

Capítulo 1

Métodos existentes para la estimación de víctimas asociadas a daños en edificios durante sismos

1.1 Estado del arte

Existen diferentes estudios que han buscado relacionar las características de un sismo con el número de víctimas. Unos estudios recopilan información estadística de eventos anteriores, estos trabajos recopilatorios son muy similares entre sí aunque enfocados de diferente manera, en general buscan caracterizar el tipo de heridas y eventos en particular. Tal es el caso del trabajo para el sismo de Bam (Yasuko *et al.*, 2005), el sismo de Chi-Chi (Yong-Ming *et al.*, 2002), el de Armenia (Noji *et al.*, 1988) y el de Luzón Filipinas (Roces *et al.*, 1992).

Estos estudios han relacionado y calculado un factor de fatalidad por tipo estructural de edificio. Aunque estos estudios también calculan las relaciones de muertos entre ocupantes en edificios, ninguno calcula ni la relación de atrapados entre ocupantes ni la de muertos entre atrapados. En estos estudios tratan las estadísticas de manera general y solo mencionan pocos casos particulares, a excepción del trabajo de Yong-Ming *et al.*, (2002), para el sismo de Chi-Chi.

Existen otros estudios cuyo enfoque es estimar el número de víctimas posibles y para ello han establecido modelos conceptuales. Con frecuencia recurren a las estadísticas comparándolas con parámetros propios del sismo. De los estudios mencionados se han sacado las siguientes observaciones.

- El mayor número de víctimas fallecen por el colapso de edificios de mampostería no confinada. Ello se debe a que las casas más pobremente diseñadas generalmente están hechas de mampostería ya sea de adobe, ladrillos o piedra natural
- Casi siempre el mayor número de muertos se da en casas de personas de escasos recursos
- Los muertos en casos de edificios de acero son mínimos
- Los edificios que más fallan son los hechos de mampostería no confinada, sin embargo de fallar son los que tienen mayor índice de supervivencia
- Los edificios de concreto tienden a fallar menos pero, cuando lo hacen, suelen producir una relación muertos entre ocupante mucho más alta que los demás
- La cantidad de muertos también depende de la educación y cultura de la gente en cuestión
- Los edificios de varios pisos suelen matar a un mayor número de personas
- Los edificios más mortíferos son aquellos que se usan en la industria. Independientemente de si son mampostería, concreto o acero

Se observan diferentes formas de abordar el tema. En la tabla 1.1 se explica de manera breve los diversos enfoques que se han encontrado.

Tabla 1.1 Enfoques que abordan la estimación de pérdida de vidas

Relacionan muertos con intensidad de Sismos	Estudios que analizan escenarios en forma de árbol	Estudios que relacionan muertes con colapsos	Estudios que relacionan heridas y/o rescate
<p>Enfoque Estos estudios relacionan el número de muertos con las características del sismo, ya sea con la magnitud o la aceleración, por lo general presentan el número de muertos en forma de porcentaje de la población total.</p> <p>Limitaciones y ventajas. Estos estudios, generalmente, no toman en cuenta que la calidad de las construcciones ni la influencia que la cultura y forma de actuar de las personas influyen notablemente en la mortalidad. Algunos de ellos, nos muestran la relación existente con la intensidad del sismo y es evidente que, aunque relacionadas, la aceleración tiene un papel mucho más importante que la magnitud.</p> <p>Autores Kawasumi (1951) propuso una relación entre el peligro representado por un sismo y la intensidad máxima esperada a partir de grandes sismos en Japón, Lomnitz (1970) propone una relación de muertos con la hora del día, Christoskov y Samardjieva (1984) investigaron las características demográficas de víctimas de sismos en el periodo 1950-1980 Samardjieva y Oike (1992) hicieron lo propio con desastres japoneses de 1980-1990 Shebalin (1985) asume que el número de fatalidades aumenta con la densidad demográfica de los países en cuestión. Oike (1991) Relaciona número de heridos con la magnitud Samardjieva y Badal (2002) relacionan la magnitud de los sismos con la cantidad de muertos y heridos.</p>	<p>Enfoque Estos estudios analizan probabilidades de acuerdo a los posibles escenarios: como las ramas de un árbol. "En caso de que un sismo ocurra qué posibilidades hay de que un edificio caiga, si el edificio cae que probabilidad hay de quedar atrapado..." si..."</p> <p>Limitaciones y ventajas. Estos estudios sirven muy bien para analizar casos o situaciones específicas, sin embargo aun son modelos teóricos por lo que no cuentan con datos, o no los muestran, que apoyen una asignación de probabilidad de ocurrencia a los distintas ramas del árbol de eventos posibles; generalmente proponen factores basados en experiencias pasadas. Cabe hacer notar que casi siempre relacionan el tipo de estructura con la cantidad de muertos o porcentaje de muertos en la estructura. Son muy útiles si se quiere ver solo un aspecto del sismo pues así se reduce un problema muy complejo a otros más fáciles de manejar. Además, se permite diferenciar las variables que influyen en la muerte de personas en diferentes momentos del desastre por lo que puede dividirse el problema de la estimación a determinar riesgos de Tsunami, deslave, colapsos, incendios u otros. Después, determina las probabilidades de muertes.</p> <p>Autores Esta forma de análisis la presenta Murakami (1992) Bird y Bummer (2004) igualmente desglosan el problema y analizan individualmente distintas maneras que tienen los sismos de dañar personas. Con este enfoque además han comenzado a realizar software para la estimación de muertos.</p>	<p>Enfoque Se relaciona el nivel de daños en el edificio con la cantidad de muertos que produce. Asumen que la inmensa mayoría de las muertes será por colapso.</p> <p>Limitaciones y ventajas. El planteamiento es muy lógico, pero el principal problema de varios de ellos es que no tiene datos de dónde sacar las relaciones que plantean. Aunque muchas veces los autores son gente de experiencia por lo que proponen factores bastante coherentes. Otra ventaja es que permiten tomar en cuenta el tipo de estructura que colapsa. Pero tampoco toma en cuenta la causa de muertes u otros elementos de riesgo (como tsunamis o incendios).</p> <p>Autores Tiedeman <i>et al.</i>, (1989) enumera descriptivamente los principales factores que influyen en la cantidad de muertos durante un sismo. Otro de los primeros fue Ohta <i>et al.</i>, (1983) que establece relación de muertos con casas colapsadas. Quizás el más representativo sea Coburn <i>et al.</i>, (1992) que propone un método con factores de atrapados entre ocupantes y muertos entre atrapados combinados con el número de edificios que fallan determinan el número de muertos. Ferreira (2009) hace un recuento de los métodos propuestos y propone una relación de muertos contra nivel de daño en edificios de concreto y mampostería. Finalmente este enfoque es retomado por Reinoso <i>et al.</i>, (2005) y es el modelo al que está orientado este trabajo.</p>	<p>Enfoque Estos son trabajos que buscan establecer parámetros para rescate. En general, abordan el tema desde una perspectiva médica y/o de rescate. Relacionan la gravedad de las heridas y el tiempo que tardan en ser extraídos con la supervivencia.</p> <p>Limitaciones y ventajas. Muchos no toman en cuenta que diferentes tipos de edificios ocasionan diferentes heridas y además hay muy pocos datos que pueden ayudar a caracterizar las heridas que sufren los atrapados. Un aporte importante es que han logrado relacionar la supervivencia de las personas con el tiempo que tardan en ser rescatados. Una desventaja importante es que, aunque se han caracterizado las heridas que sufren las personas, falta relacionar la parte médica con la ingeniería estructural: entender porque se hieren de tal o cual forma en distintas estructuras.</p> <p>Autores Shiono y Krimgold (1989) modelan rescate, Krimgold (1988) habla sobre rescate en estructuras de concreto, Sakai (1991) propone un modelo para determinar la sobrevivencia de los atrapados Poteyeva (2005) analiza descriptivamente las heridas producidas por sismos Macintyre <i>et al.</i>, (2006) presenta un análisis respecto al tiempo de rescate.</p>

Para efectos de este trabajo se presenta un resumen de tres diferentes modelos propuestos por otros autores que se consideran representativos. Después se ilustran estadísticas representativas de algunos sismos y para terminar el capítulo se presenta el resumen del modelo al que se enfoca el presente trabajo.

1.2 Víctimas en función de colapsos

Un ejemplo representativo de estudios que relacionan los muertos con colapsos es el de Coburn *et al.*, (1992).

Una de las líneas de investigación más frecuentes son las que pretenden relacionar los muertos con el número de edificios colapsados por un sismo. Típicamente, la mayor cantidad de muertos se da por derrumbe de edificios. Al respecto Coburn *et al.*, (1992) ha conseguido datos de diferentes eventos determinando que aproximadamente el 75% de las muertes que ocasiona un sismo son debidas a colapsos. Aunque en algunos eventos específicos las mayores pérdidas se dan por otros peligros asociados al sismo como tsunamis, deslizamientos o incendios. Ello queda ilustrado en la gráfica de la figura 1.1, también realizada por Coburn, la cual nos muestra la distribución de causas en las fatalidades por terremotos en el mundo.

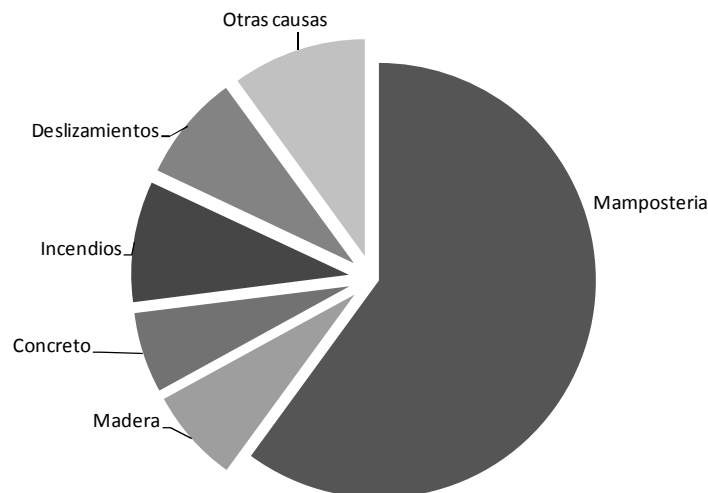


Figura 1.1 Distribución víctimas por terremotos Coburn *et al.*, (1992)

Nótese la gran cantidad de pérdidas debido al derrumbe de estructuras de mampostería. Esto se debe a que estas estructuras son las que más tienden a fallar durante un terremoto.

Para estimar pérdidas humanas Coburn *et al.*, (1992) propone

$$K = K_s + K' + K_2 \quad (1.1)$$

donde

K es el número de víctimas totales.

K_s es el número de víctimas causadas por fallas estructurales.

K' es el número de víctimas debidas a fallas no estructurales.

K_2 es el número de víctimas debidas a otras causas indirectas al sismo.

Por lo general K_s es la componente más importante del número total de víctimas y el que modela Coburn. Sin embargo K_2 se presenta pocas veces, pero cuando se presenta puede causar incluso más daño que el mismo sismo.

Coburn *et al.*, (1992) define una clasificación de nivel de daño siendo 0 cuando no hay daño y 5 cuando se pierde la estructura y se presenta el colapso. Para calcular las víctimas por colapso define un cociente de letalidad que llama K_{sb} , (“lethality ratio”) y lo pone en términos de.

$$K_{sb} = D_{5b} * [M_{1b} * M_{2b} * M_{3b} * (M_{4b} + M_{5b})] \quad (1.2)$$

donde

D_{5b} es el número total de edificios con daño de nivel 5,

M_{1b} es la población por edificio colapsado.

M_{2b} es un porcentaje de ocupación de acuerdo a la hora del día, día de la semana y época del año.

M_{3b} es un factor que representa el porcentaje de ocupantes que son atrapados

M_{4b} es un factor que corresponde a aquellas que mueren instantáneamente por el colapso

M_{5b} corresponde a las posibles víctimas que sobreviven el colapso pero mueren después.

Coburn *et al.*, (1992) supone que el valor de M_{3b} varía en función de la relación entre la cantidad de volumen del edificio que ha fallado y el volumen total del mismo.

La figura 1.2 muestra diferentes estructuras de mampostería con un nivel de daño, D_5 , con un respectivo porcentaje de colapso y factor M_{3b} (atrapados entre ocupantes).

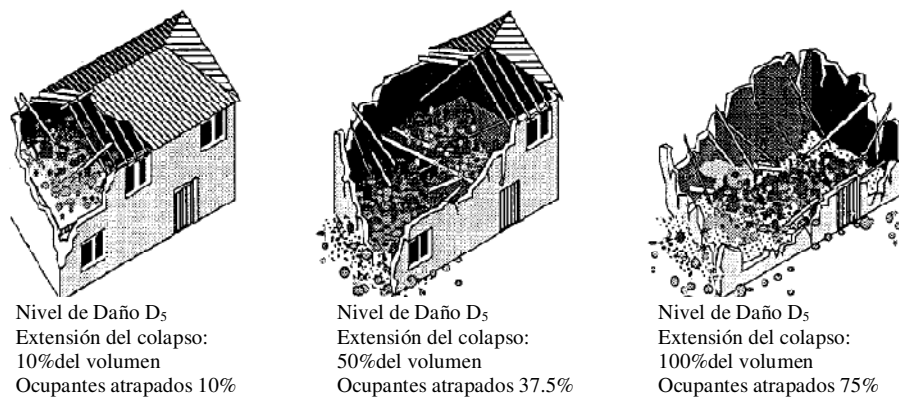


Figura 1.2 Valores de M_{3b} de Coburn *et al.*, (1992)

Aunque la propuesta de Coburn *et al.*, (1992) es conceptual, sí propone valores para el factor M_{3b} dependiendo del tipo de estructura. En la figura 1.3 se muestran los valores que propone de acuerdo a intensidades de sismos y distancia al epicentro.

Tabla 1.2. Porcentajes de personas atrapada, tomada de Coburn et al., (1992)

Edificios de mampostería colapsados				
Intensidad	VII	VIII	IX	X
	5%	30%	60%	70%
Estructuras de concreto reforzado (3-5 pisos)				
Cerca del epicentro, movimiento del suelo de alta frecuencia				70%
Distante del epicentro, movimiento del suelo de periodo largo				50%

Estos valores son coherentes pero son muy generales pues no toman en cuenta que las estructuras pueden presentar distintas resistencias a un sismo dependiendo del diseño, materiales y muchos otros factores. Una vez estableciendo la cantidad de edificios que caen Coburn *et al.*, (1992) establece que tan mortales son esos colapsos mediante, la tabla 1.3 que muestra una distribución de muertos y heridos entre los atrapados en un edificio con lo cual se tiene el valor de M_{4b} .

Tabla 1.3 Porcentajes de personas heridas y su distribución estimada según Coburn et al., (1992)

Categoría de las lesiones	Mampostería	Concreto
1 Muertos o insalvables	20	40
2 Vida en peligro, necesita atención médica inmediata	30	10
3 Heridas que requieren hospitalización	30	40
4 Heridas que no requieren hospitalización	20	10

Nótese que no se hace distinción entre mampostería confinada y no confinada, y asume que, de colapsar, los edificios de concreto son mucho más mortales que los de mampostería. Sus porcentajes propuestos son bastante coherentes con otros datos recabados y presentados en el capítulo 2 y mostrados más adelante en este trabajo y con lo expuesto por otros autores.

Coburn *et al.*, (1992) presenta una gráfica que permite estimar la cantidad de ocupantes en un edificio de acuerdo a la hora del día, ello permite inferir en la cantidad de ocupantes que hay en un edificio al momento del sismo. La figura 1.3 nos muestra gráficamente la distribución de la ocupación porcentual determinada por Coburn a lo largo del día en edificios con diferentes usos.

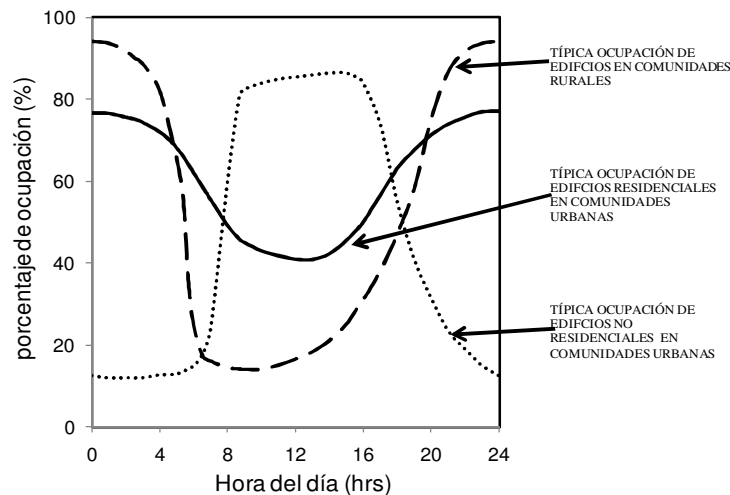


Figura. 1.3 Porcentajes de ocupantes totales estimada de acuerdo a la hora del día Coburn et al., (1992)

Con la cantidad máxima de ocupantes por edificio se obtiene el valor de M_{1b} y con esta gráfica y la hora del día en que ocurre el sismo se estima la cantidad de personas en el edificio al momento del sismo en base a su ocupación máxima el cual es el primer dato requerido del modelo. Por otra parte se considera que las personas que son rescatadas (M_{5b}) dependen del rescate. Coburn *et al.*, (1992) no lo calcula.

.Durante la realización de este trabajo se ha observado que, de acuerdo la intensidad, la reacción de la población e incluso época del año los factores, M_{1b} , M_{2b} , M_{3b} , M_{4b} y M_{5b} son factores que pueden variar enormemente de un sismo a otro o incluso dentro del mismo sismo de un edificio a otro.

1.3 Modelo de supervivencia para planeación de rescate

Otro enfoque es el presentado por los trabajos que pretenden modelar el rescate y heridas de los atrapados.

Existen trabajos que han incursionado en el tema de la modelación de rescate de víctimas. Sakai *et al.*, (1991) realizaron un estudio que intenta modelar matemáticamente la supervivencia de víctimas atrapadas durante un terremoto.

Para empezar, el modelo requiere se conozcan las heridas sufridas por las personas atrapadas y se le asigna un indicador de acuerdo al daño que han recibido las víctimas, siendo 1.0 para quien no sufrió ningún daño y está bien de salud y 0 para quien ya está muerto. Este índice se define como puntaje de animación o “AS”, por sus siglas en inglés (“Animation Score”) y varía con el tiempo teniendo su valor máximo inmediatamente después de que la víctima ha sido atrapada y llegando a cero conforme transcurre el tiempo. También se supone que el AS no disminuye en tiempos regulares, sino que, conforme es menor disminuye su valor más rápido. Se denomina velocidad al ritmo con que AS disminuye en el tiempo. A la relación entre el tiempo que la víctima está atrapada y el “AS” le llama Función de Desvanecimiento (“Fade-away function”). En la gráfica de la figura 1.4 se presenta la función de Desvanecimiento para distintos AS inicial. El periodo que una víctima puede sobrevivir se le conoce como FT y el máximo tiempo es FT_{max}

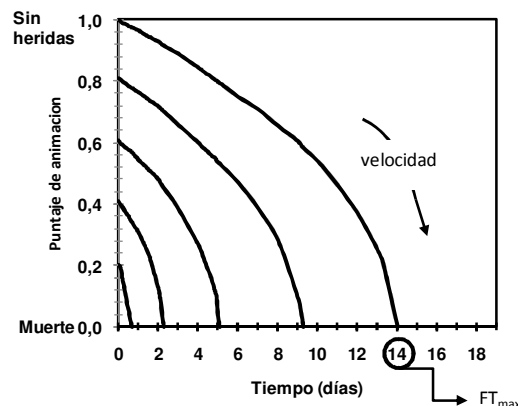
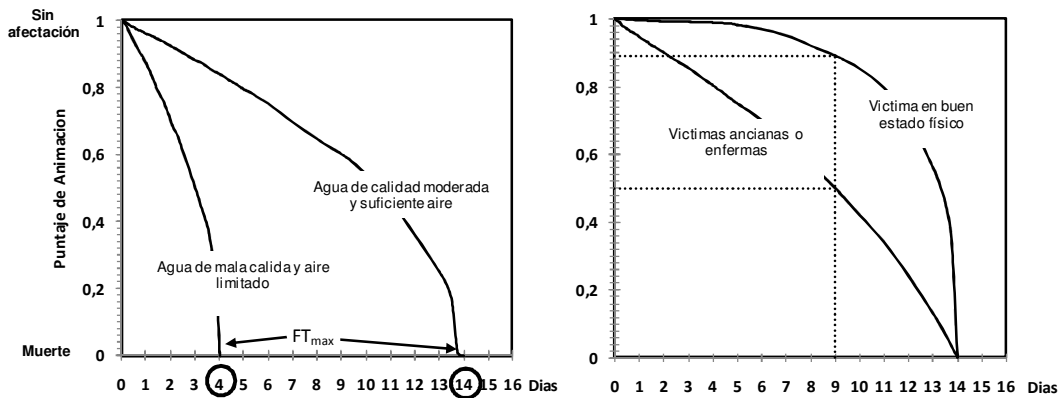


Figura 1.4 Función de desvanecimiento según Sakai *et al.*, (1991), según las heridas que sufrió la víctima sobrevivirá más tiempo o menos.

Nótese que se asume la máxima supervivencia de 14 días para quien no sufre ningún daño. Y que las curvas son prácticamente paralelas en esta gráfica. El tiempo máximo que sobrevive una persona

atrapada es el FT_{max} , corresponde al tiempo en que una persona con $AS=1$ pasa a tener un $AS=0$ en el caso de la gráfica es de 14 días.

La velocidad en que el AS disminuye también depende en gran medida del ambiente en que quedo atrapada la víctima si el AS es alto se supone que puede sobrevivir más tiempo. El tiempo máximo que puede sobrevivir una persona se conoce como FT_{max} . Factores como si tiene agua o comida a la mano, si el aire es respirable, etc., son muy importantes para el ritmo con que decae AS. También debe tomarse en cuenta si la persona está sana, o está enferma o es de edad avanzada. Estos factores van a influir en el comportamiento de la curva. En la figura 1.5 se presentan gráficas con funciones de desvanecimiento bajo diferentes condiciones. En la gráfica de la figura 1.5a se observa la función de desvanecimiento para personas con un AS inicial de 1 pero bajo diferentes condiciones ambientales. En la grafica de la figura 1.5b se observa una función de desvanecimiento para personas con diferente estado de salud y fuerza física.



a) Efecto del ambiente en FT_{max}

b) Efecto de la salud antes en la velocidad de desvanecimiento

Figura 1.5 Función de desvanecimiento según Sakai et al., (1991) en diferentes casos y bajo distintas circunstancias

Se observan curvas diferentes para sanos y para enfermos; para quienes tienen algo de agua o comida y para los que no la tienen.

La velocidad en que disminuye su AS es diferente en una persona enferma que en una sana. Se asume que la velocidad en que la salud de las personas se ve disminuida varia y depende de sus condiciones de antes de ser atrapada (edad, fuerza, condición física, si está enferma). Por esto Sakai et al., (1991) define la función de transición (“transmittance function”) como el tiempo en que la víctima pasa de un estado AS inicial a otro estado AS de menor valor. Esto es la velocidad en que el factor AS disminuye y la expresa matemáticamente como:

$$t = \alpha * S^n \tag{1.3}$$

donde

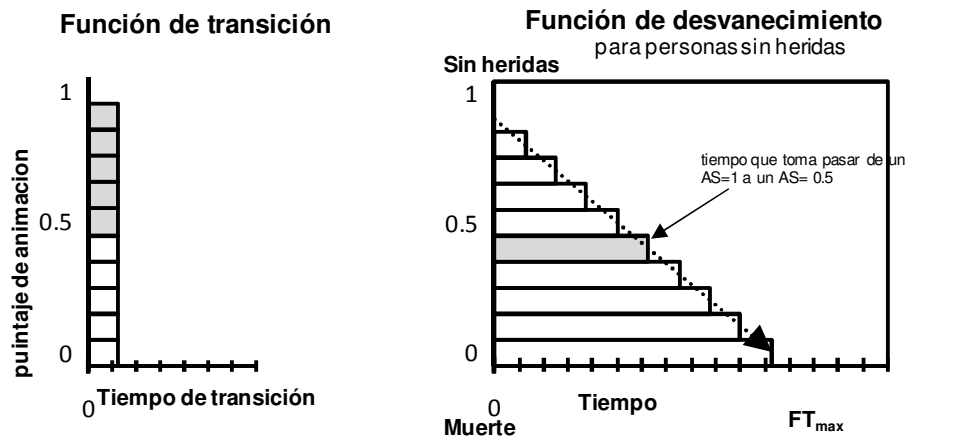
t es el tiempo que toma pasar de un S de determinado valor a un S de otro valor

α es un coeficiente y se asume una función no lineal, es esta constante la que tomará en cuenta el estado físico de la víctima

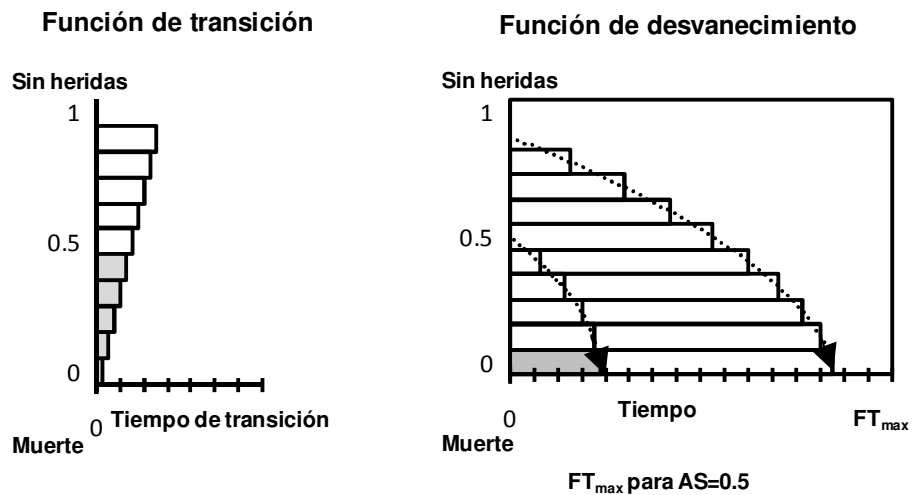
S es un intervalo (AS_1-AS_2) entre los valores que AS puede tomar. Muestra que tanto se deterioran las víctimas en el tiempo t .

n potencia que nos indica la manera que disminuye la AS . Imaginando que, por simplicidad, es uno pero puede tomar diferentes valores de acuerdo a la situación ambiental que se esté presentando.

La función de transición se muestra gráficamente en la figura 1.6a donde se muestra en la figura de la derecha una función de transición constante y la grafica de desvanecimiento que le correspondería a dicha función y en 1.6b una función de desvanecimiento donde la velocidad en que disminuye la AS disminuye con el tiempo y su correspondiente función de desvanecimiento.



a) Para el caso donde el tiempo de transición es constante para todos los estados de daño



b) El tiempo de transición varía con el estado de daño

Figura 1.6 Gráficas de la función transición de Sakai et al., (1991) en el primer caso se tiene una transición constante y en el segundo una que disminuye con el tiempo.

El en que una persona pasa de un estado de AS aun estado de menor AS esta dado por:

$$T = \int_S^{S_0} t ds \tag{1.4}$$

T es el tiempo en que se pasa de un AS inicial a un AS inferior. Refleja la manera en que varía la AS de un momento a otro pues es un estado al que llega el AS desde su S_0 , que es el inicial, a otro AS pudiendo ser constante o variable. En el caso de AS de 1 a cero "T" será " FT_{max} " que es el tiempo máximo de supervivencia de una persona atrapada

t es el tiempo en que se pasa de un S inicial a un S superior

FT es el tiempo en que la víctima pasa de un $AS=AS_0$ a $AS=0$; o sea el tiempo en que la víctima en cuestión fallece. si $AS_0=1$ entonces FT se le conoce como FT_{max} .

En la figura 1.7 se presenta nuevamente una función de transición y su correspondiente función de desvanecimiento, esta vez como curva analítica. Mostrando la relación existente entre el tiempo de transición t y el tiempo T. Esta función es para cualquier caso.

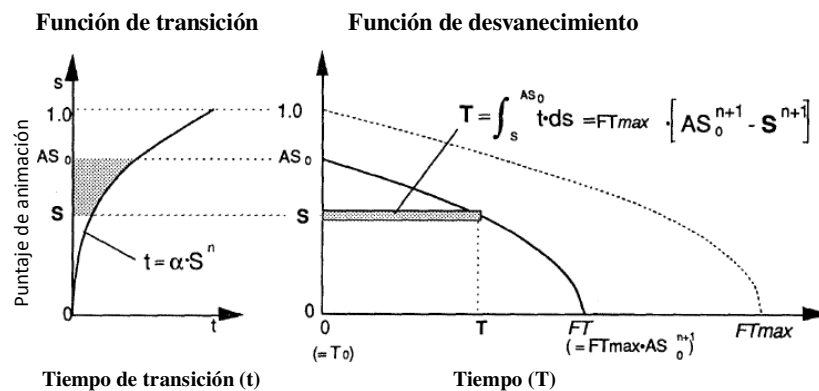


Figura 1.7 Función de transición según Sakai et al., (1991)

Es de especial interés encontrar el tiempo máximo que sobrevive una persona en el caso en que la víctima no sufre ningún daño, esto es cuando $AS_0=1$ y el estado final es la muerte es $AS=0$; dado que el rango de valores manejado entre AS_0 y AS es 1 se tiene que S es 1 lo cual se da en el tiempo FT_{max} Desarrollando algebraicamente.

Recordando la ecuación 1.3: $t = \alpha * S^n$

sustituyendo la misma en la ecuación 1.4: $T = \int_S^{AS_0} t ds$

se llega a la ecuación $T = \int_S^{AS_0} \alpha S^n ds$

y resolviendo la integral $T = \left(\frac{\alpha AS^{n+1}}{n+1} \right)_S^{AS_0}$ (1.5)

valuando la ecuación 1.5 desde $S=1$ a $S=0$ $T = \frac{\alpha 1^{n+1}}{n+1} - \frac{\alpha 0^{n+1}}{n+1}$

con lo cual $T = \frac{\alpha}{n+1}$

que es el tiempo máximo que sobreviven las personas cuando su AS_0 es 1 tiempo. Esta definición corresponde a FT_{max} por lo que:

$$FT_{max} = \frac{\alpha}{n+1} \quad (1.6)$$

También deduce despejando el tiempo de desvanecimiento $T = \left(\frac{\alpha S_0^{n+1}}{n+1}\right)^{\frac{1}{S}}$

$$T = \frac{\alpha S_0^{n+1}}{n+1} - \frac{\alpha S^{n+1}}{n+1} \quad T = \frac{\alpha}{n+1} [S_0^{n+1} - S^{n+1}] \quad \text{y de 1.6}$$

$$FT_{max} [S_0^{n+1} - S^{n+1}] \quad (1.7)$$

despejando la transición de 1.7

$$S = \left(S_0^{n+1} - \frac{T}{FT_{max}}\right)^{\frac{1}{n+1}}; \quad (1.8)$$

Además

$$T = FT_{max} * [AS_0^{n+1} - S^{n+1}] \quad (1.9)$$

Que es la función de desvanecimiento a la cual llega Sakai. Cabe aclarar que, para Sakai, n+1 es una variable análoga a la velocidad y, en diferentes gráficas, al referirse a la velocidad se refiere a este número.

Sakai asume que una persona sobrevive más tiempo entre menos herido este y que existe una distribución de probabilidad en el tipo de heridas, lo cual implica que dicha función afecta el tiempo de desvanecimiento para un evento en específico. En la figura 1.8 se muestra la función de densidad de probabilidad del tiempo de desvanecimiento.

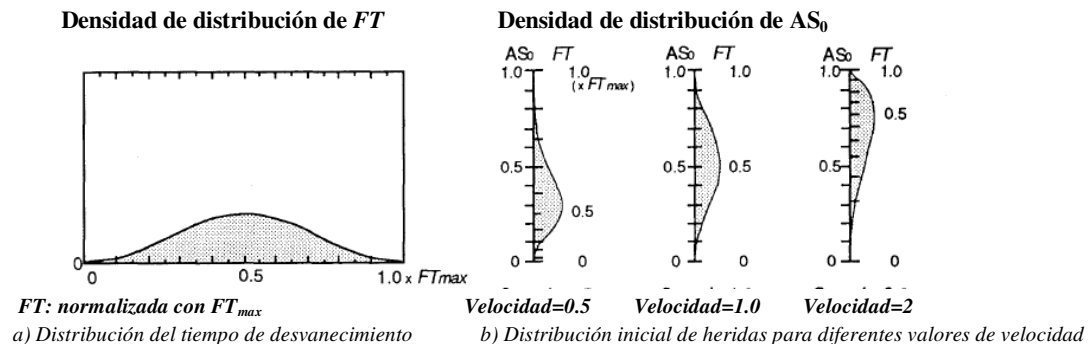


Figura 1.8 Densidad de distribución de FTmax según Sakai et al., (1991)

Para la estimación del tiempo de vida que tiene una persona se determina un valor de AS inicial, para ello toma el promedio de los heridos en un evento dado.

Sakai et al (1991) aplica su modelo a diferentes eventos. Para los casos que trata Sakai asume una distribución de densidad beta para obtener los parámetros AS inicial y velocidad. Se observa que se establece una función de distribución de heridos diferente para edificios de mampostería y concreto la distribución que propone Sakai es:

$$\beta(\mu) = \int_0^1 S^{8\mu-1}(1-S)^{7-8\mu} dS \quad (1.10)$$

y se define

$$f_s(S) = S^{8\mu-1}(1-S)^{7-8\mu} \left(\frac{1}{\beta(\mu)}\right) \quad (1.11)$$

$f_s(S)$ es la frecuencia esperada con que se presente un rango de valores S de AS

$\beta(\mu)$ es una función de distribución beta de AS que presentan las víctimas al colapsar un edificio.

μ es el promedio de AS y depende del tipo de heridas presentadas por las víctimas.

La siguiente figura nos muestra varias distribuciones para distintos valores de μ .

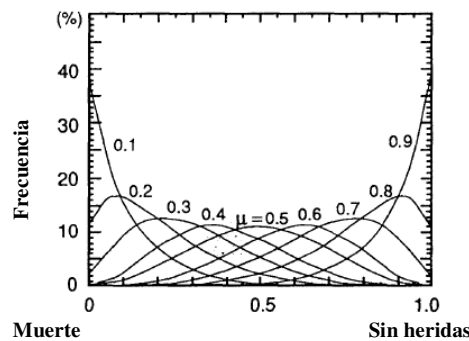


Figura 1.9 Densidad de distribución de heridas según Sakai et al., (1991)

Según Sakai asumiendo esta distribución se pueden obtener las frecuencias de tiempo de desvanecimientos para distintos parámetros μ .

Así mismo se obtiene una distribución de supervivencia como una distribución beta (puesto que la supervivencia está en función de las heridas representadas por μ y de la función FT que ya está determinada). La figura 1.10 nos muestra la distribución de la supervivencia con respecto al tiempo máximo que puede vivir una persona atrapada.

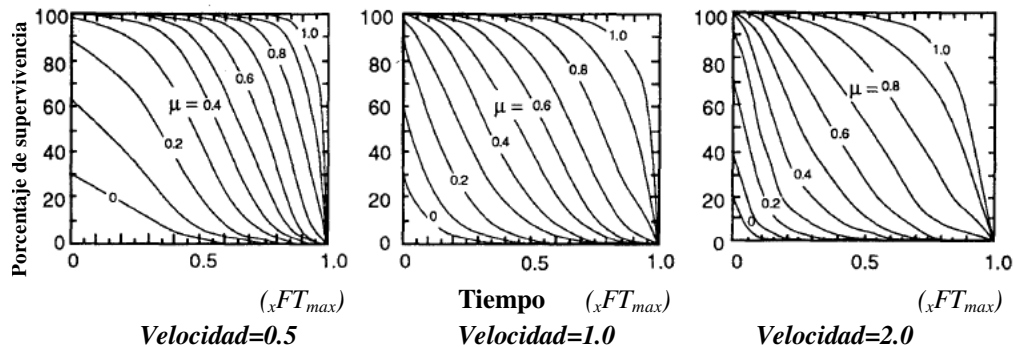


Figura 1.10 Densidad de distribución de FT según Sakai et al., (1991)

Una vez determinada μ en estas gráficas se debe tomar en cuenta el ambiente y condición física de los atrapados que influyen en la variable velocidad.

Se menciona que se supone se presentan diferentes valores de μ de acuerdo al tipo de estructura que conforma el edificio, es decir: el tipo de heridas que produce cada tipo de edificio es diferente.

Existen estudios de medicina que caracterizan heridas. Estas heridas pueden relacionarse con las fallas de las estructuras para obtener una relación directa entre el tipo de estructura y la μ más probable así como su respectiva función de distribución. Para hacerla es necesario reunir datos del tipo de heridas y relacionarlas con el tipo de fallas de los edificios que las producen.

La tabla 1.4 nos muestra tipos de heridas y un correspondiente μ . Así mismo con ese nivel de daños medio y la distribución de heridas se determina un tiempo de supervivencia mínimo y máximo con el AS correspondiente. Se asume por simplicidad una velocidad de uno.

Tabla 1.4 Valores de μ dependiendo del tipo de heridas sufridas por las víctimas Sakai *et al.*, (1991)

Herida	μ	T _{mín}	T _{max}	AS _{mín}	AS _{max}
Heridas por aplastamiento	0.4-0.6	0	7	0	0.88
Heridas Serias	0.45-0.75	0	8	0	0.94
Fracturas Múltiples	0.4-0.7	0	9	0	1
Contusiones múltiples	0.7-0.8	0	9	0	1
Amputación Traumática	0.4-0.7	0	8	0	0.94
Deshidratación severa	0.4-0.6	7	9	0.88	1

Valores de μ iguales pueden dar diferentes resultados a los de la tabla dependiendo el ambiente o sector de la población determinará la velocidad ($n+1$).

Finalmente hace una correlación entre el tipo de herida y el valor de μ que le corresponde, llegando así a un AS que le corresponde a cada tipo de herida. En sus observaciones, Sakai *et al* (1991) señala que existe una relación entre μ y FT_{max} , pero no la determina y sugiere que podrían establecerse en un solo factor.

Finalmente la supervivencia se determinará para diferentes valores de μ dependiendo de la velocidad ($n+1$), determinando el tiempo de que se dispone para rescatar a las personas. Y comparándolo con el tiempo que lleva rescatarlas.

1.4 Otros estudios relevantes

Ya han existido trabajos que pueden completar o definir los datos buscados por los modelos mencionados. A continuación Se mostrarán tablas de diferentes estudios.

Tipos de heridas. Existen estudios que se han encargado de clasificar las características de los heridos por el tipo de trauma sufrido. Resalta el estudio sobre 111 autopsias de víctimas del terremoto de Atenas (Papadopoulos *et al.*, 2004). En este sismo hubo un total de 143 muertos con lo que el estudio cubre 77% de las muertes. Arroja una luz sobre la forma en que mueren las víctimas de un colapso.

La tabla 1.5 presenta los distintos tipos de heridas presentadas por los cadáveres a los que se hizo la autopsia, además se muestran entre paréntesis un índice ISS, en medicina es un índice que muestra el grado de heridas que presentaban los cadáveres.

Tabla 1.5 Traumas presentados por víctimas del sismo de Atenas Papadopoulos et al., (2004)

Heridas	Cantidad de personas	Porcentaje
Total de personas atrapadas en edificios colapsados	102	91.9
Total con trauma de cualquier tipo	105	94.6
Total de muertes causadas por traumas contundentes y quemados	74	66.7
Directamente relacionados con sismos	103	92.8
Enterrados o atrapados que murieron por trauma	69	62.2
Enterrados o atrapados que murieron por asfixia	31	27.9
Asfixia con trauma \geq AIS3 (ISS 9-18)	14	12.6
Asfixia con trauma $<$ AIS3 (máximo ISS \leq 6)	17	15.3
Golpeado con un objeto muerto por trauma	1	0.9
Enterrado o atrapados y muerto por quemaduras	2	1.8
Indirectamente relacionados con el sismo	8	7.2
Infarto al miocardio (sin heridas)	6	5.4
Cayeron o saltaron muertos por trauma del golpe	2	1.8

Llama la atención las muertes por asfixia. Poniendo esta causa como la segunda después de traumas, con lo cual se puede sugerir que estas personas pudieron haberse salvado mediante labores de rescate aunque quizás su tiempo de supervivencia fué muy corto.

Todas las lesiones identificadas en la autopsia fueron clasificadas con respecto a su distribución entre las regiones definidas en el cuerpo de acuerdo a la Escala Resumida de Traumatismos 1990 Revisión (AIS90) de acuerdo a su gravedad (códigos AIS90).

El AIS90 clasifica la gravedad de las lesiones de la siguiente manera: AIS1 heridas menores; AIS2 moderada; AIS3 seria, pero no amenaza la vida; AIS4 grave y potencialmente mortal; AIS5, crítico; AIS6 máximo y sin posibilidad de supervivencia y AIS9 gravedad desconocida.

La gravedad de los traumatismos se estimó mediante la autopsia con el índice Injury Severity Score (ISS) en inglés, que se define como la suma de los cuadrados de la más alta AIS en cada una de las tres regiones del cuerpo con lesiones más graves.

El trabajo de Papadopoulos *et al.*, (2004) podría a ser muy útil para determinar la distribución de heridos que necesita el modelo de Sakai *et al* (1991). Sin embargo se deben que relacionar las heridas de los cuerpos con la forma en que fallaron las estructuras. En cuyo caso se relacionarían las heridas con la estructura que las produjo.

Localización en edificios Otros datos que pueden ser útiles de estos estudios son las características de ubicación de los sitios en estudio

A continuación la tabla 1.6 muestra datos demográficos de interés para el presente trabajo:

Tabla 1.6 muertos y heridos por el sismo de Armenia 1998 RMenia et al., (1997)

	Muertos		Heridos		Total
	N	%		%	N
dentro	808	3.05%	1318	4.98%	26453
fuera	22	0.35%	134	2.15%	6232
Tipo de edificio					
panel	337	10.74%	290	9.24%	3137
otro	478	1.61%	1072	3.62%	29606
Altura de edificio					
1 piso	41	0.61%	283	4.23%	6689
2-4 pisos	315	2.05%	785	5.12%	15338
5-8 pisos	226	5.31%	227	5.33%	4260
9 o + pisos	233	26.75%	59	6.77%	871
Localización dentro del edificio					
1er piso	181	1.37%	597	4.50%	13258
2do piso	194	2.27%	408	4.78%	8533
3o-4o piso	246	6.00%	268	6.53%	4103
5-6o piso	70	7.96%	53	6.03%	879
7-8o piso	64	31.07%	13	6.31%	206
9 o + piso	29	29.90%	14	14.43%	97

Esta tabla es muy ilustrativa en varios aspectos, para empezar recordemos que para generar esta tabla se usaron muestras y aquí se observa:

- Que la mayor parte de los muertos estaba en un edificio al momento del sismo
- Muestra una relación de muertos y los pisos del edificio, expresando que edificios de más de ocho pisos al colapsar tendrán un aumento muy significativo en cuanto a muertos con respecto a edificios más bajos pues solo el 1% de los ocupantes totales de primeros pisos murieron, en el 6° piso solo se tuvieron 8% de víctimas. Pero al llegar al 7° y 8° piso el porcentaje de víctimas entre los ocupantes se dispara al 31%. También se observa que el número de heridos disminuye en pisos altos, lo que nos sugiere que no solo en números absolutos, sino también en porcentaje es más mortal el edificio alto y además que los factores Atrapados/ocupantes varían también con la altura y el de muertos/ocupantes aumenta también
- Se deduce que los edificios de concreto son más mortíferos pues el 10% de sus ocupantes murieron mientras en otros tipos solo el 1%, no obstante los otros tipos mataron más personas en términos absolutos lo que apoya la teoría de que los edificios de concreto son más mortíferos al colapsar pero son más resistentes. Aunque existe otro argumento para justificar estas estadísticas y es que, en general, los edificios de mampostería no son muy altos, así que la diferencia en mortalidad de uno y otro tipo de edificio está apoyada también en que los edificios de concreto en general son más altos y los edificios más altos son mas mortales al colapsar que los bajos

Respecto al sismo de de Armenia otro autor presenta datos un poco más ilustrativos sobre el tipo de edificio y su mortandad. En la tabla 1.9 podemos observar la cantidad de muertos correspondientes a edificios de concreto y mampostería así como la cantidad total de muertos, ocupante y un factor muerto/ocupantes promedios para esos edificios.

Tabla 1.7 Datos de muertos y ocupantes presentado por K. Noji et al., (1998) para el caso Armenia

	Edificios	Ocupantes	Muertos	Muertos/ ocupantes
Edificios de mampostería	38	415	53	12.77%
Paneles de concreto prefabricado	2	40	19	47.50%
Marcos de concreto prefabricado	8	577	87	15.08%
Total	48	1032	159	15.41%

Estos datos se presentan como un total de las construcciones y no por edificio por lo que en capítulos posteriores pueden servir como una referencia pues se espera que los edificios de mampostería tengan un 12.77 % de muertos entre ocupantes y los de concreto tengan un 47.5%. Cabe mencionar que aquí se nos muestra una mortandad muy baja para los marcos de concreto con respecto a los paneles de concreto. Los paneles de concreto se refieren a los muros prefabricados y losas prefabricadas.

Características demográficas. Otros datos encontrados han sido las características demográficas para algunos sismos. En las tablas 1.8, 1.9, y 1.10 se muestran estadísticas demográficas de las víctimas de los sismos.

Tabla 1.8 Muertos en distintas localidades según su edad durante el sismo de Armenian et al., (1997)

Edad	Gumri		Spitak		Otros	
	N	%	N	%	N	%
0-10	1995	17.23%	422	19.90%	3509	18.43%
11-20	1747	15.09%	412	19.42%	3179	16.70%
21-30	2200	19.00%	359	16.93%	3502	18.39%
31-40	1878	16.22%	356	16.78%	3339	17.54%
41-50	1059	9.14%	141	6.65%	1554	8.16%
51-60	1553	13.41%	227	10.70%	2314	12.15%
61-70	840	7.25%	143	6.74%	1200	6.30%
>70	309	2.67%	61	2.88%	444	2.33%
Género						
Hombres	6140	53.02%	1079	50.87%	9956	52.29%
Mujeres	5441	46.98%	1042	49.13%	9085	47.71%
	11581		2121		19041	

Se observa una mayor mortandad en hombre que en mujeres. Además de que no parece haber una tendencia sino hasta las edades de más de 40 años en que la cantidad de muertos desciende. Es explicable porque la población de esa edad también es menos. La tabla 1.7 presenta datos demográficos del sismo de Northridge: total de muertos y hospitalizados así como muertos y heridos según su edad.

Tabla 1.9 Heridos durante el sismo de Northridge. Peek –Asa et al., (1998)

	Heridos por el sismo	Población Total
Severidad		
muertos	33	8863164
hospitalizados	138	8863164
Género		
hombres	78	4421398
mujeres	138	4441766
Edad		
0-9	5	1384014
10-19	5	1223397
20-39	55	3797209
40-59	44	1910925
60-79	36	859369
80+	25	188498
Total	170	

En este caso se observa que la mayor parte de la población dañada fueron adultos. Sin embargo, la cantidad de mujeres muertas es considerablemente mayor que la de hombres. Por otro lado la tabla 1.8 muestra muertos en Chi- Chi en Taiwán 1999.

Tabla 1.10 Muertos durante el sismo de ChiChi, Yun Yien et al., (2002)

Grupo edad [años]	Población			Muertos		
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
]						
0-9	1245442	1141787	2387229	146	156	302
10-19	1397253	1314121	2711374	103	110	213
20-29	1350337	1303326	2653663	81	101	182
30-39	1426224	1392355	2818579	134	149	283
40-49	1149197	1120485	2269682	155	153	308
50-59	601904	609576	1211480	124	113	237
60-69	522143	479686	1001829	182	167	349
70-79	330743	268818	599561	148	176	324
80-89	86826	86826	173652	68	81	149
total	8110069	7716980	15827049	1141	1206	2347

En este sismo nuevamente las hay más víctimas que son mujeres parecen ser más vulnerables que los hombres. Además se observa que los grupos en mayor riesgo son los niños de 0-9 años y la gente adulta.

Se observa que en todos los sismos la distribución de víctimas es uniforme en los grupos de edad, aunque puede verse que la población de entre 40 y 50 años suele ser menos propensa a morir durante el sismo. Aunque estos datos son poco relevantes para el modelo desarrollado por Coburn *et al.*, (1992) son útiles para el Modelo de Sakai *et al.*, (1991) porque la condición de edad, o incluso el sexo, puede influir considerablemente en la velocidad ($n+1$) que define Sakai con que la salud de las personas va minando.

1.5 Modelo al que se enfoca este trabajo

Para efectos de este trabajo se usará el método desarrollado por Reinoso *et al.*, (2010) el cual tiene como precedente el de Coburn *et al.* (1992) y plantea:

$$E(D_i) = E(O_i|hr) * E((T(\%)|S_t) * E(F(\%)|S_t) * C_F(p_j) \quad 1.10$$

Donde

$E(D_i)$ es la cantidad de pérdidas de vidas humanas esperadas en un edificio i

$E(O_i|hr)$ es la esperanza de ocupación de acuerdo a la hora y al uso del edificio.

$E(T(\%)|S_t)$ es la relación entre las cantidades de muertos/atrapados que se espera.

$E(F(\%)|S_t)$ es la relación de gente atrapada entre ocupantes que se espera.

$C_F(p_j)$ es el factor de colapso del edificio el cual está dado por el valor esperado de pérdida del edificio bajo un sismo dado.

$E(O_i|hr)$ y $E(D_i)$ son factores que dependen de la población y su comportamiento. Reinoso *et al.* (2010) propone valores para los mismos que se asumirán como correctos en esta tesis. De acuerdo con Reinoso *et al.*, (2010) $E(T(\%)|S_t)$ y $E(F(\%)|S_t)$ se determinan acuerdo al tipo estructural. En

esta tesis se pretende determinar el valor de estos factores. El factor $C_F(p_j)$ esta dado por muchas propiedades de la estructura, del medio en que ha sido construida y del sismo en sí. Será analizado con más amplitud en el capítulo 4.

Otra forma de expresar lo anterior es

$$E(D_i) = E(O_i|hr) * C_F(p_j) * F_1 * F_2 \quad (1.11)$$

Los Valores de F_1 y F_2 son los analizados y propuestos para distintos tipos de estructura en el capítulo 2 y 3

F_1 es la relación de atrapados entre ocupantes de un edificio colapsado

F_2 es la relación de muertos entre atrapados de un edificio colapsado

Para encontrar los valores de $E(O_i|hr)$ existen tablas propuestas por distintos autores que permiten estimar el porcentaje de ocupación de un edificio, estas cifras son porcentajes de ocupación. Es evidente que existen poblaciones que, por sus características, pueden presentar una distribución diferente o edificios que tambien pueden presentar diferentes patrones de ocupación.

En lugares donde la principal ocupación es la agricultura se puede encontrar que durante el día, la gente que se encuentra fuera de sus hogares trabaja en lugares abiertos. En zonas turísticas se puede encontrar una alta ocupación de gente en centros nocturnos. Tambien existen industrias que ocupan gente en las noches y en el día pudiendo darse el caso de edificios llenos casi durante todo el día. La figura 1.3 mostrada en el apartado 1.2 muestra diferente distribución para edificios en zonas urbanas y en zonas rurales. Además al estar en forma de gráfica toma en cuenta la variabilidad que se da por las comidas, traslados, y cambios de turno.

Otra posible forma de determinar el porcentaje de ocupación es con la tabla 1.9 El porcentaje presentado es el porcentaje de ocupación de los edificios.

Tabla 1.11 Distribución en porcentaje de la población que se ubica en cada edificio dependiendo de la hora del día. Tomada de Reinoso et al., (2010)

Localización de la gente	Día de trabajo			Fin de semana y días feriados	
	Noche [%]	Transición [%]	Día [%]	Noche [%]	Transición/Día [%]
Casa/Hoteles	96	35	22	87	40
Plazas abiertas	1	40	20	10	40
Trabajo	3	25	58	3	20
Total	100	100	100	100	100

Para determinar la cantidad de personas que se encuentran en un edificio se determina primero la cantidad de personas máxima que contiene el edificio y; de acuerdo a la hora de ocurrencia del sismo que se desea estimar; se estima el porcentaje de esas personas que ocupan el edificio de tal manera que:

$$E(O_i|hr)=O_{\max} * F_{hr} \quad (1.12)$$

donde

$E(O_i|hr)$ es la cantidad de ocupantes esperados en el edificio al momento del sismo.

O_{\max} es la cantidad máxima de personas que ocupan el edificio.

F_{hr} es el porcentaje de ocupación del edificio de acuerdo a la hora y el día de la semana, para obtenerlo se puede emplear la gráfica 1.3, la tabla 1.9 o estudios estadísticos de la ciudad o región que quiere evaluarse.

El valor de los factores F_1 y F_2 tienen equivalentes en otros modelos, sin embargo el valor que tienen o pueden adquirir es algo que está a discusión en casi todos los modelos. En los siguientes capítulos se determina correlaciones de los valores de dichos factores, partiendo de datos y valores de los mismos recopilados de casos específicos. Los edificios de los que se han sacado los datos se presentan con un mayor detalle en el anexo 1 uno de este trabajo.