

Comparación de Eficiencia en Cuanto a Comportamiento y Costo Entre el Diseño ASD y LRFD para el Edificio UNILOPEZ

*Leonardo Veras Meléndez
Ingeniería Civil
Dr. Alberto Guzmán
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Abstracto — *Este documento consistió en el análisis estructural del edificio de oficinas UNILOPEZ (estructura de acero), mediante el uso de un programa de computadoras llamado ETABS, el cual se especializa en el análisis y diseño interactivo de edificaciones. Se consideraron los códigos UBC 97 y ASCE 7-02. Dos diseños por separado fueron realizados tomando el criterio LRFD y ASD provenientes del AISC 13^{ra} Edición. Mediante los resultados obtenidos se determinó que el diseño utilizando el criterio ASD presentó un incremento de aproximadamente 14% mínimo en el costo de la estructura y diferencias de desplazamientos entre un piso y otro, que fluctuaron entre un 2% y un 78% más (ver Tabla 5) en relación a los resultados obtenidos al usar el criterio LRFD.*

Términos Claves — *Allowable Strength Design, American Institute of Steel Construction, Estructuras de Acero, Load and Resistance Factor Design.*

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, las etapas de diseño y construcción de estructuras han sido moldeadas continuamente a raíz de los resultados de experimentos, cálculos y sucesos, descritos tanto analíticamente como por las experiencias vividas de quienes ven la necesidad de mejorar la práctica de esta necesaria profesión, para el bien de los que consumimos de ella, la humanidad. Para ello se han implementado una serie de códigos o normas que proveen al ingeniero estructural de parámetros o estándares a seguir, utilizando a su vez el pensamiento crítico para cada circunstancia. El

diseño y análisis estructural, cuenta con un sin número de códigos, de los se tomarán los siguientes como criterio de análisis y diseño de la edificación UNILOPEZ: el Uniform Building Code 97, AISC LRFD, AISC ASD, ASCE std 7-02, entre otros.

El edificio de oficinas, UNILOPEZ, estará localizado en la carretera estatal PR 199, Cupey, Puerto Rico. Dicho edificio constará de cinco niveles (de 12'-6" de altura de entre pisos), uno de ellos semi soterrado.

La estructura utilizará pórticos de acero con conexiones ordinarias de momento para el sistema de cargas gravitatorias, un sistema de arriostamiento diagonal y un núcleo de concreto reforzado para el sistema resistente a cargas laterales. Viguetas de acero como sistema secundario de transferencia de cargas gravitatorias, las cuales recibirán las cargas provenientes de las losas compuestas por planchas de metal corrugado y hormigón armado.

Este trabajo surge por la incertidumbre vivida como ingeniero estructural para escoger el criterio de diseño costo efectivo más adecuado, que nos provea a su vez el comportamiento esperado en la estructura en particular. Además, entender la necesidad de mantener dos diferentes criterios de diseño como lo ha hecho la entidad que estandariza el diseño de acero estructural, AISC. Para ello analizaremos y luego diseñaremos la estructura que nos compete con dos diferentes criterios: "Allowable Strength Design" y "Load and Resistance Factor Design", para los cuales presentaremos los resultados del diseño, el comportamiento final de cada uno de ellos y los costos de construcción envueltos.

OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio se concentran en:

- Analizar una edificación de acero estructural cumpliendo con las reglamentaciones y especificaciones de construcción que rigen en Puerto Rico;
- Presentar los resultados de la utilización de dos diferentes criterios de diseño, ASD y LRFD, en esta edificación;
- Mostrar las ventajas y desventajas envueltas desde el punto de vista de comportamiento, eficiencia y costos;
- Esbozar un pensamiento crítico en cuanto a la necesidad que embarga el AISC de mantener o reafirmar dos filosofías diferentes de diseño en la actualidad.

CONSIDERACIONES DE DISEÑOS DE ESTRUCTURAS DE ACERO

Las edificaciones, ya sean de concreto reforzado, acero estructural u otro material, requieren de un diseño estructural para determinar las proporciones y dimensiones globales de la estructura así como también las secciones de los miembros individuales.

El ingeniero estructural debe de proveer un diseño que garantice su auto sostenibilidad según las consideraciones de cargas previstas por este; las condiciones de servicio, comportamiento adecuado, y economía de la edificación tomando en cuenta directrices de apariencia arquitectónica ^[5].

Las estructuras de acero deben diseñarse y construirse de acuerdo con las especificaciones de un reglamento de construcción que contiene los requisitos relativos a seguridad y cargas a considerar, el cual deberá de estar amparado por la ley de la Ciudad y/o País en el que se ubicara dicha edificación. Los Estados Unidos y sus territorios están regidos por International Building Code (IBC), Uniform Building Code (UBC), American Society of Civil Engineering (ASCE), entre otros, según la localidad.

En contraste con los reglamentos de construcción, las especificaciones de diseño dan una guía más específica sobre el diseño de miembros estructurales y sus conexiones. Ellas presentan las directrices y criterios que permiten a un ingeniero estructural llevar a cabo los objetivos indicados en un reglamento de construcción.

Las especificaciones de diseño representan lo que se considera una buena práctica ingenieril basada en las últimas investigaciones.

Al igual que los reglamentos modelos de construcción, las especificaciones de diseño se escriben en un formato legal por organizaciones no lucrativas. Tales especificaciones no tienen por sí mismas vigencia legal, pero al presentar los criterios y limitaciones de diseño en forma de mandatos y prohibiciones legales, ellas pueden ser fácilmente adoptadas, por referencia, como parte de un reglamento de construcción.

Las organizaciones cuyas especificaciones y publicaciones son de alto interés para los ingenieros estructurales a la hora de diseñar estructuras de acero y componentes secundarios convencionales son:

- American Institute of Steel Construction (AISC)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- Steel Joist Institute (SJI)
- Steel Deck Institute (SDI)
- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
- American Railway Engineering Association (AREA)

Propiedades Estructurales del Acero

Las propiedades estructurales básicas, como lo son: el esfuerzo, la rigidez, ductilidad, ruptura, pueden ser interpretadas mediante experimentos de cargas realizadas en laboratorios a muestras o especímenes de acero. La Figura 1 muestra las características de las formas de las curvas que se obtienen al graficar los valores de esfuerzo y

deformación unitaria al someter un espécimen de acero (A36) estructural a una prueba de tensión.

Una importante propiedad del acero estructural es el fenómeno de la deformación plástica, el cual está demostrado en la Figura 1 para aceros con dicha características, presentándose así dos diferentes valores significativos de esfuerzo: el límite de fluencia o rango plástico y el límite de falla ultima a tensión.

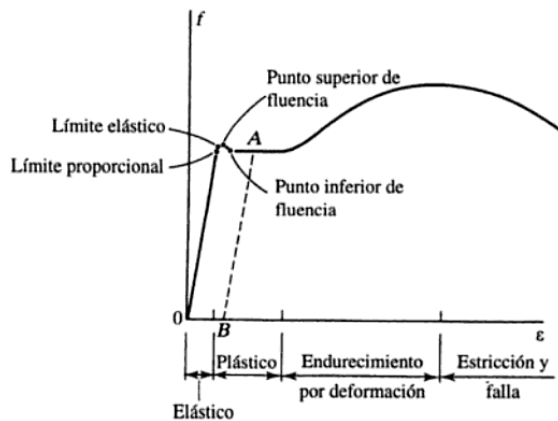


Figura 1
Gráfica Esfuerzo-Deformación Unitaria [6]

Generalmente un alto límite de fluencia representa un bajo grado de ductilidad, una de las características principales del acero. La magnitud de la ductilidad es medida como la relación de la deformación plástica entre la primera fluencia y el endurecimiento por deformación y la deformación elástica en el punto de fluencia [1].

Principios de Diseño

El Diseño es el proceso por el cual se obtiene una solución óptima para una estructura en particular. En cualquier diseño, se deben establecer ciertos criterios con el fin de evaluar si se ha realizado o no un diseño óptimo. Para las estructuras se podría tomar como criterios típicos los siguientes: (a) costo mínimo; (b) peso mínimo; (c) tiempo de construcción mínimo; (d) mano de obra mínima; (e) mínimo costo de fabricación de productos; y (f) máxima eficiencia de operación para el dueño [5].

Usualmente varios criterios están envueltos, y cada uno representa un peso ponderado en la toma

de decisiones al diseñar. Si observamos los criterios posibles arriba nombrados, podríamos claramente fijar un criterio de medida (como lo es el peso y el costo) a establecer, ya que uno 100% óptimo frecuentemente será difícil o quizás imposible. Por lo tanto en muchas situaciones prácticas, la evaluación tiende a ser cualitativa.

Si un criterio y objetivo específico puede ser expresado matemáticamente, entonces las técnicas de optimización pueden ser empleadas con el fin de obtener un máximo o mínimo en función del objetivo.

Tópicos Relevantes en el Diseño de Estructuras de Acero con AISC

A continuación se presentará información relevante al diseño y estabilidad de estructuras de acero.

- **Diseño por Servicio**

Los estados límite por servicio son condiciones en las cuales las funciones de un edificio son perjudicadas a causa de daños locales y deterioro o deformación de los componentes del edificio. Mientras los estados límites de servicio generalmente no envuelven el colapso de un edificio, las pérdidas de vida o lesiones, estas pueden seriamente afectar la utilidad del edificio y ser el factor que provoque reparaciones y demás consecuencias de tipo económico. Las consideraciones por servicio son esenciales para proveer un comportamiento satisfactorio en el sistema estructural. Despreciar los estados de servicio pueden resultar en estructuras que son excesivamente flexibles o que de alguna otra manera resulten inaceptables en servicio.

Los tres tipos generales de comportamiento estructural que resultan ser indicativos de daños a causa de estados de servicio en estructuras de acero son:

- Deflexiones o rotaciones excesivas ($\Delta_{vertical}$ mayor a $l/360$, $\Delta_{horizontal}$ mayor a 500, etc.) que podrían afectar la apariencia, funcionalidad o drenaje en la edificación,

o podría causar daños por transferencia de carga a componentes no estructurales.

- Las vibraciones y desplazamientos excesivos (“Drift” > 2%H) producidos por las actividades de los ocupantes del edificio, equipos mecánicos, o efectos del viento y/o sismo, los cuales podrían causar disconformidad de los ocupantes o un mal funcionamiento de los equipos de servicio de la edificación.
- Un excesivo daño local (fluencia local, torsión, desliz o fractura) o deterioro durante la vida de servicio de la estructura.

Los estados límites de servicio dependen de la ocupación o función para la cual está destinada dicha edificación, la percepción de estos ocupantes, y el tipo de sistema estructural.

Limitando los valores del comportamiento estructural intentado, para así proveer niveles adecuados de serviciabilidad, deberán ser determinados por un grupo formado por el dueño o desarrollador del edificio, el arquitecto y el ingeniero estructural después de realizar un análisis mesurado de todos los requerimientos de funcionalidad y economía.

En la aproximación a los límites de serviciabilidad, el grupo deberá reconocer cuales ocupantes del edificio son hábiles de percibir deformaciones estructurales, movimientos, fracturas u otros signos negativos que afloran a niveles que son mucho menores que los que podrían indicar amenaza de daños o fallas estructurales. Semejantes signos negativos podrían ser vistos como una indicación que el edificio esta inseguro y disminuya esto su valor económico, y por lo tanto deberá esto ser considerado al momento de hacer el diseño.

Las cargas de servicio que podrían requerir consideraciones en el chequeo por servicio incluyendo: (1) cargas estáticas de los ocupantes, lluvia o nieve en el techo, o fluctuaciones de temperatura; (2) cargas

dinámicas procedentes de actividades humanas, efectos del viento, la operación de equipos de servicio mecánicos o del edificio, o del tráfico cerca del edificio ^[2].

Las cargas de servicio son cargas que actúan en la estructura a un punto arbitrario en el tiempo, y podrían ser solo una fracción de la carga nominal correspondiente. La respuesta de la estructura a las cargas de servicio generalmente pueden ser analizadas asumiendo un comportamiento elástico. Miembros que acumulen deformaciones residuales bajo cargas de servicio podrían requerir exanimación con respecto al comportamiento a largo plazo ^[2].

Los estados límites de servicio y las combinaciones de carga apropiada para la verificación de conformidad con los requerimientos de servicio pueden ser encontrados en ASCE 7, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Apéndice B, y en sus comentarios ^[2].

• **Análisis de Estabilidad y Diseño**

La estabilidad de la estructura debe ser considerada desde el punto de vista de la estructura como un todo, incluyendo no solamente los miembros a compresión, también las vigas, sistemas de arriostamiento y conexiones. La estabilidad de componentes individuales también debe de ser provista.

Considerable atención deberán de ser dadas en la literatura técnica en este caso, y varios métodos están disponibles para proveer dicha estabilidad. En todas las aproximaciones, el método de análisis y la ecuación para los componentes de resistencia están inexplicablemente enlazados. Actualmente, los efectos de imperfecciones geométricas inamovibles (dentro de las tolerancias en la fabricación e instalación) y fluencia distribuida a estados límites de resistencia (incluyendo los efectos de esfuerzos residuales) son dirigidos únicamente en las ecuaciones de resistencia de los miembros ^[2].

Correspondientemente, el análisis estructural es conducido utilizando la geometría nominal o no deformada y la rigidez elástica. La estabilidad global de la estructura, así como la estabilidad individual de los elementos que la conforman están provistas por la combinada cuantificación de las resistencias requeridas por el análisis estructural y la satisfacción de los miembros y el diseño de las conexiones entre ellos.

Métodos de Investigación y Diseño (Manual AISC)

La determinación de las condiciones de carga de diseño y el establecimiento de la resistencia estructural de las edificaciones de acero, son realizadas actualmente por los siguientes métodos:

- **Load and Resistance Factor Design (LRFD)**

Está basado en el uso de la resistencia última de esfuerzos de los miembros estructurales, y la determinación de los niveles de falla por combinaciones de cargas.

El LRFD fue implementado a partir de la segunda mitad de la década de 1980 en el Manual del AISC, y en estos momentos cuenta con gran aceptación entre las firmas de ingeniería estructural. Los factores de carga son basados en análisis estadísticos, y la resistencia de los miembros está basada en evaluaciones respaldadas por pruebas de laboratorios, lo cual convierte a este método en el más “exacto” de los métodos de diseño.

El diseño de resistencia por LRFD esta desarrollado utilizando ecuaciones en las que se compara la carga calculada proveniente de un análisis estructural basado en cargas estipuladas en ASCE 7 y la limitación de resistencia estructural provista por el elemento.

Las provisiones del LRFD están basadas en: (1) modelos probabilísticos de carga y resistencia; (2) una calibración de las provisiones del LRFD a la edición de 1978 del ASD para elementos seleccionados; y (3) la evaluación de los resultados provistos por el discernimiento de criterios y

experiencias pasadas, ayudados por el estudio de diseños de oficinas de estructuras representativas.

La base probabilística de esta filosofía está relacionada al grado de solape de la distribución de frecuencia como se muestra en la Figura 2, el cual dependerá de su posicionamiento y sus dispersiones.

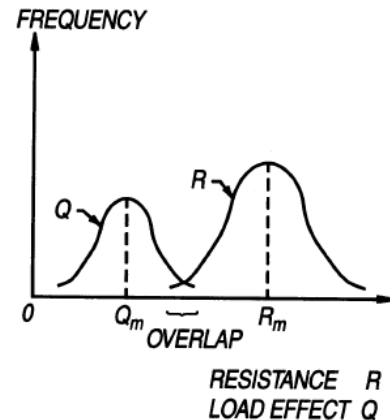


Figura 2
Distribución de frecuencia del efecto de la carga Q y la resistencia R. (ASCE Specification for Structural Steel Building)

- **Allowable Strength Design (ASD)**

Este método utiliza las cargas de servicio del LRFD sin incrementar los factores, y fija unos límites de esfuerzos bajo esas condiciones de carga con altos factores de reducción. Resulta ser una variante de su predecesor, Allowable Stress Design, es cual fue el primero en ser implementado en el Manual AISC y ha pasado por múltiples modificaciones a través del siglo XX.

Este método está provisto en el Manual AISC como una alternativa de diseño al igual que el LRFD para que el ingeniero tenga la potestad de elegir el de su preferencia. El término “Allowable Strength” ha sido introducido con el fin de enfatizar que las ecuaciones básicas de mecánica estructural están fundamentadas en las mismas provisiones para LRFD y ASD.

Aunque las estructuras diseñadas por ASD se han comportado adecuadamente durante los años, el actual nivel de seguridad provisto nunca fue

conocido. Éste era el primero inconveniente del acercamiento al ASD tradicional.

El diseño por resistencia del ASD está desarrollado de acuerdo con unas especificaciones que reconocen que los modos de falla que gobiernan son los mismos para las estructuras diseñadas por ASD y LRFD. Así, la resistencia nominal en la que se fundamenta el LRFD es la misma resistencia nominal en que se fundamenta el ASD. Al considerar la resistencia disponible, la única diferencia entre los dos métodos es el factor de resistencia ϕ en LRFD, y el factor de seguridad Ω en ASD.

Desarrollando los valores apropiados de Ω para el uso en las Especificación del AISC, el objetivo fue asegurar niveles similares de seguridad y fiabilidad para los dos métodos. Un adelanto correcto para relacionar el factor de resistencia y el factor de seguridad fue desarrollado.

Metodología

Se realizó una investigación exhaustiva en cuanto a los parámetros requerido para el análisis según las especificaciones correspondientes para Puerto Rico: UBC 97, ASCE 7-02; y el tipo de ocupación para la cual funcionara dicha edificación, así como los parámetros provistos en el diseño arquitectónico y en el estudio de suelos.

Se realizó una configuración estructural de la edificación.

Para realizar el modelo estructural se utilizó ETABS 9.0.4, un programa de computadora especializado en análisis y diseño de edificaciones, desarrollado por Computers and Structures, Inc. en Berkeley, California, USA, en el cual se insertaron las condiciones de cargas específicas de acuerdo a los códigos establecidos y al tipo de comportamiento esperado por quien suscribe.

De acuerdo a las decisiones tomadas en los pasos anteriores se hizo una selección preliminar de los elementos que conformarán el sistema de pórticos de acero compuestos de perfiles de sección W, con conexiones ordinarias de momento, arriostrados diagonalmente en el perímetro con elementos de perfiles HSS, y cuya geometría en

planta de la estructura global es irregular (ver Figura 3).

Se realizaron varios análisis para lograr un comportamiento adecuado en la estructura.

Luego se evaluaron dichos resultados y se compararon con las resistencias de los elementos, con el fin de verificar que los elementos escogidos sean óptimos en el desempeño de sus objetivos y cumplan con las limitaciones arquitectónicas en cuanto a la dimensión máxima y mínima (los elementos que funcionarían como columnas debían de ser W14, y el peralte de las vigas no debería exceder las 30 pulgadas) de los elementos de acero a ser utilizados, se seleccionaron posibles secciones de los perfiles de acero a ser utilizados en el rediseño.

El diseño se finalizó, tomando los elementos que provean a la estructura del comportamiento esperado y que representen óptimamente su desempeño estructural.

El diseño de los elementos de acero se realizó utilizando los parámetros especificados en el Manual de Construcción en Acero, del AISC, 13^{ra} Edición. Mediante el uso de ETABS 9.0.4 se desarrollaron los diseños por ASD y LRFD por separado.

Los resultados del análisis con énfasis en el comportamiento estructural están incluidos en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5; y las consideraciones para el diseño estructural en cuanto cargas sísmicas y de viento están reseñadas en la Tabla 2.

Utilizando los resultados finales de diseño, se creó una base de datos para cada uno de los criterios de diseño (ASD y LRFD), donde se precisó el peso bruto de cada elemento en particular y el peso correspondiente al volumen de acero demandado por capacidad de carga, peso efectivo del elemento. De esta manera se pudo obtener resultados comparativos en cuanto a la diferencia de volumen (en libras) de acero bruto y efectivo para cada diseño (Véase Tabla 1), y se proveyó los resultados totales comparativos por tipo de elementos en la Figura 4.

Con los resultados obtenidos podemos estimar los costos de la edificación en base al precio del

acero en la industria de la construcción (los precios fluctúan en el mercado entre 80 centavos de dólar a 1.50 dólares por libra de acero fabricado e instalado). En este caso, la diferencia entre el peso neto o eficiente de la edificación para ASD y LRFD es de aproximadamente 53,216 libras adicionales, lo que representa un 14% más de acero, por lo tanto un mínimo proyectado de 14% en el costo del proyecto, ya que el peso de la estructura principal influye en las fundaciones también.

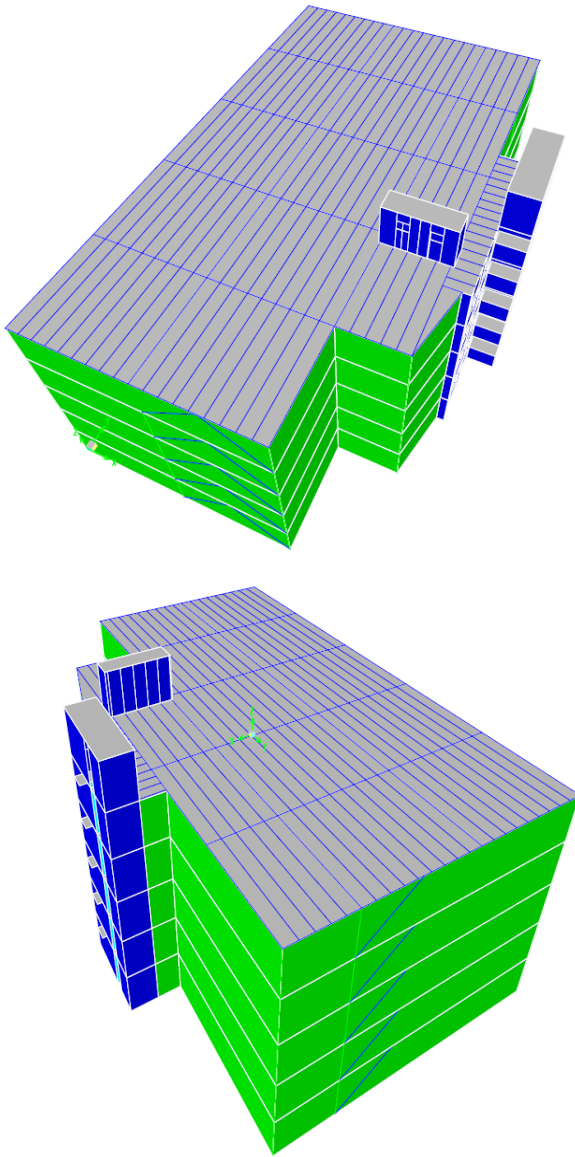


Figura 3
Vista Tridimensional del Edificio
Modelo desarrollado en ETABS 9.0.4 [4]

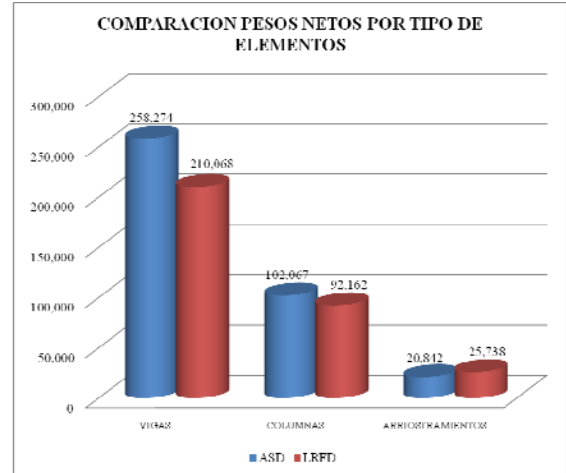


Figure 4
Comparación Pesos Netos por Tipo de Elemento

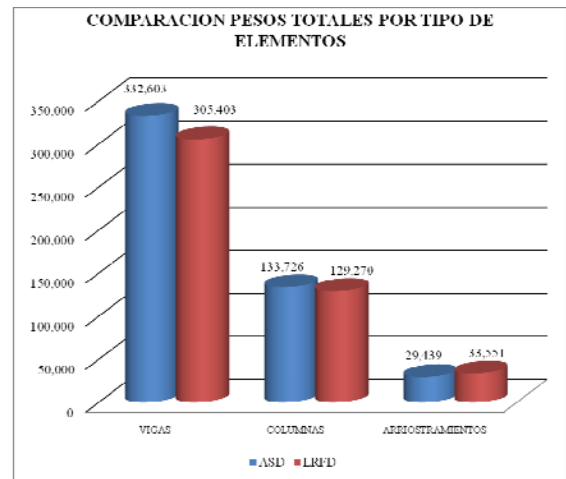


Figure 5
Comparación Pesos Totales por Tipo de Elemento

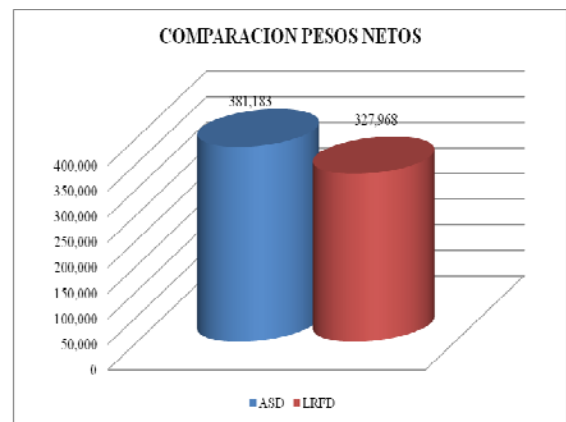


Figure 6
Comparación Pesos Neto

Tabla 1
Comparación de Pesos en Elementos Estructurales de Acero

Tipo de Elemento	Diseño ASD			Diseño LRFD		
	Peso Neto (Lbs.)	Peso Bruto (Lbs.)	Eficiencia	Peso Neto (Lbs.)	Peso Bruto (Lbs.)	Eficiencia
Viga	258,274.28	332,602.50	77.65%	210,068.16	305,402.50	68.78%
Columnas	102,067.32	133,726.25	76.33%	92,161.94	129,270.00	71.29%
Riostras	20,841.51	29,438.51	70.80%	25,737.83	33,550.68	76.71%
Sumatoria	381,183.11	495,767.26	76.89%	327,967.94	468,223.18	70.05%

Tabla 2
Factores Considerados

Factores a Considerar	
Carga de Viento ^[3]	
Velocidad Básica de Viento	145 mph
Categoría de Exposición	B
Factor de Importancia, I	1
Factor Topográfico, Kzt	1
Factor Direccional, Kd	0.85
Factor de Ráfaga, G	0.85
Carga Sísmicas ^[7]	
Excentricidad Típica	5%
Coefficiente del Periodo del Edificio, Ct	0.035
Coefficiente de Modificación de Respuestas, R	4.2
Categoría de Naturaleza de Ocupación	4
Factor de Importancia Sísmica, I	1
Clasificación del Suelo (SD), Factor Z	0.3

Tabla 3
Resultados del Análisis para el Diseño LRFD

Comportamiento Modal	
Modo de Vibración	Periodo (segundos)
1	0.38585
2	0.34567
3	0.21246
4	0.13594
5	0.12264
Cortante Basal por Piso	
Piso	Cortante, V
5	453.45 Kips
4	373.18 Kips
3	280.62 Kips
2	187.95 Kips
1	94.39 Kips

Tabla 4
Resultados del Análisis para el Diseño ASD

Comportamiento Modal	
Modo de Vibración	Periodo (segundos)
1	0.39778
2	0.34944
3	0.21370
4	0.14082
5	0.12306
Cortante Basal por Piso	
Piso	Cortante, V
5	448.17 Kips
4	372.23 Kips
3	279.91 Kips
2	187.51 Kips
1	94.15 Kips

Tabla 5
Desplazamientos Máximos por Piso y Cargas

Nivel	Cargas	Desplazamiento Máximo (Pulgadas)		
		LRFD (A)	ASD (B)	Diferencia (B/A)*100
5	sísmicas	0.001128	0.001150	2%
4	sísmicas	0.000871	0.000974	12%
3	sísmicas	0.000969	0.000986	2%
2	sísmicas	0.000976	0.000998	2%
1	sísmicas	0.000761	0.000862	13%
5	viento	0.000045	0.000060	33%
4	viento	0.000058	0.000103	78%
3	viento	0.000120	0.000123	3%
2	viento	0.000142	0.000147	4%
1	viento	0.000148	0.000165	11%

CONCLUSIÓN

El ingeniero estructural, como proveedor de conocimientos para hacer realidad proyectos, debe tener en consideración, la funcionalidad, economía, metodología constructiva y seguridad en las

edificaciones a ser diseñadas. La habilidad de diseñar una estructura que pueda cumplir con las condiciones antes mencionadas en especial la relacionada con costos (a sabiendas que el acero es un material finito y altamente demandado) va de la mano de la ambición de escudriñar en los recursos ingenieriles a su alcance.

Escoger un método de diseño para cada caso en particular, está atado a un resultado económico. En nuestro caso, las libras de acero eficientes (acero estructural), necesarias para construir la edificación diseñada por el método ASD totaliza 381,183 libras según la Figura 6, mientras para el diseño realizado por el método LRFD totaliza 327,967, implicando una diferencia de 53,216 libras. Esta diferencia representaría un 14% del peso entre los dos criterios utilizados aproximadamente, sin tomar en consideración el porcentaje de desperdicio en la fabricación de los elementos individuales y los costos envueltos de las fundaciones que están correlacionados al peso.

También podemos notar en la Figura 5 la diferencia de los pesos totales por elemento, y en la Tabla 1 los pesos netos involucrados para cada tipo de elemento y su valor ponderado de eficiencia. Este valor nos ayuda a visualizar el porcentaje de capacidad del elemento que excede las cargas actuantes, ejemplo: si tomamos el caso de los elementos tipo vigas, diseñados con LRFD la capacidad ponderada que compensara la carga actuante es de un 68.78% del 100% disponible de su capacidad (Esto no quiere decir necesariamente que el porcentaje restante actuará para todos los elementos como porcentaje de capacidad disponible).

En el caso del comportamiento, obtuvimos resultados similares en el uso de ambos métodos para el periodo de la estructura en cada uno de los cinco principales modos de vibración (véase Tabla 3 y Tabla 4), mientras los desplazamientos, por nivel debido a cargas laterales, fueron mayores para el diseño de la estructura con ASD, fluctuando entre un dos y un setenta y ocho por ciento más, con respecto al diseño con LRFD (ver Tabla 5).

Por lo tanto, para el caso particular del edificio UNILOPEZ presentado en este documento, los resultados nos orientan a la utilización del criterio LRFD para realizar el diseño en acero, ya que las ventajas con respecto al método ASD resultan en una variación sustancial en cuanto a costos de construcción envueltos y comportamiento estructural.

De acuerdo los resultados obtenidos y presentados en este documento y a la investigaciones realizadas sobre el mismo, entiendo que la necesidad que embarga al AISC para afianzar una filosofía (ASD), aunque depurada, es de proveer o mantener una herramienta probada por los años de uso, con el fin de no afectar la continuidad de los profesionales que hacen uso de esta herramienta funcional aun, aunque desmerezca de la afinación que provee el método LRFD.

REFERENCIAS

- [1] Ambrose, James and Tripeny, Patrick, "Simplified Design of Steel Structures", Eighth Edition, 2007, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] American Institute of Steel Construction, Inc., "Specification for Structural Steel Buildings, March 9, 2005.
- [3] American Society of Civil Engineers, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", SEI/ASCE 7-02.
- [4] Extended 3D Analysis Building Systems (ETABS) Nonlinear Version 9.0.4, Copyright 1984-2005, Computers and Structures Inc.
- [5] Salmon, Charles G. and Johnson, John E., "Steel Structures Design and Behavior", Fourth Edition, 1996, Prentice-Hall, Inc.
- [6] Segui, William, T, "Diseño de Estructuras de Acero con LRFD", Segunda Edición, 2000, International Thomson Editores, S.A.
- [7] Uniform Building Code, "Structural Design Requirements" Chapter 16, Volume 2, 1997.