

Accesibilidad y evaluación en las edificaciones en caso de siniestro

El verdadero valor de los edificios está en las vidas que ellos cobijan.

César Pelli, arquitecto.

Calixto Martínez-Cruz*
Carlos César Morales-Guzmán**

Resumen

Se realiza un estudio comparativo del comportamiento que presentan algunas edificaciones en distintos sitios mediante la aplicación de un modelo simplificado (Jonathan Shimshoni) ante eventos simulados y registrados de su accesibilidad en la evacuación en caso de siniestro. Se usa el método de simulación con acuerdo a los lineamientos de la Dirección de Comercio de Capital, en Mendoza, y la *Norma Básica de la Edificación*, (NBE-CPI-96) Norma Básica de la Edificación, España, condiciones de protección contra incendios en los edificios. Se analiza el comportamiento de dispositivos de evacuación para edificios altos; ocupaciones máximas, el número y las dimensiones de las salidas y se comparan los resultados en términos de los efectos de respuesta inesperada, de la cantidad de individuos de entrada y de la magnitud en estado de histeria buscando una evacuación segura, en caso de incendio, explosiones, ataques terroristas, terremotos y otros desastres naturales o creados por el hombre. Los resultados muestran que construir edificios de más de 25 m. de alto, como mínimo, de modo que sean absolutamente seguros es extremadamente difícil. Así, el mejorado diseño de los futuros edificios obviamente, no afectará las deficiencias de los cientos de miles de edificios existentes, con sus millones de ocupantes vulnerables. Esto podría provocar mayores daños en el proceso para la evacuación de los usuarios del edificio, si no se realizan las adecuaciones necesarias en el desempeño del tiempo de recorrido a un sitio seguro. Para fines prácticos se recomienda utilizar las normas de construcción y de seguridad propias de cada ámbito y así poder

evaluar mejor la respuesta de accesibilidad de evacuación en caso de siniestro.

Palabras clave: edificación, diseño, reglamentación.

Abstract

A comparative study of behaviour that some buildings in different sites present through the application of a simplified model (Jonathan Shimshoni) on simulated and registered events over the accessibility on the evacuation in case of a disaster is carried out. The simulation method is used according to the rules of the Dirección de Comercio de Capital, in Mendoza and the *Normas Básicas de la Edificación* (Basic Building Rules) Condiciones de Protección Contra Incendios (Fire-fighting Protection Conditions) (NBE-CPI-96). The Evacuation rules for high buildings, maximum occupancy, number and dimensions of exits, the amount of individuals entering the building and the hysterical state of people looking for a safe exit in case of fire, explosions, terrorits attacks, earthquakes, and natural and man-made disasters. Results show that building edifices of 25 m (as minimum) or higher, so that they are absolutely safe, is extremely difficult. Thus, the improved desingn of future edifices wil obviously not affect the process of evacuating the building users, if necessary adjustments are not carried out to cover the time distance to reach a safer site. For practical purposes, it is recommended to use the construction and safety rules appropriate within the scope of the law, thus being able to make a better evaluation of the accessibility response of the evacuation in case of a disaster.

Key words: Edification, design, ruling.



Figura 1. Hotel Regis colapsado durante el sismo de 1985 en México, DF.
Fuente: puentedelxtla.com (2008).

Introducción

La Münchener Rück clasifica un evento natural como evento siniestral por fuerzas de la naturaleza cuando las personas sufren daños corporales, hay víctimas mortales o se han originado considerables daños materiales. Según la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas, se trata de desastres en los cuales las regiones afectadas no pueden superar la situación de emergencia sin ayuda externa. En el amanecer del 19 de septiembre de 1985, un movimiento telúrico oscilatorio y trepidatorio llegaba al Distrito Federal, cientos de edificios, localizados sobre todo en el centro histórico de la ciudad, se desplomaron, causando miles de víctimas. 30 000 edificios quedaron destruidos en su totalidad; era urgente rescatar a los posibles sobrevivientes entre los escombros de grandes estructuras habitacionales como el Multifamiliar Juárez de la colonia Roma o el edificio Nuevo León ubicado en la Unidad Habitacional Tlatelolco. Los grupos de ayuda humanitaria llegados del extranjero aseguraron que murieron más de 10 000 personas. El sismo derrumbó construcciones características del paisaje urbano de la capital como el Hospital Juárez, el Hospital General, el Centro Médico Nacional y el Hotel Regis. El Hotel del Prado sufrió daños estructurales, así como la central de la empresa Televisa ubicada en Avenida Chapultepec (figura 1).

En 2002, Sigma registró casi 800 víctimas de atentados terroristas. Si bien, los atentados en Bali y Djerba, perpetrados por el terrorismo internacional, indican que tendremos de permanecer alerta.

En nuestra sociedad, la seguridad de las personas se considera un derecho irrenunciable. Las estadísticas sobre el número de víctimas de accidentes en los edificios altos como consecuencia de incendios, atentados o sismos reflejan que las personas son víctimas en siniestros dentro de

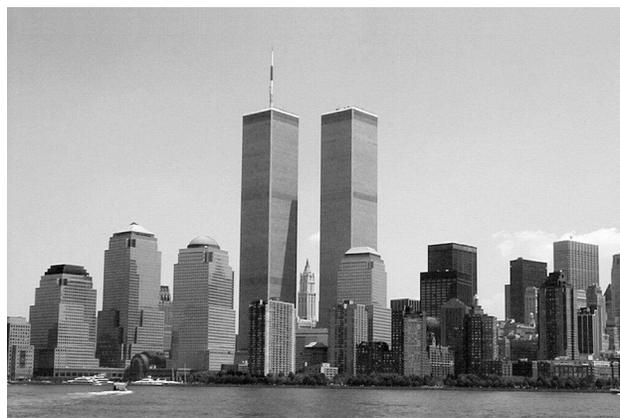


Figura 2. Centro Mundial del Comercio (Torres Gemelas), Nueva York, EU.
Fuente: www.GreatBuildings.com (2011).

los edificios, porque las rutas de evacuación se encuentran precisamente dentro de los edificios en donde éstos ocurren.

Eventos, como el desastre en el Centro Mundial del Comercio el 11 de septiembre del 2001, incendios e incluso apagones centran la atención en la particular vulnerabilidad de las personas que ocupan edificios de varios pisos. En la actualidad, los ocupantes, propietarios y empleados de esos edificios están buscando medios alternativos y repetitivos de evacuación segura. Estos temas y problemas que llamaron la atención pública en años recientes, se relacionan con los medios convencionales de salida (figura 2).

La presente investigación, como resultado del análisis de documentos y estudios de evacuación simulada (Jonathan Shimshoni), de los cuales se da cuenta en la tesis de grado cuyo nombre y autores al rubro se indican, de fecha 14 de diciembre de 2008, en la que se analizan y comparan los reglamentos, normas y manuales que determinan las dimensiones de pasillos, puertas, escaleras para la evacuación rápida y segura de los usuarios de un edificio de gran altura y termina con una propuesta de evacuación rápida y segura a través del diseño de un espacio alternativo para la accesibilidad y la evacuación de estos edificios.

En este caso, tomando como referente el *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal* en el capítulo IV, "Requerimientos de Comunicación y Prevención de Emergencias", en sus artículos 80, 90, 91, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 102, 109, 110, 112, 113, 117, 118, 139 del 27 de enero de 2004 y las "Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico" de fecha 6 de octubre de 2004, así como el análisis de los manuales, reglamentos y normas nos darán como resultado la presentación de un parámetro para cada uno de los diferentes requerimientos del usuario.

La *Norma Básica de la Edificación* (NBE-CPI-96), NFPA 1, 101 y 5 000 señalan el obligado cumplimiento a los efectos de estas NBE para la evacuación en caso de emergencia. Se entiende por vía de evacuación, el recorrido horizontal



Figura 3. Edificio con elevadores exteriores para evacuación.
Fuente: Jons (1994).

o vertical que, a través de las zonas comunes de la edificación, deben seguirse desde la puerta de cada local o vivienda hasta la salida a la vía pública. Esto no sucede en los edificios de gran altura, dado que los usuarios de los pisos superiores no tendrían acceso a las rutas de evacuación rápida y segura hacia la vía pública.

Los temas y problemas que llamaron la atención pública en años recientes con respecto a los medios convencionales de salida, incluyen:

- Capacidad limitada de escaleras de escape por ocupante.
- Capacidad limitada de escaleras para el acceso del personal de emergencia durante la evacuación de los ocupantes.
- Las limitaciones inherentes de evacuar personas con impedimentos de movilización.
- La falta de alternativas cuando un solo evento compromete las escaleras y, donde se usen los elevadores en caso de emergencias.

Cabe hacer mención, que estas normas de evacuación solo cumplen con su objetivo, en edificios de alturas relativas (hasta 35 metros). En el caso de los impactos de los aviones en las torres del World Trade Center, en ambos edificios, las evacuaciones de usuarios no pudieron ser posibles debido a que las rutas de evacuación dentro de los edificios estaban obstruidas por el siniestro, lo que ocasionó la muerte de un considerable número de usuarios y del personal de rescate.

La nueva norma para la evacuación rápida de edificios elevados en caso de siniestros, denominados también "torres", es la ASTM E 2484-06 adoptada en diciembre del año 2006, especificando el sistema denominado dispositivos de descenso controlado (CDD, por sus siglas en inglés).

La norma ha sido elaborada por el Subcomité E 06.77 sobre Dispositivos de Evacuación Externa en Edificios tipo torre, bajo la jurisdicción del Comité E06 de Edificios.

La norma E2484-06 detalla el proceso de diseño, construcción, ensayo y certificación de los dispositivos para el



Figura 4. Escalador de rescate automático para edificios.
Fuente: Jons (1994).

descenso controlado de individuos y responde a las necesidades de regular, bajo principios técnicos y de seguridad, el creciente mercado de fabricantes de diferentes productos, que tratan de satisfacer la demanda para la seguridad de los edificios de varios pisos.

En los sistemas de evacuación son clasificados de acuerdo al tipo y grado según la siguiente designación:

- El tipo designa control automático o control manual con capacidad de anulación, e indica si se emplea o no un limitador de fuerza.
- El grado designa almacenamiento o soporte permanente del sistema CDD en el interior o el exterior de un edificio.
- La clase designa los sistemas CDD con capacidad para rescate de una vez, repetitivo o múltiple, con la máxima capacidad de carga clasificada para una persona o para dos personas por descenso.
- La máxima altura clasificada de un CDD dado es una función de la clase específica del sistema, su capacidad de disipación total de energía descendente y la longitud de la línea de rescate, etc. El fabricante define la máxima altura clasificada para cada uno de sus sistemas específicos en comparación con los requerimientos de la norma.

Tipo I. Sistema de control de descenso automático.

Tipo II. Sistema de control de descenso automático, que emplea, limitador de esfuerzo.

Tipo III. Sistema de control de descenso automático con capacidad de control manual.

Tipo IV. Sistema de control de descenso automático con capacidad de control manual que emplea limitador de esfuerzo.

Clasificación por grado. La clasificación por grado identifica los sistemas CDD y partes componentes de los sistemas que son almacenados o instalados dentro o fuera de los edificios.

Grado I. Un sistema diseñado para almacenamiento o instalación fuera de un edificio

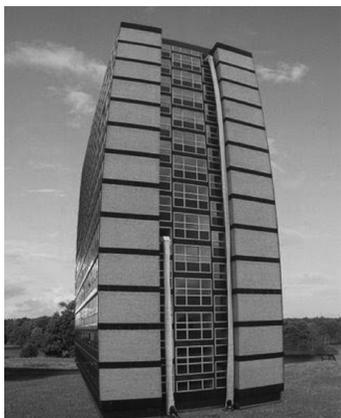


Figura 5. Rampa *Baker Life* sistema de auto-contenida.
Fuente: Jons (1994).



Figura 6. Sistema de evacuación modular deslizable.
Fuente: Jons (1994).



Figura 7. Torres Petronas, Malasia.
Fuente: www.cadena3.com (2011).

Grado II. Sistema de control de descenso automático CDD, diseñado para almacenamiento o instalación dentro de un edificio.

Grado III. Un sistema CDD diseñado para el almacenamiento o instalación de algunos componentes o partes del sistema en el interior y algunos almacenados o instalados en el exterior de un edificio.

Clasificación por clase. La clasificación por clase define los sistemas CDD con CDD's anclados y líneas de rescate descendentes, líneas de rescate ancladas con descendentes, capacidad de rescate de una persona o dos personas que son usados en rieles o huellas, y la máxima carga clasificada. Los sistemas CDD clases I y J deben limitarse a la altura clasificada de 35 m.

La problemática de los edificios torre. Los edificios tipo torre son un fenómeno siempre creciente en las ciudades en todo el mundo. Construir nuevos edificios de una manera que los haga absolutamente seguros en caso de incendios, explosiones, terremotos u otros desastres naturales o creados por el hombre, es extremadamente difícil, si no imposible o poco factible. Además (figuras 3 y 4) el diseño y construcción de futuros edificios obviamente no modificará la situación de edificios existentes. Sucesos como el desastre del World Trade Center, incendio en torres y otras catástrofes llevan a enfocar la vulnerabilidad particular de los edificios tipo torre.

Los sistemas para evacuación externa imponen un reto a los inventores y fabricantes, a las organizaciones normativas, (figuras 5 y 6) a las autoridades que tienen jurisdicción, a los institutos de investigación, a las fuerzas de rescate, a los propietarios y ocupantes de los edificios (ASTM, vol. 33 núm. 3).

De la revisión al *Reglamento de Construcciones del Gobierno para el Distrito Federal* de fecha, octubre de 2004, en sus capítulos 2 y 4, de las normas de construcción y seguridad propias de cada ámbito, determinan diseños que

resuelven el problema en función de la ocupación y características del edificio.

Básicamente establecen las dimensiones de las anchuras mínimas de paso y la longitud máxima de los recorridos de las vías de evacuación (NBE-CPI-96) y de los Dispositivos para la Evacuación Rápida de los edificios de gran altura (edificios torre), CDD por sus siglas en inglés.

Como en el caso del edificio de World Trade Center y otros que ya se encuentran construidos de mayor altura, se puede concluir, que éstos no reúnen los requisitos para la evacuación rápida y segura de los usuarios, toda vez que la accesibilidad y la evacuación están diseñados para funcionar dentro del mismo edificio siniestrado; es decir, que los usuarios de los pisos superiores a través de las rutas de evacuación no llegan a un sitio seguro o no ganan la calle en el menor tiempo posible, lo que ha ocasionado considerables decesos de usuarios, de personal de rescate y de personal de seguridad.

Por otra parte, también se puede concluir que los sistemas de evacuación propuestos por el ASTM E 2484-06, adoptada en diciembre del año 2006, especificando el sistema denominado CDD no son adecuados para la evacuación rápida y segura para los edificios de gran altura.

Como se señala en la problemática de los edificios torre y evacuación segura de las edificaciones del ASTM, se puede entender que para el diseño de accesibilidad y evacuación de edificios torre, es necesario buscar en los diseños de estos edificios, un espacio alternativo ubicado fuera del edificio, donde los usuarios puedan acceder para ser evacuados con seguridad y rapidez, sólo diseñar los elementos necesarios para circulación horizontal y vertical interna dentro de estos edificios para la comunicación directa entre sus diferentes pisos.

Es importante enfatizar, en la propuesta del espacio alternativo para la evacuación segura de usuarios en edificios altos

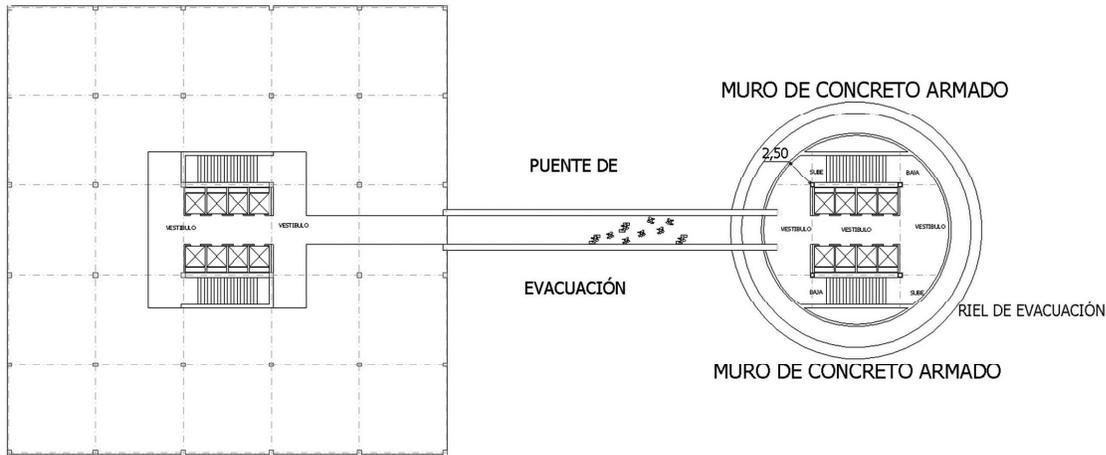


Figura 8. Planta arquitectónica del edificio modelo.
Fuente: Martínez-Rivera (2008).

en caso de siniestro, no se propone duplicar los espacios para circulación vertical y horizontal en el edificio, sino que la accesibilidad y evacuación tanto horizontal como vertical en los edificios de gran altura, se realice precisamente dentro de este espacio exterior alternativo.

De la problemática anteriormente descrita muy puntualmente por el ASTM, se puede llegar a una propuesta esquemática del funcionamiento de este espacio alternativo de accesibilidad y evacuación de edificios torre, en el que se consideran las *Normas Técnicas Complementarias de Diseño Arquitectónico* del RCGDF y *Norma Básica de la Edificación* (NBE-CPI-96), condiciones de diseño de los edificios: ocupaciones máximas, número y dimensiones de las salidas.

Con respecto a esta problemática, el arquitecto César Pelli que diseñó las Torres Petronas (figura 7) ubicó entre ambas torres, un puente que sirviera para la evacuación de una de ellas, pero con las rutas de evacuación ubicadas dentro de los edificios, las hace totalmente inseguras, como sucedió en el ataque a las dos torres del World Trade Center de Nueva York, Estados Unidos.

Desarrollo de la propuesta

Con base en las *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño Arquitectónico* establecidas en el *Reglamento de Construcciones del Gobierno del Distrito Federal* del 6 de octubre de 2004, en sus Capítulos 2 y 4, se establecen las condiciones de habitabilidad, accesibilidad y funcionamiento y las dimensiones y características de los locales en las edificaciones (Tabla 6.1); y comunicación, evacuación y prevención de emergencias y elementos de comunicación y circulaciones (tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4, y con las rutas de evacuación y salidas de emergencia), respectivamente; se propone analizar mediante un ejemplo, desde el punto de vista matemático y deductivo, si

los edificios altos en caso de siniestro, cumplen con el *Reglamento de Construcciones del Gobierno del Distrito Federal* y las "Normas Técnicas Complementarias para el Diseño Arquitectónico" del mismo reglamento y demás normas establecidas, para cumplir con la evacuación rápida y segura de los usuarios.

Para tal fin (figura 8) se propone un estudio simulado en un edificio de oficinas privadas de 85 pisos, de forma cuadrada, con una superficie por planta de 1 600 m², es decir, 40 m por lado, ubicado en la zona urbana del Distrito Federal, su altura es de 350 metros.

El edificio puede soportar un sismo de 8.5 en la escala de Richter. Para este estudio, son aplicables los artículos 80, 90, 91, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 102, 109, 110, 112, 113, 117, 118, 139 del RCGDF del 27 de enero de 2004 y las "Normas Técnicas Complementarias para el Diseño Arquitectónico" del 6 de octubre de 2004.

El edificio antes descrito, cuenta con ocho elevadores (ascensores) para la comunicación vertical interior entre pisos, uno de ellos es de alta velocidad, éstos alcanzan un máximo de avance de 6.2 m por segundo.

El área total del edificio de 85 pisos, es de 136 000 m² en un predio utilizado de 7 000 m², cuenta con dos escaleras de emergencia presurizadas, Cada planta de piso cuenta con una superficie promedio de 1 600 m² y con una altura libre de cada piso de 2.70 m., es ocupada por un total de 17 510 usuarios. Es decir, 206 personas por piso (tabla 1.1, capítulo 2, NTCPA, RCGDF).

- Se estima que la ubicación de un helipuerto en la azotea es inoperante debido a las corrientes de viento que se generan en la estructura son muy fuertes.

- Los materiales utilizados en su construcción fueron cristalería en las cuatro fachadas de la estructura acero y concreto.

Para efectos de este ejemplo, el grado de riesgo de incendio es alto, de conformidad con lo que establecen las



Figura 9. Dimensiones y características de los locales de acuerdo a su uso y destino.

Fuente: Martínez-Rivera (2008).

normas y se considera un siniestro en el piso 46 del edificio en cuestión.

Artículo 80. Las dimensiones y características de los locales de las edificaciones, según su uso o destino, así como de los requerimientos de accesibilidad para personas con discapacidad se establecen en las normas.

En la tabla 1.1 capítulo 2 NTCPA, RCGDF se establecen las dimensiones y características mínimas con que deben contar los locales en las edificaciones según su uso y destino.

Tipo de edificación	Local (m ²)	Área mínima (m ²)	Altura mínima (m ²)	OBS
Administración (bancos, casas de bolsa, casas de cambio, oficinas privadas y públicas)	de 251 a 2 500m	6.00 empleado	2.50	(c)

Tabla 1.1 Dimensiones y características de los locales de acuerdo a su uso y destino.

Se establecen las características de accesibilidad a personas con discapacidad en áreas de atención al público en los apartados relativos a circulaciones horizontales, vestíbulos, elevadores, entradas, escaleras, puertas, rampas y señalización Tabla 2.3 El “Símbolo Internacional de Accesibilidad” Se utilizará en edificios e instalaciones de uso público, para indicar entradas accesibles, recorridos, estacionamientos, rampas, baños, teléfonos y demás lugares adaptados para personas con discapacidad. En su caso, se debe cumplir con lo dispuesto en las normas oficiales mexicanas NOM-026-STPS y NOM-001-SSA. De acuerdo con la Tabla 6.1, el edificio propuesto, tiene una superficie construida por planta de 1 600 m², lo que arroja los siguientes resultados: 1 232.96 m² de área privativa y 367.04 m² de áreas de circulación y vestíbulos (figura 9). Considerando el total de metros por suponer que se encuentran usuarios

transitando por los vestíbulos y accesos de las diferentes dependencias, resultando $1\ 232.96\ m^2 / 6 = 205.49 = 206$ usuarios por planta y dando una población total del edificio de $206 \times 85\ pisos = 17\ 510$ usuarios.

Con relación a la accesibilidad para personas con discapacidad, se considera que el edificio cumple con la normatividad establecida.

Artículo 90. “Las edificaciones se clasifican en función al grado de riesgo de incendio de acuerdo con sus dimensiones, uso y ocupación: riesgos bajo, medio y alto, de conformidad con lo que se establece en las normas. Las edificaciones se clasifican en función al grado de riesgo de incendio, de acuerdo a sus dimensiones” (tabla 1.2).

Grado de riesgo para edificaciones no habitacionales			
Concepto	Bajo	Medio	Alto
Altura de la edificación (en metros)	hasta 25	no aplica	mayor a 25
Número total de personas que ocupan el local, incluyendo trabajadores	menor de 15	entre 15 y 250	mayor de 250
Superficie construida (en m ²)	menor de 300	entre 300 y 3 000	mayor de 3 000
Inventario de gases inflamables (en litros)	menor de 500	entre 500 y 3 000	mayor de 3 000
Inventario de líquidos inflamables (en litros)	menor de 250	entre 250 y 1 000	mayor de 1 000
Inventario de líquidos combustibles (en litros)	menor de 500	entre 500 y 2 000	mayor de 2 000
Inventario de sólidos combustibles (en kilogramos)	menor de 1 000	entre 1 000 y 5 000	mayor de 5 000
Inventario de materiales pirofóricos y explosivos	no existen	no existen	cualquier cantidad

Tabla 1.2 Clasificación de las edificaciones de acuerdo al grado de riesgo.

Aplicando el artículo 90 el edificio modelo tiene una clasificación de riesgo alto, según la tabla 1.2, por lo tanto, la

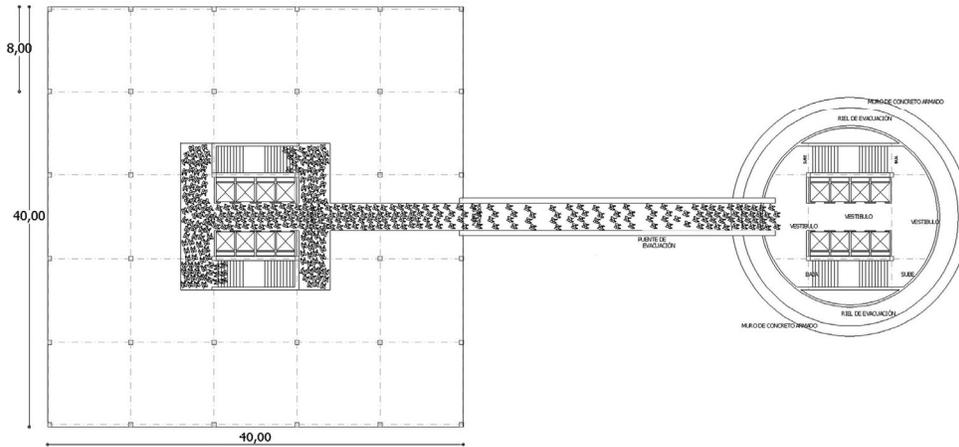


Figura 10. Planta arquitectónica del edificio modelo y espacio seguro alterno.
Fuente: Martínez-Rivera.

resistencia mínima al fuego en minutos de los elementos de construcción, acabados y accesorios, de conformidad a la NMX-C-307 “Industria de la construcción-edificaciones-componentes-resistencia al fuego-determinación”.

A partir del artículo que procede, se empieza a analizar, funcionalmente la accesibilidad y evacuación del espacio alterno que se propone, ya que el RCGDF establece que las dimensiones mínimas de puertas, vestibulación, circulaciones horizontales y verticales dentro de un mismo edificio, pero que en los edificios torre, como se ha visto, no funcionan adecuadamente para estos propósitos.

De tal forma, que como ya se ha propuesto, las rutas de accesibilidad y evacuación se realizarán en un espacio alterno y a través de un puente ubicado a cada cinco entresijos del edificio modelo, que comunica al espacio seguro alterno, en el que se determinarán con base en este artículo las dimensiones de los espacios a que se refiere.

Artículo 91. Para garantizar tanto el acceso como la pronta evacuación de los usuarios en situaciones de operación normal o de emergencia en las edificaciones, éstas contarán con un sistema de puertas, vestibulación y circulaciones horizontales y verticales con las dimensiones mínimas y características para este propósito, incluyendo los requerimientos de accesibilidad para personas con discapacidad que se establecen en este capítulo y en las normas.

En las edificaciones de riesgos bajo y medio a que se refiere el artículo anterior, el sistema normal de acceso y salida se considerará también como ruta de evacuación con las características de señalización y dispositivos que establecen las normas.

En las edificaciones de riesgo alto a que se refiere el artículo anterior, el sistema normal de acceso y salida será in-

crementado con otro u otros sistemas complementarios de pasillos y circulaciones verticales de salida de emergencia (figura 10).

Ambos sistemas de circulaciones, el normal y el de salida de emergencia, se considerarán rutas de evacuación y contarán con las características de señalización y dispositivos que se establecen en las Normas (NOM-026-STPS y NOM-001-SSA).

La existencia de circulaciones horizontales o verticales mecanizadas tales como bandas transportadoras, escaleras eléctricas, elevadores y montacargas se considerará adicional al sistema normal de uso cotidiano o de emergencia formado por vestíbulos, pasillos, rampas y escaleras de acceso o de salida.

De acuerdo con lo que establece la tabla 1.3. “Las puertas de acceso, intercomunicación y salida deben tener una altura mínima de 2.10 m y una anchura libre que cumpla con la medida de 0.60 m por cada 100 usuarios o fracción pero sin reducir las dimensiones mínimas que se indican para cada tipo de edificación”, de las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico del RCGDF.

Tipo de edificación	Tipo de puerta	Ancho mínimo
Oficinas privadas y públicas	Acceso principal	0.90 m

Tabla 1.3. Medidas y características de las puertas de acceso.

En la solución del modelo, se trata de calcular la medida y accesibilidad de la puerta de acceso para una población de 1 030 usuarios que deberán transitar al puente, en esta propuesta, el puente estará ubicado a cada cinco plantas, a partir del quinceavo piso hasta el piso setenta del edificio. El edificio contará con once puentes de accesibilidad y evacuación al seguro (figura11).

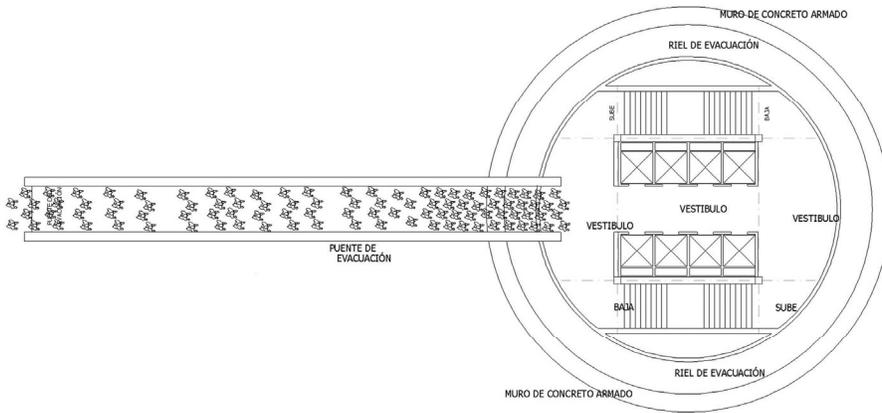


Figura 11: Planta arquitectónica del espacio exterior seguro.
Fuente: Martínez-Rivera, 2008.

En este modelo, la población del edificio es de 206 usuarios por nivel, la dimensión mínima del único acceso a cada puente, resultará del análisis de flujo de movimiento desde el punto más distante hasta cada centro de reunión del espacio seguro.

Primer paso, se determinará el ancho mínimo en las puertas de acceso en cada dependencia siguiendo la ruta de evacuación señalizada en cada nivel del edificio propuesto.

Se considera que A y B tiene una superficie de ocupación de 8.20 m² cada una; entonces tendremos $87.20/100 = 0.87$ de carga de ocupación en cada área, de acuerdo al artículo 98 el valor de 0.60 m por cada 100 usuarios, y utilizando la unidad de salida será igual a $29/100 = 0.29$ unidad de 0.60 m; el módulo de puerta es 0.60 m, y de acuerdo al párrafo II.5 se incrementará con un factor de 1.25, resultando $0.60 \times 1.25 = 0.75$ m y la norma marca 0.90 m como mínimo.

Utilizando la tabla 1.4 se puede determinar el ancho mínimo del pasillo de circulación dentro del modelo, tendremos la suma de la carga de ocupación (Co) conforme atraviese la ruta de evacuación frente a cada recinto, determinando el ancho mínimo libre en metros, de la vía de evacuación en cada pasillo. Ancho mínimo marcado en el artículo 91, para las áreas A y B tendremos 29 usuarios entre el coeficiente de uso 100 por la constante 0.60 y será igual a 0.17 de ancho, donde las medidas mínimas marcadas en la tabla 1.3 señala 0.90 m como mínimo en circulación secundaria del pasillo 1, de la misma manera obtendremos para los pasillos 2, 3 y 4.

El segundo paso será dimensionar el punto de intersección I donde confluyen las áreas A, B, C y N, dando 60 usuarios en este punto, considerando por la ubicación de la escalera en un momento dado durante un evento de emergencia serán ocupados en suma progresiva hasta cinco niveles dando un total a calcular de 300 entre 100 por 0.60 obtendremos un valor de 1.80 de ancho en el pasillo principal, llevándonos a una intersección en dos direcciones

para encontrar el módulo de ascensores donde tendremos una cantidad de 600 usuarios en circulación dando un ancho de 3.60 m en el punto 2, sumando el punto 5 que es similar al anterior tendremos que el mínimo requerido en el pasillo vestíbulo de ascensores será de 6.18 metros.

El tercer paso se realiza obteniendo el ancho mínimo de la escalera de evacuación utilizando la ecuación (4), 600 entre 100 por 0.60 y esto multiplicado por el factor 1.5 de la tabla 3 nos da un ancho de escalera de 5.40 m en una sola escalera o dividida en dos secciones separadas de 2.70 m como el modelo propuesto.

Por último, la medida de la puerta de acceso principal y evacuación al espacio exterior seguro, la obtendremos dividiendo 1 030 usuarios entre 100 por 0.60 dando un resultado de 6.18 m de ancho de puerta

Referente a los pasillos se especifican las dimensiones mínimas de las circulaciones horizontales de las edificaciones, no serán inferiores a las establecidas.

Tipo de edificación	Circulación horizontal	Ancho	Altura (m)
administración, bancos, oficinas, casas de bolsa y casas de cambio	circulación principal	1.20	2.30
	circulación secundaria	0.90	2.30

Tabla 1.4. Medidas mínimas en circulaciones horizontales.

Tomando como base las vías de evacuación donde la circulación principal del piso en donde se encuentra el puente se obtendrá sumando la población de los cinco niveles propuestos, $1\ 030 \text{ usuarios}/100 \times 0.60 = 6.18$ m, ancho del pasillo de evacuación hacia el puente (figura 11). El ancho del puente tendrá una medida equivalente al pasillo de evacuación principal. En el punto VII de las consideraciones com-

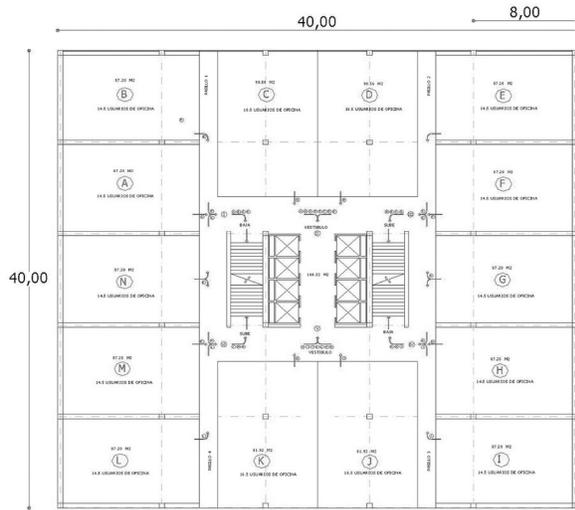


Figura 12: Área de ocupación en módulo.
Fuente: Martínez-Rivera, 2008.

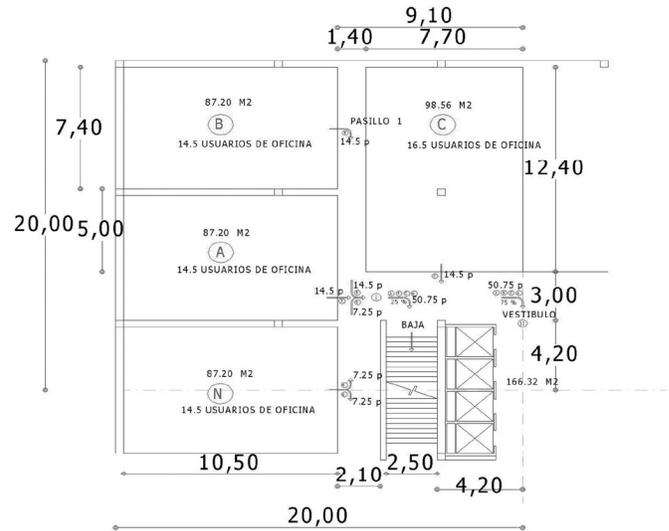


Figura 12: Medidas y recorridos en el flujo de evacuación.
Fuente: Martínez-Rivera, 2008.

plementarias, se establece que el ancho de las circulaciones horizontales no debe disminuirse en ningún punto.

Un pasillo o una escalera protegida son aquellos que cumplen unas condiciones de aislamiento que se resumen en tener un comportamiento ante el fuego definido, compartimentado de otros recintos RF-120 y comunicado con los mismos mediante vestíbulo previo, siendo de uso exclusivo para la circulación, toda vez que disponen de medios adecuados para la ventilación y la extracción de humos.

Los simulacros de evacuación son un ejercicio en el cual los ocupantes de un edificio se desplazan de la posición que ocupan en el interior del mismo hasta un espacio exterior seguro tratando de reproducir la forma que lo realizarían en una situación de emergencia, estando o no avisados los ocupantes del mismo, desconociendo si se trata de una situación real o de un simulacro.

Tipo de edificación	Tipo de puerta	Ancho mínimo (m)
oficinas privadas y públicas	para público, hasta cinco niveles	0.90
	para público, más de cinco niveles	1.20

Tabla 1.5 Dimensiones mínimas de escaleras de acuerdo a su uso.

Los ejercicios en los cuales las medidas de las escaleras a que se refiere este artículo, sólo se observarán para circulación y comunicación interna del edificio tabla 1.5

Las escaleras para la accesibilidad y evacuación segura del edificio en el espacio alterno, tendrán un ancho mínimo de $1\ 030\ usuarios/100 \times 0.60\ m. = 6.18\ m$ de ancho de escalera o dos escaleras de 3.09 m de ancho en la planta de acceso al espacio seguro alterno.

Considerando que de esta cantidad de personas a evacuar, la gran mayoría (75%) preferirá evacuar por los ascensores y una cantidad menor (25%) de personas lo harían por las escaleras, entonces se podría determinar el ancho de las escaleras de la manera siguiente:

El RCGDF establece para edificaciones de uso administrativo, oficinas privadas y públicas, hasta de 5 niveles el ancho mínimo de las escaleras será de 0.90 m y de 1.20 para más de 5 niveles de 1.20 m.

$$Ae = \frac{1\ 030\ usuarios \times 25\ \%}{100} (0.60) = 1.55\ m \quad (1)$$

Donde

Ae = es el ancho mínimo de las escaleras en el edificio modelado.

$$Av = \frac{1\ 030\ usuarios \times 75\ \%}{100} (0.60) = 4.65\ m \quad (2)$$

Donde

Av es el ancho mínimo del vestíbulo de elevadores

En el diseño y construcción de elevadores, escaleras eléctricas y bandas transportadoras se debe cumplir con lo dispuesto en la Norma Oficial Mexicana NOM-053-SCFI y con lo establecido en el Artículo 620 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE.

Los edificios cuyo uso es público que requieran de la instalación de elevadores para pasajeros, tendrán al menos un elevador con capacidad para transportar simultáneamente a una persona en silla de ruedas y otra a pie.

La capacidad de transporte del elevador o sistema de elevadores, será cuando menos la que permita desalojar

10% de la población total del edificio en cinco minutos, se debe indicar claramente en el interior de la cabina, la capacidad máxima de carga útil, expresada en kilogramos y en número de personas, calculadas en 70 kg cada una, 17 510 usuarios en total por el 10 % dará como resultado una población de 1 751 usuarios.

$$C_T = 17\,500 \times 0.10 = 1\,751 \text{ usuarios} \quad (3)$$

C_T = capacidad de transporte

Para el cálculo de elevadores se considerará la mayor afluencia de personas en planta baja, y se tendrá un vestíbulo al frente cuyas dimensiones dependerán de la capacidad del elevador y del número de cabinas, considerando 0.32 m² por persona.

Los elevadores con que contará el edificio alterno, serán dos con cabina doble, con capacidad para 71 personas, por cada cinco niveles, de la marca KONE Alta R, que han sido proyectados para la próxima generación de rascacielos, de hasta 500 metros de altura y cuyas características son las siguientes:

Capacidades de carga y velocidad		
cabina simple	hasta 2,000 kg a máximo 17 m/s	28 personas
cabina doble	hasta 5,000 kg a máximo 10 m/s	71 personas
montacargas	hasta 10,000 kg a máximo 4 m/s	
recorrido máximo	500 m/ 2 paradas	
arranques por año	hasta 800 000 arranques	
dimensiones máximas del sistema	grupo de ocho cabinas	

Tabla 1.6. capacidades de los elevadores Kone Alta R.

$$C_u = \frac{P_p}{P_u} \quad (4)$$

Donde

C_u es la capacidad de usuarios

P_p el peso permisible

P_u el peso del usuario

Vestíbulo para los ascensores para cada cinco niveles: ocho cabinas con capacidad de 71 usuarios por el factor 0.32 m² dará como resultado 181.76 m² de vestíbulo. El tiempo para la evacuación total del edificio, se tomará conside-

rando la evacuación de los últimos cinco pisos del edificio modelo, por ser las que están más alejadas de la planta baja. La altura que recorrerán las ocho cabinas, con una capacidad de 568 personas por viaje, es de 249 m y 249 m/10ms = 24.9 seg. En cada recorrido, se le agregarán 180 segundos, a razón de 80 segundos máximo, por parada, según tabla 6.6; lo que arroja un total de 204.9 seg, es decir, 3.42 minutos por recorrido.

El intervalo máximo de espera será de 80 segundos sin menoscabo de lo que se indica en la tabla 1.7.

Capacidades de carga y velocidad	
Tipo de edificación	Tiempo de espera máximo (seg)
servicios administrativos y financieros	35
oficinas privadas	35

Tabla 1.7. Tiempo de espera máximo en elevadores.

Para la evacuación de 1 751 usuarios por cada tramo de cinco pisos entre 568 usuarios por recorrido, se realizarían 3.08 viajes.

Escaleras eléctricas. Las escaleras eléctricas para transporte de personas tendrán una inclinación máxima de 30 grados y una velocidad máxima de 0.60 m/seg.

Bandas transportadoras para personas. Las bandas transportadoras para personas tendrán un ancho mínimo de 0.60 m y máximo de 1.20 m, una pendiente máxima de 15 grados y una velocidad máxima de 0.70 m/seg.

El sistema de elevadores dentro del edificio sólo es funcional para la accesibilidad, pero no para la evacuación de los mismos en caso de sismo o incendio ya que su uso queda prohibido por el RCGDF.

Rutas de evacuación y salidas de emergencia. Todas las edificaciones clasificadas como de riesgo medio o alto, deben garantizar que el tiempo total de desalojo de todos sus ocupantes no exceda de 10 minutos, desde el inicio de una emergencia por fuego, sismo o pánico y hasta el último ocupante del local ubicado en la situación más desfavorable abandone el edificio en emergencia. En su caso podrá contar con áreas de resguardo.

La velocidad, con fines de diseño para un desalojo en condiciones de emergencia, se considera de 2.5 m/seg considerando como máximo, el paso de una persona por segundo por cada 0.60 m de ancho de la puerta más angosta, circulación horizontal o circulación vertical sin menoscabo de lo indicado por el artículo 92 (RCGDF).

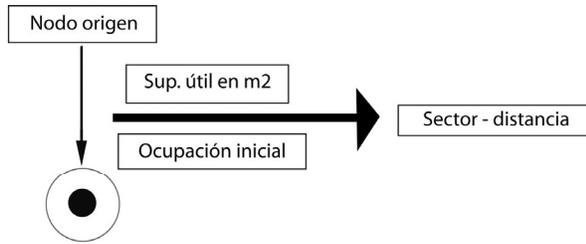


Figura 14: Modelo de red estática.
Fuente: Martínez-Rivera, 2008.

Metodología. Para toda investigación es de importancia fundamental que los hechos y relaciones que establece, los resultados obtenidos o nuevos conocimientos tengan el grado máximo de exactitud y confiabilidad. Esta investigación es descriptiva, con un diseño metodológico, fundamentado en la estructura sistemática para el análisis de información que dentro del marco metodológico nos lleva a interpretar los resultados en función del problema que se investiga y de los planteamientos teóricos del mismo diseño.

La metodología utilizada, es la propia del método científico, (figura 13) se inicia observando y formulando un problema, se propone un modelo, se aplica a casos concretos, se analizan los resultados, finalmente, obtenemos conclusiones. En contraste con el RCGDF del 2004, con información actual, considerando la accesibilidad de salida en caso de siniestro en el proyecto arquitectónico.

Análisis de los elementos en la red. Los elementos más habituales que se presentan en las redes utilizadas en los problemas de evacuación de edificios son las vías de circulación (figura 14) las confluencias y las ramificaciones. Estos elementos permiten configurar el sistema en un entorno dinámico y analizar el proceso de evacuación que se desarrolla.

Una vía de circulación simple es como un conjunto de n dependencias, situadas sucesivamente desde un origen hasta un destino unidas mediante circulaciones simples, secundarias y principales.

La unión de varias vías de circulación o de salidas de dependencias que convergen en una sola da lugar a una ramificación.

Análisis de una vía de circulación. Se considera una vía de circulación simple, formada por un recinto origen ocupado por un número de personas en disposición de abandonarlo, un pasillo de circulación PP con una capacidad de ocupación y un vestíbulo destino VD con capacidad suficiente para albergar la totalidad de los ocupantes, cuatro comunicaciones que unen la vía de origen con la de circulación vertical y esté con el destino con capacidades de circulación respectivamente y tiempos de circulación variables. El recinto descrito puede

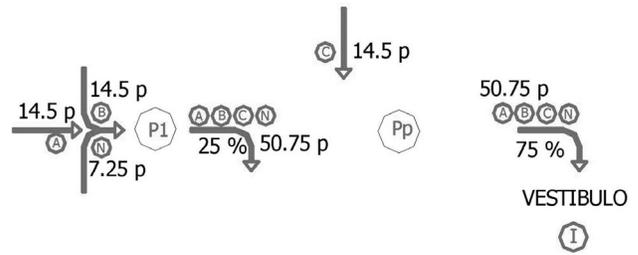


Figura 15: Nomenclatura de la red estática.
Fuente: Martínez-Rivera, 2008.

observarse en la figura 13 y la correspondiente red estática en la figura 15.

Analizando en el periodo inicial la totalidad de ocupantes de la dependencia origen se hallan en posición de la salida para acceder al pasillo 1, de forma que no sea preciso modelar las incorporaciones a la red, en cualquier periodo de tiempo se cumple que la totalidad de ocupantes están en posición de abandonar el recinto. Mediante L se designa la longitud total del pasillo 1, corresponde a la primera longitud del tramo de pasillo y L2 la longitud del segundo tramo del pasillo convertido en pasillo principal, el tiempo de circulación por cada uno de los tramos L y L2 es de un periodo, cuando aparecen retenciones se produce un periodo de disminución en el flujo de circulación.

$$A = \frac{Fu}{Cp} \quad (5)$$

Donde A es el área de piso, Fu el factor de uso Art. 81 y Cp la capacidad modelada en el pasillo

$$TR = \frac{L}{VE} \quad (6)$$

Donde TR es el tiempo de recorrido, L es la longitud del espacio a recorrer y VE es la velocidad empleada en metros por segundo.

Aplicando las ecuaciones (5) y (6): en el primer periodo el número de personas que abandonan el punto de origen y acceden al pasillo 1, será: Sector A $(87.20/6.00) = 14.53$ usuarios entre 6 ocupantes en circulación, tendremos 2.42 bloques en movimiento multiplicado por el tiempo de desplazamiento Tr al pasillo 1.

$$\left(\frac{10.00}{2.5}\right) = 4 \text{ seg} \times 2.42 \text{ bloques} = 9.68 \text{ seg.} \quad (7)$$

En el segundo periodo los usuarios que están en confluencia de sectores, e inicio del tramo de recorrido en el pasillo principal, será: pasillo 1 $(87.20/6.00)/6$ tendremos 2.42 bloques en movimiento multiplicado por el tiempo de desplazamiento TR al pasillo principal

$$\left(\frac{8.00}{2.5}\right) = 3.20 \text{ seg} \times 2.42 \text{ bloques} = 7.74 \text{ seg.} \quad (8)$$

El flujo de recorrido de las dependencias del sector, serán:

Sectores A y N $(174.40/6.00)/6$ tendremos 4.84 bloques en movimiento al pasillo principal

$$\left(\frac{4.80}{2.5}\right) = 1.90 \text{ seg} \times 4.84 \text{ bloques} = 9.19 \text{ seg.} \quad (9)$$

Sector M $(43.60/6.00)/6$ tendremos 1.21 bloques al pasillo principal

$$\left(\frac{4.00}{2.5}\right) = 1.60 \text{ seg} \times 1.21 \text{ bloques} = 1.93 \text{ seg.} \quad (10)$$

Sector B $(98.56/6.00)/6$ tendremos 2.73 bloques al pasillo principal

$$\left(\frac{12.80}{2.5}\right) = 5.12 \text{ seg} \times 2.73 \text{ bloques} = 13.97 \text{ seg.} \quad (11)$$

Pasillo principal $(316.56/6.00)/9$ tendremos 5.86 bloques al vestíbulo de escaleras

$$\left(\frac{10.70}{2.5}\right) = 4.28 \text{ seg} \times 5.86 \text{ bloques} = 25.08 \text{ seg.} \quad (12)$$

Considerando las recomendaciones reglamentarias de no utilizar los ascensores en caso de siniestro tendremos que la población del edificio se desplazará por las escaleras internas al vestíbulo que conduce al puente de comunicación, destinado para acceder al espacio alterno seguro. Utilizando la tabla 6.5. para definirla.

Escaleras de intercomunicación $(316.56/6.00)/12$ tendremos 4.40 bloques al pasillo principal siguiente.

$$\left(\frac{10.70}{2.50}\right) = 6.67 \text{ seg} \times 4.40 \text{ bloques} = 29.35 \text{ seg.} \quad (13)$$

Al final del periodo resulta ocupada toda la superficie del pasillo principal que comunica al puente, en principio se supone que no alcanza la capacidad de ocupación máxima.

La capacidad del vestíbulo de elevadores al final del periodo será: ocho cabinas con capacidad de 71 usuarios cada una, multiplicado por 0.32 como factor de ocupación en vestíbulo de elevadores, resultará una superficie de 181.76 m² de vestíbulo.

$$Cu = \frac{Pp}{Pu} \quad (14)$$

Donde:

Cu es la capacidad de usuarios
 Pp el peso permisible
 Pu el peso del usuario

De la ecuación (14), la capacidad del elevador será: 5,000 kg/70 kg, tendremos 71 usuarios.

El tiempo para la evacuación total del edificio se tomará considerando la evacuación del espacio seguro alterno en los 83 niveles que consta edificio modelo, por ser las más alejadas de la planta baja hacia el espacio exterior seguro. La altura que recorrerán las ocho cabinas, con una capacidad de 568 personas por viaje es de 249 metros.

$$Tr = \frac{Hr}{Ve} \quad (15)$$

Donde

TR es el tiempo de recorrido
 HR es la altura de recorrido
 VE la velocidad del elevador

De acuerdo a la ecuación (15), tendremos 249 m de altura entre la velocidad del elevador a 10 m por segundo resultarán 24.9 seg de recorrido desde el último piso, hasta la planta baja del edificio alterno seguro, en este lapso de tiempo, se le agregarán 175 seg a razón de 35 seg máximo, por parada, según tabla 1.7; lo que arroja un total de 199.9 seg es decir, 3.33 min por recorrido.

El intervalo máximo de espera será de 35 seg sin menoscabo de lo que se indica en la tabla 1.7.

Para la evacuación de 5 075 personas para el tramo de 83 pisos entre 568 personas por recorrido, se realizarían 8.93 viajes.

Entonces, la evacuación por elevador del edificio alterno seguro al vestíbulo del espacio exterior seguro sería de 8.93 viajes, por 3.33 min, será igual a 29.74 min como tiempo máximo.

El desplazamiento final desde el vestíbulo de elevadores en planta baja hasta el punto de reunión del espacio exterior seguro será:

Vestíbulo de elevadores 568.00 usuarios entre 9 resulta 63.11 bloques, al punto de reunión seguro.

$$\left(\frac{19.6}{2.5}\right) = 7.84 \text{ seg} \times 63.11 \text{ bloques} = 494.78 \text{ seg.} \quad (16)$$

Resultando 494.78 seg, esto es 8.25 min sumando todos los intervalos analizados de la planta figura 11, se realizó el recorrido al punto de reunión seguro en 39.48 minutos en total.

Conclusiones

El diseño del espacio alterno que se propone para la accesibilidad y evacuación rápida y segura de edificios altos en caso de siniestro deberá contar con las siguientes características:

1. Su cimentación y estructura deberán estar diseñadas con márgenes de seguridad y de rigidez estructural, capaces de soportar sismos de hasta 8.5 grados en la escala de Richter, ser capaces de resistir impactos de misiles y aviones de cualquier acto de terrorismo y efectos de los vientos huracanados.

2. Los muros exteriores deberán ser lo suficientemente resistentes y con el espesor adecuado para resistir impactos y estar protegidos contra la acción del fuego.

3. Este espacio deberá estar diseñado de acuerdo con las normas establecidas, y se utilizará únicamente para dotar los espacios necesarios para la libre circulación de las personas a evacuar (vestíbulos, elevadores, escaleras, equipos contra incendio, extractores de humo, aire acondicionado, extintores, sistema de contra incendio, etcétera).

4. En este espacio no podrá haber establecimientos comerciales ni de ningún otro género que puedan obstruir la evacuación rápida y segura de los usuarios, personal de rescate y seguridad.

5. Deberá estar presurizada, con ventanas altas que eviten que las personas alojadas en este espacio, tengan visibilidad al exterior.

6. El diseño de las escaleras y elevadores para la circulación vertical deberán observar las normas de diseño establecidas en el RCGDF o bajo la norma básica de la edificación NBE-CPI-96.

7. Los puentes de evacuación que se proponen para la accesibilidad y evacuación rápida y segura estarán ubicados cada tres pisos, entre el paramento o paramentos de los edificios, deberán tener una estructura propia; es decir, no adosada a la estructura del o de los edificios, y contar con articulaciones en sus apoyos que absorban entre ellos el movimiento vertical y horizontal producido por los siniestros en los edificios.

8. Este espacio se utilizará únicamente, para el acceso y evacuación del o los edificios.

9. El edificio, para su evacuación rápida y segura, contará con un túnel de al menos dos niveles bajo el nivel de la calle y sus dimensiones y características serán diseñados con base en lo señalado en los puntos 1, 3 y 5, este túnel de evacuación tendrá acceso a la vía pública o un espacio abierto, libre de todo peligro☹

Fuentes de consulta:

- Martínez-Cruz, Calixto, Rivera-Torres, Héctor, tesis de grado de maestría en construcción, "Accesibilidad en las Edificaciones en caso de Siniestro", Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana, Región Poza Rica-Tuxpan, 14 de diciembre de 2008.
- ASTM, vol. 33 Núm. 3 "Adapted, with permission, from ASTM Standardization News", *The Annual Book of ASTM Standards*, Copyright ASTM International, 100 Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428"
- CTB&UHE, 2000. *Council on Tall Buildings & Urban Habitat-Emporis*. Completed by Marshall Gerometta Editorial de la Revista, *Ley 51/2003, "Igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad"*. *Mexico City Earthquake, September 19, 1985. Collapsed General Hospital*. 1985. (U.S. Geological Survey Photographic Library)
- MTA-SDUVGDF (2004). *Manual Técnico de Accesibilidad*, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno del Distrito Federal
- NOM (2004) *Normas Oficiales Mexicanas aplicables al Diseño Arquitectónico*
- NBE-CPI-96 *Norma Básica de la Edificación*. España, "Condiciones de protección contra incendios en los edificios".
- Norma Británica 5588-8:1999*. "Fire precautions in the design, construction and use of buildings", Part 8:Code of practice for means of escape for disabled people.
- NIST *Instituto Nacional de Normas y Tecnología*
- NFPA *National Fire Protection Association*.
- NMSCT (2004) *Normas Mexicanas Secretaría de Comunicaciones y Transportes*.
- RCEV (2000). *Reglamento de construcciones del Estado de Veracruz*.
- RCGDF (2004). *Reglamento de Construcciones del Gobierno del Distrito Federal*. Gaceta.

Datos de los autores:

*Profesor-investigador de tiempo completo, Universidad Veracruzana. cmartinez@uv.mx

** Profesor-investigador de tiempo completo, Universidad Veracruzana. k_the_best@hotmail.com