

ANÁLISIS DE RACKS

APOYADOS SOBRE LOSA DE ENTREPISO

Medellín, 4 de junio de 2002

INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta un informe del estudio realizado por esta oficina, sobre las metodologías de análisis existentes para elementos no estructurales, tales como los racks.

Las metodologías de análisis para cargas laterales de estos elementos, cuando se apoyan sobre losa de contrapiso son aceptables y ampliamente conocidas. Sin embargo, la norma RMI que rige los diseños de los racks, no indica los procedimientos de análisis para carga lateral cuando los racks se encuentran sobre losa de entrepiso, pero hace la anotación de que estos se deben diseñar, fabricar e instalar para que cumplan con las solicitudes que se presentan en los pisos superiores de la estructura causados por la amplificación dinámica que se presenta. Lo anterior, implícitamente remite a los códigos locales para tratar estos casos.

En este sentido, la NSR-98 indica la metodología completa para analizar elementos no estructurales, apoyados tanto en losa de contrapiso, como en losa de entrepiso. Además, se presenta como alternativa de apoyo a la norma colombiana, el procedimiento de análisis para Racks del Manual Técnico “Seismic Design for Buildings” of Departments of the Army, the Navy, and the Air Force de los Estados Unidos.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 **Elementos No Estructurales:** son todos aquellos elementos que no forman parte del sistema estructural resistente a cargas laterales y verticales, tales como los cielos falsos, muros divisorios, estanterías, instalaciones eléctricas e hidráulicas, equipos de aire acondicionado y calefacción, etc..

1.1 **Período de Vibración (T):** es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico vibratorio, para que éste se repita. Para una comprensión más sencilla del concepto, en la figura 1, es el tiempo que toma el poste en realizar la trayectoria a-b-a.



Figura 1.

1.2 Amplificación Dinámica del elemento no estructural (a_p): cuando un elemento no estructural está soportado sobre una estructura, dependiendo de la rigidez y distribución de su masa, amplifica, por efectos dinámicos, las aceleraciones que se presentan en su apoyo, lo cual podría llegar a producir daños severos, y aun la falla en caso de resonancia¹.

1.3 Aceleración en el punto de soporte del elemento (a_x): es la aceleración horizontal que se presenta en el punto donde el elemento no estructural está apoyado, o anclado, a la estructura. Depende de las características estructurales de la edificación y de la localización del elemento no estructural dentro de ella.

1.4 Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico del elemento no estructural (R_p): este coeficiente significa la capacidad que tiene el elemento y su anclaje, de deformarse en el rango inelástico. Un valor de R_p bajo, significa poca capacidad de deformación.

¹ Resonancia: efecto que se produce cuando el período de vibración de dos cuerpos son iguales. Para este caso, cuando el período de la estructura (T), coincide con el período del elemento no estructural (T_a).

2 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Los elementos no estructurales se pueden clasificar en dos categorías (Ref. 2,3):

2.1 Rígidos: cuando su masa se encuentra concentrada muy cerca del apoyo, y su período de vibración es menor a 0.06 s.

2.2 Flexibles: cuando su masa se encuentra distribuida en altura, y su período de vibración es mayor a 0.06 s, como es el caso de los Racks. En este caso, las aceleraciones y los desplazamientos que se presentan en la parte superior del rack, se aumentan considerablemente.

3 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS

3.1 RMI (Ref.1)

En el numeral 2.7.2, indica el procedimiento para la determinación de la fuerza sísmica para racks ubicados en la losa de contrapiso. Posteriormente, para los racks ubicados en losas de entrepiso, o en niveles superiores, sólo indica como se determina la masa de la estructura que acelerará el sismo, y resalta que estos elementos no estructurales deben ser diseñados, fabricados e instalados para que sean capaces de resistir las cargas laterales y las amplificaciones que se presentan en los pisos superiores.

La RMI, para análisis de racks en losa de contrapiso, no tiene en cuenta el factor de amplificación dinámica, a_p , pero tiene en cuenta el tipo de suelo y la amplificación que se puede presentar en él. Y como coeficiente de disipación de energía en el rango inelástico, R_p , indica que para el análisis y diseño del rack, se debe usar $R_p=4.0$ en la dirección arriostrada, y $R_p=6.0$ en la dirección no arriostrada.

3.2 NSR-98 (Ref.2)

La Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismorresistente, NSR-98, es su capítulo A.9, indica el procedimiento para calcular la fuerza sísmica para los elementos no estructurales, ubicados en losa de entrepiso o de contrapiso.

Para ambas situaciones, la fuerza horizontal reducida de diseño F_p , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{a_x a_p}{R_p} W_s$$

Donde, a_x : aceleración en el punto de apoyo del elemento no estructural

a_p : amplificación dinámica del elemento no estructural

R_p : coeficiente de disipación de energía en el rango inelástico

W_s : peso de la estructura.

El factor a_p , se puede determinar mediante análisis dinámicos, ó en ausencia de éstos, se pueden usar los valores de la tabla A.9-1 y A.9-2. Para el caso de estanterías, se especifica un valor de 2.5.

Y el factor R_p mínimo, igualmente se determina por las tablas A.9-1 y A.9-2, y representa tanto la respuesta de la estructura como la de su anclaje. Para el caso de estanterías, la estructura se diseña para un $R_p=4.0$ en la dirección arriostrada, y $R_p=6.0$ en la dirección no arriostrada. Y los anclajes se diseñan para $R_p=3.0$ si es anclaje dúctil, o si el anclaje es no dúctil $R_p=1.5$.

Anclaje dúctil es aquel en el cual la relación entre la porción embebida al diámetro del perno es mayor a 8. Cuando no se cumple lo anterior, es un anclaje no dúctil.

3.3 SEISMIC DESIGN FOR BUILDINGS (Departments of the Army, the Navy, and the Air force) (Ref. 3)

En este manual técnico, en el capítulo 11, numeral 11-4.h (2), indica que para los racks ubicados en niveles superiores, se diseñaran de acuerdo al capítulo 12, numeral 12-3 si es considerado como rígido, ó numeral 12-4 si es flexible (no rígido).

En el cálculo de la fuerza sísmica, toma en cuenta la amplificación dinámica del elemento no estructural, y se determina este factor a partir de la relación que existe entre el período de vibración fundamental del elemento no estructural y el de la estructura.

3.4 NEHRP (Ref.5)

En el capítulo 14 “Nonbuilding Structure Design Requirements”, numeral 14.6.3, indica los requerimientos mínimos para el diseño de racks metálicos para almacenamiento, apoyados en el terreno o apoyados por otras estructuras.

- 3.4.1 Racks apoyados en el terreno: se deben diseñar de acuerdo a los requerimientos de esa sección o alternativamente con el método detallado en la sección 2.7 de la RMI.
- 3.4.2 Racks apoyados por otra estructura: se deben diseñar para una fuerza horizontal reducida, según la RMI en donde C_s no debe ser menor que los parámetros determinados para el cálculo de F_p según la sección 6.2 de esta norma, y $a_p=2.5$
- 3.4.3 Según la sección 14.4, si el peso de los racks es al menos el 25% del peso combinado de los racks y la estructura que lo soporta, las fuerzas sísmicas de diseño deben ser determinadas basándose en la combinación de los dos sistemas estructurales. Para racks que no tienen rigidez en sus uniones, el factor R_p debe ser máximo 3.0. Para aquellos que garantizan conexiones rígidas, el valor de R_p debe ser el de la estructura que lo soporta.

4 CONCLUSIONES

- 4.1 En ausencia de procedimientos de análisis para los racks que se encuentran en losas de entrepiso en la RMI, se deben seguir los procedimientos estipulados por la norma colombiana, NSR-98, capítulo A.9
- 4.2 Para la determinación del factor de amplificación dinámica, a_p , se permite utilizar 2.5 en ausencia de análisis dinámicos (NSR-98), o se puede usar el procedimiento que indica el manual técnico de los Departamentos de la Armada, la Marina, y la Fuerza Aérea.
- 4.3 Diseñar por la NSR-98 capítulo A.9 un rack apoyado en losa de entrepiso, representa un incremento de 2.5 veces las fuerzas sísmicas de diseño para un rack apoyado en losa de contrapiso.
- 4.4 Se debe garantizar que la unión viga-columna, en los racks, sea lo más rígida posible, tal como una estructura del tipo DMO, según la NSR-98, para poder usar los coeficientes de capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, $R_p=4.0$ y $R_p=6.0$ según sea el caso. Si no se puede garantizar esta rigidez, R_p debe ser máximo 3.0 (Ref.5).
- 4.5 Los anclajes se deben diseñar para un $R_p=1.5$ si son no dúctiles, o 3.0 si son dúctiles, para cualquier caso de apoyo (en losa de contrapiso, o de entrepiso)(Ref.2).

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RMI. "Specification for the design, testing, and utilization of industrial steel storage racks"-1997 Edition.
2. AIS, Asociación de Ingeniería Sísmica. "Normas de diseño y construcción sismorresistente", NSR-98.
3. Departments of the Army, the Navy and the Air Force. Technical Manual "Seismic Design for Buildings". October 1992.
4. FEMA, Federal Emergency Management Agency. "Reducing the risks of nonstructural earthquake damage". FEMA 74. September 1994.
5. FEMA, Federal Emergency Management Agency. "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures". FEMA 368. March 2001.