



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

**SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES**

**PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO POR VIENTO DE
EDIFICACIÓN PARA VIVIENDA A NIVEL MUNICIPAL**

– ATLAS NACIONAL DE RIESGOS –

Oscar López Bátiz

Dirección de Investigación
Subdirección de Riesgos Estructurales

Febrero de 2021

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVO Y ALCANCES.....	5
1. INFORMACIÓN BASE, BIENES EXPUESTOS.....	6
2. INFORMACIÓN BASE, VELOCIDAD DE VIENTO.....	14
3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS, SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO.....	15
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
REFERENCIAS	20
AGRADECIMIENTOS.....	21

INTRODUCCIÓN

Históricamente en nuestro país, al igual que en gran parte de los países en vías de desarrollo, se observan consistentemente daños en las edificaciones ante la incidencia de eventos naturales, como sismos y fenómenos meteorológicos. Dentro de las edificaciones mayormente afectadas se encuentran las viviendas, principalmente las de bajo costo, la mayoría de las cuales son de autoconstrucción, en las que se emplean materiales de baja calidad, es decir, materiales que pueden denominarse como materiales de características precarias.

En cuanto a los fenómenos meteorológicos, la manifestación de los mismos que mayormente genera daño es el viento que, junto con la lluvia, son una de las principales manifestaciones de este tipo de fenómenos perturbadores. Los vientos son movimientos de masas de aire debidos principalmente a diferencias de presión-temperatura en las distintas zonas de la atmósfera. Estos movimientos ocurren constantemente; sin embargo, para el diseño estructural interesan esencialmente los vientos que presentan las velocidades más altas en un sitio, generalmente asociados a fenómenos atmosféricos excepcionales.

Cuando se habla de estructuras de edificación, monumentos, anuncios, muros, puentes e infraestructura urbana y carretera en general, es muy importante revisar su estabilidad y seguridad ante el efecto de las fuerzas que se generan por las presiones producidas por el viento cuando incide sobre las superficies de las construcciones y/o instalaciones; estas fuerzas se transmiten al sistema estructural, por lo que se debe considerar este efecto, al menos, como una acción estática equivalente del viento. Existen algunos tipos de estructuras que resultan sensibles a los efectos dinámicos que genera la variación temporal y espacial del viento sobre los obstáculos, el análisis de ese tipo de bien expuesto, como los anuncios espectaculares e infraestructura urbana y carretera, queda fuera del alcance del presente estudio.

Algunas de las herramientas primordiales para cuantificar los efectos de vientos fuertes y revisar la seguridad de las estructuras ante su impacto lo constituyen los procedimientos de diseño por viento de edificaciones y otras construcciones, algunos de los cuales se incluyen en los reglamentos y normas de diseño y construcción, así como estudios de investigación experimental en túnel de viento. Ambas herramientas se utilizan para determinar, de manera cuantitativa, las fuerzas equivalentes debidas a viento en edificios, accesorios y otras estructuras. La primera lo hace a través de procedimientos de análisis y diseño que tienen que cumplir con una serie de requisitos e hipótesis simplificadoras, mientras que la segunda lo hace mediante pruebas experimentales que miden directamente las presiones, y por lo tanto las fuerzas, que ejerce el viento sobre un objeto específico, en un modelo en tercera dimensión y su entorno. De hecho, muchas veces algunos de los parámetros utilizados en los cálculos numéricos de los procesos de diseño por viento se calibran usando estudios en túnel de viento genéricos, o específicos para estructuraciones particulares.

En México, debido a su ubicación geográfica, condiciones climáticas y geológicas, así como a problemas de construcción de asentamientos humanos inadecuadamente diseñados y supervisados en zonas de peligro no identificado, la edificación e infraestructura tiende a ser vulnerable ante la posible ocurrencia de fenómenos naturales, en particular ante el impacto de huracanes y sismos. Algunos de estos fenómenos, por la magnitud y alcance de la región, han provocado severos daños que requieren de una respuesta institucional, para lo cual se deben canalizar importantes cantidades de recursos económicos en un primer momento para resolver la situación de emergencia y, posteriormente, para resarcir los daños y restablecer las condiciones de normalidad social y económica de la región afectada.

Con el propósito de poder identificar con fines preventivos el porcentaje de daño esperado en edificación para vivienda ante el posible impacto de un evento postulado, se han desarrollado estudios de susceptibilidad de daño de bienes expuestos ante la acción de vientos fuertes, análisis que forman parte de las actividades preventivas de la Gestión Integral de Riesgos. Para este tipo de trabajos se usan funciones de vulnerabilidad que, en la mayoría de los casos, establecen una relación entre el valor de la variable que define la intensidad del fenómeno perturbador y el porcentaje de daño esperado en el bien expuesto. Para el caso de vientos fuertes la variable que generalmente define la intensidad del fenómeno es la velocidad de diseño; la cual se determina a partir de la velocidad regional de ráfaga en la zona donde se encuentra el agente afectable, considerando además las características del sitio como topografía del entorno y características del entorno construido, entre otras.

Adicionalmente, para lograr una adecuada respuesta institucional ante una emergencia o un desastre generado por algún fenómeno perturbador de origen natural, es importante que los recursos materiales y humanos fluyan rápidamente a las zonas afectadas para restituir la normalidad en aquellos sistemas que hayan sufrido daño severo, por lo que es indispensable contar con información que permita a la autoridad tener una idea con adecuado nivel de certidumbre, de los posibles sistemas afectables y, con base en ello, contar con los insumos materiales, humanos y financieros que permitan tener una respuesta pronta y expedita.

En el caso de la incidencia de vientos fuertes en la edificación para vivienda, es necesario integrar, analizar y medir la susceptibilidad de daño de la misma, eventualmente el riesgo, ante este tipo de fenómeno y conocer las pérdidas esperadas. Con la existencia de funciones de vulnerabilidad de los bienes expuestos y el valor del parámetro de intensidad, se tendrá la información mínima suficiente para determinar la susceptibilidad de daño y/o riesgo de la edificación para vivienda, para que la autoridad defina, de manera preventiva, los requerimientos mínimos de acciones de respuesta y atención de la emergencia ante algún evento perturbador generador de vientos fuertes.

En el presente documento se incluye una propuesta para el uso de las herramientas básicas existentes en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED) para el estudio de la susceptibilidad de daño en edificación para vivienda ante la incidencia de vientos fuertes y, con ello, poder elaborar un mapa a nivel municipal y/o de localidad. La propuesta se basa en dos parámetros: 1) el valor de la velocidad de diseño, que se constituye como la variable

de intensidad de las funciones y/o matrices de vulnerabilidad existentes; y, 2) las características físicas del bien expuesto, en este caso la edificación para vivienda. La convolución de las dos variables constituye la propuesta para la determinación simplificada de la susceptibilidad de daño.

No se omite mencionar que dado que la propuesta se sustenta en valores deterministas de las variables que intervienen en el proceso, además de no incluir el costo de reposición del bien expuesto, los resultados se presentan como susceptibilidad de daño y/o porcentaje de daño esperado del universo que conforma el bien expuesto.

OBJETIVOS Y ALCANCES

En el análisis de riesgos y la toma de decisiones para reducir afectaciones ante un escenario de un evento perturbador, las funciones y matrices de vulnerabilidad cobran particular importancia. Estas funciones establecen la relación entre los dos parámetros básicos del análisis: 1) la intensidad representativa del fenómeno, y 2) las características del sistema afectable, en este caso edificación para vivienda. En el caso que nos ocupa el parámetro de intensidad es la velocidad de diseño, y el sistema afectable es la edificación para vivienda, principalmente la unifamiliar.

El objetivo del estudio es mostrar el procedimiento para hacer el análisis de susceptibilidad de daño por viento en edificación para vivienda a nivel municipal, de modo que se pueda generar la información que constituya el insumo de un atlas local de riesgo, en este caso ante el impacto de vientos fuertes.

Para edificaciones del sector informal los niveles de velocidad reportados, incluso para periodos de retorno correspondientes a 10 años, provocarán un porcentaje no despreciable de daño en los componentes de estructuras para vivienda de este tipo; por tal motivo es que se incluye la información sobre las velocidades de diseño para periodos de retorno, incluso, de 10 años.

Este trabajo constituye la segunda etapa del estudio iniciado en 2019, de manera conjunta con la Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos de la Dirección de Investigación, en el que se presenta un procedimiento simplificado y con carácter determinista que tiene el propósito de ser una herramienta que permita a las autoridades locales, a nivel municipio, calcular el porcentaje de pérdida esperada por vientos fuertes asociados a los fenómenos que correspondan a los periodos de retorno considerados en el estudio.

1. INFORMACIÓN BASE, BIENES EXPUESTOS

La vulnerabilidad estructural se refiere al daño o afectación que sufrirá un activo determinado ante una amenaza dada. Usualmente se mide en términos de un porcentaje medio de daño o valor económico requerido para reparar el bien afectado y llevarlo a un estado de funcionalidad equivalente al que tenía antes de la ocurrencia del evento y la incertidumbre asociada. La vulnerabilidad se expresa en términos de las llamadas funciones y/o matrices de vulnerabilidad. Estas funciones de vulnerabilidad, generalmente, definen la distribución de probabilidad de las pérdidas como variables dependientes de la intensidad producida durante un escenario específico asociado a algún tipo de fenómeno y con una cierta frecuencia de ocurrencia (cierto periodo de retorno).

Para el caso de las edificaciones de vivienda, tanto del sector formal, como informal, se han elaborado matrices y/o funciones de vulnerabilidad que permitirían calcular la susceptibilidad de daño de edificaciones existentes ante el impacto de un evento perturbador postulado. Para poder hacer uso de estas funciones resulta necesario, al menos, contar con información de las características de la edificación o bien expuesto, del tipo de suelo en el que se desplanta y del nivel de intensidad del fenómeno. En el caso de los vientos fuertes, la intensidad se representa, a la fecha, por medio de la velocidad de diseño. En la figura 1 se muestra un función de vulnerabilidad característica para edificación de vivienda del sector informal en su respuesta ante el impacto de vientos fuertes (Sánchez González, 2013), en el eje vertical de la figura se presenta el porcentaje de pérdida esperada (considerando desviación estándar nula, análisis determinista) y en el eje horizontal de la misma, está la variable de intensidad, velocidad de diseño (generalmente en km/h). De curvas como la de la figura se identifica que se pueden alcanzar niveles de daño considerables, superiores al 10% de lo que representa la edificación, para velocidades relativamente bajas, por ejemplo 100 km/h, tomando en cuenta que las velocidades regionales para periodos de retorno de 10 años podrían ser superiores a ese valor en regiones costeras.

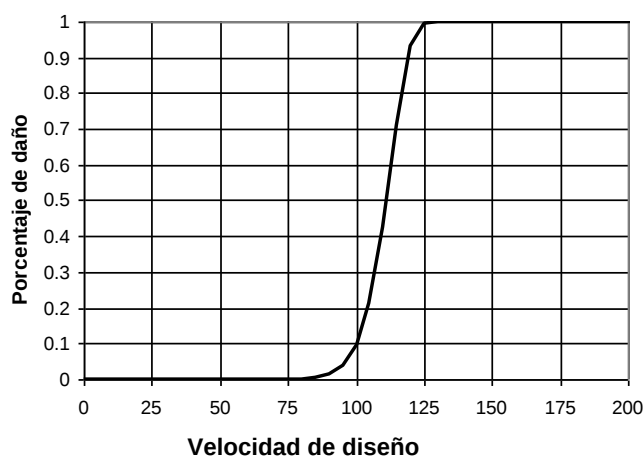


Figura 1 Ejemplo de función de vulnerabilidad por viento para edificación de muros de adobe de 2.0 m de altura y con techo flexible (Sánchez González, 2013)

El uso de funciones como las mostradas en la figura 1 resulta de gran utilidad para procedimientos sistematizados, en los que, además, se pueda contar con información con alto nivel de detalle sobre las características físicas y mecánicas de los componentes y materiales de las edificaciones para vivienda. En este sentido, la información referida sigue conformando el déficit de la mayoría de los trabajos realizados a la fecha para la elaboración de Atlas de Peligros y Riesgos, tanto a nivel estatal, como a nivel municipal. Sin dicha información solamente se puede aspirar a contar con un Atlas de Peligros, el cual, desde luego que es de la más alta importancia, es la base de todos los estudios, pero es necesario que, tanto las autoridades que tienen el compromiso y responsabilidad de elaborar los atlas, como las instancias y profesionales que realizan los trabajos respectivos, contextualicen adecuadamente los documentos; es decir, si no se cuenta con la información de las características físicas de los bienes expuestos, no es posible hacer mención a la vulnerabilidad física, por lo que tampoco será posible hacer un estudio de susceptibilidad de daño y/o riesgo.

Tomando en cuenta que un trabajo de levantamiento riguroso de información relacionada con las características de la edificación requiere de tiempo y, sobre todo, de una partida presupuestal importante, aspectos de los que, en la mayoría de los casos, adolecen las instancias de los tres órdenes de gobierno, en este capítulo se presentan dos procedimientos como opciones para establecer una relación entre los bienes expuestos del estado, municipio o localidad, centrándose en la edificación para vivienda, y el porcentaje de daño esperado para un nivel de velocidad de diseño asociada al municipio (CENAPRED, 2020).

En la Tabla 1 se incluye la lista de las 10 tipologías propuestas en la *Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social* (CENAPRED, 2014); y, asociada a cada tipología se incluye la relación entre el porcentaje de daño esperado y la velocidad de diseño, parámetro que define la intensidad del fenómeno viento fuerte (CENAPRED, 2020).

Se puede incluir la función de vulnerabilidad, con una expresión del tipo de función de distribución de probabilidad acumulada:

$$\delta(Sa) = 1 - e^{-au^m}$$

Expresión que en estos casos representa la relación entre la variable de intensidad del fenómeno y el porcentaje de daño esperado. Por simplicidad, estas funciones también se pueden representar como una matriz de pares de valores, porcentaje de daño esperado y velocidad de diseño, constituyendo así la representación simplificada de una función de vulnerabilidad con base determinista y sustento empírico-teórico (CENAPRED, 2003; Sánchez González, 2013). La relación, al no ser una función continua, puede requerir la necesidad de conocer el porcentaje de daño esperado asociado a un valor de velocidad de diseño intermedio entre los mostrados en las gráficas de la tabla, en esos casos se podrá determinar el valor del porcentaje de daño por medio de un proceso de interpolación lineal simple.

Tabla 1 Tipos de vivienda y funciones de daño esperado (información obtenida de campo)

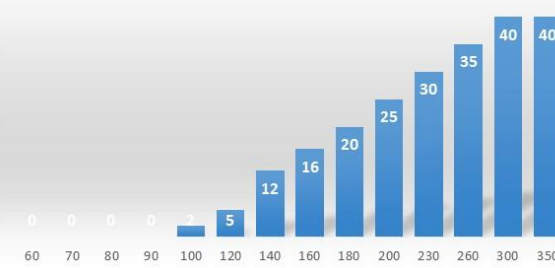
Tipo	Características de la vivienda	Función de vulnerabilidad (Relación entre porcentaje esperado de daño y velocidades de diseño (km/h))																														
1	Fotografía representativa Muros: Mampostería reforzada con castillos y dalas. Mampostería reforzada con castillos y dalas, con malla y mortero. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior. Techo: Techo y entrepisos rígidos. Cimentación: Zapata corrida de concreto o mampostería. Altura: Uno a cinco niveles. 	Edificación de vivienda Tipo 1  <table><tr><th>Velocidad de diseño (km/h)</th><th>Porcentaje esperado de daño (%)</th></tr><tr><td>60</td><td>0</td></tr><tr><td>70</td><td>0</td></tr><tr><td>80</td><td>0</td></tr><tr><td>90</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>0</td></tr><tr><td>120</td><td>2</td></tr><tr><td>140</td><td>5</td></tr><tr><td>160</td><td>10</td></tr><tr><td>180</td><td>12</td></tr><tr><td>200</td><td>14</td></tr><tr><td>230</td><td>16</td></tr><tr><td>260</td><td>18</td></tr><tr><td>300</td><td>20</td></tr><tr><td>350</td><td>20</td></tr></table>	Velocidad de diseño (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)	60	0	70	0	80	0	90	0	100	0	120	2	140	5	160	10	180	12	200	14	230	16	260	18	300	20	350	20
Velocidad de diseño (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)																															
60	0																															
70	0																															
80	0																															
90	0																															
100	0																															
120	2																															
140	5																															
160	10																															
180	12																															
200	14																															
230	16																															
260	18																															
300	20																															
350	20																															
2	Muros: Mampostería reforzada con castillos y dalas. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior. Techo: Flexibles. Cimentación: Zapata corrida de mampostería. Altura: Un nivel. 	Edificación de vivienda Tipo 2  <table><tr><th>Velocidad de diseño (km/h)</th><th>Porcentaje esperado de daño (%)</th></tr><tr><td>60</td><td>0</td></tr><tr><td>70</td><td>0</td></tr><tr><td>80</td><td>0</td></tr><tr><td>90</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>2</td></tr><tr><td>120</td><td>5</td></tr><tr><td>140</td><td>10</td></tr><tr><td>160</td><td>15</td></tr><tr><td>180</td><td>20</td></tr><tr><td>200</td><td>25</td></tr><tr><td>230</td><td>30</td></tr><tr><td>260</td><td>33</td></tr><tr><td>300</td><td>35</td></tr><tr><td>350</td><td>35</td></tr></table>	Velocidad de diseño (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)	60	0	70	0	80	0	90	0	100	2	120	5	140	10	160	15	180	20	200	25	230	30	260	33	300	35	350	35
Velocidad de diseño (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)																															
60	0																															
70	0																															
80	0																															
90	0																															
100	2																															
120	5																															
140	10																															
160	15																															
180	20																															
200	25																															
230	30																															
260	33																															
300	35																															
350	35																															
3	Muros: Mampostería deficientemente reforzada con castillos y dalas. Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente. Techo: Techos y entrepisos rígidos. Cimentación: Zapata corrida de mampostería. Altura: Uno a cinco niveles. 	Edificación de vivienda Tipo 3  <table><tr><th>Velocidad de diseño (km/h)</th><th>Porcentaje esperado de daño (%)</th></tr><tr><td>60</td><td>0</td></tr><tr><td>70</td><td>0</td></tr><tr><td>80</td><td>0</td></tr><tr><td>90</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>2</td></tr><tr><td>120</td><td>5</td></tr><tr><td>140</td><td>7</td></tr><tr><td>160</td><td>10</td></tr><tr><td>180</td><td>12</td></tr><tr><td>200</td><td>15</td></tr><tr><td>230</td><td>20</td></tr><tr><td>260</td><td>23</td></tr><tr><td>300</td><td>25</td></tr><tr><td>350</td><td>25</td></tr></table>	Velocidad de diseño (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)	60	0	70	0	80	0	90	0	100	2	120	5	140	7	160	10	180	12	200	15	230	20	260	23	300	25	350	25
Velocidad de diseño (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)																															
60	0																															
70	0																															
80	0																															
90	0																															
100	2																															
120	5																															
140	7																															
160	10																															
180	12																															
200	15																															
230	20																															
260	23																															
300	25																															
350	25																															

4

Muros: Mampostería deficientemente reforzada con castillos y dalas.
Mampostería de piezas huecas con refuerzo interior insuficiente.
Techo: Flexibles.
Cimentación: Zapata corrida de mampostería.
Altura: Un nivel.



Edificación de vivienda Tipo 4

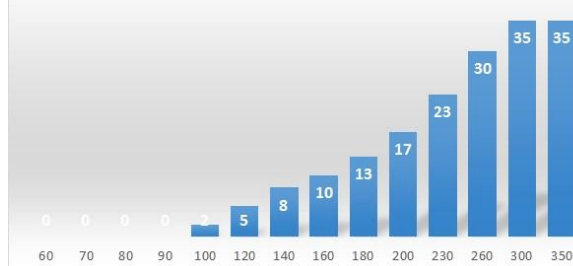


5

Muros: Mampostería simple.
Techo: Techos y entrepisos rígidos.
Cimentación: Zapata de mampostería.
Altura: Uno a tres niveles.



Edificación de vivienda Tipo 5

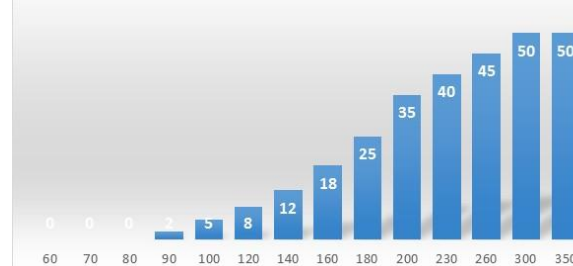


6

Muros: Mampostería simple.
Techo: Flexible.
Cimentación: Zapata de mampostería.
Altura: Un nivel.



Edificación de vivienda Tipo 6



7

Muros: Adobe.
Techo: Rígido.
Cimentación: Cuando existe, de mampostería.
Altura: Uno a dos niveles.



Edificación de vivienda Tipo 7

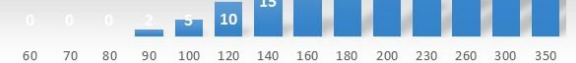


8

Muros: Adobe.
Techo: Flexible.
Cimentación: Cuando existe, de mampostería.
Altura: Un nivel.



Edificación de vivienda Tipo 8

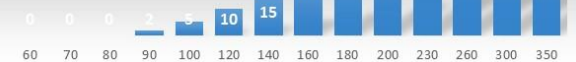


9

Muros: De madera con cubierta de lámina (asbesto, metálica, o de madera),
Estructura metálica con cubierta de lámina (Asbesto, metálica o madera).
Techo: Flexible.
Cimentación: Cuando existe, zapata corrida de mampostería.
Altura: Un nivel.



Edificación de vivienda Tipo 9



10	Muros: Flexibles: material de desecho, lámina de cartón, lámina de asbesto y metálica, palma, tejamanil, bajareque (enramado cubierto de arcilla). Techo: Flexible. Cimentación: Cuando existe, zapata corrida de mampostería. Altura: Un nivel. Edificación de vivienda Tipo 10 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nivel de Vulnerabilidad</th> <th>Número de Viviendas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>60</td><td>0</td></tr> <tr><td>70</td><td>2</td></tr> <tr><td>80</td><td>5</td></tr> <tr><td>90</td><td>10</td></tr> <tr><td>100</td><td>15</td></tr> <tr><td>110</td><td>20</td></tr> <tr><td>120</td><td>25</td></tr> <tr><td>130</td><td>35</td></tr> <tr><td>140</td><td>45</td></tr> <tr><td>150</td><td>60</td></tr> <tr><td>160</td><td>75</td></tr> <tr><td>170</td><td>85</td></tr> <tr><td>180</td><td>90</td></tr> <tr><td>190</td><td>100</td></tr> </tbody> </table>	Nivel de Vulnerabilidad	Número de Viviendas	60	0	70	2	80	5	90	10	100	15	110	20	120	25	130	35	140	45	150	60	160	75	170	85	180	90	190	100
Nivel de Vulnerabilidad	Número de Viviendas																														
60	0																														
70	2																														
80	5																														
90	10																														
100	15																														
110	20																														
120	25																														
130	35																														
140	45																														
150	60																														
160	75																														
170	85																														
180	90																														
190	100																														

Por otro lado, con base en la información que contempla el INEGI en los protocolos para recopilación de información de los censos de población y vivienda que realiza en el país, se puede hacer una tipificación simplificada para la edificación de vivienda considerando, cualitativamente, aspectos básicos para definir el nivel de vulnerabilidad asociado principalmente a edificaciones del sector informal; así se pueden mostrar, en orden creciente de vulnerabilidad, las seis tipologías incluidas en la información INEGI:

1. Muros de mampostería con techos rígidos
2. Muros de mampostería con techos flexibles
3. Muros de adobe con techo rígidos
4. Muros de adobe con techos flexibles
5. Muros de materiales débiles con techos flexibles
6. Sin información

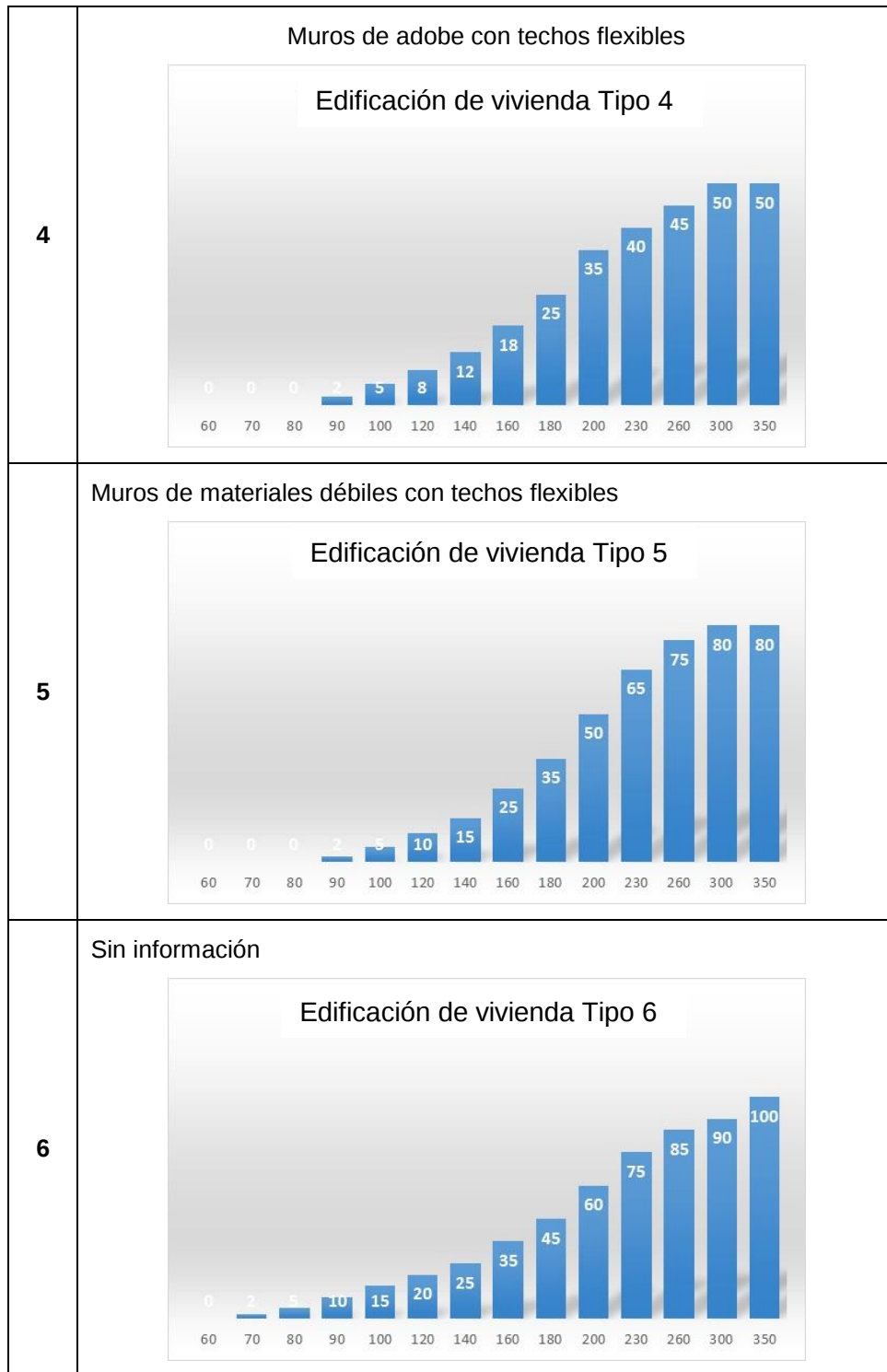
En la tabla 2 se presenta la relación entre las seis tipologías simplificadas, cuya información sobre la distribución geográfica a nivel municipal se tiene a partir de los censos de población y vivienda del INEGI, y la matriz de daño asociada a la velocidad de diseño como variable de intensidad.

En la mayoría de las metodologías y guías para calcular el riesgo en edificación para vivienda (CENAPRED, 2014; DOF, 2016), se indica que se deberá hacer un levantamiento de la información básica para clasificar y tipificar todo el universo de los bienes expuestos, en este caso, la edificación para vivienda. En muchos casos las autoridades municipales, y en algunos casos incluso las autoridades estatales, adolecen de la capacidad financiera y/o técnica para poder llevar a cabo un programa de recopilación de información de la envergadura y calidad a como la que requieren las metodologías indicadas por los especialistas. La información presentada en la Tabla 2, tiene la finalidad de suplir, temporalmente, las características de los bienes expuestos y permitir a las autoridades locales realizar un estudio aproximado de las pérdidas esperadas ante un evento postulado.



**Tabla 2 Tipos de vivienda y funciones de daño esperado
(información obtenida de censo INEGI)**

Tipo	Características de la vivienda / Función de vulnerabilidad (Relación entre porcentaje esperado de daño y velocidades de diseño (km/h))																														
1	Muros de mampostería con techos rígidos Edificación de vivienda Tipo 1 <table><thead><tr><th>Velocidad (km/h)</th><th>Porcentaje esperado de daño (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>60</td><td>0</td></tr><tr><td>70</td><td>0</td></tr><tr><td>80</td><td>0</td></tr><tr><td>90</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>0</td></tr><tr><td>120</td><td>2</td></tr><tr><td>140</td><td>5</td></tr><tr><td>160</td><td>10</td></tr><tr><td>180</td><td>12</td></tr><tr><td>200</td><td>14</td></tr><tr><td>230</td><td>16</td></tr><tr><td>260</td><td>18</td></tr><tr><td>300</td><td>20</td></tr><tr><td>350</td><td>20</td></tr></tbody></table>	Velocidad (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)	60	0	70	0	80	0	90	0	100	0	120	2	140	5	160	10	180	12	200	14	230	16	260	18	300	20	350	20
Velocidad (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)																														
60	0																														
70	0																														
80	0																														
90	0																														
100	0																														
120	2																														
140	5																														
160	10																														
180	12																														
200	14																														
230	16																														
260	18																														
300	20																														
350	20																														
2	Muros de mampostería con techos flexibles Edificación de vivienda Tipo 2 <table><thead><tr><th>Velocidad (km/h)</th><th>Porcentaje esperado de daño (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>60</td><td>0</td></tr><tr><td>70</td><td>0</td></tr><tr><td>80</td><td>0</td></tr><tr><td>90</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>2</td></tr><tr><td>120</td><td>5</td></tr><tr><td>140</td><td>10</td></tr><tr><td>160</td><td>15</td></tr><tr><td>180</td><td>20</td></tr><tr><td>200</td><td>25</td></tr><tr><td>230</td><td>30</td></tr><tr><td>260</td><td>33</td></tr><tr><td>300</td><td>35</td></tr><tr><td>350</td><td>35</td></tr></tbody></table>	Velocidad (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)	60	0	70	0	80	0	90	0	100	2	120	5	140	10	160	15	180	20	200	25	230	30	260	33	300	35	350	35
Velocidad (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)																														
60	0																														
70	0																														
80	0																														
90	0																														
100	2																														
120	5																														
140	10																														
160	15																														
180	20																														
200	25																														
230	30																														
260	33																														
300	35																														
350	35																														
3	Muros de adobe con techo rígidos Edificación de vivienda Tipo 3 <table><thead><tr><th>Velocidad (km/h)</th><th>Porcentaje esperado de daño (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>60</td><td>0</td></tr><tr><td>70</td><td>0</td></tr><tr><td>80</td><td>0</td></tr><tr><td>90</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>2</td></tr><tr><td>120</td><td>5</td></tr><tr><td>140</td><td>8</td></tr><tr><td>160</td><td>10</td></tr><tr><td>180</td><td>13</td></tr><tr><td>200</td><td>17</td></tr><tr><td>230</td><td>23</td></tr><tr><td>260</td><td>30</td></tr><tr><td>300</td><td>35</td></tr><tr><td>350</td><td>35</td></tr></tbody></table>	Velocidad (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)	60	0	70	0	80	0	90	0	100	2	120	5	140	8	160	10	180	13	200	17	230	23	260	30	300	35	350	35
Velocidad (km/h)	Porcentaje esperado de daño (%)																														
60	0																														
70	0																														
80	0																														
90	0																														
100	2																														
120	5																														
140	8																														
160	10																														
180	13																														
200	17																														
230	23																														
260	30																														
300	35																														
350	35																														



2. INFORMACIÓN BASE, VELOCIDAD DE VIENTO

Como se mencionó previamente en el cuerpo de este documento, el parámetro que se considera define a la intensidad de la manifestación de fenómeno, viento, es la velocidad de diseño; en el presente documento se consideran los valores de dicha variable representativos de los municipios que conforman el territorio nacional, valores que son resultado del estudio realizado por CENAPRED (2020). La información resultado de dicho estudio está en proceso de incorporación como una herramienta adicional del Atlas Nacional de Riesgos.

Adjunto al presente se anexa el conjunto de valores de velocidades de diseño para cada municipio, asociados a tres periodos de retorno, 200, 50 y 10 años. Con base en dicha información y las matrices de vulnerabilidad mostradas en el capítulo anterior, como se mostrará adelante se podrán determinar mapas de susceptibilidad de daño, eventualmente porcentajes de daño esperados en el universo de edificación para vivienda reportado en el censo del INEGI, ante las fuerzas de arrastre generadas por vientos asociados a los tres periodos de retorno mencionados.

Es importante tener presente que aunque las funciones de vulnerabilidad en su concepto teórico riguroso son resultado de análisis probabilísticos sesudos, para este estudio se asume que las matrices de vulnerabilidad tienen un carácter determinista, resultado de la conjunción del análisis de resistencia de los sistemas expuestos tradicionales en nuestro país, edificaciones unifamiliares de mampostería, ante la demanda de las fuerzas de arrastre generadas por viento. Así mismo, la experiencia de las jornadas de observación y evaluación de daños en edificación para vivienda después de la ocurrencia de huracanes y tornados en diferentes regiones del país (CENAPRED; 2019), ha permitido generar las matrices de daño mostradas que se muestran en el capítulo anterior y que serán parte de la información que se mostrará en la metodología para cálculo de susceptibilidad de daño del siguiente capítulo.

3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS, SUSCEPTIBILIDAD DE DAÑO

Con el propósito de determinar los valores del porcentaje de daño esperado del universo de edificación para vivienda, a nivel municipal, ante velocidades de viento de diseño correspondientes a fenómenos con diferentes periodos de recurrencia, se presentan dos ejemplos con cierto nivel de contraste en cuanto a los valores de velocidades de diseño, más no en cuanto a las características del universo de edificación para vivienda.

En el primer ejemplo, para el municipio de Tecate, en el estado de Baja California, se tienen los valores de velocidad de diseño de 125, 100 y 82 km/h, asociados respectivamente a los periodos de retorno de 200, 50 y 10 años (Nota. La información relativa a las velocidades de diseño para los tres periodos de retorno es parte de la información que será incorporada al Atlas Nacional de riesgos en el proceso de actualización 2021).

Para dicho municipio, la información reportada como resultado del censo de población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010, misma que está incluida en las herramientas del ANR, se resume en la siguiente figura y tabla:



Tipo de edificación		% del universo de edificación en el municipio
Muros de mampostería con techos rígidos	1	26.08
Muros de mampostería con techos flexibles	2	43.61
Muros de adobe con techo rígidos	3	0.04
Muros de adobe con techos flexibles	4	0.76
Muros de materiales débiles con techos flexibles	5	28.96
Sin información	6	0.55

El universo de edificación para vivienda en el municipio es de 29,105.

Tomando en cuenta la relación entre las características de los seis tipos de edificación y el porcentaje de daño esperado en función de la velocidad de diseño, se puede calcular la susceptibilidad de daño de la edificación para vivienda en el municipio, específicamente, el porcentaje de daño esperado ante la incidencia de velocidades registradas en el sitio asociadas a los valores correspondientes a los periodos de retorno antes mencionados. El resultado de la convolución de las matrices de daño de la Tabla 2, y la distribución de tipología de edificación para vivienda de la tabla anterior, permite generar el análisis de porcentaje de daño y/o pérdida acumulada, cuyo resultado se presenta en la siguiente tabla:

Tipo de edificación	Porcentaje de pérdida esperada		
	$T_R = 200$ años	$T_R = 50$ años	$T_R = 10$ años
	$V_D = 125$ km/h	$V_D = 100$ km/h	$V_D = 82$ km/h
1	2	0	0
2	5	2	0
3	5	2	0
4	8	5	2
5	10	5	2
6	20	15	10
Pérdida esperada	5.76	2.44	0.65

T_R : Periodo de retorno del evento; V_D : Velocidad de diseño en el sitio

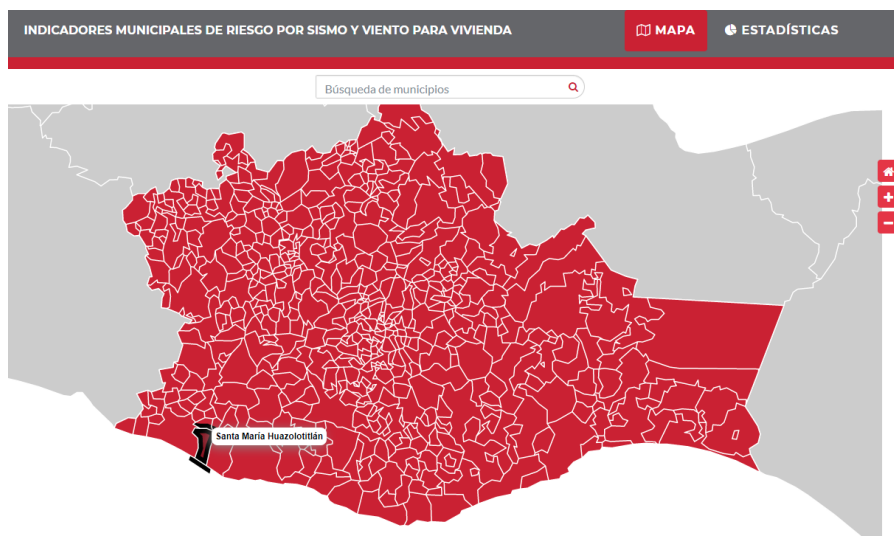
Es necesario mencionar que para el análisis anterior se está considerando el costo de reposición para edificación como un valor único y constante, independientemente del tipo de edificación, por lo que se muestra únicamente el porcentaje de pérdida esperada en relación con el universo de edificación.

De la revisión de los resultados del análisis se identifica que para el municipio de Tecate, ante la ocurrencia de un fenómeno meteorológico que generase velocidades de viento de diseño asociadas a los periodos de retorno de 200, 50 y 10 años, se tendría un porcentaje de pérdida del 5.76, 2.44 y 0.65 % del universo de vivienda, respectivamente.

Para poder contar con un estimado del valor de pérdida, o bien del costo de reposición, será necesario contar con la información a nivel estatal o municipal del costo de construcción y/o reconstrucción de un metro cuadrado de edificación para vivienda. A la fecha se ha identificado la existencia de esta información para algunos estados y municipios del país, un ejemplo es la información que emite la Secretaría de Obras y Servicios del gobierno de la Ciudad de México.

Por otro lado, para el municipio de Santa María Huazolotitlán, Oaxaca, se tienen los valores de velocidad de diseño de 200, 149 y 131 km/h, asociados respectivamente a los periodos de retorno de 200, 50 y 10 años.

La información producto del censo de población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010, misma que está incluida en las herramientas del ANR, reporta:



Tipo de edificación		% del universo de edificación en el municipio
Muros de mampostería con techos rígidos	1	33.30
Muros de mampostería con techos flexibles	2	44.64
Muros de adobe con techo rígidos	3	0.06
Muros de adobe con techos flexibles	4	17.85
Muros de materiales débiles con techos flexibles	5	3.66
Sin información	6	0.49

El universo de edificación para vivienda en el municipio es de 3,087.

Nuevamente, tomando en cuenta la relación entre las características de los seis tipos de edificación y el porcentaje de daño esperado en función de la velocidad de diseño, se puede calcular la susceptibilidad de daño de la edificación para vivienda en el municipio, específicamente, el porcentaje de daño esperado ante la incidencia de velocidades registradas en el sitio asociadas a los valores correspondientes a los periodos de retorno antes mencionados. El resultado del análisis de porcentaje de pérdida esperada se presenta en la siguiente tabla:



Tipo de edificación	Porcentaje de pérdida esperada		
	$T_R = 200$ años	$T_R = 50$ años	$T_R = 10$ años
	$V_D = 200$ km/h	$V_D = 149$ km/h	$V_D = 131$ km/h
1	14	7.5	3.5
2	25	12.5	7.5
3	17	9	6.5
4	35	15	10
5	50	20	12.5
6	60	30	17.5
Pérdida esperada	24.20	11.64	6.85

T_R : Periodo de retorno del evento; V_D : Velocidad de diseño en el sitio

De la revisión de los resultados del análisis se identifica que para el municipio de Santa María Huazolotitlán, Oaxaca, ante la ocurrencia de un fenómeno meteorológico que generase velocidades de viento de diseño asociadas a los periodos de retorno de 200, 50 y 10 años, se tendría un porcentaje de pérdida del 24.20, 11.64 y 6.85 % del universo de vivienda, respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presenta la información base para poder desarrollar estudios de susceptibilidad de daño en edificación para vivienda ante el efecto de vientos fuertes; es decir, determinar el valor de pérdida esperada, en porcentaje del universo de edificación para vivienda en el sitio de análisis. La información base es la clasificación y tipificación de la edificación para vivienda asociada a una matriz de vulnerabilidad por incidencia de vientos fuertes, considerando como variable definitoria de la intensidad a la velocidad de diseño.

Se establece un procedimiento que por medio de la convolución de las variables: clasificación de la edificación y la velocidad de diseño del viento, y se muestran dos ejemplos de cálculo para dos municipios seleccionados al azar. El procedimiento está planteado de manera que la autoridad local, haciendo uso de la herramienta Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED) pueda hacer un cálculo estimado de las pérdidas esperadas ante el impacto de fenómenos meteorológicos con manifestación de vientos fuertes; el procedimiento permite estimar pérdidas tanto después de la ocurrencia de un fenómeno, toda vez que se conozca el valor de la velocidad de viento registrada en la región de interés; o bien ante un evento postulado.

Se recomienda difundir con las autoridades locales de estados y municipios el procedimiento y herramientas presentadas en este trabajo, con la finalidad de que, para eventos postulados por especialistas sobre fenómenos hidrometeorológicos de la región, se determine el valor aproximado de la pérdida máxima esperada del sistema expuesto, en este caso el universo de vivienda; y, con base en ello, establezcan políticas públicas de revisión y reforzamiento de las edificaciones para vivienda como una medida preventiva en el marco de la Gestión Integral de Riesgos.

REFERENCIAS

- [1] CENAPRED, 2003, Estudio de la seguridad de las edificaciones de vivienda ante la incidencia de viento, Informes Técnicos, Publicaciones CENAPRED.
- [2] CENAPRED, 2014, Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riegos (Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social), Publicaciones, CENAPRED.
- [3] CENAPRED, 2019, registro de daños en infraestructura y líneas vitales ocasionados por sismo y viento (base de datos), Subdirección de Riesgos Estructurales, Informe de Investigación, Programa Anual de Trabajo (PAT) 2019.
- [4] CENAPRED, 2020, Velocidades de viento para evaluación de vulnerabilidad de edificación para vivienda a nivel municipal, Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos – Subdirección de Riesgos Estructurales, Informe de Investigación, Programa Anual de Trabajo (PAT) 2019.
- [5] Comisión Federal De Electricidad (CFE, 2008), Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE, Capítulo Diseño por Viento.
- [6] Diario Oficial de la Federación (DOF), 2016, Guía de contenido mínimo para la elaboración del atlas nacional de riesgos.
- [7] Sánchez González J. L., 2013, Evaluación de edificaciones de vivienda ante la incidencia del viento. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería (Ingeniería Civil), Posgrado Facultad de Ingeniería, UNAM

AGRADECIMIENTOS

El estudio presentado en este informe, forma parte de los trabajos desarrollados para la implementación de nuevas aplicaciones y herramientas en el Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED.

Se agradece las fructíferas discusiones con los colegas de la Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos, permitieron definir con mejor claridad las variables a considerar y el procedimiento de cálculo.

Se agradece la participación y apoyo de todo el personal de la Subdirección de Riesgos Estructurales de la Dirección de Investigación del CENAPRED.