas en cada metodología de diseño, para lo cual se planteó realizar el siguiente análisis:

Determinar las áreas de acero obtenidas en los puntos de momentos máximos de los elementos, ya sean aceros superiores o inferiores, expresándolas en función de A_s , o área de acero, la cual es la referencia real de cada método, y a partir de las cuales se procederían a armar los distintos elementos, logrando así un comparativo más exacto de la dos metodologías mencionadas.

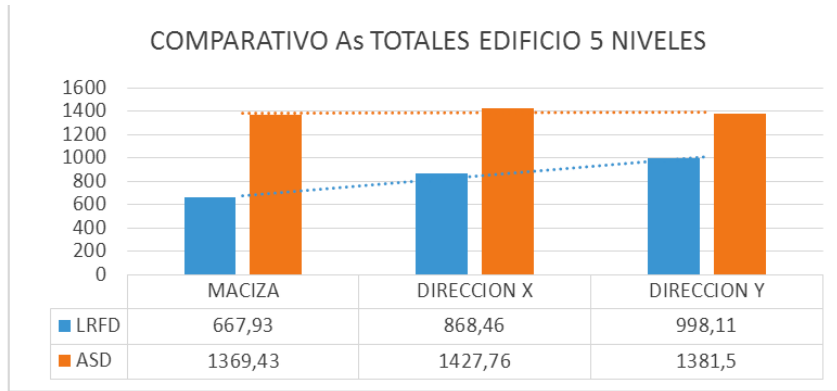


Figura 7. Gráfica comparativa de As para edificios de 5 niveles. Fuente: Autores.

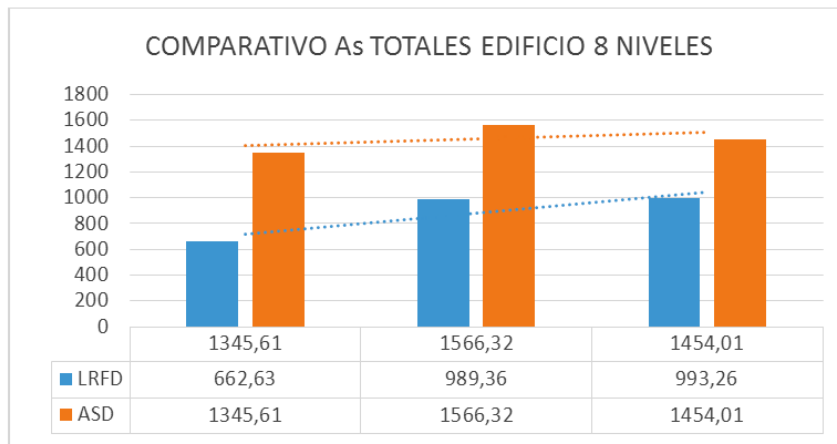


Figura 8. Gráfica comparativa de As para edificios de 8 niveles. Fuente: Autores.

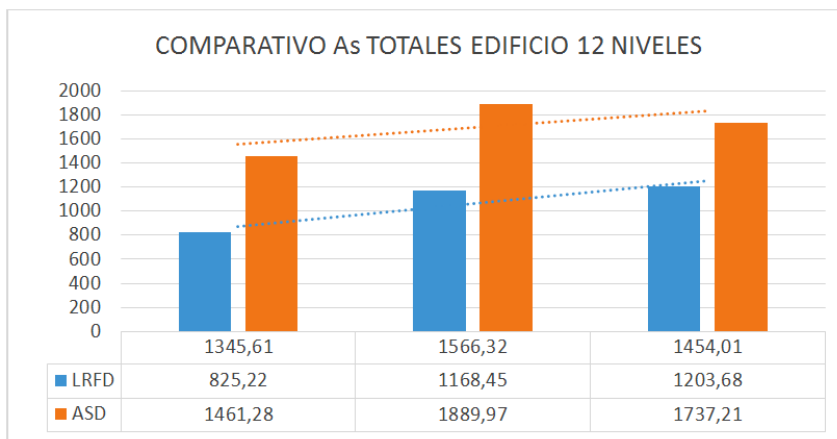


Figura 9. Gráfica comparativa de As para edificios de 12 niveles. Fuente: Autores.

Para realizar este análisis con cierta agilidad sin sacrificar su confiabilidad fue necesario determinar una muestra estadística de elementos a analizar, lo cual se hizo mediante la fórmula [13].

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{((n - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p))} \quad (3)$$

Donde:

n = el tamaño de la muestra que queremos calcular

N = tamaño del universo

Z = es la desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado. En función del nivel de confianza que busquemos,

e = es el margen de error máximo admitido
 p = es la proporción que esperamos encontrar.

De la primera comparación realizada referida a la edificación de 5 niveles, y teniendo en cuenta la descripción estadística anteriormente mencionada, se obtiene un listado de áreas de acero As requeridas por momentos máximos positivos y momentos máximos negativos.

Después de la realización del procedimiento descrito se obtuvieron los siguientes valores totales para las edificaciones, los cuales sirvieron para inferir una tendencia de cuánto podría ser el área de acero total de la edificación, ya que para cada una de las 6 edificaciones se tomaron exactamente los mismos elementos estructurales obedeciendo a un análisis estadístico que proporciona una confiabilidad del 95% de los resultados obtenidos, lo cual se considera aceptable para una primera etapa de investigación, que es el objetivo de este proyecto.

Tabla 1. Cantidades totales de As para el edificio de 5 niveles. Fuente: Autores de proyecto.

5 NIVELES							
	LRFD				ASD		
	MACIZA	DIRECCION X	DIRECCION Y		MACIZA	DIRECCION X	DIRECCION Y
PISO 1	89	99,51	182,79	PISO 1	188,09	160,13	186,38
PISO 2	214,83	209,52	320,07	PISO 2	456,32	471,88	474
PISO 3	102,7	111,08	196,67	PISO 3	181,4	129,17	179,2
PISO 4	195,2	347,35	231,98	PISO 4	445,4	509,82	443,7
PISO 5	66,2	101	66,6	PISO 5	98,22	156,76	98,22
TOTAL	667,93	868,46	998,11	TOTAL	1369,43	1427,76	1381,5

Con base en estos valores obtenidos de As para cada edificación y cada método de diseño se plantearon las gráficas a continuación expuestas, que permitieron determinar una tendencia de comportamiento con la cual realizar el análisis comparativo.

De esta gráfica se establecieron las siguientes conclusiones: En primera instancia, medidas las cantidades de acero de refuerzo, As, las edificaciones diseñadas con el método LRFD presentan una disminución significativa de las cantidades de este; también se observa que al diseñar por el método ASD no es relevante la dirección de diseño o de armado de las losas, pues se observa que el valor de As es muy similar para las 3 edificaciones.

Por otra parte el edificio de 8 niveles se analizó de la siguiente manera: es un edificio de 568 elementos a diseñar por lo que si mantenemos los valores de error y confiabilidad anteriormente

estipulados para el edificio de 5 niveles tendremos que la muestra debe ser de 83 elementos.

Realizando el mismo procedimiento descrito en las edificaciones de 5 niveles, se aplica el procedimiento de obtención de cantidades de As para los 6 edificios de 8 niveles y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 2. Cantidades totales de As para el edificio de 8 niveles. Fuente: Autores de proyecto.

8 NIVELES							
	LRFD				ASD		
	MACIZA	DIRECCION X	DIRECCION Y		MACIZA	DIRECCION X	DIRECCION Y
PISO 1	92,34	101,88	172,85	PISO 1	204,68	166,4	269,18
PISO 2	109,05	126,08	136,75	PISO 2	264,09	213,52	255,46
PISO 3	104,54	115,46	192,51	PISO 3	168,58	181,56	281,21
PISO 4	100,44	147,46	116,99	PISO 4	229,1	282,68	159,18
PISO 5	77,76	186,54	104,6	PISO 5	156,04	278,88	144,88
PISO 6	63	169,8	91,8	PISO 6	142,8	252,71	124,4
PISO 7	63	76,22	64,36	PISO 7	92,96	108,64	87,42
PISO 8	52,5	65,92	113,4	PISO 8	87,36	81,93	132,28
TOTAL	662,63	989,36	993,26	TOTAL	1345,61	1566,32	1454,01

De la misma manera, en función de estos resultados, se planteó una gráfica que permitió visualizar cuál es el comportamiento de las estructuras, con base en la solicitud de acero de refuerzo y se obtuvieron los siguientes resultados: (ver figura 8)

A partir de esta grafica se concluye que la tendencia de solicitud de As, para cada método se mantiene similar a la establecida en las edificaciones de 5 niveles. Las edificaciones diseñadas mediante la metodología LRFD son claramente más económicas que las edificaciones diseñadas por el método ASD, así como las variaciones de As para el método ASD, al variar la dirección de armado no son muy relevantes. Finalmente, la edificación que menor As solicitaría es la diseñada por el método LRFD armada en dos direcciones con losa maciza.

Por último, en el edificio de 12 niveles se tiene que son 852 elementos, por lo que la muestra se debería tomar de 87, pero para poder obtener valores de todos los niveles se opta por tomar un número mayor que generaría una confiabilidad más alta.

Realizando el procedimiento anteriormente descrito se obtiene entonces las siguientes cantidades.

Tabla 3. Cantidades totales de As para el edificio de 12 niveles. Fuente: Autores de proyecto.

12 NIVELES							
LRFD			ASD				
0	MACIZA	DIRECCION X	DIRECCION Y	0	MACIZA	DIRECCION X	DIRECCION Y
PISO 1	82,33	67,75	151,67	PISO 1	152,14	120,23	229,38
PISO 2	75,85	57,58	87,77	PISO 2	107,22	89,32	143,86
PISO 3	93,84	94,26	162,05	PISO 3	170,87	151,96	235,88
PISO 4	73,94	92,1	75,44	PISO 4	124,76	145,6	109,2
PISO 5	79,04	157,84	94,31	PISO 5	143,26	255,28	132,71
PISO 6	67,16	139,44	79,64	PISO 6	126,1	230,8	119,04
PISO 7	67,7	76,46	179,28	PISO 7	132,08	132,7	214,32
PISO 8	47,04	45	63,4	PISO 8	81,55	60,54	100,98
PISO 9	54	63,3	54	PISO 9	72	103,96	72
PISO 10	66,2	159,78	80,32	PISO 10	129,58	257,38	122,5
PISO 11	67,2	165,36	83,22	PISO 11	134,56	266,44	125,37
PISO 12	50,92	49,58	92,58	PISO 12	87,16	75,76	131,97
TOTAL	825,22	1168,45	1203,68	TOTAL	1461,28	1889,97	1737,21

Con base en estas cantidades se elaboró el siguiente gráfico comparativo. (ver figura 9)

De este gráfico se infirieron las siguientes conclusiones: En primera medida la edificación que menor As solicitaría es la diseñada por el método LRFD armada en dos direcciones con losa maciza, así como que las edificaciones diseñadas mediante la metodología LRFD son claramente más económicas que las edificaciones diseñadas por el método ASD. También se pudo colegir que la tendencia de solicitud de As, para cada método se mantiene similar a la establecida en las edificaciones de 5 y 8 niveles, y se observa que las variaciones de As para el método ASD, al variar la dirección de armado, no son muy relevantes.

CONCLUSIONES

Para estructuras de bajo nivel o menor número de pisos, cercanas a 5 niveles, la tendencia es favorable para la metodología de factores de carga y de resistencia LRFD, obteniéndose por éste método menores cantidades de acero y de concreto; así mismo se establece que para estas estructuras el diseño de las columnas no estaría relacionado solamente con las combinaciones de carga, si no con el comportamiento sísmico o de la dinámica estructural de la edificación.

Además, es claramente identificable que en la medida en que las condiciones de uso lo permitan, el sistema más favorable de armado de los diafragmas de entrepiso es armar en la dirección corta con losas aligeradas, pues este logra una reducción bastante apreciable de las cargas de peso propio de la edificación, además de facilitar la transmisión de las mismas a elementos principales, como vigas perimetrales y elementos verticales.

Finalmente se logró concluir que estas estructuras al encontrarse más cercanas al periodo de vibración del suelo solicitan una mayor rigidez ante la presencia de cargas sísmicas, ocasionando

un sobre costo de la edificación, por lo que en regiones que presenten las mismas condiciones de amenaza sísmica que Ibagué, es preferible diseñar estructuras que se alejen de este número de niveles, ya sea a un mayor o menor número de niveles.

Así mismo se logró establecer que para las edificaciones de 8 niveles es necesario realizar aportes a la rigidez lateral con pantallas de concreto reforzado o muros de corte, pero estos tienen una menor influencia sobre la estructura respecto a la anteriormente mencionada.

Sin embargo, la tendencia de menores cantidades u optimización del diseño, armando las losas en la dirección más corta se mantiene constante, lo cual es lógico dado que existe una mayor rigidización de la estructura, lo cual exige menos de los elementos verticales como columnas y pantallas, así como también los elementos horizontales como vigas y viguetas tienen una menor producción de momentos, o menores sollicitaciones.

Finalmente, para las edificaciones de 12 niveles, los volúmenes de concreto no se consideran consistentes con esta investigación, pues la definición de secciones de concreto, se relaciona principalmente con eventos sísmicos, mas no de diseño de elementos.

Existe una tendencia clara en los análisis realizados y es el hecho de que los edificios de losas macizas solicitan mayor volumen de concreto, lo cual se justifica en dos motivos, el primero que las losas deben tener un espesor alto respecto de las aligeradas, lo que ocasiona un aumento de volúmenes de concreto, conllevando adicionalmente a que las masas de las edificaciones aumenten y la rigidez de estos elementos sea más alta, ocasionando mayor sollicitación de rigidez para los elementos verticales, rigidez que se obtiene aumentando secciones.

En último término, se observó que el método LRFD o método de las resistencias, es mucho más económico que el método ASD, pues las variaciones de cantidad de concreto y de acero son significativas.

REFERENCIAS

- [1] J. R. Niño Hernández, 'Tecnología del Concreto.' Vol. Tomo 1. Bogotá: ASOCRETO, 2010.

- [2] Á. f. Nistal Cordero, M. j. Retana Maqueda, & T. Ruiz Abrio, 'El Hormigon: Historia, Antecedentes en Obras y Factores Indicativos de su Resistencia.' *Revista de ciencia, Tecnologia y Medio Ambiente*, 2012.
- [3] O. Giraldo Bolivar, 'Fundamentos del Diseño de Estructuras de Hormigón 1.' *Apuntes de Clase*. Bogotá, Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2003
- [4] J. Mc Cormac, & Brown , R. *Diseño de Concreto Reforzado*. Mexico D.F.: Alfaomega Grupo Editorial S.A, 2011
- [5] R. Rochel Awad, *Hormigon Reforzado*. Medellin: Universidad EAFIT, 2007
- [6] J. I. Segura Franco, *Estructuras de Concreto I*. Bogotá: Univrersidad Nacional de Colombia, 2011.
- [7] F. Lamus, & S. Andrade, 'Flexión en vigas de concreto reforzado: método elastico (ASD).' *Apuntes de Clase*. Bogotá, Bogotá D.C., Colombia: Ediciones Unisalle, 2015
- [8] NSR. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. *NSR-10*. Bogotá, Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (26 de marzo de 2010).
- [9] R. Rochel Awad, *Hormigon Reforzado*. Medellin: Universidad EAFIT, 2007
- [10] J. I. Segura Franco, *Estructuras de Concreto I*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2011
- [11] J. Mc Cormac, & R. Brown , *Diseño de Concreto Reforzado*. Mexico D.F.: Alfaomega Grupo Editorial S.A, 2011.
- [12] F. Lamus, & S. Andrade, 'Flexión en vigas de concreto reforzado: método elastico' (ASD). *Apuntes de Clase*. Bogotá, Bogotá D.C., Colombia: Ediciones Unisalle, 2015
- [13] C. Ochoa, (2013, Nov. 11). *¿Qué Tamaño de Muestra Necesito?*. [On Line]. Available: <http://www.netquest.com/blog/es/que-tamano-de-muestra-necesito/>