

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLÁN

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES CON
COLUMNAS HUECAS DE CONCRETO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

DANIELA MORENO LAGUNES

ASESOR: DOCTOR DARÍO RIVERA VARGAS

Santa Cruz Acatlán, Estado de México
Noviembre 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Agradecimientos

A Dios

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad.

A mis padres

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A la FES Acatlán, UNAM

Por haberme permitido formado como ingeniero en sus aulas y brindarme el apoyo del proyecto PAPIT TA10167 “Desarrollo y validación de un método de diseño sísmico basado en desempeño utilizando espectros de fragilidad para estructuras a base de marcos sismo resistentes”.

A mis amigos

Por apoyarme en estos cinco años cuando los más necesiten y por ser mi familia adoptiva durante esta aventura.



Contenido

1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 ANTECEDENTES.....	5
1.2 OBJETIVO	6
1.3 CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN	6
2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE PUENTES	8
2.1 DAÑOS OBSERVADOS	8
2.2 RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES INSTRUMENTADOS	17
2.3 IMPLICACIONES EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES.....	19
3 PARÁMETROS QUE AFECTAN LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	20
3.1 SUPERESTRUCTURA	20
3.2 SUBESTRUCTURA	24
3.3 UBICACIÓN.....	27
3.4 AÑO DE CONSTRUCCIÓN.....	29
4 ECUACIONES PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN LATERAL	31
4.1 TIPOLOGÍA DE PUENTES.....	31
4.2 ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE COLUMNAS HUECAS	32
4.3 DEDUCCIÓN DE ECUACIONES DE CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN	42
4.3.1. COLUMNAS RECTANGULARES DE SECCIÓN HUECA	45
4.3.2 COLUMNAS CIRCULARES DE SECCIÓN HUECA	50
5 PROPUESTA DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD	55
5.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD	55
5.1.1 DATOS BÁSICOS DEL PUENTE	55
5.1.2 PROCEDIMIENTO	57
5.2 CATÁLOGO DE ALGUNAS FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PARA PUENTES CON COLUMNAS HUECAS	61
5.2.1 COLUMNAS RECTANGULARES DE SECCIÓN HUECA	63
5.2.1.1 COMPARACIÓN DE ALGUNAS FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE COLUMNAS RECTANGULARES DE SECCIÓN HUECA	99
5.2.2 COLUMNAS CIRCULARES DE SECCIÓN HUECA	102



5.2.2.1 COMPARACIÓN DE ALGUNAS FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE COLUMNAS CIRCULARES DE SECCIÓN HUECA.....	114
5.2.3 COMPARACIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE COLUMNAS CIRCULARES, RECTANGULARES Y CUADRADAS.....	116
6 EJEMPLO DE APLICACIÓN	117
6.1 UBICACIÓN.....	117
6.2 BREVE DESCRIPCIÓN DEL PUENTE.....	117
6.3 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE COLUMNAS.....	118
6.4 VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL PUENTE	118
7 CONCLUSIONES	122
8 REFERENCIAS.....	124



1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

México, es altamente sísmico debido a la actividad tectónica de las placas de Rivera, Cocos, Norteamericana y Pacífico. Estas tres últimas forman parte del cinturón de fuego del Pacífico.

Por lo anterior la infraestructura de puentes de la República Mexicana está expuesta a un peligro sísmico significativo, si se toma en consideración que no se cuenta con un reglamento que guíe en los criterios de diseño sísmico en este tipo de estructuras.

Además, el uso de columnas de sección hueca se ha presentado en un lapso relativamente menor en comparación con el empleo de columnas de sección maciza, esto ha traído como consecuencia la falta de información sobre el tipo de daño que presentan ante el sismo, por lo que se tiene incertidumbre sobre su comportamiento sísmico, aunado al carecimiento de un reglamento para el diseño y construcción de puentes.

Como se mencionó anteriormente, el territorio mexicano presenta alta actividad tectónica a la cual, los puentes se encuentran expuestos sin saber con certeza el nivel de seguridad que guardan ante dicha solicitud accidental. Por lo que esta situación se agrava al incorporar columnas de sección hueca, para las cuales no se tiene una práctica de diseño bien definida.

Por lo anterior, es necesario emprender trabajos de investigación sobre la vulnerabilidad sísmica de puentes en México, con objeto de evaluar el grado de vulnerabilidad y en consecuencia la seguridad que guardan los puentes existentes ante diferentes escenarios sísmicos que se pueden presentar en las distintas fuentes sísmicas de la República Mexicana, ante la falta de un reglamento para este tipo de infraestructura.



1.2 OBJETIVO

Debido a que en el país no se cuenta con criterios, explícitos para el diseño sísmico de puentes, además de tener incertidumbres sobre el nivel de seguridad que guardan los puentes con columnas de sección hueca, en esta investigación se tiene por objetivo estudiar los parámetros que afectan la vulnerabilidad sísmica de puentes, con columnas de concreto reforzado, sección hueca, tomando como referencia en la revisión de estudios experimentales sobre el desempeño sísmico en este tipo columnas para con ello deducir funciones de vulnerabilidad.

1.3 CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo está constituido por siete capítulos los cuales se describen brevemente a continuación.

En el capítulo uno se comentó algunos antecedentes sobre la construcción de puentes con columnas de sección hueca en el país, así como la problemática en cuanto a su vulnerabilidad sísmica al no contar en México con un reglamento de diseño y construcción de puentes. Además de plantear el objetivo de la presente investigación.

Posteriormente, en el capítulo dos se comentan los daños que han presentado los puentes durante la ocurrencia de sismos de gran intensidad tanto en México como en el extranjero. Así mismo, se hace una breve reseña de algunos puentes instrumentados, con objeto de conocer su respuesta dinámica y cuales han sido sus implicaciones en el análisis y diseño sísmico de puentes.

En la tercera parte de esta investigación se describen los principales parámetros que inciden en la vulnerabilidad sísmica de puentes, tanto en la superestructura como en la subestructura, así como los aspectos relacionados con la ubicación y el año de construcción.

En el capítulo cuatro hace referencia al desarrollo de ecuaciones para estimar la capacidad de deformación lateral de columnas de concreto reforzado de puentes de sección hueca, tanto rectangulares como circulares, para diferentes niveles de desempeño, las cuales se dedujeron con base en estudios experimentales de diversos ensayos de columnas de este tipo.



En el capítulo cinco se trata lo concerniente a la deducción de las funciones de vulnerabilidad para columnas de puentes de concreto reforzado de sección hueca, tomando como referencia la metodología de Rivera (2007). Así también se describe el catálogo de funciones de vulnerabilidad desarrollado en esta investigación.

En tanto en el capítulo seis se presenta un ejemplo de aplicación para ilustrar el uso de las funciones de vulnerabilidad deducidas en este trabajo a fin de evaluar el nivel de seguridad estructural ante la acción del sismo en puentes con columnas de concreto reforzado de sección hueca.

En el último capítulo se comentan las principales conclusiones derivadas de la investigación, así como los estudios que se recomiendan a futuro en lo que concierne a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de puentes.



2 COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE PUENTES

En este capítulo se aborda lo relacionado con el comportamiento sísmico de los puentes desde diferentes aspectos: daños observados durante la ocurrencia de terremotos, tanto en el ámbito nacional como internacional; respuesta sísmica medida en algunos puentes instrumentados; así como, las implicaciones en el diseño y análisis sísmico de este tipo de infraestructura, para mejora su comportamiento ante una carga sísmica.

2.1 DAÑOS OBSERVADOS

Durante la ocurrencia de grandes terremotos, los puentes han experimentado un mal comportamiento, de tal forma, que se han observado daños severos y hasta el colapso de los mismos. En lo que sigue se hará una descripción de dichos daños tanto por sismos ocurridos en el extranjero como en México.

Daños observados en el extranjero

Dentro de los daños más recurrentes en la subestructura de los puentes está el referido a las columnas o pilas de apoyo, como se ha observado durante terremotos como: San Fernando (1971), Loma Prieta (1989), Northridge (1994), Kobe (1995), Chile (2016), entre otros.

En las *figuras 2.1 a 2.7* se muestran algunos daños que sufrieron varios puentes en sus columnas. Como se podrá notar las columnas presentaron articulaciones plásticas tanto en la parte inferior como superior de dicho elemento estructural. En la mayoría de los casos se observó que este tipo de daño obedeció a una falta de confinamiento por parte del refuerzo transversal, lo cual originó que las columnas no desarrollarán un comportamiento dúctil y en consecuencia tuvieron un mecanismo de daño frágil al verse superada la resistencia del elemento.



A partir del sismo de San Fernando (*figuras 2.1, 2.2 y 2.5a*), también conocido como sismo de Sylmar, ocurrido el 1971 en California, Estados Unidos de América se observó lo vulnerable que son los puentes ante un movimiento telúrico por los severos daños que sufrieron los puentes lo cual sirvió para mejorar las normas de diseño vigentes en esa época.

Posteriormente el estado de California sufrió dos sismos importantes que dejaron ver la alta vulnerabilidad sísmica de los puentes, tales como: Loma Prieta (1989) *figura 2.3* y Northridge (1994) *figura 2.6*, donde se presentaron fallas muy diferentes a las ocurridas en San Fernando (1971) (*figuras 2.1, 2.2 y 2.5a*) lo que provocó una nueva revisión de las normas de diseño.

En 1995 en Kobe, Japón, ocurrió el Gran terremoto de Hanshin- Awaji, en donde, los colapsos en puentes y vialidades elevadas, se atribuyeron a los grandes desplazamientos laterales de las columnas, que no resistiera estas por el escaso refuerzo transversal que tenían en la zona de máximo momento.

Sismo de San Fernando (1971)

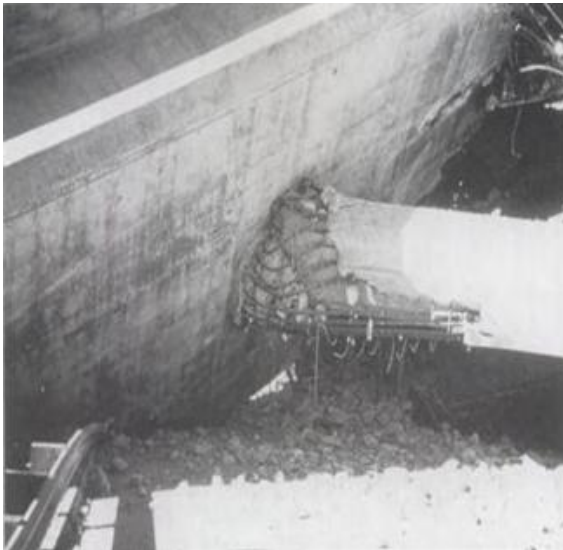


Figura 2.1 Falla de confinamiento en la parte superior de la columna durante el sismo (Priestley et al., 1996)



Figura 2.2 Falla por cortante dentro de la zona de articulación plástica en el terreno de San Fernando (Priestley et al., 1996)



Sismo Loma Prieta (1989)



Figura 2.3 Falla en la unión de traslape en la base de la columna. (Barriga, 2011)

Sismo de Kobe En 1995



Figura 2.4 Falla a flexión en la base de las columnas del puente Hanshin (Díaz, J. , 2011)



Fallas por Cortante



a) Sismo de San Fernando en 1971



b) Sismo de Chi Chi Taiwán en 1999

Figura 2.5 Falla de las columnas por cortante en sismos de San Fernando y Chi Chi (Barriga, 2011)



Figura 2.6 Falla de las columnas por cortante en sismo de Northridge 1994 (Barriga, 2011)



Figura 2.7 Falla de las columnas por cortante en sismo de Chile 2010 (Barriga, 2011)

Daños observados en México

En México se han presentado algunos daños en puentes durante la ocurrencia de terremotos. Durante el sismo del 19 - septiembre – 1985 ($M=8.1$), se registró la articulación plástica en una columna de un puente carretero cerca de la presa el Infiernillo, en Michoacán (Domínguez, 2009). Mientras que en el sismo del 21 de septiembre de 2003, conocido como el sismo de Tecomán, Colima, los puentes experimentaron daños en los topes sísmicos principalmente.

En tanto que en los sismos de septiembre de 2017 se observaron nuevamente fallas como las que se comentan a continuación.

Durante el sismo del 7 - septiembre – 2017 ($M=7.1$), los puentes carreteros evidenciaron problemas en la superestructura, en parte por falla en el terraplén de acceso que propinó la fractura de la carpeta asfáltica como se muestra en la figura 2.8, puente Estéreo, Oaxaca. En otros casos las vigas de la cubierta perdieran longitud de apoyo, lo que ocasionó el colapso de las mismas, tal como ocurrió en el puente de la autopista Pirámides- Texcoco (Figura 2.9).

Mientras que en el sismo del 19 de septiembre de 2017($M=8.2$), algunos de los daños que se presentaron fueron pérdida de recubrimiento de algunas columnas, como



ocurrió en uno de los tramos del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM), como se muestra en la figura 2.10, que tuvo que ser revisada y rehabilitada inmediatamente.

De igual manera se apreciaron fallas en los terraplenes de acceso de varios de los puentes de Morelos (figura 2.11). Así también, presentaron daños los muros de contención de los terraplenes de acceso debido al golpeteo de la superestructura, como se puede ver en las figuras 2.12 y 2.13.



Figura 2.8 Puente Estero, Oaxaca: Falla de talud de acceso



Figura 2.9 Puente vehicular de la Autopista Pirámides-Texcoco; colapso de viga tipo ASHTO, debido a mala conexión con el cabezal.



Figura 2.10 Puente del STCM



Figura 2.11 Falla del elemento estructural que conecta al puente con el terraplén de acceso, causado por la inestabilidad del talud



Figura 2.12 Fractura del muro de contención del terraplén de acceso , la fractura visiblemente es de 7 cm de espesor



Figura 2.13 Fractura del muro de contención del terraplén de acceso , la fractura visiblemente es de 7 cm de espesor



2. 2 RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES INSTRUMENTADOS

La instrumentación sísmica permanente de los puentes vehiculares permite comprender su respuesta dinámica y en consecuencia mejorar las hipótesis de análisis para una mejor estimación de su comportamiento estructural, así como para proveer de la capacidad necesaria de sus elementos estructurales dentro del proceso de diseño. *(Mendoza, 2011)*

En este sentido el conocer las características de comportamiento dinámico de los puentes es fundamental para mejorar sus criterios de análisis y diseño, y más, cuando no se cuenta con un Reglamento que guíe en la consecución de una obra segura ante este fenómeno geológico. Por consiguiente, en lo que sigue se hará una breve descripción de algunos estudios realizados al respecto.

La infraestructura carretera es de vital importancia en el desarrollo económico de un país. En México existen muy pocos puentes carreteros instrumentados permanentemente debido a los altos costos de los aparatos y su mantenimiento. En consecuencia se comentarán dos puentes que han mantenido una instrumentación permanente, como son: Puente Impulsora y Puente Chiapas.

Puente impulsora

Se ubica al noreste de la Ciudad de México en el límite con el Estado de México, en el municipio de Netzahualcóyotl. Es utilizado para cruzar la línea B del metro. Fue construido a base de traveses de concreto, apoyadas en una serie de columnas de concreto reforzado. La longitud del puente es de 405 m, las traveses centrales tienen una longitud de 49 m en el claro central y 17 m en su ancho máximo, lugar donde se encuentran dos carriles de tránsito continuo, dos bahías de ascenso y descenso de pasaje y dos accesos peatonales a la estación del metro ubicada debajo del puente. *(Mendoza , 2011)*

La instrumentación de la superestructura está integrada por dos acelerógrafos de seis canales conectados a dos sensores triaxial, instalados en el interior de las traveses centrales, un sensor triaxial de superficie y un sensor triaxial de pozo profundo. *(Figura 2.14)*

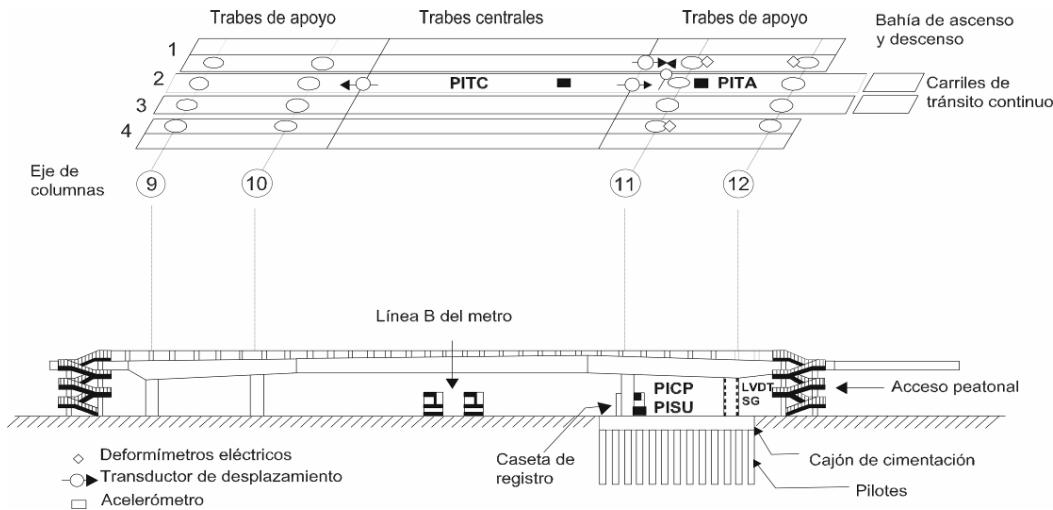


Figura 2.14 Instrumentación sísmica de puente impulsor (Mendoza, 2011)

Puente Chiapas

Debido a que algunos requisitos previstos en el diseño y construcción de la superestructura del puente Chiapas no se cumplieron plenamente y considerando su importancia y características únicas, se decidió realizar una revisión del diseño original, la cual, dictaminó la necesidad de implementar una red de instrumentación y monitoreo del puente durante el lanzamiento de la superestructura (Mendoza, 2011). El sistema de instrumentación fue diseñado especialmente para complementar los resultados del modelo matemático utilizado en el diseño y preservar la integridad de la superestructura del puente proporcionando avisos cuando alguno de los parámetros medidos excede los límites de seguridad admisibles. Con tal motivo, fue necesario configurar el sistema para registrar el historial de temperaturas y esfuerzos presentes en el puente mediante el uso de transductores de temperatura, deformímetros, anemómetros y LVDT's. Adicionalmente se incluyó un arreglo móvil de dos acelerómetros orientados en la dirección vertical para medir las vibraciones producidas durante cada ciclo de lanzamiento. (*Instrumentación, Civiles, & México, 2005*). La figura 2.15 muestra la distribución de los sensores en la superestructura del puente Chiapas:

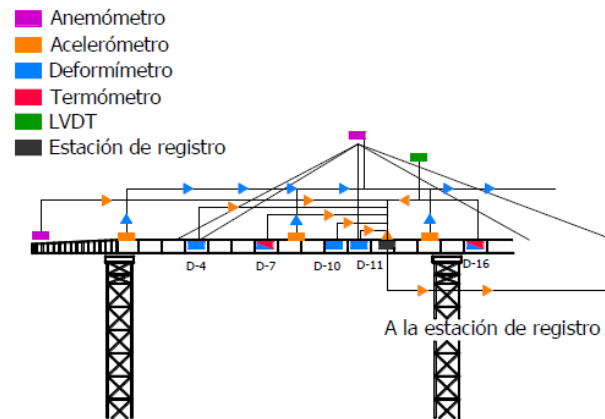


Figura 2.15 Localización de los sensores a lo largo del cantiléver de la superestructura del puente Chiapas (Monitor, 2008)(Mendoza , 2011)

2.3 IMPLICACIONES EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO DE Puentes

Los daños observados en los puentes hacen ver la necesidad de poner cuidado en el diseño sísmico en los elementos de soporte como son las columnas y los terraplenes de acceso, que son elementos estructurales fundamentales para el buen desempeño sísmico integral del puente.

Lo anterior refuerza la necesidad de realizar estudios de tipo experimental para conocer de mejor forma el comportamiento sísmico de los puentes y en consecuencia establecer criterios adecuados de diseño sísmico.

En este sentido, la instrumentación sísmica permanente de algunos puentes, contribuye en gran medida a reducir las incertidumbres en cuanto a las hipótesis de modelación y análisis, para hacer una mejor estimación de las demandas sísmicas en sus diferentes elementos estructurales.



3 PARÁMETROS QUE AFECTAN LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Los parámetros que afectan el comportamiento sísmico de un puente se pueden analizar desde los elementos que conforman la superestructura y subestructura, además de tomar en consideración la ubicación y año de construcción del puente.

3.1 SUPERESTRUCTURA

La superestructura de un puente está conformada por los elementos siguientes: capa de rodamiento, vigas principales, vigas secundarias, apoyos de neopreno, juntas sísmicas, cabezal. En la figura 3.1 se aprecia la colocación de trabe cajón la cual forma parte de la superestructura de Crosstown Bridge(IABSE, *s/f*).



Figura 3.1 Colocación de trabe tipo cajón.

Los elementos más vulnerables sísmicamente de la superestructura son las juntas sísmicas y el cabezal ya que este último es el encargado de restringir el movimiento de toda la superestructura. Cuando las juntas sísmicas y el cabezal ya no cumplen su función o no se dan abasto ante la demanda de la fuerza sísmica se ven afectadas las columnas principales o en el peor de los casos todo aquello que se encuentre arriba de las vigas se desplazará fuera de los límites del puente.



Tipo de estructura

La superestructura de los puentes se puede clasificar de forma general según su tipo de estructuración isostática, pueden ser de losa continua o simple.

Los puentes que cuentan con una superestructura de tipo isostática con losa continua también llamados puentes extradosados son aquellos que cuentan con tablero continuo en toda su longitud y poseen elementos resistentes que ayudan al correcto funcionamiento del tablero pero que se desarrollan fuera de sus límites como lo son tirantes o tendones.

Los puentes que poseen losa continua son capaces de librar claros de 200 metros sin ninguna dificultad, así como también son ideales para cañadas profundas, es por ello que en su construcción se opta por emplear vigas prefabricadas. En el mundo, este tipo de estructuración es muy utilizada en puentes ambiciosos en Canadá (Golden Ears), Japón (Himi Yume), Suiza (Sunniberg) y México con el puente Baluarte (*Figura 3.2*) el cual fue el puente más alto del mundo en el periodo 2012- 2016 localizado en la Autopista Durango – Mazatlán el cual tiene una longitud de 1124 m y una altura de 402.57 m.

En cambio, la estructuración isostática simple, consiste en vigas continuas simplemente apoyadas en las columnas o coladas monolíticamente con las columnas (*Figura 3.3*). Este tipo de estructuración es óptima para el proceso constructivo de puentes con alturas menores a 5 m y con distancia entre columnas no mayor a 20 m. Aunque este tipo de estructuración es para puentes menos comunes proporciona al puente una mayor rigidez ayudando a su comportamiento sísmico en comparación con los puentes extradosados, por lo anterior es que en zonas sísmicas es recomendable este tipo de estructuración para tableros largos aunque resulte más costoso tal es el caso del viaducto Bicentenario (*figura 3.3*) en el Área Metropolitana del centro del país. (Mora & Sánchez, 2012)



Figura 3.2 Puente Baluarte , Durango MX



Figura 3.3 Puente vehicular Miguel Alemán(Obras WEB, 2014)



Tipo de apoyo

Los apoyos son diseñados para transmitir la carga de la superestructura a la subestructura, permitiendo movimientos específicos como el libre movimiento o la rotación de la superestructura causada por el viento o efectos sísmicos, variaciones de temperaturas, desviaciones de cubierta, hundiendo de cualquiera de los apoyos, el elástico que se acorta debido a se arrastra, el encogimiento o la pre acentuación, etc.

Considerando que cada puente posee diferentes características dependiendo de la zona en donde se encuentre, ya sea que se tenga que diseñar sus apoyos para condiciones propias de la zonificación y del uso del mismo conjuntando dos tipos de apoyos en general, los cuales son simplemente apoyado o articulado.

Apoyo simple

Consiste en que la superestructura se encuentre soportada por apoyos simples en los extremos y que le permite el libre movimiento de sus extremos. *Figura 3.4*

Apoyo articulado

Restringe los desplazamientos de traslación pero se permiten los giros de la estructura respecto de los ejes que pasan por ese punto. *Figura 3.5*



Figura 3.4 Apoyo simple de las vigas de un viaducto. Manuel Torres Búa. Licencia CC-BY-SA



Figura 3.5 Apoyo articulado puente Don Luís I, Portugal.



Tipo de planta

La forma geométrica de la vista en planta de los puentes son variables debido a que dependen del trazado geométrico de la carretera, en el sistema carretero nacional se puede observar tres tipos de plantas: recta, curva y esviado.

Los puentes con tablero recto son de los que se tiene mayor número debido a la facilidad de su análisis y a que son los más empleados en el sistema carretero nacional para cruzar autopistas (*figura 3.6a*).

En lo que respecta a la superestructura, es importante reunir información básica sobre su geometría, en la cual se pueda discernir si la estructura tendrá posibles movimientos de torsión ante tramos curvos o tramos rectos con un ángulo de esviajamiento fuerte. Además, de saber la altura a la cual se encuentra respecto al terreno con objeto de poder intuir el nivel de amplificación del movimiento de la superestructura.

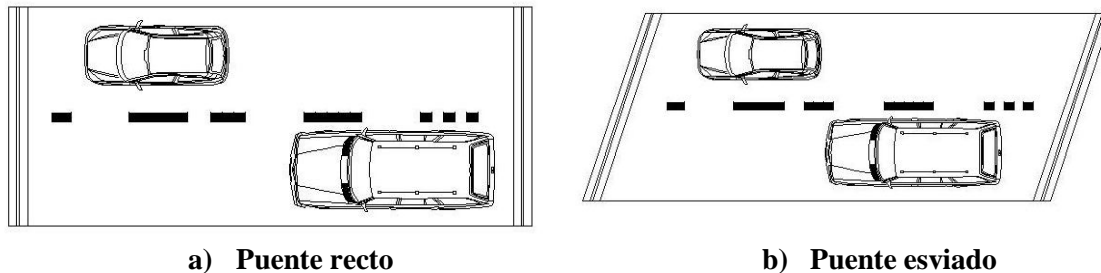


Figura 3.6 Esquema de vista en planta de puente recto y esviado

Se dice que el tablero de un puente tiene esviaje o que está construido en esviaje (*figura 3.7b*), cuando la forma en planta del tablero no es rectangular. Esto quiere decir que la horizontal de los apoyos del tablero forma un ángulo distinto a 90 grados, con el eje longitudinal del tablero. En la mayor parte de los casos modernos los puentes son esviado, no presentando mayores problemas ni inconvenientes si éstos están compuestos por vigas, en cambio cuando se trata de losas simplemente apoyadas los esfuerzos que en ellas se presentan difieren de los de las losas rectas, aumentando esta diferencia con el ángulo de esviaje.

Por su parte, los puentes curvos (*figura 3.8*) han surgido en las metrópolis para solucionar problemas vehiculares a pesar de ser más complejos al momento de su diseño y construcción debido a la inclinación que se le dan a las traveses.



Figura 3.7 .- Puente vehicular planta curva (“Faltan puentes vehiculares | El Heraldo de Aguascalientes”, s/f)

3.2 SUBESTRUCTURA

Está conformada por todos elementos de soporte de la estructura, tales como: columnas, terraplén, dado de cimentación y la cimentación (pilotes, zapatas) como se muestran en la *figura 3.8*.



Figura 3.8 Subestructura de puente socavando del sistema carretero nacional(GIPSA INGENIERIA S.A. de C.V., 216d. C.)



Grado de daño de las columnas o pilas

Los elementos más vulnerables ante la actividad sísmica son las columnas ya que han fallado por cortante y flexo compresión durante sismos de gran intensidad, lo cual se ha atribuido a la falta de confinamiento, inadecuado armado estructural (acero longitudinal, transversal) y en las conexiones con la superestructura y la cimentación.

En columnas de sección hueca, los daños estructurales son por falta de confinamiento del concreto.

El grado de daño presente en columnas se clasifica en diferentes categorías según Rivera (2007); nulo, ligero, moderado, severo y falla, los cuales en función de la demanda de aceleración la columna puede presentar alguno de estos niveles de daños.

Tipo de subestructura

La subestructura se puede clasificar en tres tipos: marcos, muros y columnas aisladas como es el caso de los viaductos.

La estructuración a base de muros (figura 3.9) se emplea para salvar ríos con claros y alturas considerables, requiriendo el libre paso del viento como brindar soporte a la estructura.

Por otra parte, la estructuración a base de columnas se emplea en zonas urbanizadas las cuales cuentan con espacio reducido, tomando como ejemplo el viaducto Bicentenario tramo Echegaray (figura 3.10a) , siendo empleada en zonas de menor demanda sísmica debido a su poca rigidez.

Los puentes estructurados por marcos (figura 3.10b) se pueden observar en zonas altamente sísmicas o donde existe una considerable fuerza de empuje debido a que poseen mayor rigidez lateral.



Figura 3.9 .- Puente Mezcala en Mártir de Cuilapan, Guerrero (Pulido, 2016)



a) Columnas. Viaducto Bicentenario tramo Echegaray



b) Marcos. Puente el Zacatal en Ciudad del Carmen (Pulido, 2016)

Figura 3.10 Puentes con diferente estructuración

Altura de columnas

Mediante la observación de los puentes vehiculares del país estructurados con columnas de sección hueca cuentan con alturas que van desde los 5 m hasta los 12 m con columnas prefabricadas; en el caso de las hechas en obra llegan a tener alturas de 20 metros. Siendo las ultimas más vulnerables sísmicamente.(Mora & Sánchez, 2012).

La altura de las columnas juega un papel importante en el comportamiento sísmico del puente debido a que estas determinan el periodo de vibrar de la estructura.



Tipo de cimentación

Una de las principales causas del colapso de los puentes son el deterioro de la cimentación adquirido durante su vida útil, así como también la errónea elección de la cimentación debido a que se subestiman diversos aspectos como son la socavación, tipo de suelo y respuesta sísmica, es por ello que es de suma importancia la elección de una cimentación adecuada.

La cimentación empleada en puentes puede ser a base de cajones de cimentación con pilotes, zapatas con pilotes, zapatas corridas, entre otros.

Los puentes que salvan ríos propensos a presentar avenidas extraordinarias cuentan con una cimentación combinada con zapatas y pilotes para evitar la falla por socavación así como el efecto de volteo de la estructura ante condiciones sísmicas

(*figura 3.11*), o también puede estar con zapatas corridas y pilas de cimentación como es el caso de la *figura 3.12*.



Figura 3.11 Socavación de la cimentación de puente vehicular en Oaxaca (“IV Centenario: el puente roto | Noticiasnet”, s/f)



Figura 3.12 Cimentación con pilas de un puente en construcción (“IV Centenario: el puente roto | Noticiasnet”, s/f)

3.3 UBICACIÓN

El territorio mexicano es considerado altamente sísmico debido a que se encuentra entre cinco placas tectónicas: Rivera, Del Caribe, De Cocos, Norteamericana y Del Pacífico las cuales pertenecen al cinturón de fuego.

En un estudio de vulnerabilidad sísmica es importante considerar la ubicación de la estructura, para tener una estimación de la demanda sísmica, además de identificar el tipo de suelo y existencia de fallas geológicas que puedan afectar al puente.



Para evaluar la demanda sísmica en términos de aceleración o de desplazamiento, se recurre a un espectro de respuesta representativa del sitio en donde se ubica el puente bajo estudio. Recordando que el espectro de respuesta es la representación gráfica, de las máximas demandas esperadas en la estructura cuando es sometida a una excitación extraordinaria típica del sitio.

Licuación de suelos

La licuación de suelos inducida por un terremoto es uno de los principales contribuyentes al riesgo sísmico de puentes vehiculares cuando estos cruzan avenidas pluviales. Las vibraciones que genera el movimiento telúrico hacen que aumente la presión de agua en los poros lo que reduce la tensión efectiva, y por lo tanto disminuye la resistencia al corte de la arena. Si existe una corteza de suelo seco o una cubierta impermeable, el exceso de agua puede a veces surgir en la superficie a través de grietas

en la capa superior, arrastrando en el proceso arena licuificado produciendo borbotones de arena (González, Núñez, Herranz, Calvo, & Ordaz, s/f).

Si bien los efectos de la licuefacción han sido comprendidos desde hace mucho tiempo, tomó relevancia a partir de los terremotos de 1964 ocurridos en Niigata, Japón y Alaska. El fenómeno también jugó un papel muy importante en la destrucción del Distrito de la Marina en San Francisco durante el terremoto de Loma Prieta ocurrido en 1989 (González *et al.*, s/f).

Los suelos más susceptibles a la licuefacción son aquellos formados por depósitos jóvenes de arenas y sedimentos de tamaños de partículas similares, en capas de por lo menos más de un metro de espesor, y con un alto contenido de agua (saturadas). Tales depósitos por lo general se presentan en los lechos de ríos, playas, dunas, y áreas donde se han acumulado arenas y sedimentos arrastrados por el viento y/o cursos de agua.

La licuación de los suelos se presenta en dos tipos de respuestas no drenadas: licuación verdadera (falla de flujo) y movilidad cíclica (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos., s/f)



Tipo de suelo

Conocer el tipo de suelo en el cual se va a desplantar es fundamental para cualquier tipo de construcción, en el caso de los puentes vehiculares es de gran ayuda no solo para proponer el tipo de cimentación, si no que sirve para obtener el periodo fundamental del suelo, el cual ayuda a establecer el grado de vulnerabilidad sísmica del puente.

El tipo de suelo es una característica propia del sitio, para determinarla es importante realizar sondeos en la etapa de anteproyecto para proponer una cimentación la cual transmita cargas vivas y accidentales del puente al suelo. Asimismo, se requieren estudios geofísicos para determinar las propiedades dinámicas del suelo las cuales permiten comprender la respuesta sísmica del terreno ante sismos de diferente intensidad.

Existencia de fallas geológicas

Cuando se realiza la viabilidad del proyecto, así como también estudios preliminares para la construcción de los puentes vehiculares se debe evitar construir sobre o en las

cercanías de una falla geológica, dado que los movimientos que generan las fallas, pueden dañar gravemente la estructura de los puentes.

Recordando que una falla geológica es una fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella y que toda elevación del terreno tiene su origen en fallas geológicas.

3.4 AÑO DE CONSTRUCCIÓN

En general, los puentes del sistema carretero mexicano no cuentan con un reglamento de carácter jurídico para el diseño de estas construcciones importantes; por lo cual se ha optado por reglamentos extranjeros para cuestiones de cargas vehiculares principalmente. Entre los más populares son el AASHTO y euro códigos.

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) es el organismo encargado de regular este tipo de construcciones cuenta con manuales para el análisis dinámico y elástico de los puentes basados en reglamentos antes mencionados pero no



proporciona los espectros de sitio necesarios para el diseño sísmico de los puentes vehiculares.

A causa de no existir reglamento de diseño, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) elabora el manual de diseño por sismo desde 1969 para sus construcciones; siendo tomadas como referencias para el diseño. El manual proporciona espectros de diseño para sus edificaciones aunque se pueden emplear para los puentes vehiculares siempre y cuando se apliquen los debidos factores.

El periodo de construcción de los puentes vehiculares es muy importante para su comportamiento ante un movimiento telúrico debido a que existen diversas versiones del manual; dependiendo del año de construcción será la versión empleada para espectros de diseño y la propuesta de armados. Siendo las versiones resientes más completas debido a las experiencias en construcciones de periodo corto como lo son los puentes vehiculares afectados por sismos de corta duración. Aunque para emplear estas versiones adecuadamente es necesario realizar estudios de mecánica de suelos para la obtención de los factores de corrección en sitio.



4 ECUACIONES PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN LATERAL

4.1 TIPOLOGÍA DE PUENTES

El presente trabajo es aplicable a puentes con columnas en cantiléver, con sección hueca. En consecuencia se consultarán estudios experimentales de columnas de concreto reforzado de sección hueca, sometidas a carga axial constante y carga lateral que representa la acción sísmica del sismo (figura 4.1).

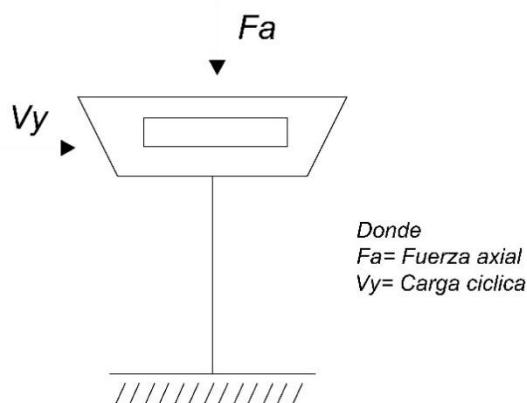


Figura 4.1 Condiciones de carga de los experimentos utilizados

Otra característica que deben poseer los puentes, enfocado al grupo de datos seleccionados es el tipo de sección de la columna siendo circular, cuadrada o rectangular, solamente, aparte del aspecto geométrico, debe cumplir con diversas propiedades de armado, materiales empleados, espesores, relaciones de aspecto, entre otros, los cuales se mencionarán en el apartados 4.2 y 4.3.



4.2 ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE COLUMNAS HUECAS

Para comprender el comportamiento mecánico de las columnas huecas de puentes de concreto reforzado, ante diferentes niveles de carga lateral, y con ello establecer una correlación entre las características geométricas y de armados con la capacidad de deformación lateral ante diferentes niveles de desempeño, se hizo una revisión de la literatura con respecto a estudios experimentales de este tipo de columnas(Prado, 2014)(Isakovic, s/f)(Hines, Dazio, & Seible, 2006)(Delgado, Rocha, Rodrigues, & Santos, 2006)(Kwan & Hyun, 2001)(Jia, Han, Xu, & Zhang, 2014)(Martínez, 2013)(Sheikh, Vivier, & Legeron, 2007)(I. Kim, Lim, Juhn, & Kim, 2000) (I. H. Kim, Sun, & Shin, 2012)(Selangor, 2007)(Park, s/f)(Hattori & Otsuka, s/f)(Hines, Dazio, & Seible, 2002)(H. Kim et al., 2015)(Anumolu, Abdelkarim, Abdulazeez, Gheni, & ElGawady, 2017)(UNCCE,2015)(Al-jeabory, 2009)(M. Abdulazeez & A.ElGawadt, 2017) (Priestley & Hoshikuma, 2000)(Ranzo & Priestley, 2000)(Abdelkarim, Anumolu, Gheni, & Elgawady, s/f)(Nguyen, Trono, Panagiotou, & Ostertag, 2014)(Yazici, 2012).

Para la recolección de la información se consideró que la fuerza lateral aplicada a los especímenes fuera cíclica (simulando la fuerza sísmica) que proporcionara curvas de histéresis de las cuales se pudieran extraer los 4 puntos de la envolvente de falla (Agrietamiento, Fluencia, Resistencia Máxima, Colapso) *figura 4.2*, así como que les aplicara una fuerza axial la cual represente la carga a la cual se encuentran expuestos los puentes vehiculares.

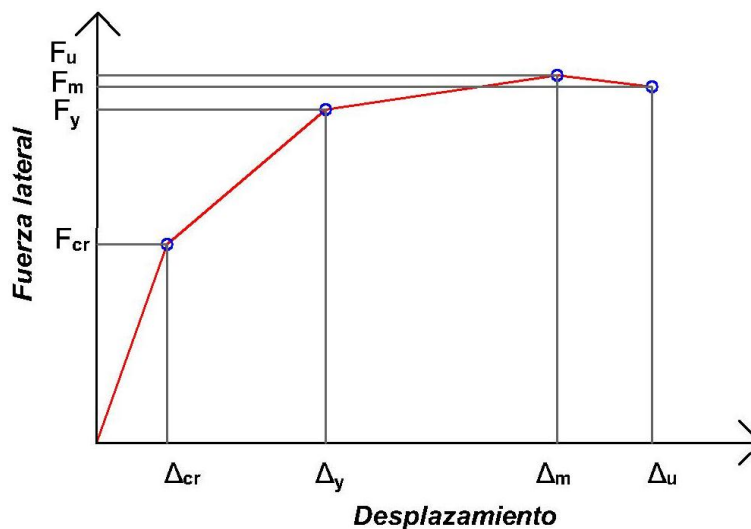


Figura4.2 Envolvente de falla



Considerando que el presente trabajo está enfocado a los puentes del sistema carretero mexicano, se tomaron como delimitantes las propiedades de puentes existentes como la cuantía longitudinal (0.01-0.02 columnas circulares, 0.01-0.04 columnas cuadradas y rectangulares), transversal (0.004-0.007 columnas circulares, cuadradas y rectangulares), fuerza de compresión del concreto (f'_c 250-400 kg/cm²) y sin olvidar la fuerza axial aplicada igual al 15% de la resistencia a compresión de la sección.

Columnas huecas rectangulares

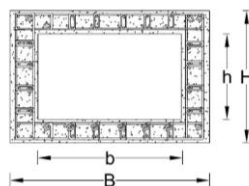
En esta clasificación se concentran las columnas cuadradas y rectangulares, debido a que su comportamiento es similar.

Las propiedades geométricas y mecánicas de los especímenes que se consideraron fueron: dimensiones del espécimen, grosor de pared, resistencia de compresión del concreto (f'_c), acero longitudinal (P_l) y transversal (P_t), fuerza axial aplicada (P). Las cuales se aprecian en la *tabla 4.1*

Los resultados observados de las curvas de histéresis como son las distorsiones y rigideces se emplearon para obtener las ecuaciones del apartado 4.3.1.



Tabla 4.1 Propiedades geométricas y mecánicas de columnas huecas rectangulares.



Fuente	Especimen	Descripción	Longitud total cm	B cm	b cm	H cm	h cm	Area columna cm ²	Esfuerzo de compresión Concreto- f'c (kg/cm ²)	Cuantía longitudinal	Carga axial		Cuantía Volumétrica
											P kg	$\frac{P}{A_g f'c}$	
(Jia, Han, Xu, & Zhang, 2014)	SHG-3	Rectangular con chaflán 76 var 3/8" 8 tor 3/8"	140	55	35	33	13	1496	309.990	0.0105	92749.008	0.2	0.0049
	LU-1	Rectangular con chaflán 60 var 1/2"	280	55	35	33	13	1496	309.990	0.0105	92749.008	0.2	0.0049
	LHG-2	Rectangular con chaflán 60 var 1/2"	280	55	35	33	13	1496	309.990	0.0105	92749.008	0.2	0.0049
	LHG-3	Rectangular con chaflán 60 var 1/2"	280	55	35	33	13	1496	309.990	0.0105	92749.008	0.2	0.0049
(Prado García & Aguilar Ramos, 2014)	C-1	Columna rectangular hueca Dim. Ext. 35cm x 55 cm Dim. Int. 13cm x 33 cm. Altura 378.5 cm y cuantía longitudinal 3.5%	277.5	314	289	220	135	2110.5	702.000	0.035	266682.78	0.18	0.00602625
	C-2	Columna rectangular hueca Dim. Ext. 35cm x 55 cm Dim. Int. 13cm x 33 cm. Altura 378.5 cm y cuantía longitudinal 3.7%	277.5	314	289	220	135	2110.5	637.000	0.037	241989.93	0.18	0.00602625
	C-3	Columna rectangular hueca Dim. Ext. 35cm x 55 cm Dim. Int. 13cm x 33 cm. Altura 378.5 cm y cuantía longitudinal 3.4%	277.5	314	289	220	135	2110.5	675.000	0.034	256425.75	0.18	0.00602625
	C-4	Columna rectangular hueca Dim. Ext. 35cm x 55 cm Dim. Int. 13cm x 33 cm. Altura 378.5 cm y cuantía longitudinal 3.6%	277.5	314	289	220	135	2110.5	546.000	0.036	207419.94	0.18	0.00602625
(Kim et al., 2015)	R-L	Columna hueca de seccion cuadrada con estribos rectangulares con 1.53 cuantía longitudinal	450	100	50	50	25	3750	224.337	0.0153	84126.375	0.1	0.0166
	R-NT	Columna hueca de seccion cuadrada con estribos triangulares con cuantía longitudinal 1.38	450	100	50	50	25	3750	224.337	0.0138	84126.375	0.1	0.012

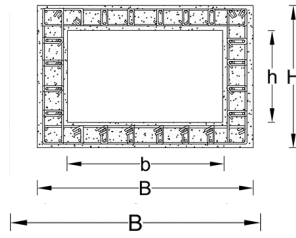


Tabla 4.1 Propiedades geométricas y mecánicas de columnas huecas rectangulares. *Continuación*

Fuente	Especimen	Descripción	Longitud total cm	B cm	b cm	H cm	h cm	Area columna cm ²	Esfuerzo de compresión Concreto- f'c (kg/cm ²)	Cuantía longitudinal	Carga axial		Cuantía Volumétrica
											P kg	$\frac{P}{A_g f'_c}$	
(Hattori & Otsuka, s/f)	No.01	Columna hueca cuadrada 40cm CON ESPESOR DE 30 mm con 4Var Diam 13 mm	160	40	39.4	40	39.4	231	407.866	0.0248	9421.7046	0.1	0.0188
	No.02	Columna hueca cuadrada 40cm CON ESPESOR DE 60 mm con 8Var Diam 13 mm	160	40	38.8	40	38.8	444	407.866	0.0248	18109.2504	0.1	0.0094
	No.03	Columna hueca cuadrada 40cm CON ESPESOR DE 30 mm con 3Var Diam 13 mm	160	40	39.4	40	39.4	231	407.866	0.0169	9421.7046	0.1	0.0128
	No.04	Columna hueca cuadrada 40cm CON ESPESOR DE 30 mm con 6Var Diam 13 mm	160	40	38.8	40	38.8	444	407.866	0.0169	18109.2504	0.1	0.0064
(Kwan & Hyun, 2001)	HR1	Columna hueca rectangular (5.2M x 3.0 M) con 216 Var Diam 25mm longitudinal	2500	520	490	300	270	100500	313.000	0.01089	1572825	0.05	0.00517
	HR2	Columna hueca rectangular (1.04M x0.6 M) con 36 Var Diam 12.7mm longitudinal	500	104	740	600	300	4020	313.000	0.01143	62913	0.05	0.00544
(Delgado, Rocha, Rodrigues, & Santos, 2006)	PO1	Columna hueca cuadrada de 45cm con espesor de 75 mm y con 40 varillas Diam. 8 mm longitudinalmente.	1600	45	30	45	30	1125	SIN DATOS	0.01787	25492.4	S/D	0.075
	PO2	Columna hueca rectangular de 90cmX45cm con espesor de 75 mm y con 64 varillas Diam. 8 mm longitudinalmente.	1600	90	75	45	30	1800	SIN DATOS	0.01787	25492.4	S/D	0.075



Tabla 4.1 Propiedades geométricas y mecánicas de columnas huecas rectangulares. *Continuación*



Fuente	Especimen	Descripción	Longitud total cm	B cm	b cm	H cm	h cm	Area columna cm ²	Esfuerzo de compresión Concreto- f'c (kg/cm ²)	Cuantía longitudinal	Carga axial		Cuantía Volumétrica
											P kg	$\frac{P}{A_g f'c}$	
(Reyes & Meli Piralla, 2013)	PH2	Columna hueca rectangular (1.20M x 0.80 M) con 112 Var Diam 1/2" de acero longitudinal y refuerzo transversal con estribos (aros rectangulares) de barra de 1/4" den No.2 a cada 15 cm	450	120	90	80	50	5100	250.000	0.0279	76500	0.06	0.0106
	PH3	Columna hueca rectangular (1.20M x 0.80 M) con 112 Var Diam 1/2" de acero longitudinal y refuerzo transversal con estribos (aros rectangulares perimetrales) de barra de 1/4" den No.2 a cada 15 cm	450	120	90	80	50	5100	250.000	0.0279	76500	0.06	0.0111
	PH4	Columna hueca rectangular (1.20M x 0.80 M) con 112 Var Diam 1/2" de acero longitudinal y refuerzo transversal con estribos (aros rectangulares) de barra de 1/4" den No.2 a cada 8 cm	450	120	90	80	50	5100	250.000	0.0279	76500	0.06	0.0116
	PH5	Columna hueca rectangular (1.20M x 0.80 M) con 112 Var Diam 1/2" de acero longitudinal y refuerzo transversal con estribos (aros rectangulares en cada cara y 6 estribos suplementarios) de barra de 1/4" den No.2 a cada 15 cm	450	120	90	80	50	5100	250.000	0.0279	76500	0.06	0.0118



Columnas huecas circulares

Para este tipo de sección se consideraron cuantías transversales superiores a 0.007 similares a las empleadas en columnas huecas del sistema carretero mexicano.

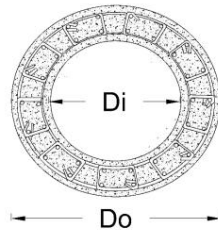
Las propiedades geométricas y mecánicas de los especímenes que se consideraron fueron: altura del espécimen, diámetro interior y exterior resistencia de compresión del concreto, acero longitudinal y transversal, fuerza axial aplicada. Las cuales se aprecian en la tabla 4.2.

Los resultados observados de las curvas de histéresis como lo son las distorsiones y rigideces se pueden apreciar en el apartado 4.3.2

Vulnerabilidad sísmica de puentes con columnas huecas de concreto



Tabla 4.2 Propiedades geométricas y mecánicas de columnas huecas circulares



Do= Diámetro exterior

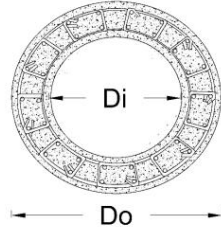
Di=Diámetro interior

Fuente	Especímen	Sección	Longitud total	Area columna	Peso Total	Esfuerzo de compresión	Modulo de elasticidad	Cuantía longitudinal	P	$\frac{P}{A_g f_c}$	Cuantía Volumétrica	H/D	Di/Do	Do cm	Di cm
			cm	cm ²	kg	f'c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)		kg	Ps(%)					
(Priestley & Hoshikuma, 2000)	HF1	Columna circular de sección hueca con 2 var No. 04 con recubrimiento de 1.9 cm con refuerzo transversal W 5	348.00	6087.16	1460.92	381.37	264485	0.014187	297043.27	0.1279554	0.00711691	2.283465	0.81627297	152.4	124.4
	HF2	Columna circular de sección hueca con 2 var No. 06 con recubrimiento de 1.6 cm con refuerzo transversal W 6	348.00	6087.16	1460.92	392.59	277394	0.016030	305608.89	0.1278828	0.00711691	2.283465	0.81627297	152.4	124.4
(Nguyen, Trono, Panagiotou, & Ostertag, 2014)	TS-1	SC-HyFRC 12 Var No.4 ft W3.5 Spiral@2.5 in O.C.	165.10	790.47	31321.58	438.478	342216.76	0.012	39166.2186	0.113	0.0037	4.0625	0.625	40.64	25.4
	Tube Column	HyFRC exterior shell; plain concrete interior core 12 Var No.4 ft W4 Spiral@1.25 in O.C.	165.10	790.47	31321.58	438.478	342216.76	0.012	39166.2186	0.113	0.0087	4.0625	0.625	40.64	25.4
(Ranzo & Priestley, 2000)	HS1	Columna circular Diam Exterior 1560mm Diam. Int. 1056 mm con 68 Var D 13mm	358.10	10355.212	2485.25	407.9	282751.481	0.01400	211194.549	0.05	0.0035	2.295513	0.67692308	156	105.6
	HS2	Columna circular Diam Exterior 1524mm Diam. Int. 1246 mm con 68 Var D 16mm	358.10	6048.048	1451.53	407.9	282751.481	0.02300	123349.939	0.05	0.0035	2.349738	0.8175853	152.4	124.6
	HS3	Columna circular Diam Exterior 1524mm Diam. Int. 1246 mm con 68 Var D 16mm	358.10	6048.048	1451.53	356.9	264485.1603	0.02300	323782.25	0.15	0.0035	2.349738	0.8175853	152.4	124.6
(Al-jeabory, 2009)	C1	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 50 mm)	120.00	91.8819	2646.20	302.9	243656.3153	0.01640	3896.34385	0.14	0.021	5.714286	0.38095238	21	8
	C2	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 50 mm)	120.00	91.8819	2646.20	379.3	272658.7611	0.01640	3833.58851	0.11	0.021	5.714286	0.38095238	21	8
	C4	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 75 mm)	120.00	91.8819	2646.20	327.3	253280.0821	0.01640	3909.48296	0.13	0.014	5.714286	0.38095238	21	8

Vulnerabilidad sísmica de puentes con columnas huecas de concreto



Tabla 4.2 Propiedades geométricas y mecánicas de columnas huecas circulares. *Continuación*



Do= Diámetro exterior

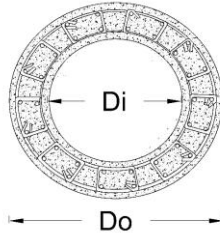
Di=Diámetro interior

Fuente	Espécimen	Sección	Longitud total	Area columna	Peso Total	Esfuerzo de compresión	Modulo de elasticidad	Cuantía longitudinal	P	$\frac{P}{A_g f'_c}$	Cuantía Volumétrica P _s (%)	H/D	Di/Do	Do cm	Di cm
			cm	cm ²	kg	f' c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)		kg						
(Al-jeabory, 2009)	C5	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 100 mm)	120.00	91.8819	2646.20	267.2	228847.5475	0.01640	3928.13499	0.16	0.0103	5.714286	0.38095238	21	8
	C6	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 100 mm)	120.00	91.8819	2646.20	377.3	271938.9637	0.01640	4160.0449	0.12	0.0103	5.714286	0.38095238	21	8
	C7	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 125 mm)	120.00	91.8819	2646.20	279.4	234013.6748	0.01640	4107.48846	0.16	0.0082	5.714286	0.38095238	21	8
	C8	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 125 mm)	120.00	91.8819	2646.20	328.3	253666.7105	0.01640	3921.42761	0.13	0.0082	5.714286	0.38095238	21	8
	C10	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 150 mm)	120.00	91.8819	2646.20	338.5	257577.1729	0.01640	4043.26301	0.13	0.007	5.714286	0.38095238	21	8
	C12	Columna circular Diam Exterior 210mm Diam. Int. 80 mm Acero longitudinal (6 var No. 10)Acero transversal (No.6 a cada 200 mm)	120.00	91.8819	2646.20	360	265631.3235	0.01640	3969.29808	0.12	0.0053	5.714286	0.38095238	21	8

Vulnerabilidad sísmica de puentes con columnas huecas de concreto



Tabla 4.2 Propiedades geométricas y mecánicas de columnas huecas circulares. *Continuación*



Do= Diámetro exterior

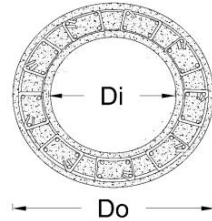
Di=Diámetro interior

Fuente	Especimen	Sección	Longitud total	Area columna	Peso Total	Esfuerzo de compresión	Modulo de elasticidad	Cuantía longitudinal	P	$\frac{P}{A_g f'c}$	Cuantía Volumétrica	H/D	Di/Do	Do cm	Di cm
			cm	cm ²	kg	f'c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)		kg	Ps(%)					
(Kim et al., 2015)	P2	Columna circular hueca Diam. 100 cm Diam. Int. 50cm Altura 350 cm con cuantía longitudinal 1.17	350.00	5890.5	494802.00	331.4	254861.531	0.01117	195211.17	0.1	0.044	3.5	0.5	100	50
	P6	Columna circular hueca Diam. 100 cm Diam. Int. 50cm Altura 350 cm con cuantía longitudinal 1.36	350.00	5890.5	494802.00	331.4	254861.531	0.01360	195211.17	0.1	0.022	3.5	0.5	100	50
	P7	Columna circular hueca Diam. 100 cm Diam. Int. 50cm Altura 350 cm con cuantía longitudinal 1.17	350.00	5890.5	494802.00	331.4	254861.531	0.01170	195211.17	0.1	0.022	3.5	0.5	100	50
	RP1	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.004769765	3.5	0.7	140	98
	RP2	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.004769765	3.5	0.7	140	98
	RP3	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.00953953	3.5	0.7	140	98
	RP4	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.00953953	3.5	0.7	140	98
	RP5	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.00953953	3.5	0.7	140	98
	RP6	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.00953953	3.5	0.7	140	98

Vulnerabilidad sísmica de puentes con columnas huecas de concreto



Tabla 4.2 Propiedades geométricas y mecánicas de columnas huecas circulares. *Continuación*



Do= Diámetro exterior

Di=Diámetro interior

Fuente	Especimen	Sección	Longitud total	Area columna	Peso Total	Esfuerzo de compresión	Modulo de elasticidad	Cuantía longitudinal	P	$\frac{P}{A_g f'_c}$	Cuantía Volumétrica	H/D	Di/Do	Do cm	Di cm
			cm	cm ²	kg	f'c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)		kg		P _s (%)				
(Kim et al., 2015)	RP7	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.019132653	3.5	0.7	140	98
	RP8	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.019132653	3.5	0.7	140	98
	RP9	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.004769765	3.5	0.7	140	98
	RP10	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 2.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.02000	312228.639	0.1	0.00953953	3.5	0.7	140	98
	RP11	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.00953953	3.5	0.7	140	98
	RP12	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	397.7	279193.8395	0.01000	312228.639	0.1	0.00953953	3.5	0.7	140	98
	RP13	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.0	490.00	7850.8584	923260.95	280.4	234432.0797	0.01000	220138.07	0.1	0.00953953	3.5	0.7	140	98
	CL	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.3	490.00	7850.8584	923260.95	224.3	209673.0789	0.01300	176094.754	0.1	0.005037729	3.5	0.7	140	98
	CT	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.3	490.00	7850.8584	923260.95	224.3	209673.0789	0.01300	176094.754	0.1	0.005037729	3.5	0.7	140	98
	CNT	Columna circular hueca Diam. 140 cm Diam. Int. 98cm Altura 490 cm con cuantía longitudinal 1.3	490.00	7850.8584	923260.95	224.3	209673.0789	0.01300	176094.754	0.1	0.0030012	3.5	0.7	140	98



4.3 DEDUCCIÓN DE ECUACIONES DE CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN

El comportamiento de las columnas huecas rectangulares ante la acción de una carga axial constante combinada con una carga cíclica representativa de un movimiento telúrico, se puede observar en las curvas de histéresis de cada experimento, en las cuales se debe realizar una envolvente de falla como se muestra en la *figura 4.3*, en donde se localizan los cuatro puntos característicos de la envolvente los cuales son: agrietamiento, fluencia, resistencia máxima y colapso.

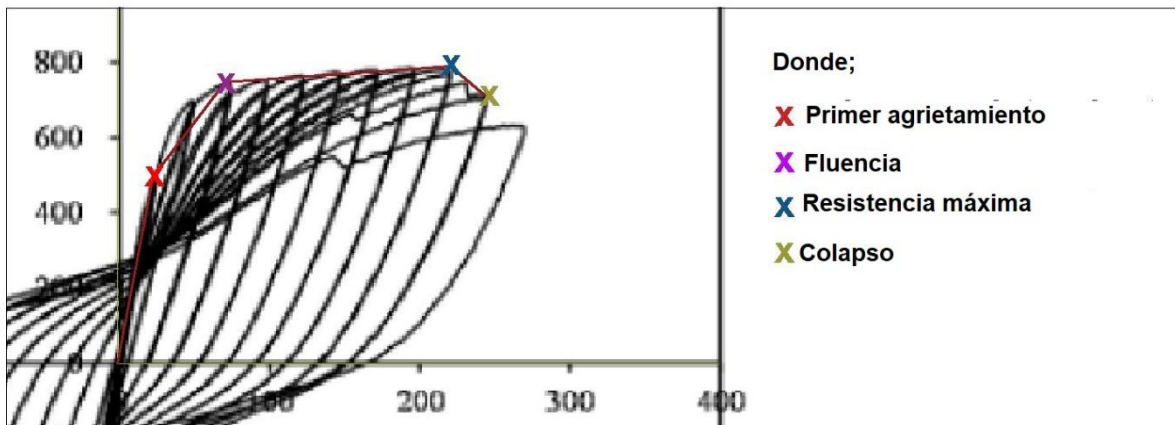


Figura 4.3 Envolvente de falla de una curva de histéresis.

Los datos a considerar para las ecuaciones son la fuerza empleada, desplazamientos obtenidos divididos por la altura del espécimen para obtener la distorsión del espécimen.

Para obtener las ecuaciones de la envolvente de la curva de histéresis, se procesaron experimentos de columnas huecas con propiedades similares; el proceso fue el siguiente;

- 1) Recolección de experimentos de columnas huecas
- 2) Verificar que los especímenes de cada experimento fueron sometidos a carga axial y cíclica
- 3) Clasificación de los especímenes por forma (cuadrada/rectangular)
- 4) Extracción de propiedades físicas y mecánicas de los especímenes
- 5) Realizar la envolvente de falla de cada experimento
- 6) Concentrar los desplazamientos obtenidos en cada punto de falla con las propiedades geométricas.



- 7) Establecer la relación entre la distorsión angular y los parámetros que interfieren para los cuatro puntos de la envolvente de falla; el primer agrietamiento, fluencia, resistencia máxima, colapso.
- 8) Empleando el método de mínimos en los datos obtenidos del paso anterior; se obtienen las ecuaciones de primer agrietamiento.

Con base en las ecuaciones obtenidas del proceso se puede proponer un modelo analítico simplificado que permita estimar el desempeño de una columna sometida simultáneamente a carga lateral y axial, con ciertas propiedades geométricas y mecánicas las cuales se mencionaron anteriormente.

Para la realización de este modelo se pueden predecir el primer agrietamiento y la fluencia mediante los momentos de inercia de primer agrietamiento y fluencia debido a la relación entre las pendientes del punto de agrietamiento y la fluencia respecto al origen, como se demuestra a continuación;

Recordando

$$K_{cr} = \frac{3EI_{cr}}{L^3} \quad (1)$$

$$K_g = \frac{3EI_g}{L^3} \quad (2)$$

Realizando la división de rigidez agrietada flexión hasta el punto de fluencia del elemento (K_{cr}) entre rigidez del elemento bruta no transformada (K_g).

Donde;

K_{cr} = Rigidez agrietada

I_g = M. de I. bruta no transformada

K_g = Rigidez bruta no transformada

E = Momento de Young

I_{cr} = Momento de inercia agrietada



$$\frac{K_{cr}}{K_g} = \frac{\frac{3EI_{cr}}{L^3}}{\frac{3EI_g}{L^3}} \quad (3)$$

Despeje (K);

$$\frac{K_{cr}}{K_g} = \frac{I_{cr}}{I_g} \quad (4)$$

Para establecer la ecuación del modelo analítico simplificado se estableció la relación de fuerza axial aplicada y la cuantía longitudinal influyen directamente, es por ello que para la obtención de las ecuaciones se empleó el método de regresión múltiple.



4.3.1. COLUMNAS RECTANGULARES DE SECCIÓN HUECA

Deformación al primer agrietamiento

Con las distorsiones angulares obtenidas del primer agrietamiento de los experimentos se comparó con la cuantía longitudinal de cada espécimen, se obtuvo una tendencia de comportamiento con la cual por mínimos cuadrados se dedujo una posible ecuación que correlaciona la cuantía de refuerzo longitudinal (P_L) con la distorsión al primer agrietamiento (γ_{cr}), tal como se muestra en la *figura 4.4*.

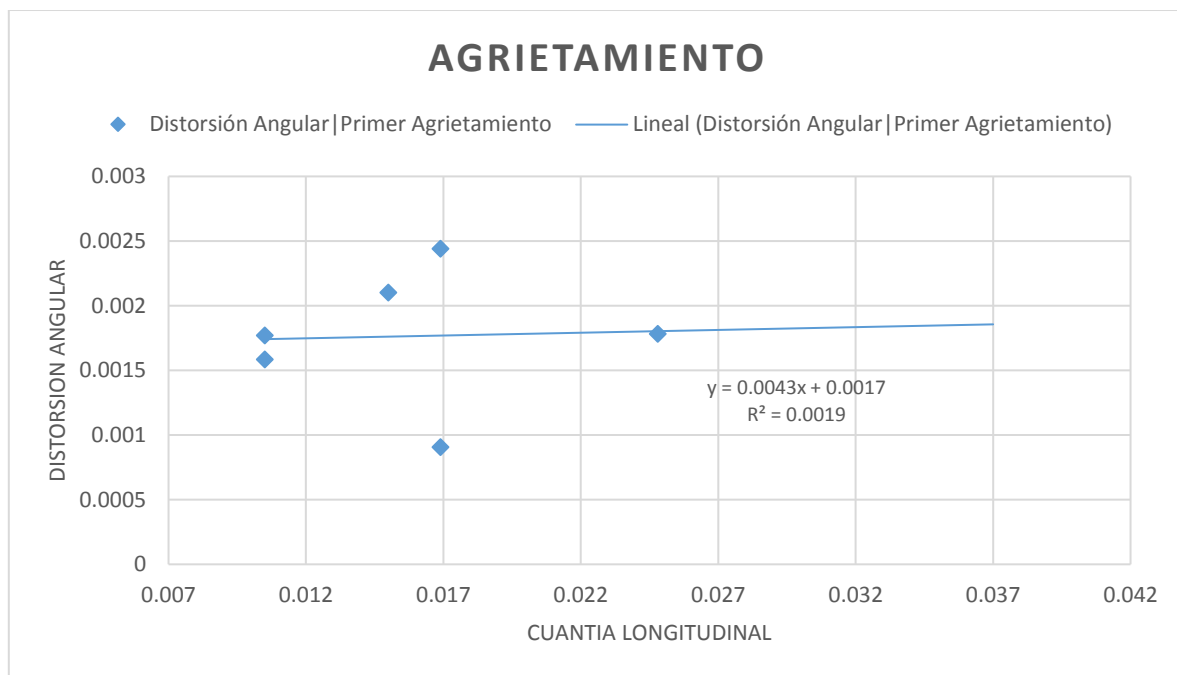


Figura 4.4.- Distorsión angular al agrietamiento de la columna hueca rectangular

La cual, empleando el método de mínimos cuadrados se obtiene la ecuación **5**

$$\gamma_{cr} = 0.00431381P_L + 0.00169618 \quad (5)$$

donde, P_L es la cuantía de refuerzo longitudinal de la columna.



DEFORMACIÓN DE FLUENCIA

Con las distorsiones angulares obtenidas a la fluencia de los experimentos se comparó con la cuantía longitudinal de cada espécimen, se obtuvo una tendencia de comportamiento con la cual por mínimos cuadrados se dedujo una posible ecuación que correlacionan la cuantía de refuerzo longitudinal (P_L) con la distorsión a la fluencia (γ_y), tal como se muestra en la *figura 4.5*.

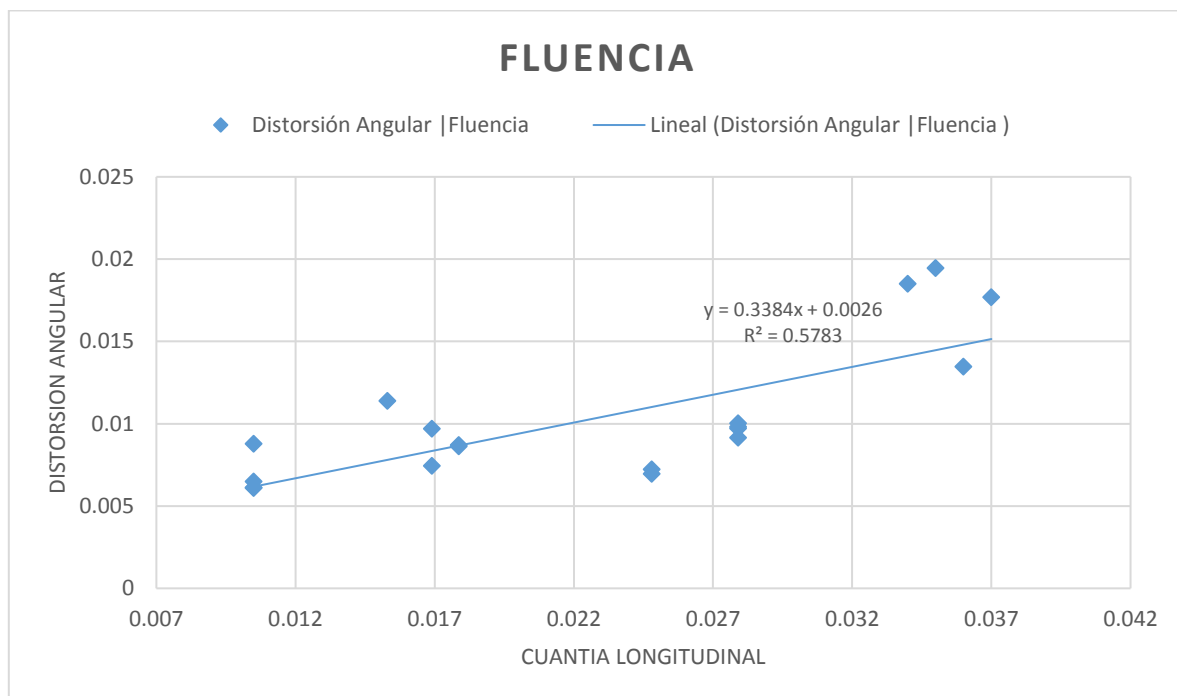


Figura 4.5.- Distorsión angular a la fluencia de la columna hueca rectangular

La cual, empleando el método de mínimos cuadrados se obtiene la *ecuación 6*

$$\gamma_y = 0.33837324P_L + 0.00262764 \quad (6)$$

donde, P_L es la cuantía de refuerzo longitudinal de la columna.



DEFORMACIÓN ASOCIADA A LA RESISTENCIA MÁXIMA

Con las distorsiones angulares obtenidas a la resistencia máxima de los experimentos se comparó con la cuantía longitudinal de cada espécimen, se obtuvo una tendencia de comportamiento con la cual por mínimos cuadrados se dedujo una posible ecuación que correlacionan la cuantía de refuerzo transversal (P_t) con la distorsión asociada a la resistencia máxima (γ_m), tal como se muestra en la *figura 4.6*.

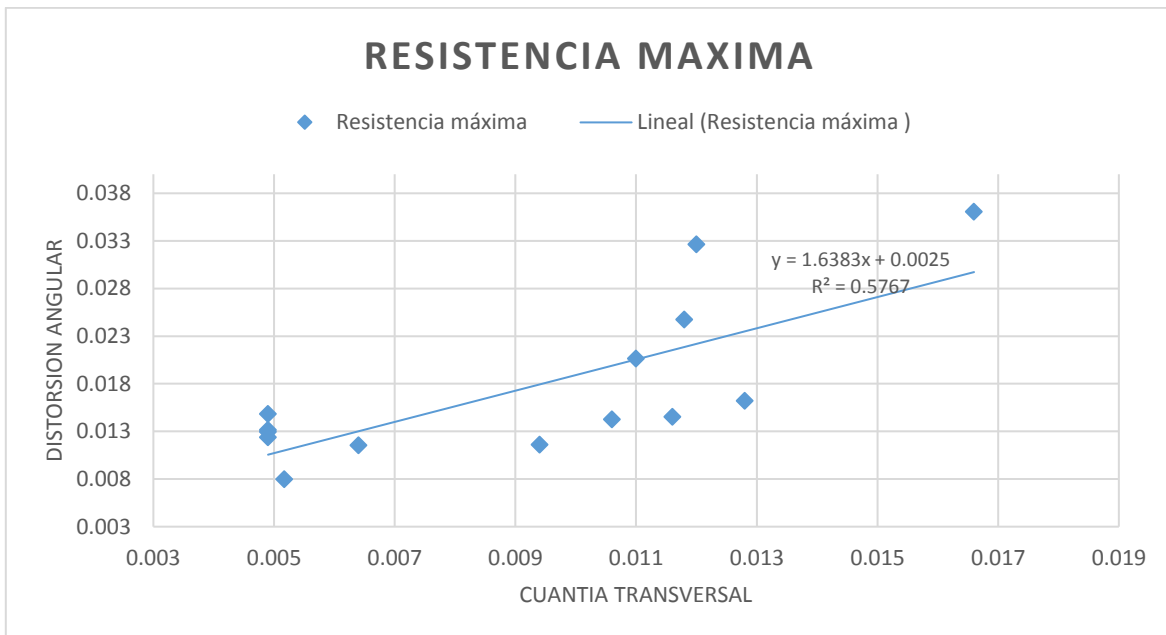


Figura 4.6.- Distorsión angular en resistencia máxima de la columna hueca rectangular

La cual, empleando el método de mínimos cuadrados se obtiene la *ecuación 7*

$$\gamma_m = 1.63827436P_t + 0.00253051 \quad (7)$$

donde, P_t es la cuantía de refuerzo transversal de la columna.



DEFORMACIÓN ÚLTIMA

Con las distorsiones angulares obtenidas a la deformación última de los experimentos se comparó con la cuantía longitudinal de cada espécimen, se obtuvo una tendencia de comportamiento con la cual por mínimos cuadrados se dedujo una posible ecuación que correlacionan la cuantía de refuerzo transversal (P_t) con la distorsión a la deformación última (γ_u), tal como se muestra en la *figura 4.7*.

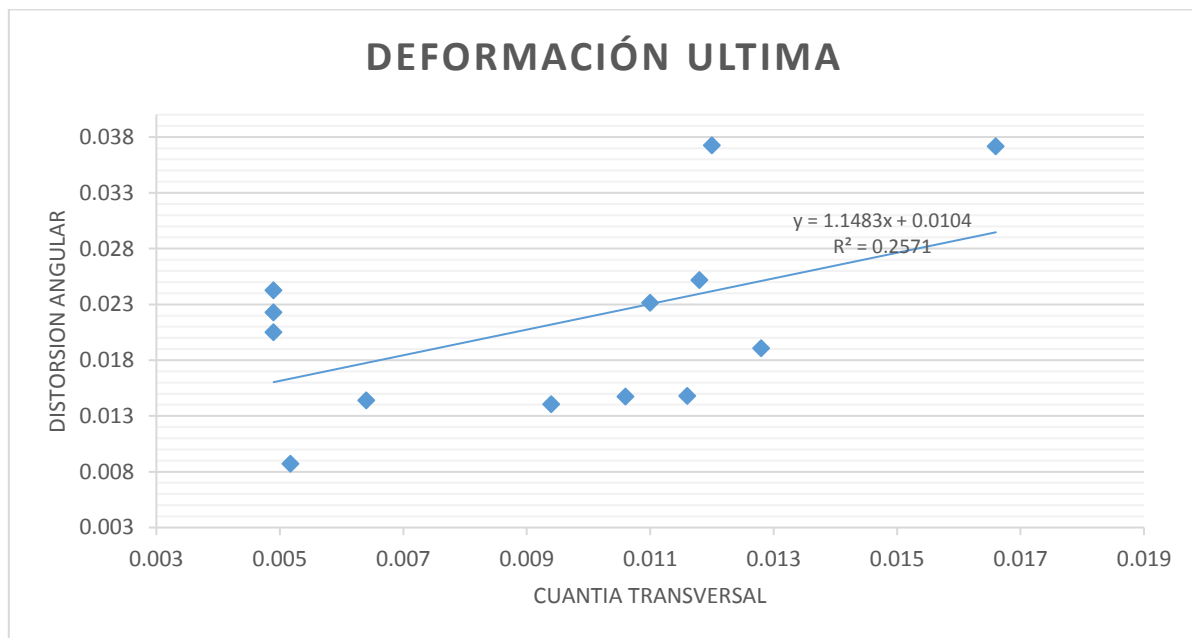


Figura 4.7.- Distorsión angular al colapso de la columna hueca rectangular

La cual, empleando el método de mínimos cuadrados se obtiene la *ecuación 8*

$$\gamma_u = 1.14831239P_t + 0.01040286 \quad (8)$$

donde, P_t es la cuantía de refuerzo transversal de la columna.



Momento de inercia agrietado

Con base en los datos obtenidos en el primer agrietamiento y la fluencia se puede proponer ecuación que permita estimar el momento de inercia agrietado de una columna sometida simultáneamente a carga lateral y axial, con ciertas propiedades geométricas y mecánicas las cuales se mencionaron anteriormente.

La ecuación del modelo analítico simplificado se obtuvo mediante una **regresión lineal múltiple** teniendo como variables los datos de carga axial (0.1-0.16), cuantía longitudinal y la relación de momentos de inercia. El modelo obtenido es la *ecuación 9*.

$$\frac{I_c}{I_g} = 5.76183432P_L + 0.59245562 \frac{P}{A_g f'_c} + 0.34567308 \quad (9)$$

donde;

P_L = Cuantía Longitudinal

$\frac{P}{A_g f'_c}$ = Fuerza aplicada entre el producto del f'_c por el área de sección.

El valor obtenido de la sustitución en la **ecuación 9**, se sustituirá con el despeje realizado en la **ecuación 4** para obtener la rigidez agrietada de la columna hueca, dato a emplear para el cálculo de la fuerza de fluencia.



4.3.2 COLUMNAS CIRCULARES DE SECCIÓN HUECA

Deformación al primer agrietamiento

Con las distorsiones angulares obtenidas del primer agrietamiento de los experimentos se comparó con la cuantía longitudinal de cada espécimen, se obtuvo una tendencia de comportamiento con la cual por mínimos cuadrados se dedujo una posible ecuación que correlacionan la cuantía de refuerzo longitudinal (P_L) con la distorsión al primer agrietamiento (γ_{cr}), tal como se muestra en la *figura 4.8*.

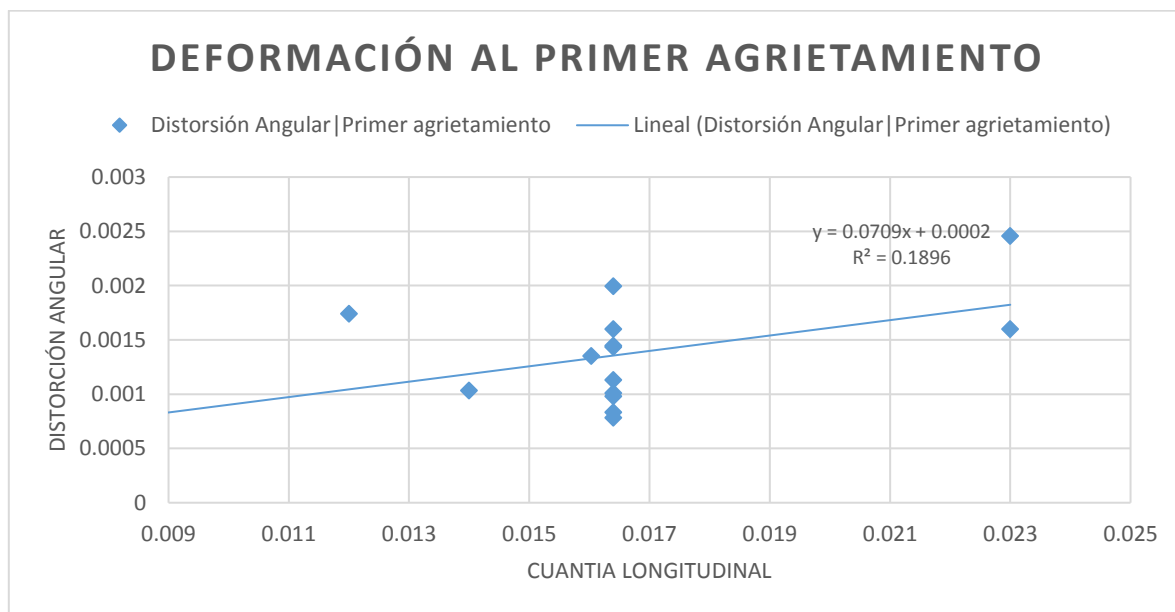


Figura 4.8.- Distorsión angular al primer agrietamiento de columna hueca circular

La cual, empleando el método de mínimos cuadrados se obtiene la ecuación 10

$$\gamma_{cr} = 0.070876P_L + 0.00019359 \quad (10)$$

donde, P_L es la cuantía de refuerzo longitudinal de la columna.



DEFORMACIÓN DE FLUENCIA

Con las distorsiones angulares obtenidas a la fluencia de los experimentos se comparó con la cuantía longitudinal de cada espécimen, se obtuvo una tendencia de comportamiento con la cual por mínimos cuadrados se dedujo una posible ecuación que correlacionan la cuantía de refuerzo longitudinal (P_L) con la distorsión a la fluencia (γ_y), tal como se muestra en la *figura 4.9*.

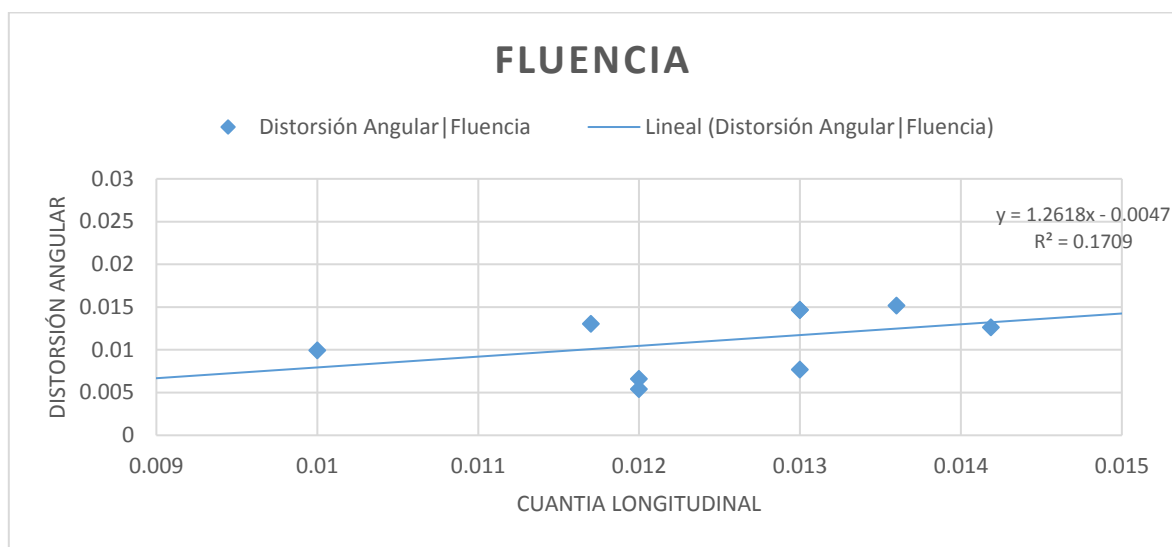


Figura 4.9.- Distorsión angular a la fluencia de la columna hueca circular

La cual, empleando el método de mínimos cuadrados se obtiene la ecuación 11

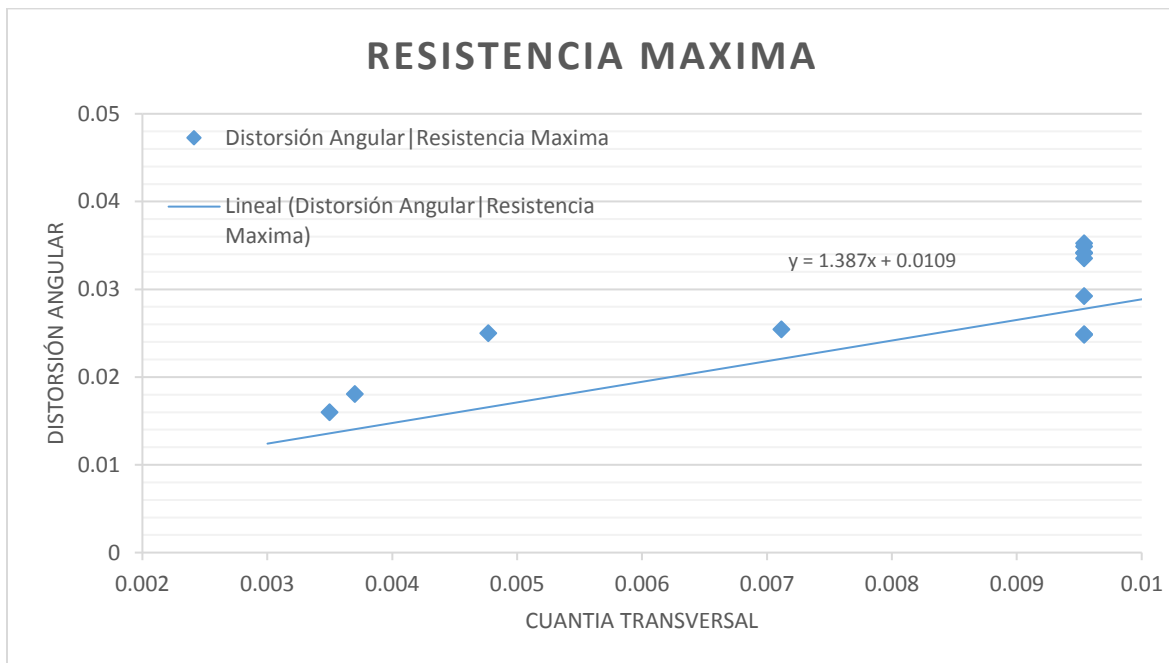
$$\gamma_y = 1.261844P_L - 0.0046794 \quad (11)$$

donde, P_L es la cuantía de refuerzo longitudinal de la columna.



DEFORMACIÓN ASOCIADA A LA RESISTENCIA MÁXIMA

Con las distorsiones angulares obtenidas a la resistencia máxima de los experimentos se comparó con la cuantía longitudinal de cada espécimen, se obtuvo una tendencia de comportamiento con la cual por mínimos cuadrados se dedujo una posible ecuación que correlacionan la cuantía de refuerzo transversal (P_t) con la distorsión asociada a la resistencia máxima (γ_m), tal como se muestra en la *figura 4.10*.



Grafica 4.10.- Distorsión angular a la resistencia máxima de la columna hueca circular

La cual, empleando el método de mínimos cuadrados se obtiene la ecuación 12

$$\gamma_m = 1.387P_t + 0.01093616 \quad (12)$$

donde, P_t es la cuantía de refuerzo transversal de la columna.



DEFORMACIÓN ÚLTIMA

Con las distorsiones angulares obtenidas a la deformación última de los experimentos se comparó con la cuantía longitudinal de cada espécimen, se obtuvo una tendencia de comportamiento con la cual por mínimos cuadrados se dedujo una posible ecuación que correlacionan la cuantía de refuerzo longitudinal (P_t) con la distorsión a la deformación última (γ_u), tal como se muestra en la *figura 4.11*.

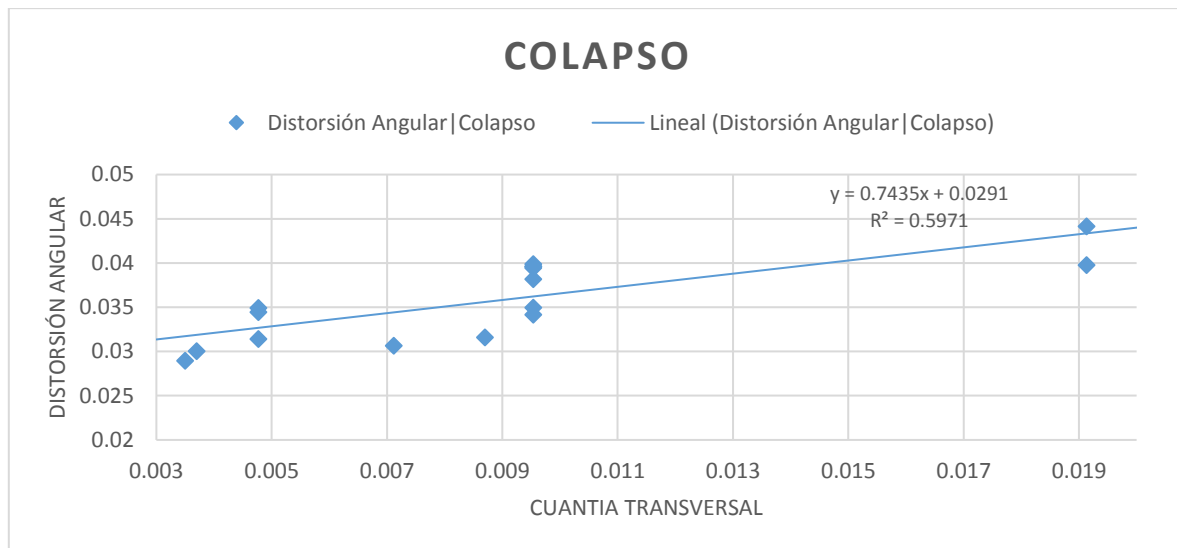


Figura 4.11.- Distorsión angular al colapso de la columna hueca circular

La cual, empleando el método de mínimos cuadrados se obtiene la ecuación 13

$$\gamma_u = 0.074353374P_t + 0.0291279 \quad (13)$$

donde, P_t es la cuantía de refuerzo transversal de la columna.



Momento de inercia agrietado

Con base en las ecuaciones anteriores se puede proponer un modelo analítico simplificado que permita estimar el desempeño de una columna sometida simultáneamente a carga lateral y axial, con ciertas propiedades geométricas y mecánicas las cuales se mencionaron anteriormente.

La ecuación del modelo analítico simplificado se obtuvo mediante una **regresión lineal múltiple** teniendo como variables los datos de carga axial (0.1-0.15), cuantía longitudinal y la relación de momentos de inercia. El modelo obtenido es la *ecuación 10*.

$$\frac{I_c}{I_g} = 9.22760887P_L + 2.85086278 \frac{P}{A_g f'_c} + 0.07333607 \quad (14)$$

donde;

$P_L =$ *Cuantía Longitudinal*

$\frac{P}{A_g f'_c} =$ *Fuerza aplicada entre el producto del f'_c por el área de sección.*

El valor obtenido de la sustitución en la **ecuación 14**, se sustituirá con el despeje realizado en la **ecuación 4** para obtener la rigidez agrietada de la columna hueca, dato a emplear para el cálculo de la fuerza de fluencia.



5 PROPUESTA DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD

5.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD

A continuación se describe la metodología que se siguió para obtener las funciones de vulnerabilidad de columnas de sección hueca de concreto reforzado, tomando como referencia el trabajo de (Rivera, 2007).

5.1.1 DATOS BÁSICOS DEL PUENTE

Para poder obtener el índice de daño (ID) de la construcción se necesita conocer sus propiedades geométricas y mecánicas; las primeras se pueden conocer mediante un levantamiento de campo mientras que las últimas mediante observación de la estructura y de su entorno.

Recordando que los puentes que cumplen las ecuaciones de capacidad de deformación son aquellos que se encuentran en voladizo; entendiéndose que poseen solo una columna.

Las propiedades que se obtienen del levantamiento de campo son las siguientes;

- A) Altura de la columna del puente (H)
- B) Dimensiones transversal de la columna; Radio en circulares, lado largo y lado corto en columnas rectangulares.
- C) Año de construcción para deducir el reglamento utilizado en su diseño.

Dada la dificultad que se pueda tener en conocer información específica, como son: f'_c , f_y , el peso que cargan las columnas (W_c), entre otros, se pueden suponer los valores con base en lo que se comenta a continuación. (Rivera, 2005)

Resistencia a compresión del concreto (f'_c). Con base en una muestra de datos de 37 puentes se pudo ver que el f'_c de columnas puede variar entre 175 kg/cm^2 hasta 500 kg/cm^2 , siendo predominantes valores alrededor de 200 kg/cm^2 , por lo que ante la



incertidumbre de la variabilidad de este parámetro y siendo conservadores ante su desconocimiento se recomienda suponer un valor de 200 kg/cm².

Esfuerzo nominal de fluencia del refuerzo (f_y). Tanto para el refuerzo longitudinal como transversal es común suponer que f_y es de 4200 kg/cm², no obstante de la base de datos anteriormente descrita se reportaron valores de 4000 kg/cm², por lo que ante la duda se puede asumir dicho valor, con una deformación unitaria de fluencia (ϵ_y) de 0.0019.

Peso que cargan las columnas (W_c). Lo recomendable para estimar este valor sería realizar la bajada de cargas correspondiente por concepto de carga muerta y carga móvil o bien rescatar el dato de memorias de cálculo. Sin embargo, puede resultar una labor muy elaborada y difícil. Por lo que si se toma en consideración que en la literatura se reportan valores promedio de W_c del orden del 10 % de la resistencia a compresión de la sección bruta de la columna, es decir, $0.1f'cA_g$ (Wehbe *et al.*, 1996), aunque en el caso de puentes con columnas aisladas pueden alcanzar $0.15f'cA_g$, se puede proponer de manera simple los siguientes valores de W_c : Puentes con columnas aisladas.

$$W_c = 0.15 f'c A_g \quad (15)$$

Cuantía de refuerzo longitudinal (ρ_l) y cuantía de refuerzo transversal (ρ_t, λ_e). En lo que respecta a ρ_l , se puede suponer de 0.02, ya que regularmente se utilizan cuantías alrededor de este valor, aunque pueden llegar a ser superiores a dicho valor. Mientras que para ρ_t y λ_e , se pueden suponer con base en el año en que se construyó, tal como se muestra en la *tabla 5.1*

Cuantías de refuerzo transversal que se pueden suponer para diferentes años de construcción		
Año de construcción	Refuerzo de confinamiento	
	Sección circular	Sección rectangular
Antes de 1972	$\rho_t = 0.0015$	$\rho_t = 0.0015$ $\lambda_e = 0.0007$
Entre 1972 y 1992	$\rho_t = 0.005$	$\rho_t = 0.005$ $\lambda_e = 0.003$
Después de 1992	$\rho_t = 0.007$	$\rho_t = 0.007$ $\lambda_e = 0.0005$

Tabla 5.1.- (Rivera, 2007)



5.4.2 PROCEDIMIENTO

Para elaborar las funciones de vulnerabilidad se empleara la metodología del cuadernillo de investigación evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos (Rivera, 2005) con las ecuaciones de capacidad de deformaciones obtenidas para columnas circulares y rectangulares de sección hueca.

Cálculo de la distorsión de fluencia γ_y

Para columnas aisladas o en voladizo se emplearán las ecuaciones de distorsión a la fluencia obtenida en el apartado 4.3.1.1 y 4.3.2.1. Dependiendo de la forma transversal de la columna se emplearán las ecuaciones;

Columna rectangular/Cuadrada

$$\gamma_y = 0.33837324P_L + 0.00262764 \quad (16)$$

Columna circular

$$\gamma_y = 1.261844P_L - 0.0046794 \quad (17)$$

donde;

P_L = Cuantía longitudinal

Evaluación de la distorsión última γ_u

Para columnas aisladas o en voladizo se emplearán las ecuaciones de distorsión al colapso obtenida en el apartado 4.3.1.4 y 4.3.2.4. Dependiendo de la forma transversal de la columna se emplearán las ecuaciones;

Columna rectangular/Cuadrada

$$\gamma_u = 1.14831239P_t + 0.01040286 \quad (18)$$

Columna circular

$$\gamma_u = 0.074353374P_t + 0.0291279 \quad (19)$$

Donde;

P_t = Cuantía transversal



Obtención de la ductilidad de desplazamiento lateral μ

$$\mu = \frac{Y_u}{Y_y} \quad (20)$$

donde;

μ =Ductilidad de desplazamiento

γ_u =Distorsión última

γ_y =Distorsión de fluencia

Cálculo del periodo de vibración de la estructura T_{cr}

$$T_{cr} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_{cr}}} \quad (21)$$

donde;

m =masa de la columna

$$m = \frac{1}{g} (0.15 A_g f'c) \quad (22)$$

g =aceleración de la gravedad

A_g =Area transversal de la columna

$f'c$ =Esfuerzo de compresión del concreto

K_{cr} =Rigidez de la columna

$$K_{cr} = \frac{3EI_{cr}}{H^3} \quad (23)$$

E =Modulo de elasticidad del concreto

H =Altura de la columna

I_{cr} =Momento de inercia del elemento agrietado

$$I_{cr} = \frac{I_{cr}}{I_g} I_g \quad (24)$$

I_g =Momento de inercia del elemento



La ecuación $\frac{I_c}{I_g}$ a emplear dependerá de la forma transversal de la columna

Columna rectangular

$$\frac{I_c}{I_g} = 5.76183432P_L + 0.59245562F_a + 0.34567308 \quad (25)$$

Columna circular

$$\frac{I_c}{I_g} = 9.22760887P_L + 2.85086278F_a + 0.073336 \quad (26)$$

Estimación de la fuerza lateral de fluencia V_y

$$V_y = K_{cr} \gamma_y H \quad (27)$$

Evaluación de R_μ

Si se considera un amortiguamiento de 0.05 del crítico, por ser el valor normalmente empleado en las construcciones, se tienen las ecuaciones siguientes:

Suelo firme

$$R_\mu = (1.11\mu - 1.0119) \left(\frac{T^{1.2}}{0.002 + T^{1.2}} \right) + 1 \quad (28)$$

Suelo blando

$$R_\mu = (0.5529\mu - 0.55) \left(\frac{\left(\frac{T}{T_g} \right)^\theta}{0.002 + \left| \frac{T}{T_g} - 1 \right|} \right) + 1 \quad (29)$$

$$\theta = \frac{\mu^4}{2.5 + \mu^4} \quad (30)$$

$$T_g = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_g}} \quad (31)$$



Cálculo de las aceleraciones espectrales S_a

Inicio del daño (ligero agrietamiento cuando empieza a fluir el refuerzo longitudinal)

$$sa_y = \frac{V_y}{W_T} g \quad (32)$$

Falla de la columna

$$sa_u = \frac{V_y}{W_T} R_u g \quad (33)$$

donde;

$$W_T = 0.15 A_g f'c \quad (34)$$

Deducción de la función de vulnerabilidad

En la deducción de la función de índice de daño físico (IDF) o función de vulnerabilidad, se parte de dos puntos básicos de la curva de la función, que son los correspondientes al inicio del daño y un punto previo a la falla, a los cuales se asocia un porcentaje del daño de las columnas, tal como se muestra a continuación.

$$I_{DF}(sa_y) = 0.05 \quad \text{contempla un 5\% del daño total}$$

$$I_{DF}(sa_u) = 0.99 \quad \text{contempla un 99\% del daño total}$$

donde, $sa_{pu} = 0.95 sa_u$

Con dichos puntos se hacen los ajustes pertinentes para obtener los parámetros a y m , correspondientes a la función de vulnerabilidad (ecuación 1), en términos de aceleraciones, se emplean las expresiones siguientes:

$$m = \frac{-5.69734}{\ln\left(\frac{sa_y}{sa_{pu}}\right)} \quad (35)$$

$$a = \frac{\ln(0.99)}{\left(\frac{sa_y}{sa_u}\right)^m} \quad (36)$$

Finalmente, la función de vulnerabilidad toma la forma siguiente:

$$I_{DF}(sa_i) = 1 - e^{-au^m} \quad (37)$$

$$u = \frac{sa_i}{sa_u} \quad (38)$$

Donde, Sa_i es la aceleración demandada en el puente y para el cual se quiere saber su grado de vulnerabilidad.



5.2 CATÁLOGO DE ALGUNAS FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PARA PUENTES CON COLUMNAS HUECAS

Se elaboró un catálogo para algunos puentes vehiculares del sistema carretero con diferentes concretos el cual proporciona valores de $m, a, sa/g, Tr$ para evaluar el índice de daño físico de diferentes casos de puentes, los cuales se observan en el catálogo los valores obtenidos se obtienen de la inspección de campo como son;

- Dimensiones de la columna y tipo de sección.
- Año de construcción.

Los datos adicionales para interactuar con las tablas varían según el tipo de sección transversal de la columna;

Columna rectangular de sección hueca

- 1) Para obtener valores de ($m, a, sa/g, Tr$) es necesario conocer es esfuerzo de compresión del concreto; $f'c$ 250 kg/cm² (tabla 5.2), $f'c$ 300 kg/cm² (tabla 5.3), $f'c$ 350 kg/cm² (tabla 5.4), $f'c$ 400 kg/cm² (tabla 5.5).
- 2) Después de conocer el tipo de concreto de la columna, se obtiene la relación altura de la columna entre el lado mayor. Permitiendo únicamente 3,4, 5 redondeando.
- 3) Relación entre lados exteriores menor y mayor. Permitiendo únicamente 0.6, 0.8, 1 redondeando.
- 4) Espesor de pared (10cm, 15cm, 20cm)
- 5) Conociendo el año de construcción, elegir alguna de las cuantías longitudinales ($p_l = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04$) y transversales ($p_t = 0.004, 0.005, 0.006, 0.007$)

Columna circular de sección hueca

- 1) Para obtener valores de ($m, a, sa/g, Tr$) es necesario conocer es esfuerzo de compresión del concreto; $f'c$ 300 kg/cm² (tabla 5.8), $f'c$ 350 kg/cm² (tabla 5.9), $f'c$ 400 kg/cm² (tabla 5.10).
- 2) Después de conocer el tipo de concreto de la columna, se obtiene la relación altura de la columna entre diámetro exterior. Permitiendo únicamente; 3,4, 5,6 redondeando.
- 3) Relación entre diámetro exterior e interior. Permitiendo únicamente; 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 redondeando.



- 4) Conociendo el año de construcción, elegir alguna de las cuantías longitudinales ($p_l = 0.01, 0.02$) y transversales ($p_t = 0.004, 0.005, 0.006, 0.007$)

En las figuras de los apartados 5.2.1.1 y 5.2.2.1 se comparan algunas funciones de vulnerabilidad con propiedades semejantes variando valores como las cuantías, relación altura entre lado mayor o diámetro, espesores. Con la finalidad de verificar las ecuaciones obtenidas den resultados congruentes.

Los casos no contemplados en este catálogo se pueden evaluar con base en el procedimiento descrito anteriormente.



5.2.1 COLUMNAS RECTANGULARES DE SECCIÓN HUECA

Tabla 5.2 Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular f'c= 250 kg/cm ²								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	0.6	10	0.01	0.004	5.9633496	-4.0676711	2.7506535	0.4104523
				0.005	5.5358207	-3.9794406	2.9612843	0.4104523
				0.006	5.1893561	-3.9093454	3.171915	0.4104523
				0.007	4.9022757	-3.8522009	3.3825458	0.4104523
			0.02	0.004	11.209441	-5.323654	3.0708539	0.3883488
				0.005	9.7893814	-4.9496675	3.305821	0.3883488
				0.006	8.7562972	-4.6942113	3.5407881	0.3883488
				0.007	7.9693399	-4.5084999	3.7757552	0.3883488
			0.03	0.004	28.39696	-12.855406	3.3925901	0.3694704
				0.005	20.773052	-8.6946598	3.6518269	0.3694704
				0.006	16.617698	-7.0256467	3.9110636	0.3694704
				0.007	13.99747	-6.1421025	4.1703004	0.3694704
		0.004	0.004	-168.85273	-0.0005189	3.7163995	0.3531019	
			0.005	143.30249	-4664.0871	3.9998395	0.3531019	
			0.006	52.644856	-44.590412	4.2832795	0.3531019	
			0.007	33.066718	-16.3347	4.5667196	0.3531019	
		15	0.01	0.004	5.9614702	-4.067279	2.640204	0.4190128
				0.005	5.5341348	-3.9790965	2.8424122	0.4190128
				0.006	5.187824	-3.9090382	3.0446204	0.4190128
				0.007	4.900869	-3.8519229	3.2468285	0.4190128
			0.02	0.004	11.204438	-5.3222882	2.9473282	0.3964483
				0.005	9.7852045	-4.9486071	3.1729119	0.3964483
				0.006	8.7527044	-4.6933463	3.3984956	0.3964483
				0.007	7.9661819	-4.5077696	3.6240794	0.3964483
			0.03	0.004	28.378556	-12.843276	3.2558073	0.3771761
				0.005	20.760762	-8.6891807	3.5047051	0.3771761
				0.006	16.608479	-7.022325	3.7536029	0.3771761
				0.007	13.990086	-6.1397768	4.0025007	0.3771761
		0.004	0.004	-168.90838	-0.0005174	3.566137	0.3604663	
			0.005	143.10235	-4616.4531	3.8382876	0.3604663	
			0.006	52.599073	-44.48582	4.1104382	0.3604663	
			0.007	33.042171	-16.314146	4.3825888	0.3604663	
		20	0.01	0.004	5.9596676	-4.0669029	2.5342049	0.4277479
				0.005	5.5325177	-3.9787664	2.7283271	0.4277479
				0.006	5.1863545	-3.9087436	2.9224492	0.4277479
				0.007	4.8995197	-3.8516564	3.1165714	0.4277479
			0.02	0.004	11.199641	-5.3209786	2.828797	0.4047131
				0.005	9.7811984	-4.9475904	3.0453714	0.4047131
				0.006	8.7492586	-4.6925168	3.2619458	0.4047131
				0.007	7.963153	-4.5070693	3.4785202	0.4047131
			0.03	0.004	28.360908	-12.831655	3.12458	0.3850391
				0.005	20.748977	-8.6839295	3.3635499	0.3850391
				0.006	16.599637	-7.019141	3.6025198	0.3850391
				0.007	13.983006	-6.1375473	3.8414897	0.3850391
		0.004	0.004	-168.96185	-0.000516	3.4220106	0.3679809	
			0.005	142.91069	-4571.2917	3.6833195	0.3679809	
			0.006	52.555184	-44.385787	3.9446284	0.3679809	
			0.007	33.018634	-16.294462	4.2059373	0.3679809	



Tabla 5.2 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	0.8	10	0.01	0.004	5.9604217	-4.0670602	2.5785579	0.4240276
				0.005	5.5331943	-3.9789045	2.7760638	0.4240276
				0.006	5.1869693	-3.9088668	2.9735698	0.4240276
				0.007	4.9000842	-3.8517679	3.1710757	0.4240276
			0.02	0.004	11.201648	-5.3215264	2.8783918	0.4011931
				0.005	9.7828744	-4.9480157	3.0987364	0.4011931
				0.006	8.7507002	-4.6928638	3.3190811	0.4011931
			0.03	0.004	28.36829	-12.836515	3.179484	0.3816902
				0.005	20.753907	-8.6861259	3.4226086	0.3816902
				0.006	16.603336	-7.0204728	3.6657333	0.3816902
			0.004	0.007	13.985968	-6.1384799	3.908858	0.3816902
				0.004	-168.93947	-0.0005166	3.4823074	0.3647804
		0.005		142.99084	-4590.1231	3.7481537	0.3647804	
		0.006		52.573542	-44.427602	4.0139999	0.3647804	
		15	0.01	0.007	33.02848	-16.302693	4.2798462	0.3647804
				0.004	5.9586399	-4.0666886	2.4737486	0.432979
				0.005	5.5315958	-3.9785783	2.6632577	0.432979
				0.006	5.1855168	-3.9085756	2.8527669	0.432979
			0.02	0.007	4.8987505	-3.8515044	3.0422761	0.432979
				0.004	11.196906	-5.3202322	2.7612008	0.4096624
				0.005	9.7789147	-4.9470108	2.972635	0.4096624
			0.03	0.006	8.7472941	-4.692044	3.1840691	0.4096624
				0.007	7.9614263	-4.5066701	3.3955033	0.4096624
				0.004	28.350848	-12.825036	3.0497541	0.3897479
			0.004	0.005	20.742259	-8.6809377	3.2830593	0.3897479
				0.006	16.594597	-7.0173266	3.5163644	0.3897479
		0.007		13.978969	-6.1362767	3.7496695	0.3897479	
		0.004		-168.99238	-0.0005152	3.3398443	0.3724811	
		20	0.01	0.005	142.80156	-4545.7738	3.5949666	0.3724811
				0.006	52.530174	-44.328883	3.8500888	0.3724811
				0.007	33.005219	-16.283254	4.105211	0.3724811
			0.02	0.004	5.9569378	-4.0663335	2.373571	0.442082
				0.005	5.5300689	-3.9782667	2.5554343	0.442082
				0.006	5.1841291	-3.9082974	2.7372976	0.442082
			0.03	0.007	4.8974763	-3.8512527	2.9191609	0.442082
				0.004	11.192376	-5.3189962	2.6492042	0.4182752
				0.005	9.7751322	-4.9460511	2.8521181	0.4182752
			0.004	0.006	8.7440405	-4.691261	3.0550319	0.4182752
				0.007	7.9585663	-4.5060091	3.2579458	0.4182752
				0.004	28.334191	-12.814082	2.9257967	0.397942
		0.005		20.731133	-8.6759853	3.1497113	0.397942	
		0.004	0.006	16.58625	-7.0143228	3.3736259	0.397942	
			0.007	13.972284	-6.134173	3.5975405	0.397942	
			0.004	-169.04302	-0.0005138	3.20375	0.3803122	
			0.005	142.62101	-4503.869	3.4486157	0.3803122	
		0.004	0.006	52.488767	-44.234832	3.6934814	0.3803122	
			0.007	32.983006	-16.264711	3.9383471	0.3803122	



Tabla 5.2 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	1	10	0.01	0.004	5.9580532	-4.0665662	2.4392225	0.4360531
				0.005	5.5310695	-3.9784709	2.6260968	0.4360531
				0.006	5.1850385	-3.9084797	2.8129711	0.4360531
			0.02	0.007	4.8983113	-3.8514176	2.9998454	0.4360531
				0.004	11.195344	-5.3198061	2.7225996	0.412571
				0.005	9.7776108	-4.94668	2.9310976	0.412571
			0.03	0.006	8.7461726	-4.6917741	3.1395957	0.412571
				0.007	7.9604404	-4.5064423	3.3480937	0.412571
				0.004	28.345106	-12.821259	3.007028	0.392515
			0.004	0.005	20.738423	-8.6792302	3.2370972	0.392515
				0.006	16.591719	-7.016291	3.4671665	0.392515
				0.007	13.976665	-6.1355514	3.6972357	0.392515
		15	0.01	0.004	-169.00983	-0.0005147	3.2929315	0.3751256
				0.005	142.73929	-4531.2782	3.5445195	0.3751256
				0.006	52.515898	-44.296435	3.7961076	0.3751256
			0.02	0.007	32.997561	-16.276859	4.0476956	0.3751256
				0.004	5.9563367	-4.0662081	2.3381858	0.4454361
				0.005	5.5295297	-3.9781567	2.5173479	0.4454361
			0.03	0.006	5.1836392	-3.9081992	2.6965099	0.4454361
				0.007	4.8970264	-3.8511638	2.875672	0.4454361
				0.004	11.190776	-5.3185598	2.6096479	0.4214487
			0.004	0.005	9.7737967	-4.9457123	2.8095514	0.4214487
				0.006	8.7428917	-4.6909846	3.0094548	0.4214487
				0.007	7.9575565	-4.5057757	3.2093582	0.4214487
		20	0.01	0.004	28.32831	-12.810218	2.8820212	0.4009611
				0.005	20.727205	-8.6742375	3.1026176	0.4009611
				0.006	16.583303	-7.0132625	3.3232141	0.4009611
			0.02	0.007	13.969924	-6.1334304	3.5438106	0.4009611
				0.004	-169.06092	-0.0005134	3.1556953	0.3831976
				0.005	142.55732	-4489.1792	3.3969366	0.3831976
			0.03	0.006	52.474151	-44.201682	3.6381779	0.3831976
				0.007	32.975164	-16.25817	3.8794192	0.3831976
				0.004	5.9547026	-4.0658673	2.2419474	0.4549558
			0.004	0.005	5.5280638	-3.9778576	2.4137612	0.4549558
				0.006	5.182307	-3.9079322	2.585575	0.4549558
				0.007	4.8958032	-3.8509222	2.7573887	0.4549558
		20	0.01	0.004	11.186428	-5.3173738	2.5020747	0.4304557
				0.005	9.7701658	-4.9447913	2.6937883	0.4304557
				0.006	8.7397684	-4.6902331	2.8855019	0.4304557
			0.02	0.007	7.954811	-4.5051412	3.0772155	0.4304557
				0.004	28.312324	-12.799718	2.7629873	0.4095303
				0.005	20.716528	-8.6694879	2.9745563	0.4095303
			0.03	0.006	16.575291	-7.010381	3.1861253	0.4095303
				0.007	13.963507	-6.131412	3.3976943	0.4095303
				0.004	-169.10964	-0.0005121	3.0250439	0.3913871
			0.004	0.005	142.38432	-4449.5198	3.2564239	0.3913871
				0.006	52.434428	-44.111711	3.4878039	0.3913871
				0.007	32.953849	-16.240404	3.719184	0.3913871



Tabla 5.2 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	PI	Pt				
4	0.6	10	0.01	0.004	5.9423083	-4.0632833	1.510387	0.5548443
				0.005	5.5169446	-3.9755895	1.6262695	0.5548443
				0.006	5.172202	-3.9059071	1.742152	0.5548443
				0.007	4.8865243	-3.8490898	1.8580346	0.5548443
			0.02	0.004	11.153457	-5.3083886	1.6848074	0.5249651
				0.005	9.7426319	-4.9378127	1.8141588	0.5249651
				0.006	8.7160826	-4.6845383	1.9435102	0.5249651
				0.007	7.9339896	-4.5003323	2.0728617	0.5249651
			0.03	0.004	28.191194	-12.720438	1.8593044	0.4994454
				0.005	20.635595	-8.633573	2.0021045	0.4994454
				0.006	16.514556	-6.9885755	2.1449045	0.4994454
				0.007	13.914859	-6.1161312	2.2877045	0.4994454
		0.004	0.004	-169.48187	-0.0005024	2.034042	0.4773188	
			0.005	141.07985	-4161.5425	2.1902704	0.4773188	
			0.006	52.133771	-43.436653	2.3464987	0.4773188	
			0.007	32.792383	-16.106455	2.502727	0.4773188	
		15	0.01	0.004	5.9409464	-4.0629995	1.4298345	0.5703219
				0.005	5.5157228	-3.9753404	1.5395506	0.5703219
				0.006	5.1710917	-3.9056847	1.6492666	0.5703219
				0.007	4.8855047	-3.8488885	1.7589827	0.5703219
			0.02	0.004	11.149835	-5.3074025	1.5948668	0.5396093
				0.005	9.7396073	-4.9370467	1.7173399	0.5396093
				0.006	8.7134805	-4.6839131	1.8398131	0.5396093
				0.007	7.9317022	-4.4998043	1.9622862	0.5396093
			0.03	0.004	28.177898	-12.711766	1.7599244	0.5133777
				0.005	20.626709	-8.6296388	1.8951365	0.5133777
				0.006	16.507886	-6.9861851	2.0303485	0.5133777
				0.007	13.909516	-6.1144552	2.1655605	0.5133777
		0.004	0.004	-169.52305	-0.0005014	1.9251544	0.4906338	
			0.005	140.93735	-4131.2354	2.0730871	0.4906338	
			0.006	52.100805	-43.363268	2.2210199	0.4906338	
			0.007	32.774665	-16.091824	2.3689526	0.4906338	
		20	0.01	0.004	5.9396611	-4.0627316	1.353775	0.5861851
				0.005	5.5145697	-3.9751052	1.4576671	0.5861851
				0.006	5.1700437	-3.9054747	1.5615592	0.5861851
				0.007	4.8845423	-3.8486985	1.6654513	0.5861851
			0.02	0.004	11.146417	-5.3064721	1.5099517	0.5546182
				0.005	9.7367527	-4.9363239	1.6259281	0.5546182
				0.006	8.7110247	-4.6833231	1.7419045	0.5546182
				0.007	7.9295432	-4.499306	1.8578809	0.5546182
			0.03	0.004	28.165352	-12.703588	1.6661102	0.527657
				0.005	20.618324	-8.6259277	1.7941546	0.527657
				0.006	16.501592	-6.98393	1.922199	0.527657
				0.007	13.904474	-6.112874	2.0502434	0.527657
		0.004	0.004	-169.56198	-0.0005004	1.8223824	0.5042805	
			0.005	140.803	-4102.8644	1.9624785	0.5042805	
			0.006	52.069704	-43.294147	2.1025745	0.5042805	
			0.007	32.757946	-16.07803	2.2426706	0.5042805	



Tabla 5.2 (continuación) . Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)	
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt					
4	0.8	10	0.01	0.004	5.9406974	-4.0629476	1.4151015	0.5732946	
				0.005	5.5154994	-3.9752948	1.5236895	0.5732946	
				0.006	5.1708886	-3.905644	1.6322775	0.5732946	
			0.02	0.007	4.8853182	-3.8488517	1.7408656	0.5732946	
				0.004	11.149173	-5.3072223	1.5784177	0.5424219	
				0.005	9.7390543	-4.9369067	1.6996325	0.5424219	
			0.03	0.006	8.7130047	-4.6837988	1.8208474	0.5424219	
				0.007	7.9312839	-4.4997078	1.9420623	0.5424219	
				0.004	28.175468	-12.710181	1.7417505	0.5160536	
			0.004	0.005	20.625085	-8.6289196	1.8755743	0.5160536	
				0.006	16.506667	-6.9857481	2.0093982	0.5160536	
				0.007	13.908539	-6.1141489	2.143222	0.5160536	
		15	0.01	0.004	-169.53059	-0.0005012	1.9052438	0.4931912	
				0.005	140.91131	-4125.7212	2.0516588	0.4931912	
				0.006	52.094779	-43.349866	2.1980738	0.4931912	
			0.02	0.007	32.771425	-16.08915	2.3444889	0.4931912	
				0.004	5.9394106	-4.0626794	1.3389487	0.5894335	
				0.005	5.514345	-3.9750594	1.4417054	0.5894335	
			0.03	0.006	5.1698394	-3.9054338	1.544462	0.5894335	
				0.007	4.8843548	-3.8486615	1.6472187	0.5894335	
				0.004	11.145751	-5.3062908	1.4934001	0.5576917	
			0.004	0.005	9.7361964	-4.936183	1.6081099	0.5576917	
				0.006	8.7105461	-4.6832082	1.7228197	0.5576917	
				0.007	7.9291225	-4.4992089	1.8375295	0.5576917	
		20	0.01	0.004	28.162907	-12.701995	1.6478255	0.5305811	
				0.005	20.616689	-8.6252047	1.7744724	0.5305811	
				0.006	16.500365	-6.9834906	1.9011193	0.5305811	
			0.02	0.007	13.903491	-6.1125659	2.0277662	0.5305811	
				0.004	-169.56957	-0.0005002	1.8023538	0.507075	
				0.005	140.77684	-4097.3616	1.9409218	0.507075	
			0.03	0.006	52.063645	-43.280692	2.0794898	0.507075	
				0.007	32.754688	-16.075343	2.2180579	0.507075	
				0.004	5.9382033	-4.0624278	1.267474	0.6058842	
			0.004	0.01	0.005	5.5132618	-3.9748386	1.3647562	0.6058842
					0.006	5.1688551	-3.9052366	1.4620385	0.6058842
					0.007	4.8834508	-3.848483	1.5593207	0.6058842
		0.02		0.004	11.142541	-5.3054171	1.4136131	0.5732564	
				0.005	9.7335153	-4.9355042	1.5222155	0.5732564	
				0.006	8.7082395	-4.6826541	1.6308179	0.5732564	
		0.03		0.007	7.9270947	-4.498741	1.7394204	0.5732564	
				0.004	28.151125	-12.694321	1.5596904	0.5453892	
				0.005	20.608814	-8.6217212	1.6795987	0.5453892	
		0.004		0.006	16.494454	-6.9813734	1.7995069	0.5453892	
				0.007	13.898755	-6.1110813	1.9194152	0.5453892	
				0.004	-169.60619	-0.0004992	1.7058216	0.5212271	
		0.005	0.005	140.65081	-4070.9594	1.8370213	0.5212271		
			0.006	52.034445	-43.215917	1.9682211	0.5212271		
			0.007	32.738989	-16.062404	2.0994209	0.5212271		



Tabla 5.2 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
4	1	10	0.01	0.004	5.9393892	-4.0626749	1.3376811	0.5897137
				0.005	5.5143258	-3.9750555	1.4403407	0.5897137
				0.006	5.169822	-3.9054303	1.5430003	0.5897137
			0.02	0.007	4.8843387	-3.8486583	1.6456599	0.5897137
				0.004	11.145694	-5.3062753	1.4919851	0.5579568
				0.005	9.7361489	-4.936171	1.6065865	0.5579568
			0.03	0.006	8.7105052	-4.6831983	1.721188	0.5579568
				0.007	7.9290865	-4.4992006	1.8357895	0.5579568
				0.004	28.162698	-12.701859	1.6462623	0.5308333
			0.004	0.005	20.61655	-8.6251429	1.7727897	0.5308333
				0.006	16.500261	-6.983453	1.8993171	0.5308333
				0.007	13.903407	-6.1125396	2.0258445	0.5308333
		15	0.01	0.004	-169.57022	-0.0005001	1.8006415	0.5073161
				0.005	140.7746	-4096.8916	1.9390788	0.5073161
				0.006	52.063127	-43.279542	2.0775162	0.5073161
			0.02	0.007	32.75441	-16.075114	2.2159536	0.5073161
				0.004	5.9381531	-4.0624174	1.2645018	0.6065983
				0.005	5.5132168	-3.9748294	1.3615564	0.6065983
			0.03	0.006	5.1688141	-3.9052284	1.458611	0.6065983
				0.007	4.8834133	-3.8484756	1.5556656	0.6065983
				0.004	11.142407	-5.3053808	1.4102955	0.5739321
			0.004	0.005	9.7334038	-4.935476	1.5186439	0.5739321
				0.006	8.7081436	-4.6826311	1.6269923	0.5739321
				0.007	7.9270104	-4.4987215	1.7353407	0.5739321
		0.02	0.004	28.150635	-12.694002	1.5560259	0.546032	
			0.005	20.608487	-8.6215764	1.6756539	0.546032	
			0.006	16.494208	-6.9812854	1.7952819	0.546032	
		0.03	0.007	13.898559	-6.1110196	1.9149099	0.546032	
			0.004	-169.60772	-0.0004992	1.7018083	0.5218414	
			0.005	140.64557	-4069.8659	1.8327016	0.5218414	
		0.004	0.006	52.033231	-43.213227	1.9635949	0.5218414	
			0.007	32.738336	-16.061866	2.0944882	0.5218414	
			0.004	5.9369994	-4.062177	1.1961749	0.6237406	
		20	0.01	0.005	5.5121818	-3.9746184	1.2879949	0.6237406
				0.006	5.1678735	-3.90504	1.379815	0.6237406
				0.007	4.8825494	-3.8483051	1.471635	0.6237406
			0.02	0.004	11.13934	-5.3045461	1.3340297	0.5901513
				0.005	9.7308419	-4.9348275	1.436538	0.5901513
				0.006	8.7059395	-4.6821017	1.5390463	0.5901513
			0.03	0.007	7.9250727	-4.4982744	1.6415546	0.5901513
				0.004	28.139379	-12.686675	1.4717913	0.5614628
				0.005	20.600962	-8.6182494	1.584975	0.5614628
			0.004	0.006	16.48856	-6.979263	1.6981587	0.5614628
				0.007	13.894033	-6.1096013	1.8113425	0.5614628
				0.004	-169.64275	-0.0004983	1.6095627	0.5365886
		0.02	0.005	140.52526	-4044.8276	1.733409	0.5365886	
			0.006	52.005339	-43.151447	1.8572554	0.5365886	
			0.007	32.723338	-16.049514	1.9811018	0.5365886	



Tabla 5.2 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
5	0.6	10	0.01	0.004	5.9327092	-4.0612832	0.9418663	0.7031653
				0.005	5.5083327	-3.9738337	1.014194	0.7031653
				0.006	5.1643752	-3.9043394	1.0865217	0.7031653
				0.007	4.879337	-3.8476711	1.1588493	0.7031653
			0.02	0.004	11.127933	-5.3014434	1.0502348	0.6652988
				0.005	9.7213153	-4.9324167	1.130992	0.6652988
				0.006	8.6977435	-4.6801338	1.2117491	0.6652988
				0.007	7.9178673	-4.4966122	1.2925063	0.6652988
			0.03	0.004	28.097534	-12.659474	1.1584316	0.6329572
				0.005	20.572987	-8.6058919	1.2476103	0.6329572
				0.006	16.46756	-6.9717492	1.336789	0.6329572
				0.007	13.877209	-6.104331	1.4259677	0.6329572
		0.004	0.004	-169.77341	-0.000495	1.2665208	0.6049157	
			0.005	140.07887	-3953.2665	1.3641131	0.6049157	
			0.006	51.9017	-42.922664	1.4617054	0.6049157	
			0.007	32.66759	-16.003686	1.5592977	0.6049157	
		15	0.01	0.004	5.9316579	-4.0610642	0.8794991	0.7277318
				0.005	5.5073895	-3.9736415	0.947044	0.7277318
				0.006	5.163518	-3.9041677	1.0145889	0.7277318
				0.007	4.8785498	-3.8475157	1.0821339	0.7277318
			0.02	0.004	11.125139	-5.3006835	0.980651	0.6885424
				0.005	9.7189812	-4.9318261	1.0560703	0.6885424
				0.006	8.6957353	-4.6796517	1.1314897	0.6885424
				0.007	7.9161018	-4.496205	1.2069091	0.6885424
			0.03	0.004	28.087285	-12.65282	1.0816201	0.6550708
				0.005	20.566134	-8.6028674	1.1649069	0.6550708
				0.006	16.462415	-6.9699096	1.2481938	0.6550708
				0.007	13.873087	-6.1030405	1.3314807	0.6550708
		0.004	0.004	-169.80552	-0.0004941	1.1824622	0.6260496	
			0.005	139.96973	-3931.1978	1.2736097	0.6260496	
			0.006	51.876326	-42.866834	1.3647571	0.6260496	
			0.007	32.653937	-15.992482	1.4559046	0.6260496	
		20	0.01	0.004	5.9306828	-4.060861	0.8216332	0.7529815
				0.005	5.5065146	-3.9734632	0.8847398	0.7529815
				0.006	5.1627229	-3.9040085	0.9478464	0.7529815
				0.007	4.8778197	-3.8473716	1.0109529	0.7529815
			0.02	0.004	11.122547	-5.2999788	0.9160946	0.7124324
				0.005	9.7168162	-4.9312785	0.9865602	0.7124324
				0.006	8.6938727	-4.6792046	1.0570258	0.7124324
				0.007	7.9144643	-4.4958274	1.1274914	0.7124324
			0.03	0.004	28.077779	-12.646653	1.0103657	0.6777995
				0.005	20.559779	-8.6000633	1.0881843	0.6777995
				0.006	16.457643	-6.968204	1.1660029	0.6777995
				0.007	13.869264	-6.1018438	1.2438215	0.6777995
		0.004	0.004	-169.83533	-0.0004934	1.1044953	0.6477713	
			0.005	139.86859	-3910.8558	1.1896608	0.6477713	
			0.006	51.852797	-42.815131	1.2748263	0.6477713	
			0.007	32.641275	-15.9821	1.3599919	0.6477713	



Tabla 5.2 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
5	0.8	10	0.01	0.004	5.9317019	-4.0610733	0.8821106	0.7266512
				0.005	5.507429	-3.9736495	0.9498558	0.7266512
				0.006	5.1635539	-3.9041749	1.017601	0.7266512
				0.007	4.8785828	-3.8475222	1.0853462	0.7266512
			0.02	0.004	11.125256	-5.3007153	0.9835645	0.68752
				0.005	9.7190789	-4.9318509	1.0592074	0.68752
				0.006	8.6958194	-4.6796719	1.1348503	0.68752
				0.007	7.9161757	-4.4962221	1.2104932	0.68752
			0.03	0.004	28.087714	-12.653099	1.0848361	0.6540981
				0.005	20.566421	-8.6029939	1.1683697	0.6540981
				0.006	16.46263	-6.9699866	1.2519033	0.6540981
				0.007	13.873259	-6.1030945	1.3354369	0.6540981
			0.004	0.004	-169.80417	-0.0004942	1.1859814	0.62512
				0.005	139.9743	-3932.1188	1.2773988	0.62512
				0.006	51.877388	-42.869169	1.3688161	0.62512
				0.007	32.654508	-15.992951	1.4602335	0.62512
		15	0.01	0.004	5.9307121	-4.0608672	0.8233753	0.7521828
				0.005	5.506541	-3.9734685	0.8866155	0.7521828
				0.006	5.1627469	-3.9040133	0.9498557	0.7521828
				0.007	4.8778417	-3.8473759	1.0130959	0.7521828
			0.02	0.004	11.122625	-5.3	0.918038	0.7116767
				0.005	9.7168814	-4.931295	0.9886527	0.7116767
				0.006	8.6939288	-4.6792181	1.0592675	0.7116767
				0.007	7.9145136	-4.4958388	1.1298822	0.7116767
			0.03	0.004	28.078066	-12.646838	1.0125106	0.6770805
				0.005	20.55997	-8.6001477	1.0904938	0.6770805
				0.006	16.457787	-6.9682553	1.1684771	0.6770805
				0.007	13.869379	-6.1018798	1.2464603	0.6770805
			0.004	0.004	-169.83443	-0.0004934	1.1068421	0.6470842
				0.005	139.87163	-3911.4663	1.1921877	0.6470842
				0.006	51.853505	-42.816686	1.2775334	0.6470842
				0.007	32.641656	-15.982412	1.3628791	0.6470842
		20	0.01	0.004	5.9298017	-4.0606775	0.7693325	0.7782108
				0.005	5.5057242	-3.9733021	0.8284269	0.7782108
				0.006	5.1620045	-3.9038646	0.8875212	0.7782108
				0.007	4.8771599	-3.8472414	0.9466156	0.7782108
			0.02	0.004	11.120205	-5.2993422	0.8577511	0.7363031
				0.005	9.7148601	-4.9307838	0.9237383	0.7363031
				0.006	8.6921898	-4.6788007	0.9897256	0.7363031
				0.007	7.9129847	-4.4954862	1.0557128	0.7363031
			0.03	0.004	28.069192	-12.641084	0.945975	0.7005098
				0.005	20.554037	-8.5975306	1.0188498	0.7005098
				0.006	16.453332	-6.9666633	1.0917246	0.7005098
				0.007	13.865809	-6.1007628	1.1645995	0.7005098
			0.004	0.004	-169.86229	-0.0004927	1.034047	0.6694755
				0.005	139.77727	-3892.5802	1.1138041	0.6694755
				0.006	51.831544	-42.768481	1.1935612	0.6694755
				0.007	32.629837	-15.972725	1.2733184	0.6694755



Tabla 5.2 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
5	1	10	0.01	0.004	5.9308806	-4.0609022	0.8333722	0.7476475
				0.005	5.5066921	-3.9734993	0.8973792	0.7476475
				0.006	5.1628842	-3.9040408	0.9613862	0.7476475
				0.007	4.8779678	-3.8474008	1.0253933	0.7476475
			0.02	0.004	11.123072	-5.3001218	0.9291904	0.7073856
				0.005	9.7172554	-4.9313896	1.0006611	0.7073856
				0.006	8.6942505	-4.6792953	1.0721317	0.7073856
				0.007	7.9147964	-4.495904	1.1436024	0.7073856
			0.03	0.004	28.079707	-12.647904	1.0248197	0.672998
				0.005	20.561068	-8.600632	1.1037477	0.672998
				0.006	16.458611	-6.9685499	1.1826758	0.672998
				0.007	13.870039	-6.1020865	1.2616038	0.672998
		0.004	0.004	-169.82928	-0.0004935	1.1203101	0.6431826	
			0.005	139.8891	-3914.9721	1.2066893	0.6431826	
			0.006	51.857569	-42.825612	1.2930686	0.6431826	
			0.007	32.643843	-15.984205	1.3794478	0.6431826	
		15	0.01	0.004	5.9299328	-4.0607048	0.7771163	0.7742954
				0.005	5.5058418	-3.973326	0.8368078	0.7742954
				0.006	5.1621114	-3.903886	0.8964994	0.7742954
				0.007	4.8772581	-3.8472608	0.9561909	0.7742954
			0.02	0.004	11.120553	-5.2994369	0.8664339	0.7325985
				0.005	9.7151512	-4.9308574	0.9330878	0.7325985
				0.006	8.6924402	-4.6788608	0.9997416	0.7325985
				0.007	7.9132049	-4.495537	1.0663954	0.7325985
			0.03	0.004	28.07047	-12.641912	0.9555574	0.6969853
				0.005	20.554891	-8.5979075	1.0291681	0.6969853
				0.006	16.453974	-6.9668925	1.1027788	0.6969853
				0.007	13.866323	-6.1009237	1.1763895	0.6969853
		0.004	0.004	-169.85827	-0.0004928	1.0445304	0.6661072	
			0.005	139.79086	-3895.2935	1.1250926	0.6661072	
			0.006	51.834706	-42.775419	1.2056547	0.6661072	
			0.007	32.631539	-15.97412	1.2862169	0.6661072	
		20	0.01	0.004	5.9290675	-4.0605246	0.7257372	0.8012914
				0.005	5.5050654	-3.9731678	0.7814867	0.8012914
				0.006	5.1614058	-3.9037447	0.8372361	0.8012914
				0.007	4.8766101	-3.8471329	0.8929856	0.8012914
			0.02	0.004	11.118253	-5.2988117	0.8091219	0.7581407
				0.005	9.7132301	-4.9303715	0.8713754	0.7581407
				0.006	8.6907873	-4.6784642	0.933629	0.7581407
				0.007	7.9117517	-4.4952019	0.9958826	0.7581407
			0.03	0.004	28.062037	-12.636445	0.8923099	0.7212858
				0.005	20.549252	-8.5954208	0.9610629	0.7212858
				0.006	16.44974	-6.9653797	1.0298158	0.7212858
				0.007	13.862931	-6.0998622	1.0985688	0.7212858
		0.004	0.004	-169.88477	-0.0004921	0.9753395	0.6893311	
			0.005	139.70122	-3877.4258	1.0505871	0.6893311	
			0.006	51.813837	-42.729654	1.1258347	0.6893311	
			0.007	32.620306	-15.964919	1.2010823	0.6893311	



Tabla 5.3 Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	0.6	10	0.01	0.004	5.95930067	-4.06682638	2.51262209	0.42959378
				0.005	5.53218859	-3.97869928	2.70509754	0.42959378
				0.006	5.18605543	-3.9086836	2.89757299	0.42959378
			0.02	0.004	4.89924506	-3.8516021	3.09004845	0.42959378
				0.005	11.1986641	-5.32071209	2.80466468	0.40645953
				0.006	9.78038304	-4.94738344	3.01940418	0.40645953
			0.03	0.006	8.74855719	-4.69234798	3.23414368	0.40645953
				0.007	7.96253648	-4.50692679	3.44888318	0.40645953
				0.004	28.3573159	-12.8292911	3.09786568	0.38670066
			0.004	0.005	20.746578	-8.68286119	3.33481348	0.38670066
				0.006	16.5978375	-7.0184931	3.57176128	0.38670066
				0.007	13.9815645	-6.13709362	3.80870907	0.38670066
		15	0.01	0.004	-168.97275	-0.0005157	3.3926744	0.36956887
				0.005	142.871719	-4562.16196	3.65177495	0.36956887
				0.006	52.5462536	-44.3654596	3.91087551	0.36956887
			0.02	0.007	33.0138442	-16.2904591	4.16997606	0.36956887
				0.004	5.95758497	-4.0664685	2.4116681	0.4385535
				0.005	5.53064948	-3.97838519	2.59643939	0.4385535
			0.03	0.006	5.18465677	-3.90840319	2.78121068	0.4385535
				0.007	4.89796079	-3.85134839	2.96598197	0.4385535
				0.004	11.1940981	-5.31946611	2.69179426	0.41493677
			0.004	0.005	9.77657042	-4.94641602	2.89794878	0.41493677
				0.006	8.74527766	-4.69155871	3.1041033	0.41493677
				0.007	7.95965374	-4.50626043	3.31025782	0.41493677
		20	0.01	0.004	28.340524	-12.8182459	2.97293269	0.39476579
				0.005	20.7353633	-8.67786793	3.20041904	0.39476579
				0.006	16.5894235	-7.01546472	3.42790539	0.39476579
			0.02	0.007	13.9748261	-6.13497279	3.65539174	0.39476579
				0.004	-169.023755	-0.00051436	3.25549771	0.3772767
				0.005	142.689629	-4519.7498	3.50426467	0.3772767
			0.03	0.006	52.5045086	-44.2705642	3.75303163	0.3772767
				0.007	32.9914514	-16.2717586	4.00179858	0.3772767
				0.004	5.95593934	-4.06612527	2.31478674	0.44769603
			0.004	0.005	5.52917322	-3.97808395	2.49216235	0.44769603
				0.006	5.18331521	-3.90813425	2.66953796	0.44769603
				0.007	4.89672894	-3.85110505	2.84691357	0.44769603
		0.02	0.004	11.1897189	-5.31827137	2.58349163	0.42358695	
			0.005	9.77291372	-4.94548834	2.78140412	0.42358695	
			0.006	8.74213219	-4.69080183	2.97931661	0.42358695	
		0.03	0.007	7.95688882	-4.50562138	3.1772291	0.42358695	
			0.004	28.3244219	-12.8076633	2.8530764	0.40299547	
			0.005	20.7246086	-8.67308214	3.07147837	0.40299547	
		0.004	0.006	16.5813543	-7.01256165	3.28988034	0.40299547	
			0.007	13.9683636	-6.13293948	3.50828231	0.40299547	
			0.004	-169.072761	-0.00051306	3.12392306	0.38514179	
		0.02	0.005	142.515224	-4479.49727	3.36276728	0.38514179	
			0.006	52.4644892	-44.1797819	3.60161149	0.38514179	
			0.007	32.96998	-16.2538477	3.8404557	0.38514179	



Tabla 5.3 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	0.8	10	0.01	0.004	5.95662781	-4.06626886	2.35532408	0.44380214
				0.005	5.52979083	-3.97820997	2.53579448	0.44380214
				0.006	5.18387647	-3.90824676	2.71626489	0.44380214
			0.02	0.007	4.8972443	-3.85120685	2.89673529	0.44380214
				0.004	11.191551	-5.31877116	2.62880616	0.41990275
				0.005	9.77444352	-4.94587642	2.8301677	0.41990275
			0.03	0.006	8.74344811	-4.69111846	3.03152925	0.41990275
				0.007	7.95804554	-4.50588872	3.23289079	0.41990275
				0.004	28.3311579	-12.8120892	2.90322259	0.39949037
			0.004	0.005	20.7291077	-8.6750839	3.12542622	0.39949037
				0.006	16.58473	-7.01377599	3.34762984	0.39949037
				0.007	13.9710672	-6.13379003	3.56983347	0.39949037
		15	0.01	0.004	-169.052249	-0.00051361	3.17896873	0.38179197
				0.005	142.588159	-4496.28673	3.42196556	0.38179197
				0.006	52.4812293	-44.2177334	3.66496239	0.38179197
			0.02	0.007	32.978962	-16.2613379	3.90795922	0.38179197
				0.004	5.95500118	-4.0659296	2.25953288	0.45317102
				0.005	5.52833161	-3.97791222	2.43268954	0.45317102
			0.03	0.006	5.18255039	-3.90798094	2.60584621	0.45317102
				0.007	4.89602666	-3.85096632	2.77900287	0.45317102
				0.004	11.1872225	-5.31759041	2.52173028	0.4287671
			0.004	0.005	9.77082914	-4.94495957	2.71494066	0.4287671
				0.006	8.74033903	-4.6903704	2.90815103	0.4287671
				0.007	7.95531258	-4.50525712	3.1013614	0.4287671
		20	0.01	0.004	28.3152439	-12.8016352	2.78473548	0.40792381
				0.005	20.7184782	-8.67035532	2.99795438	0.40792381
				0.006	16.5767546	-7.01090732	3.21117327	0.40792381
			0.02	0.007	13.9646796	-6.1317807	3.42439217	0.40792381
				0.004	-169.100736	-0.00051233	3.04891265	0.38985178
				0.005	142.415905	-4456.73489	3.28209503	0.38985178
			0.03	0.006	52.4416832	-44.1281309	3.51527742	0.38985178
				0.007	32.9577422	-16.2436481	3.74845981	0.38985178
				0.004	5.95344727	-4.06560554	2.16797928	0.46269853
			0.004	0.005	5.52693762	-3.9776278	2.33414368	0.46269853
				0.006	5.18128358	-3.90772701	2.50030807	0.46269853
				0.007	4.89486344	-3.85073656	2.66647247	0.46269853
		0.01	0.01	0.004	11.1830879	-5.31646278	2.41940413	0.43778155
				0.005	9.76737654	-4.94408392	2.60482089	0.43778155
				0.006	8.73736908	-4.68965593	2.79023765	0.43778155
			0.02	0.007	7.9527019	-4.50465386	2.97565441	0.43778155
				0.004	28.300045	-12.7916589	2.67152284	0.41650004
				0.005	20.7083256	-8.66584132	2.87615033	0.41650004
			0.03	0.006	16.5691367	-7.00816836	3.08077781	0.41650004
				0.007	13.9585783	-6.12986201	3.2854053	0.41650004
				0.004	-169.14713	-0.00051111	2.92467092	0.39804807
			0.004	0.005	142.251573	-4419.32642	3.14846764	0.39804807
				0.006	52.4039236	-44.0427456	3.37226436	0.39804807
				0.007	32.9374772	-16.2267723	3.59606109	0.39804807



Tabla 5.3 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	1	10	0.01	0.004	5.95446553	-4.06581789	2.22797854	0.45638845
				0.005	5.52785109	-3.97781418	2.39872552	0.45638845
				0.006	5.18211371	-3.9078934	2.5694725	0.45638845
			0.02	0.007	4.89562569	-3.85088712	2.74021947	0.45638845
				0.004	11.1857972	-5.31720167	2.48646172	0.43181127
				0.005	9.76963898	-4.9446577	2.67698632	0.43181127
			0.03	0.006	8.73931525	-4.6901241	2.86751092	0.43181127
				0.007	7.95441265	-4.50504916	3.05803553	0.43181127
				0.004	28.3100043	-12.7981952	2.74571264	0.41081999
			0.004	0.005	20.7149783	-8.66879896	2.95597093	0.41081999
				0.006	16.5741285	-7.00996302	3.16622921	0.41081999
				0.007	13.9625764	-6.13111922	3.3764875	0.41081999
		15	0.01	0.004	-169.11672	-0.00051191	3.00608548	0.39261966
				0.005	142.359234	-4443.79869	3.23603365	0.39261966
				0.006	52.4286651	-44.0986746	3.46598183	0.39261966
			0.02	0.007	32.950756	-16.2378283	3.69593	0.39261966
				0.004	5.9528986	-4.06549112	2.13564135	0.46620902
				0.005	5.5264454	-3.97752738	2.29933551	0.46620902
			0.03	0.006	5.18083626	-3.90763735	2.46302966	0.46620902
				0.007	4.8944527	-3.85065543	2.62672382	0.46620902
				0.004	11.181628	-5.31606469	2.38326422	0.441103
			0.004	0.005	9.76615747	-4.94377477	2.56592747	0.441103
				0.006	8.73632042	-4.68940369	2.74859071	0.441103
				0.007	7.95178009	-4.50444087	2.93125396	0.441103
		20	0.01	0.004	28.2946791	-12.7881387	2.63154233	0.41966003
				0.005	20.7047411	-8.66424816	2.83313425	0.41966003
				0.006	16.566447	-7.00720158	3.03472618	0.41966003
			0.02	0.007	13.9564241	-6.12918471	3.2363181	0.41966003
				0.004	-169.16353	-0.00051068	2.88080135	0.40106806
				0.005	142.193599	-4406.20435	3.10128168	0.40106806
			0.03	0.006	52.390595	-44.0126454	3.321762	0.40106806
				0.007	32.9303231	-16.2208189	3.54224233	0.40106806
				0.004	5.95140685	-4.06518006	2.04769333	0.47617268
			0.004	0.005	5.52510715	-3.97725436	2.204668	0.47617268
				0.006	5.1796201	-3.9073936	2.36164268	0.47617268
				0.007	4.89333597	-3.85043487	2.51861735	0.47617268
		0.02	0.004	11.1776591	-5.31498256	2.28498406	0.45053009	
			0.005	9.7628432	-4.9429344	2.46015683	0.45053009	
			0.006	8.73346941	-4.68871797	2.6353296	0.45053009	
		0.03	0.007	7.94927392	-4.50386186	2.81050237	0.45053009	
			0.004	28.2800925	-12.7785743	2.52282934	0.42862885	
			0.005	20.6949967	-8.65991866	2.71616303	0.42862885	
		0.004	0.006	16.559135	-7.00457398	2.90949671	0.42862885	
			0.007	13.9505676	-6.12734379	3.1028304	0.42862885	
			0.004	-169.208162	-0.00050951	2.76152882	0.40963954	
		0.004	0.005	142.036116	-4370.75517	2.97298635	0.40963954	
			0.006	52.3543687	-43.9309385	3.18444389	0.40963954	
			0.007	32.9108763	-16.2046468	3.39590143	0.40963954	



Tabla 5.3 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
4	0.6	10	0.01	0.004	5.94009207	-4.06282142	1.37928165	0.58071951
				0.005	5.51495636	-3.97518407	1.48512697	0.58071951
				0.006	5.17039508	-3.90554513	1.59097229	0.58071951
			0.02	0.004	4.88486501	-3.84876221	1.69681761	0.58071951
				0.005	11.1475632	-5.30678406	1.53842708	0.54944693
				0.006	9.73770988	-4.93656622	1.65658241	0.54944693
			0.03	0.004	8.71184816	-4.68352094	1.77473775	0.54944693
				0.005	7.93026713	-4.49947309	1.89289309	0.54944693
				0.006	28.1695587	-12.7063293	1.69756845	0.52273712
			0.004	0.004	20.6211352	-8.62717179	1.82801684	0.52273712
				0.005	16.5037024	-6.98468602	1.95846522	0.52273712
				0.006	13.9061645	-6.11340415	2.0889136	0.52273712
		15	0.01	0.004	-169.548923	-0.00050069	1.85684254	0.49957859
				0.005	140.848034	-4112.3522	1.99956704	0.49957859
				0.006	52.0801313	-43.3173082	2.14229154	0.49957859
			0.02	0.004	32.7635513	-16.0826533	2.28501603	0.49957859
				0.005	5.93884887	-4.06256236	1.30569655	0.59691895
				0.006	5.51384102	-3.97495666	1.4059065	0.59691895
			0.03	0.004	5.16938144	-3.90534207	1.50611646	0.59691895
				0.005	4.8839342	-3.84857846	1.60632641	0.59691895
				0.006	11.1442573	-5.30588426	1.45627991	0.564774
			0.004	0.004	9.73494895	-4.93586717	1.56814859	0.564774
				0.005	8.70947292	-4.68295037	1.68001726	0.564774
				0.006	7.92817902	-4.4989912	1.79188594	0.564774
		20	0.01	0.004	28.1574251	-12.6984237	1.60682006	0.53731912
				0.005	20.6130251	-8.62358367	1.73033224	0.53731912
				0.006	16.4976149	-6.98250538	1.85384442	0.53731912
			0.02	0.004	13.9012877	-6.11187509	1.97735661	0.53731912
				0.005	-169.586605	-0.00049972	1.75743965	0.51351456
				0.006	140.718182	-4085.05272	1.89258015	0.51351456
		0.03	0.004	52.0500575	-43.2505389	2.02772064	0.51351456	
			0.005	32.7473832	-16.0693212	2.16286114	0.51351456	
			0.004	5.9376755	-4.06231785	1.23621832	0.6135219	
			0.005	5.51278832	-3.97474203	1.33110624	0.6135219	
			0.006	5.16842472	-3.90515042	1.42599415	0.6135219	
			0.007	4.88305565	-3.84840503	1.52088206	0.6135219	
		0.04	0.004	11.1411372	-5.30503519	1.37872491	0.58048287	
			0.005	9.73234319	-4.93520749	1.48465604	0.58048287	
			0.006	8.70723115	-4.68241192	1.59058717	0.58048287	
			0.007	7.92620824	-4.49853643	1.69651829	0.58048287	
			0.004	28.1459751	-12.690968	1.52115539	0.55226434	
			0.005	20.6053714	-8.62019887	1.63811608	0.55226434	
		0.004	0.004	16.4918698	-6.98044806	1.75507677	0.55226434	
			0.005	13.8966852	-6.11043238	1.87203746	0.55226434	
			0.004	-169.622215	-0.00049881	1.66361976	0.52779767	
			0.005	140.595748	-4059.4787	1.79159639	0.52779767	
			0.006	52.0216832	-43.1876375	1.91957302	0.52779767	
			0.007	32.7321267	-16.056751	2.04754965	0.52779767	



Tabla 5.3 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)	
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt					
4	0.8	10	0.01	0.004	5.93862155	-4.06251499	1.29223812	0.60003032	
				0.005	5.51363707	-3.97491507	1.39141725	0.60003032	
				0.006	5.16919609	-3.90530494	1.49059637	0.60003032	
				0.007	4.88376399	-3.84854486	1.5897755	0.60003032	
			0.02	0.004	11.1436528	-5.30571975	1.44125639	0.56771782	
				0.005	9.73444411	-4.93573936	1.55197505	0.56771782	
				0.006	8.7090386	-4.68284604	1.66269371	0.56771782	
				0.007	7.9277972	-4.49890309	1.77341238	0.56771782	
			0.03	0.004	28.1552067	-12.6969788	1.59022477	0.54011983	
				0.005	20.6115422	-8.62292777	1.71246806	0.54011983	
				0.006	16.4965018	-6.98210674	1.83471135	0.54011983	
				0.007	13.900396	-6.11159555	1.95695464	0.54011983	
			0.004	0.004	-169.593501	-0.00049954	1.73926339	0.5161912	
				0.005	140.694453	-4080.0836	1.87301644	0.5161912	
				0.006	52.0445596	-43.2383437	2.00676948	0.5161912	
				0.007	32.7444272	-16.0668849	2.14052252	0.5161912	
			15	0.01	0.004	5.93744683	-4.06227021	1.22267518	0.61692183
					0.005	5.51258316	-3.9747002	1.31652556	0.61692183
					0.006	5.16823826	-3.90511308	1.41037593	0.61692183
					0.007	4.88288443	-3.84837123	1.5042263	0.61692183
				0.02	0.004	11.1405292	-5.30486974	1.36360824	0.5836997
					0.005	9.73183538	-4.93507895	1.46838179	0.5836997
					0.006	8.70679428	-4.68230699	1.57315533	0.5836997
					0.007	7.92582417	-4.49844781	1.67792887	0.5836997
		0.03		0.004	28.1437439	-12.6895156	1.50445923	0.55532479	
				0.005	20.60388	-8.61953943	1.62014259	0.55532479	
				0.006	16.4907502	-6.98004721	1.73582595	0.55532479	
				0.007	13.8957882	-6.11015127	1.85150931	0.55532479	
		0.004		0.004	-169.62916	-0.00049863	1.64533577	0.53072254	
				0.005	140.571901	-4054.51633	1.77191562	0.53072254	
				0.006	52.0161547	-43.1753923	1.89849547	0.53072254	
				0.007	32.7291538	-16.0543027	2.02507532	0.53072254	
		20		0.01	0.004	5.9363447	-4.06204057	1.15738776	0.63413968
					0.005	5.51159438	-3.97449862	1.24623584	0.63413968
					0.006	5.16733962	-3.90493308	1.33508392	0.63413968
					0.007	4.88205922	-3.84820834	1.423932	0.63413968
				0.02	0.004	11.1375988	-5.30407242	1.29073911	0.59999034
					0.005	9.72938795	-4.93445945	1.38993139	0.59999034
					0.006	8.70468871	-4.68180132	1.48912366	0.59999034
					0.007	7.9239731	-4.49802071	1.58831593	0.59999034
			0.03	0.004	28.1329912	-12.6825188	1.42398181	0.57082352	
				0.005	20.596692	-8.61636207	1.5335063	0.57082352	
				0.006	16.4853546	-6.97811567	1.64303079	0.57082352	
				0.007	13.8914656	-6.10879665	1.75255528	0.57082352	
			0.004	0.004	-169.662654	-0.00049777	1.55721234	0.54553463	
				0.005	140.457033	-4030.6974	1.6770571	0.54553463	
				0.006	51.9895144	-43.1164348	1.79690186	0.54553463	
				0.007	32.7148274	-16.0425095	1.91674661	0.54553463	



Tabla 5.3 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
4	1	10	0.01	0.004	5.93742728	-4.06226613	1.2215173	0.61721513
				0.005	5.51256562	-3.97469663	1.31527897	0.61721513
				0.006	5.16822232	-3.90510988	1.40904063	0.61721513
			0.02	0.007	4.8828698	-3.84836834	1.5028023	0.61721513
				0.004	11.1404772	-5.30485559	1.36231584	0.5839772
				0.005	9.73179197	-4.93506796	1.46699041	0.5839772
			0.03	0.006	8.70675693	-4.68229802	1.57166498	0.5839772
				0.007	7.92579134	-4.49844023	1.67633955	0.5839772
				0.004	28.1435531	-12.6893915	1.50303181	0.55558881
			0.004	0.005	20.6037524	-8.61948306	1.61860596	0.55558881
				0.006	16.4906545	-6.98001294	1.73418011	0.55558881
				0.007	13.8957116	-6.11012724	1.84975426	0.55558881
		15	0.01	0.004	-169.629753	-0.00049861	1.64377262	0.53097486
				0.005	140.569863	-4054.09241	1.77023305	0.53097486
				0.006	52.0156821	-43.1743456	1.89669347	0.53097486
			0.02	0.007	32.7288997	-16.0540934	2.0231539	0.53097486
				0.004	5.93629888	-4.06203102	1.15467296	0.63488707
				0.005	5.51155327	-3.97449024	1.24331301	0.63488707
			0.03	0.006	5.16730226	-3.90492559	1.33195306	0.63488707
				0.007	4.88202491	-3.84820157	1.42059311	0.63488707
				0.004	11.1374769	-5.30403927	1.28770919	0.60069748
			0.004	0.005	9.7292862	-4.9344337	1.38666935	0.60069748
				0.006	8.70460117	-4.6817803	1.48562951	0.60069748
				0.007	7.92389615	-4.49800296	1.58458966	0.60069748
		0.004	0.004	28.1325442	-12.682228	1.42063574	0.57149628	
			0.005	20.5963932	-8.61623	1.52990408	0.57149628	
			0.006	16.4851303	-6.97803539	1.63917243	0.57149628	
		20	0.01	0.007	13.8912859	-6.10874034	1.74844077	0.57149628
				0.004	-169.664048	-0.00049774	1.55354863	0.54617759
				0.005	140.452259	-4029.71064	1.67311327	0.54617759
			0.02	0.006	51.9884071	-43.1139859	1.79267791	0.54617759
				0.007	32.7142318	-16.0420195	1.91224255	0.54617759
				0.004	5.9352457	-4.06181159	1.09226294	0.65282888
			0.03	0.005	5.51060839	-3.97429761	1.17612017	0.65282888
				0.006	5.16644352	-3.9047536	1.2599774	0.65282888
				0.007	4.88123633	-3.84804592	1.34383462	0.65282888
			0.004	0.004	11.1346768	-5.30327751	1.21805783	0.6176731
				0.005	9.72694755	-4.93384181	1.31168123	0.6176731
				0.006	8.70258916	-4.68129715	1.40530463	0.6176731
		0.004	0.007	7.92212732	-4.49759488	1.49892803	0.6176731	
			0.004	28.1222708	-12.6755468	1.34372101	0.58764668	
			0.005	20.5895253	-8.61319524	1.44709991	0.58764668	
		0.004	0.006	16.4799747	-6.97619032	1.55047882	0.58764668	
			0.007	13.8871554	-6.10744626	1.65385772	0.58764668	
			0.004	-169.696092	-0.00049692	1.46933846	0.56161249	
		0.004	0.005	140.342595	-4007.107	1.58246222	0.56161249	
			0.006	51.9629586	-43.0577443	1.69558598	0.56161249	
			0.007	32.7005445	-16.0307608	1.80870974	0.56161249	



Tabla 5.3 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)	
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt					
5	0.6	10	0.01	0.004	5.93132918	-4.06099569	0.85999453	0.73595753	
				0.005	5.50709456	-3.97358137	0.92604354	0.73595753	
				0.006	5.16324999	-3.90411402	0.99209255	0.73595753	
			0.02	0.007	4.8783037	-3.84746712	1.05814156	0.73595753	
				0.004	11.1242648	-5.30044596	0.95889072	0.69632515	
				0.005	9.71825136	-4.93164153	1.03264048	0.69632515	
			0.03	0.006	8.69510745	-4.679501	1.10639025	0.69632515	
				0.007	7.91554979	-4.49607772	1.18014001	0.69632515	
				0.004	28.0840804	-12.6507408	1.05760129	0.66247528	
			0.004	0.005	20.5639919	-8.60192196	1.13904518	0.66247528	
				0.006	16.4608062	-6.96933458	1.22048907	0.66247528	
				0.007	13.8717978	-6.10263706	1.30193296	0.66247528	
			15	0.01	0.004	-169.815561	-0.00049388	1.15617965	0.633126
					0.005	139.935628	-3924.32686	1.24531105	0.633126
					0.006	51.8683935	-42.8493961	1.33444245	0.633126
				0.02	0.007	32.6496684	-15.9889814	1.42357384	0.633126
		0.004			5.93036949	-4.06079579	0.80303669	0.76166966	
		0.005			5.50623354	-3.97340588	0.86471672	0.76166966	
		0.03		0.006	5.16246745	-3.90395732	0.92639675	0.76166966	
				0.007	4.87758508	-3.8473253	0.98807677	0.76166966	
				0.004	11.1217137	-5.29975242	0.89534894	0.72065265	
		0.004		0.005	9.71612064	-4.93110258	0.9642223	0.72065265	
				0.006	8.69327427	-4.679061	1.03309566	0.72065265	
				0.007	7.91393812	-4.49570605	1.10196901	0.72065265	
		20		0.01	0.004	28.0747257	-12.644672	0.98746911	0.68562017
					0.005	20.5577368	-8.59916255	1.06353001	0.68562017
					0.006	16.4561101	-6.96765603	1.13959092	0.68562017
				0.02	0.007	13.8680352	-6.10145939	1.21565182	0.68562017
			0.004		-169.844909	-0.00049314	1.07944378	0.65524551	
			0.005		139.836109	-3904.34559	1.16268646	0.65524551	
			0.03	0.006	51.8452388	-42.7985348	1.24592914	0.65524551	
		0.007		32.6372075	-15.9787652	1.32917181	0.65524551		
		0.004		5.92947935	-4.06061038	0.75019134	0.78809695		
		0.005		5.50543491	-3.97324311	0.80781714	0.78809695		
		0.04	0.006	5.1617416	-3.90381197	0.86544294	0.78809695		
			0.007	4.87691853	-3.84719377	0.92306875	0.78809695		
			0.004	11.1193476	-5.29910926	0.83639935	0.74565679		
			0.005	9.7141444	-4.93060275	0.90074737	0.74565679		
			0.006	8.69157398	-4.67865294	0.96509538	0.74565679		
			0.007	7.91244328	-4.49536136	1.0294434	0.74565679		
			0.004	28.0660501	-12.6390464	0.92241166	0.7094088		
		0.004	0.005	20.5519357	-8.59660415	0.99347684	0.7094088		
			0.006	16.4517547	-6.9660996	1.06454202	0.7094088		
			0.007	13.8645455	-6.10036734	1.13560719	0.7094088		
			0.004	-169.872157	-0.00049245	1.00826894	0.67798025		
			0.005	139.743873	-3885.91756	1.08604624	0.67798025		
			0.006	51.8237682	-42.7514268	1.16382354	0.67798025		
			0.007	32.6256518	-15.9692969	1.24160084	0.67798025		



Tabla 5.3 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)	
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt					
5	0.8	10	0.01	0.004	5.93040967	-4.06080416	0.80542164	0.76053865	
				0.005	5.50626958	-3.97341323	0.86728462	0.76053865	
				0.006	5.16250021	-3.90396388	0.9291476	0.76053865	
				0.007	4.87761517	-3.84733124	0.99101058	0.76053865	
			0.02	0.004	11.1218205	-5.29978146	0.89800947	0.71958255	
				0.005	9.71620984	-4.93112514	0.96708704	0.71958255	
				0.006	8.69335101	-4.67907942	1.03616461	0.71958255	
			0.03	0.004	28.0751173	-12.644926	0.99040544	0.68460209	
				0.005	20.5579987	-8.59927805	1.06669178	0.68460209	
				0.006	16.4563067	-6.96772629	1.14297811	0.68460209	
			0.004	0.007	13.8681928	-6.10150869	1.21926444	0.68460209	
				0.004	-169.84368	-0.00049317	1.08265642	0.65427254	
				0.005	139.840274	-3905.17976	1.16614571	0.65427254	
			15	0.01	0.004	5.92950614	-4.06061596	0.75178221	0.78726094
					0.005	5.50545895	-3.97324801	0.80953007	0.78726094
					0.006	5.16176345	-3.90381635	0.86727793	0.78726094
					0.007	4.87693859	-3.84719773	0.9250258	0.78726094
				0.02	0.004	11.1194188	-5.29912862	0.83817393	0.7448658
					0.005	9.71420388	-4.93061779	0.90265819	0.7448658
					0.006	8.69162515	-4.67866523	0.96714245	0.7448658
				0.03	0.007	7.91248828	-4.49537173	1.03162671	0.7448658
					0.004	28.0663112	-12.6392157	0.92437001	0.70865626
					0.005	20.5521103	-8.59668114	0.9955856	0.70865626
				0.004	0.006	16.4518858	-6.96614644	1.06680119	0.70865626
		0.007			13.8646506	-6.1004002	1.13801679	0.70865626	
		0.004			-169.871336	-0.00049247	1.01041132	0.67726105	
		20		0.01	0.005	139.746649	-3886.47077	1.08835318	0.67726105
					0.006	51.8244144	-42.7528438	1.16629504	0.67726105
					0.007	32.6259996	-15.9695818	1.24423689	0.67726105
					0.004	5.92867505	-4.06044287	0.70242953	0.81450282
				0.02	0.005	5.50471329	-3.97309605	0.75639053	0.81450282
					0.006	5.16108575	-3.90368065	0.81035154	0.81450282
					0.007	4.87631625	-3.84707492	0.86431254	0.81450282
				0.03	0.004	11.1172097	-5.29852821	0.78312409	0.77064067
					0.005	9.71235878	-4.93015117	0.84338124	0.77064067
					0.006	8.69003769	-4.67828427	0.90363838	0.77064067
				0.004	0.007	7.91109262	-4.49504993	0.96389553	0.77064067
			0.004		28.0582121	-12.6339661	0.86362164	0.73317816	
			0.005		20.5466944	-8.59429333	0.9301705	0.73317816	
			0.004	0.006	16.4478196	-6.96469366	0.99671936	0.73317816	
				0.007	13.8613925	-6.09938082	1.06326822	0.73317816	
				0.004	-169.896798	-0.00049183	0.94395786	0.70069657	
			0.004	0.005	139.660592	-3869.35319	1.01679401	0.70069657	
				0.006	51.8043731	-42.7089173	1.08963017	0.70069657	
			0.007	32.6152121	-15.9607479	1.16246632	0.70069657		



Tabla 5.3 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
5	1	10	0.01	0.004	5.92965991	-4.06064799	0.7609117	0.78251412
				0.005	5.5055969	-3.97327613	0.81936	0.78251412
				0.006	5.16188883	-3.90384145	0.87780831	0.78251412
			0.02	0.004	11.1198275	-5.29923971	0.8483577	0.74037461
				0.005	9.71454525	-4.93070413	0.91362381	0.74037461
				0.006	8.69191886	-4.67873571	0.97888993	0.74037461
			0.03	0.004	28.0678098	-12.6401872	0.93560854	0.7043834
				0.005	20.5531123	-8.59712302	1.00768727	0.7043834
				0.006	16.4526381	-6.96641527	1.07976601	0.7043834
			0.004	0.004	13.8652534	-6.10058883	1.15184474	0.7043834
				0.005	13.8652534	-6.10058883	1.15184474	0.7043834
				0.006	13.8652534	-6.10058883	1.15184474	0.7043834
		15	0.01	0.004	-169.866628	-0.00049259	1.02270607	0.67317749
				0.005	139.762577	-3889.64735	1.10159224	0.67317749
				0.006	51.8281228	-42.760977	1.1804784	0.67317749
			0.02	0.004	32.6279956	-15.9712169	1.25936457	0.67317749
				0.005	5.92879474	-4.06046779	0.70953773	0.81040481
				0.006	5.50482067	-3.97311794	0.76404419	0.81040481
			0.03	0.004	5.16118335	-3.90370019	0.81855065	0.81040481
				0.005	4.87640588	-3.8470926	0.8730571	0.81040481
				0.006	4.87640588	-3.8470926	0.8730571	0.81040481
			0.004	0.004	11.1175279	-5.29861467	0.79105262	0.76676335
				0.005	9.7126245	-4.93021837	0.85191865	0.76676335
				0.006	8.6902663	-4.67833913	0.91278468	0.76676335
		20	0.01	0.004	7.91129362	-4.49509627	0.9736507	0.76676335
				0.005	28.0593784	-12.6347219	0.87237058	0.72948932
				0.006	20.5474743	-8.59463716	0.93959166	0.72948932
			0.02	0.004	16.4484051	-6.96490286	1.00681273	0.72948932
				0.005	13.8618617	-6.09952761	1.07403381	0.72948932
				0.006	13.8618617	-6.09952761	1.07403381	0.72948932
			0.03	0.004	-169.893129	-0.00049192	0.953528	0.69717116
				0.005	139.672982	-3871.81295	1.02709962	0.69717116
				0.006	51.807259	-42.7152398	1.10067124	0.69717116
			0.004	0.004	32.6167655	-15.9620197	1.17424285	0.69717116
				0.005	5.9280048	-4.06030327	0.6626185	0.83865973
				0.006	5.50411194	-3.9729735	0.71352436	0.83865973
		0.01		0.004	5.16053921	-3.90357121	0.76443022	0.83865973
				0.005	4.87581434	-3.84697588	0.81533607	0.83865973
				0.006	4.87581434	-3.84697588	0.81533607	0.83865973
		0.02		0.004	11.1154282	-5.29804405	0.73872001	0.79349669
				0.005	9.7108708	-4.9297749	0.79556667	0.79349669
				0.006	8.68875746	-4.67797708	0.85241333	0.79349669
		0.03		0.004	7.90996708	-4.49479043	0.90925999	0.79349669
				0.005	28.0516812	-12.6297345	0.81462485	0.7549231
				0.006	20.542327	-8.59236826	0.87740837	0.7549231
		0.004	0.004	16.4445405	-6.96352233	0.94019189	0.7549231	
			0.005	13.8587651	-6.09855887	1.00297541	0.7549231	
			0.006	13.8587651	-6.09855887	1.00297541	0.7549231	
0.004	0.004	-169.917348	-0.00049131	0.89036479	0.72147816			
	0.005	139.591233	-3855.61183	0.95908123	0.72147816			
	0.006	51.7882141	-42.6735326	1.02779767	0.72147816			
0.007	32.6065135	-15.9536281	1.09651411	0.72147816				



Tabla 5.4 Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	0.6	10	0.01	0.004	5.95615374	-4.06616998	2.32741137	0.44647247
				0.005	5.52936555	-3.97812319	2.50575084	0.44647247
				0.006	5.18349	-3.90816929	2.68409031	0.44647247
			0.02	0.007	4.89688943	-3.85113675	2.86242979	0.44647247
				0.004	11.1902894	-5.318427	2.59760376	0.42242928
				0.005	9.77339011	-4.94560918	2.79659046	0.42242928
			0.03	0.006	8.74254198	-4.69090043	2.99557716	0.42242928
				0.007	7.95724903	-4.50570463	3.19456386	0.42242928
				0.004	28.3265195	-12.8090413	2.86869286	0.40189408
			0.04	0.005	20.7260096	-8.67370544	3.08827887	0.40189408
				0.006	16.5824055	-7.01293977	3.30786489	0.40189408
				0.007	13.9692055	-6.13320433	3.5274509	0.40189408
		15	0.01	0.004	-169.066372	-0.00051323	3.1410648	0.38408919
				0.005	142.537932	-4484.71789	3.38120238	0.38408919
				0.006	52.4697018	-44.191596	3.62133997	0.38408919
			0.02	0.007	32.972777	-16.2561798	3.86147755	0.38408919
				0.004	5.95456526	-4.06583869	2.2338539	0.45578422
				0.005	5.52794055	-3.97783243	2.40504957	0.45578422
			0.03	0.006	5.18219501	-3.9079097	2.57624524	0.45578422
				0.007	4.89570034	-3.85090187	2.74744092	0.45578422
				0.004	11.1860626	-5.31727405	2.49302854	0.43123958
			0.04	0.005	9.76986057	-4.9447139	2.68405325	0.43123958
				0.006	8.73950586	-4.69016996	2.87507797	0.43123958
				0.007	7.9545802	-4.50508788	3.06610268	0.43123958
		20	0.01	0.004	28.3109798	-12.7988356	2.75297832	0.41027609
				0.005	20.7156299	-8.6690887	2.96378791	0.41027609
				0.006	16.5746174	-7.01013882	3.17459749	0.41027609
			0.02	0.007	13.962968	-6.13124237	3.38540707	0.41027609
				0.004	-169.113744	-0.00051199	3.01405928	0.39209986
				0.005	142.369783	-4446.20393	3.2446097	0.39209986
			0.03	0.006	52.4310887	-44.1041571	3.47516012	0.39209986
				0.007	32.9520567	-16.2389117	3.70571055	0.39209986
				0.004	5.95304167	-4.06552096	2.14407418	0.46528595
			0.04	0.005	5.52657375	-3.97755356	2.30841253	0.46528595
				0.006	5.1809529	-3.90766073	2.47275088	0.46528595
				0.007	4.8945598	-3.85067659	2.63708923	0.46528595
		20	0.01	0.004	11.1820087	-5.31616849	2.39268835	0.44022963
				0.005	9.76647535	-4.94385538	2.57606967	0.44022963
				0.006	8.73659386	-4.68946946	2.75945099	0.44022963
			0.02	0.007	7.95202045	-4.50449641	2.94283231	0.44022963
				0.004	28.2960782	-12.7890565	2.64196774	0.41882912
				0.005	20.7056757	-8.66466355	2.8443513	0.41882912
			0.03	0.006	16.5671483	-7.00745365	3.04673487	0.41882912
				0.007	13.9569858	-6.12936131	3.24911843	0.41882912
				0.004	-169.159252	-0.00051079	2.89224059	0.40027396
			0.04	0.005	142.208713	-4409.62166	3.11358581	0.40027396
				0.006	52.3940703	-44.0204917	3.33493102	0.40027396
				0.007	32.9321885	-16.222371	3.55627623	0.40027396



Tabla 5.4 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	0.8	10	0.01	0.004	5.95367908	-4.06565388	2.18163961	0.46123907
				0.005	5.52714556	-3.97767023	2.34884742	0.46123907
				0.006	5.18147256	-3.90776489	2.51605523	0.46123907
			0.02	0.007	4.89503696	-3.85077084	2.68326305	0.46123907
				0.004	11.1837046	-5.31663097	2.43467099	0.43640068
				0.005	9.76789157	-4.94421453	2.62125079	0.43640068
			0.03	0.006	8.73781211	-4.6897625	2.80783059	0.43640068
				0.007	7.95309134	-4.50474384	2.99441039	0.43640068
				0.004	28.302312	-12.7931465	2.68841279	0.4151863
			0.04	0.005	20.70984	-8.6665145	2.89432242	0.4151863
				0.006	16.570273	-7.00857686	3.10023205	0.4151863
				0.007	13.9594884	-6.13014818	3.30614169	0.4151863
		15	0.01	0.004	-169.140205	-0.00051129	2.94320473	0.39679253
				0.005	142.276073	-4424.88375	3.16840218	0.39679253
				0.006	52.4095552	-44.0554699	3.39359963	0.39679253
			0.02	0.007	32.9404999	-16.2292883	3.61879709	0.39679253
				0.004	5.95217307	-4.06533983	2.09287212	0.47097605
				0.005	5.52579453	-3.97739459	2.25329882	0.47097605
			0.03	0.006	5.18024478	-3.9075188	2.41372551	0.47097605
				0.007	4.89390957	-3.85054816	2.57415221	0.47097605
				0.004	11.1796976	-5.31553835	2.335469	0.44561331
			0.04	0.005	9.76454552	-4.94336603	2.51448996	0.44561331
				0.006	8.73493379	-4.68907016	2.69351092	0.44561331
				0.007	7.95056118	-4.50415925	2.87253188	0.44561331
		20	0.01	0.004	28.2875844	-12.7834858	2.57867137	0.42395108
				0.005	20.7000016	-8.66214211	2.77624777	0.42395108
				0.006	16.5628907	-7.00592346	2.97382417	0.42395108
			0.02	0.007	13.9535756	-6.12828927	3.17140057	0.42395108
				0.004	-169.185229	-0.00051011	2.82279211	0.40516901
				0.005	142.116981	-4388.92198	3.0388525	0.40516901
			0.03	0.006	52.372974	-43.9728829	3.25497839	0.40516901
				0.007	32.9208643	-16.2129509	3.47107153	0.40516901
				0.004	5.9507344	-4.06503984	2.00803466	0.4808779
			0.04	0.005	5.52450389	-3.97713129	2.16197869	0.4808779
				0.006	5.17907188	-3.90728372	2.31592272	0.4808779
				0.007	4.89283257	-3.85033545	2.46986675	0.4808779
		20	0.01	0.004	11.17587	-5.31449485	2.2406701	0.45498193
				0.005	9.76134924	-4.94255564	2.41246428	0.45498193
				0.006	8.73218426	-4.6884089	2.58425845	0.45498193
			0.02	0.007	7.94814422	-4.50360089	2.75605263	0.45498193
				0.004	28.2735182	-12.7742659	2.47381675	0.43286428
				0.005	20.6906046	-8.65796792	2.66342531	0.43286428
			0.03	0.006	16.5558392	-7.00338993	2.85303386	0.43286428
				0.007	13.9479277	-6.12651417	3.04264241	0.43286428
				0.004	-169.228304	-0.00050899	2.70776287	0.41368733
			0.04	0.005	141.96519	-4354.8832	2.91515014	0.41368733
				0.006	52.338044	-43.8941684	3.12253742	0.41368733
				0.007	32.9021119	-16.1973635	3.32992469	0.41368733



Tabla 5.4 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	1	10	0.01	0.004	5.95167715	-4.06523642	2.06363218	0.4743199
				0.005	5.52534964	-3.97730382	2.22182477	0.4743199
				0.006	5.17984047	-3.90743776	2.38001736	0.4743199
			0.02	0.007	4.89353832	-3.85047484	2.53820994	0.4743199
				0.004	11.1783782	-5.31517862	2.30279455	0.44877709
				0.005	9.76344372	-4.94308666	2.47932503	0.44877709
			0.03	0.006	8.73398599	-4.68884221	2.6558555	0.44877709
				0.007	7.94972802	-4.50396677	2.83238598	0.44877709
				0.004	28.2827353	-12.7803066	2.54252924	0.42696106
			0.04	0.005	20.6967622	-8.66070294	2.73735985	0.42696106
				0.006	16.5604599	-7.00504999	2.93219046	0.42696106
				0.007	13.9516287	-6.1276773	3.12702107	0.42696106
		15	0.01	0.004	-169.20007	-0.00050973	2.78314055	0.40804564
				0.005	142.064637	-4377.1539	2.99623365	0.40804564
				0.006	52.3609316	-43.9457294	3.20932675	0.40804564
			0.02	0.007	32.9143996	-16.2075756	3.42241985	0.40804564
				0.004	5.95022641	-4.06493392	1.9780697	0.48452632
				0.005	5.52404817	-3.97703832	2.12972362	0.48452632
			0.03	0.006	5.17865772	-3.90720072	2.28137753	0.48452632
				0.007	4.89245228	-3.85026035	2.43303144	0.48452632
				0.004	11.1745186	-5.31412646	2.20718931	0.45843388
			0.04	0.005	9.76022067	-4.94226953	2.37643034	0.45843388
				0.006	8.73121344	-4.68817544	2.54567138	0.45843388
				0.007	7.94729081	-4.50340375	2.71491242	0.45843388
		20	0.01	0.004	28.2685522	-12.7710124	2.43678823	0.43614842
				0.005	20.6872868	-8.65649466	2.62358167	0.43614842
				0.006	16.5533495	-7.00249563	2.81037512	0.43614842
			0.02	0.007	13.9459336	-6.12588755	2.99716857	0.43614842
				0.004	-169.243529	-0.00050859	2.66714626	0.41682597
				0.005	141.911637	-4342.93716	2.8714575	0.41682597
			0.03	0.006	52.325714	-43.8664164	3.07576874	0.41682597
				0.007	32.8954916	-16.1918643	3.28007998	0.41682597
				0.004	5.94884528	-4.06464596	1.89657728	0.49488144
			0.04	0.005	5.52280915	-3.97678558	2.04200191	0.49488144
				0.006	5.17753172	-3.90697506	2.18742654	0.49488144
				0.007	4.89141833	-3.85005615	2.33285117	0.49488144
		0.01	0.004	11.1708444	-5.31312504	2.11614207	0.46823136	
			0.005	9.75715243	-4.94149178	2.27843801	0.46823136	
			0.006	8.72857402	-4.68754078	2.44073395	0.46823136	
		0.02	0.007	7.94497061	-4.50286783	2.60302989	0.46823136	
			0.004	28.2550526	-12.7621722	2.33610315	0.44546962	
			0.005	20.6782675	-8.65249082	2.51523847	0.44546962	
		0.03	0.006	16.5465812	-7.000065	2.69437378	0.44546962	
			0.007	-63.223109	-0.11698252	1.74495663	0.44546962	
			0.004	-169.284962	-0.00050751	2.55671794	0.42573423	
		0.04	0.005	141.766154	-4310.64935	2.75266077	0.42573423	
			0.006	52.2922009	-43.791075	2.94860361	0.42573423	
			0.007	32.8774958	-16.176925	3.14454644	0.42573423	



Tabla 5.4 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
4	0.6	10	0.01	0.004	5.93836962	-4.06246249	1.27732198	0.60353591
				0.005	5.51341106	-3.97486899	1.37535858	0.60353591
				0.006	5.16899068	-3.90526379	1.47339518	0.60353591
			0.02	0.007	4.88357536	-3.84850762	1.57143178	0.60353591
				0.004	11.1429829	-5.30553744	1.42460596	0.57103463
				0.005	9.73388464	-4.93559772	1.53404997	0.57103463
			0.03	0.006	8.70855728	-4.68273043	1.64349399	0.57103463
				0.007	7.92737407	-4.49880545	1.752938	0.57103463
				0.004	28.1527482	-12.6953778	1.57183281	0.5432754
			0.04	0.005	20.6098989	-8.62220097	1.69266967	0.5432754
				0.006	16.4952683	-6.98166499	1.81350654	0.5432754
				0.007	13.8994078	-6.11128577	1.93434341	0.5432754
		15	0.01	0.004	-169.601144	-0.00049935	1.71911993	0.51920697
				0.005	140.66816	-4074.58484	1.85133511	0.51920697
				0.006	52.0384671	-43.2248337	1.98355029	0.51920697
			0.02	0.007	32.7411514	-16.0641855	2.11576547	0.51920697
				0.004	5.93721862	-4.06222266	1.20915858	0.62037182
				0.005	5.51237843	-3.97465846	1.3019734	0.62037182
			0.03	0.006	5.16805219	-3.90507581	1.39478822	0.62037182
				0.007	4.88271357	-3.8483375	1.48760304	0.62037182
				0.004	11.1399224	-5.30470463	1.34852146	0.58696391
			0.04	0.005	9.73132861	-4.93495067	1.45213962	0.58696391
				0.006	8.70635829	-4.68220228	1.55575778	0.58696391
				0.007	7.92544088	-4.49835937	1.65937595	0.58696391
		20	0.01	0.004	28.1415173	-12.6880665	1.48779647	0.55843032
				0.005	20.6023916	-8.6188814	1.60220492	0.55843032
				0.006	16.489633	-6.97964721	1.71661336	0.55843032
			0.02	0.007	13.8948932	-6.10987075	1.83102181	0.55843032
				0.004	-169.636092	-0.00049845	1.6270889	0.53369049
				0.005	140.548108	-4049.57103	1.75227459	0.53369049
			0.03	0.006	52.0106378	-43.1631763	1.87746028	0.53369049
				0.007	32.7261871	-16.0518599	2.00264597	0.53369049
				0.004	5.93613227	-4.0619963	1.1448013	0.63762711
			0.04	0.005	5.51140379	-3.97445976	1.2326849	0.63762711
				0.006	5.16716641	-3.90489838	1.32056849	0.63762711
				0.007	4.88190016	-3.84817695	1.40845208	0.63762711
		0.6	0.01	0.004	11.137034	-5.30391875	1.27669175	0.60328997
				0.005	9.72891623	-4.93434006	1.37480787	0.60328997
				0.006	8.70428287	-4.68170386	1.47292398	0.60328997
			0.02	0.007	7.92361632	-4.4979384	1.57104009	0.60328997
				0.004	28.1309189	-12.6811708	1.40846882	0.57396274
				0.005	20.5953067	-8.61574982	1.51680573	0.57396274
			0.03	0.006	16.4843147	-6.97774346	1.62514265	0.57396274
				0.007	13.8906324	-6.1085356	1.73347956	0.57396274
				0.004	-169.669115	-0.00049761	1.54022691	0.54853478
			0.04	0.005	140.434904	-4026.12503	1.65877293	0.54853478
				0.006	51.9843807	-43.1050826	1.77731896	0.54853478
				0.007	32.7120663	-16.0402377	1.89586498	0.54853478



Tabla 5.4 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
4	0.8	10	0.01	0.004	5.93700816	-4.0621788	1.19669197	0.62360544
				0.005	5.5121896	-3.97461997	1.28855165	0.62360544
				0.006	5.16788059	-3.90504143	1.38041132	0.62360544
			0.02	0.007	4.88255598	-3.8483064	1.47227099	0.62360544
				0.004	11.1393628	-5.30455237	1.33460689	0.59002338
				0.005	9.73086124	-4.93483236	1.43715937	0.59002338
			0.03	0.006	8.7059562	-4.68210571	1.53971185	0.59002338
				0.007	7.9250874	-4.49827781	1.64226432	0.59002338
				0.004	28.1394639	-12.6867302	1.47242873	0.56134107
			0.04	0.005	20.6010189	-8.61827458	1.58566122	0.56134107
				0.006	16.4886026	-6.97927833	1.69889371	0.56134107
				0.007	13.8940677	-6.10961205	1.8121262	0.56134107
		15	0.01	0.004	-169.642487	-0.00049829	1.61026063	0.53647229
				0.005	140.526168	-4045.01639	1.73416036	0.53647229
				0.006	52.0055502	-43.1519138	1.85806008	0.53647229
			0.02	0.007	32.7234512	-16.0496074	1.98195981	0.53647229
				0.004	5.93592056	-4.06195219	1.13225658	0.64116061
				0.005	5.51121385	-3.97442104	1.21917885	0.64116061
			0.03	0.006	5.16699379	-3.90486381	1.30610112	0.64116061
				0.007	4.88174164	-3.84814566	1.39302339	0.64116061
				0.004	11.1364711	-5.30376562	1.26269121	0.60663319
			0.04	0.005	9.72844611	-4.93422107	1.35973467	0.60663319
				0.006	8.70387841	-4.68160674	1.45677813	0.60663319
				0.007	7.92326075	-4.49785636	1.5538216	0.60663319
		20	0.01	0.004	28.1288537	-12.6798275	1.39300786	0.57714344
				0.005	20.5939261	-8.6151397	1.50016106	0.57714344
				0.006	16.4832783	-6.97737253	1.60731426	0.57714344
			0.02	0.007	13.8898021	-6.10827544	1.71446746	0.57714344
				0.004	-169.675554	-0.00049744	1.52329892	0.55157457
				0.005	140.412855	-4021.57409	1.64055041	0.55157457
			0.03	0.006	51.9792646	-43.0937724	1.7578019	0.55157457
				0.007	32.7093148	-16.037974	1.8750534	0.55157457
				0.004	5.93490018	-4.0617396	1.07178318	0.65905495
			0.04	0.005	5.51029839	-3.97423442	1.15407073	0.65905495
				0.006	5.16616178	-3.90469717	1.23635828	0.65905495
				0.007	4.88097762	-3.84799485	1.31864582	0.65905495
		20	0.01	0.004	11.1337581	-5.30302762	1.1952031	0.62356389
				0.005	9.72618031	-4.93364765	1.28707495	0.62356389
				0.006	8.70192908	-4.68113866	1.3789468	0.62356389
			0.02	0.007	7.92154702	-4.497461	1.47081866	0.62356389
				0.004	28.1189007	-12.6733558	1.31848478	0.5932511
				0.005	20.5872723	-8.6121999	1.41993066	0.5932511
			0.03	0.006	16.4782834	-6.97558513	1.52137654	0.5932511
				0.007	13.8858004	-6.10702178	1.62282243	0.5932511
				0.004	-169.706612	-0.00049665	1.44171102	0.56696862
			0.04	0.005	140.306638	-3999.72325	1.55272068	0.56696862
				0.006	51.9546113	-43.0393127	1.66373033	0.56696862
				0.007	32.6960546	-16.0270693	1.77473999	0.56696862



Tabla 5.4 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
4	1	10	0.01	0.004	5.93590246	-4.06194842	1.13118406	0.64146543
				0.005	5.51119761	-3.97441773	1.21802414	0.64146543
				0.006	5.16697903	-3.90486085	1.30486422	0.64146543
			0.02	0.007	4.88172809	-3.84814298	1.39170429	0.64146543
				0.004	11.1364229	-5.30375252	1.26149423	0.60692159
				0.005	9.72840592	-4.9342109	1.35844598	0.60692159
			0.03	0.006	8.70384384	-4.68159843	1.45539774	0.60692159
				0.007	7.92323035	-4.49784935	1.55234949	0.60692159
				0.004	28.1286771	-12.6797127	1.39168604	0.57741782
			0.04	0.005	20.593808	-8.61508754	1.49873804	0.57741782
				0.006	16.4831897	-6.97734082	1.60579003	0.57741782
				0.007	13.8897311	-6.1082532	1.71284202	0.57741782
		15	0.01	0.004	-169.676105	-0.00049743	1.5218517	0.5518368
				0.005	140.41097	-4021.1853	1.63899251	0.5518368
				0.006	51.9788272	-43.0928056	1.75613332	0.5518368
			0.02	0.007	32.7090795	-16.0377805	1.87327413	0.5518368
				0.004	5.93485776	-4.06173076	1.0692686	0.6598317
				0.005	5.51026033	-3.97422666	1.15136341	0.6598317
			0.03	0.006	5.16612719	-3.90469024	1.23345822	0.6598317
				0.007	4.88094585	-3.84798858	1.31555302	0.6598317
				0.004	11.1336454	-5.30299695	1.19239695	0.62429881
			0.04	0.005	9.72608611	-4.93362381	1.28405373	0.62429881
				0.006	8.70184804	-4.6811192	1.37571051	0.62429881
				0.007	7.92147577	-4.49744457	1.46736729	0.62429881
		0.004	0.004	28.1184869	-12.6730869	1.31538629	0.5939503	
			0.005	20.5869957	-8.61207771	1.41659481	0.5939503	
			0.006	16.4780757	-6.97551083	1.51780334	0.5939503	
		20	0.04	0.007	13.885634	-6.10696967	1.61901186	0.5939503
				0.004	-169.707904	-0.00049662	1.43831903	0.56763685
				0.005	140.302224	-3998.81778	1.54906909	0.56763685
			0.02	0.006	51.9535865	-43.0370504	1.65981914	0.56763685
				0.007	32.6955033	-16.0266162	1.7705692	0.56763685
				0.004	5.93388269	-4.06152762	1.01146198	0.67847845
			0.03	0.005	5.50938552	-3.97404833	1.0891256	0.67847845
				0.006	5.16533213	-3.904531	1.16678921	0.67847845
				0.007	4.88021575	-3.84784448	1.24445283	0.67847845
			0.04	0.004	11.131053	-5.30229186	1.12789029	0.64194141
				0.005	9.723921	-4.93307594	1.21460226	0.64194141
				0.006	8.69998532	-4.68067196	1.30131423	0.64194141
		0.02	0.007	7.91983817	-4.49706681	1.3880262	0.64194141	
			0.004	28.1089774	-12.6669068	1.24416312	0.61073525	
			0.005	20.5806381	-8.60926975	1.33991428	0.61073525	
		0.03	0.006	16.4733031	-6.9738034	1.43566545	0.61073525	
			0.007	13.8818103	-6.10577201	1.53141662	0.61073525	
			0.004	-169.737615	-0.00049586	1.36035426	0.58367818	
		0.04	0.005	140.200812	-3978.071	1.46513548	0.58367818	
			0.006	51.9300356	-42.9850927	1.5699167	0.58367818	
			0.007	32.6828345	-16.016205	1.67469793	0.58367818	



Tabla 5.4 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
5	0.6	10	0.01	0.004	5.93025665	-4.06077228	0.79633856	0.76487321
				0.005	5.5061323	-3.97338525	0.85750475	0.76487321
				0.006	5.16237543	-3.90393889	0.91867094	0.76487321
			0.02	0.007	4.87750059	-3.84730863	0.97983713	0.76487321
				0.004	11.1214137	-5.29967089	0.88787686	0.72368368
				0.005	9.71587012	-4.93103921	0.95617669	0.72368368
			0.03	0.006	8.69305873	-4.67900927	1.02447652	0.72368368
				0.007	7.91374863	-4.49566236	1.09277634	0.72368368
				0.004	28.0736258	-12.6439587	0.9792225	0.68850386
			0.04	0.005	20.5570014	-8.59883818	1.05465028	0.68850386
				0.006	16.455558	-6.9674587	1.13007805	0.68850386
				0.007	13.8675928	-6.10132094	1.20550582	0.68850386
		15	0.01	0.004	-169.848362	-0.00049305	1.0704213	0.65800145
				0.005	139.824413	-3902.00397	1.15297134	0.65800145
				0.006	51.8425167	-42.7925596	1.23552138	0.65800145
			0.02	0.007	32.6357426	-15.9775646	1.31807142	0.65800145
				0.004	5.92936814	-4.06058722	0.74358814	0.79159557
				0.005	5.50533513	-3.97322278	0.80070731	0.79159557
			0.03	0.006	5.16165092	-3.90379382	0.85782647	0.79159557
				0.007	4.87683525	-3.84717733	0.91494564	0.79159557
				0.004	11.119052	-5.29902891	0.8290337	0.748967
			0.04	0.005	9.7138975	-4.9305403	0.89281619	0.748967
				0.006	8.69136155	-4.67860197	0.95659868	0.748967
				0.007	7.91225653	-4.4953183	1.02038117	0.748967
		20	0.01	0.004	28.0649663	-12.6383438	0.91428326	0.7125581
				0.005	20.5512109	-8.59628459	0.98472412	0.7125581
				0.006	16.4512106	-6.96590518	1.05516497	0.7125581
			0.02	0.007	13.8641096	-6.10023092	1.12560582	0.7125581
				0.004	-169.875562	-0.00049237	0.9993768	0.68099003
				0.005	139.732355	-3883.62236	1.07647106	0.68099003
			0.03	0.006	51.8210862	-42.745546	1.15356532	0.68099003
				0.007	32.6242082	-15.9681145	1.23065958	0.68099003
				0.004	5.92854402	-4.06041558	0.69464751	0.81906118
			0.04	0.005	5.50459573	-3.97307209	0.74801135	0.81906118
				0.006	5.16097891	-3.90365925	0.80137518	0.81906118
				0.007	4.87621813	-3.84705556	0.85473901	0.81906118
		0.01	0.004	11.1168615	-5.29843355	0.77444407	0.77495355	
			0.005	9.71206789	-4.93007761	0.8340346	0.77495355	
			0.006	8.68978741	-4.67822422	0.89362513	0.77495355	
		0.02	0.007	7.91087259	-4.4949992	0.95321565	0.77495355	
			0.004	28.0569353	-12.6331387	0.85404357	0.73728139	
			0.005	20.5458406	-8.59391696	0.91985647	0.73728139	
		0.03	0.006	16.4471785	-6.96446466	0.98566936	0.73728139	
			0.007	13.8608789	-6.09922012	1.05148226	0.73728139	
			0.004	-169.900814	-0.00049173	0.93348093	0.70461801	
		0.04	0.005	139.64703	-3866.66243	1.00551187	0.70461801	
			0.006	51.8012139	-42.701997	1.0775428	0.70461801	
			0.007	32.6135115	-15.9593557	1.14957374	0.70461801	



Tabla 5.4 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
5	0.8	10	0.01	0.004	5.92940534	-4.06059497	0.74579689	0.79042012
				0.005	5.5053685	-3.97322958	0.80308553	0.79042012
				0.006	5.16168125	-3.90379989	0.86037416	0.79042012
			0.02	0.007	4.87686311	-3.84718283	0.9176628	0.79042012
				0.004	11.1191509	-5.29905579	0.83149748	0.74785486
				0.005	9.71398008	-4.93056119	0.89546914	0.74785486
			0.03	0.006	8.69143261	-4.67861902	0.9594408	0.74785486
				0.007	7.912319	-4.4953327	1.02341245	0.74785486
				0.004	28.0653288	-12.6385788	0.91700217	0.71150002
			0.04	0.005	20.5514533	-8.59639148	0.98765186	0.71150002
				0.006	16.4513926	-6.96597021	1.05830155	0.71150002
				0.007	13.8642554	-6.10027655	1.12895124	0.71150002
		15	0.01	0.004	-169.874423	-0.0004924	1.00235116	0.67997882
				0.005	139.736208	-3884.38991	1.0796739	0.67997882
				0.006	51.8219833	-42.7475129	1.15699663	0.67997882
			0.02	0.007	32.6246911	-15.96851	1.23431937	0.67997882
				0.004	5.92856883	-4.06042074	0.69612082	0.81819232
				0.005	5.50461799	-3.97307663	0.74959771	0.81819232
			0.03	0.006	5.16099914	-3.90366331	0.8030746	0.81819232
				0.007	4.87623671	-3.84705922	0.85655149	0.81819232
				0.004	11.1169274	-5.29845147	0.77608738	0.77413149
			0.04	0.005	9.71212297	-4.93009154	0.83580412	0.77413149
				0.006	8.6898348	-4.67823559	0.89552085	0.77413149
				0.007	7.91091425	-4.4950088	0.95523759	0.77413149
		20	0.01	0.004	28.0571771	-12.6332953	0.85585689	0.73649928
				0.005	20.5460022	-8.59398821	0.92180913	0.73649928
				0.006	16.4472999	-6.96450801	0.98776136	0.73649928
			0.02	0.007	13.8609761	-6.09925054	1.05371359	0.73649928
				0.004	-169.900053	-0.00049175	0.93546441	0.70387056
				0.005	139.649597	-3867.17168	1.0076478	0.70387056
			0.03	0.006	51.801812	-42.7033071	1.07983118	0.70387056
				0.007	32.6138335	-15.9596192	1.15201457	0.70387056
				0.004	5.92779938	-4.06026049	0.6504157	0.84650454
			0.04	0.005	5.50392764	-3.97293594	0.70038503	0.84650454
				0.006	5.1603717	-3.90353767	0.75035435	0.84650454
				0.007	4.87566052	-3.84694553	0.80032367	0.84650454
		0.01		0.004	11.1148823	-5.29789569	0.72510983	0.80091905
				0.005	9.71041477	-4.92965959	0.780911	0.80091905
				0.006	8.68836511	-4.67788293	0.83671217	0.80091905
		0.02		0.007	7.90962213	-4.4947109	0.89251335	0.80091905
				0.004	28.0496797	-12.628438	0.79960766	0.76198464
				0.005	20.5409885	-8.59177839	0.86123688	0.76198464
		0.03		0.006	16.4435355	-6.96316339	0.9228661	0.76198464
				0.007	13.8579599	-6.09830699	0.98449532	0.76198464
				0.004	-169.923649	-0.00049115	0.87393979	0.72822685
		0.04	0.005	139.569984	-3851.41175	0.94139326	0.72822685	
			0.006	51.7832624	-42.6626954	1.00884674	0.72822685	
			0.007	32.6038478	-15.9514469	1.07630021	0.72822685	



Tabla 5.4 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$									
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)	
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt					
5	1	10	0.01	0.004	5.92871119	-4.06045039	0.70457566	0.81325901	
				0.005	5.50474571	-3.97310266	0.75870135	0.81325901	
				0.006	5.16111522	-3.90368655	0.81282704	0.81325901	
			0.02	0.004	11.1173058	-5.29855431	0.78551789	0.76946384	
				0.005	9.71243901	-4.93017146	0.84595888	0.76946384	
				0.006	8.69010671	-4.67830084	0.90639986	0.76946384	
			0.03	0.004	28.0585643	-12.6341943	0.86626313	0.73205854	
				0.005	20.5469299	-8.59439714	0.93301495	0.73205854	
				0.006	16.4479964	-6.96475682	0.99976677	0.73205854	
			0.04	0.004	13.8615342	-6.09942514	1.06651859	0.73205854	
				0.005	-169.89569	-0.00049186	0.94684727	0.69962655	
				0.006	139.664333	-3870.09565	1.01990548	0.69962655	
		15	0.01	0.004	51.8052444	-42.710826	1.09296369	0.69962655	
				0.005	32.6156811	-15.9611318	1.1660219	0.69962655	
				0.006	32.6156811	-15.9611318	1.1660219	0.69962655	
			0.02	0.004	5.92791019	-4.06028357	0.6569985	0.84224552	
				0.005	5.50402706	-3.9729562	0.70747304	0.84224552	
				0.006	5.16046206	-3.90355577	0.75794758	0.84224552	
			0.03	0.004	4.8757435	-3.8469619	0.80842212	0.84224552	
				0.005	11.1151768	-5.29797572	0.73245181	0.79688938	
				0.006	9.71066077	-4.92972179	0.78881698	0.79688938	
			0.04	0.004	8.68857676	-4.67793372	0.84518214	0.79688938	
				0.005	7.90980821	-4.4947538	0.90154731	0.79688938	
				0.006	7.90980821	-4.4947538	0.90154731	0.79688938	
		20	0.01	0.004	28.0507594	-12.6291373	0.80770861	0.75815087	
				0.005	20.5417105	-8.59209658	0.86996052	0.75815087	
				0.006	16.4440776	-6.96335701	0.93221244	0.75815087	
			0.02	0.004	13.8583943	-6.09844287	0.99446435	0.75815087	
				0.005	0.004	-169.920249	-0.00049124	0.88280012	0.72456293
				0.006	139.581446	-3853.67679	0.95093491	0.72456293	
			0.03	0.004	51.7859335	-42.668541	1.0190697	0.72456293	
				0.005	32.6052858	-15.9526235	1.0872045	0.72456293	
				0.006	32.6052858	-15.9526235	1.0872045	0.72456293	
			0.04	0.01	0.004	5.92717884	-4.06013126	0.61354769	0.87161056
					0.005	5.50337089	-3.97282249	0.66068727	0.87161056
					0.006	5.15986569	-3.90343636	0.70782685	0.87161056
		0.02		0.004	4.87519583	-3.84685383	0.75496643	0.87161056	
				0.005	11.113233	-5.29744751	0.68399109	0.82467308	
				0.006	9.70903719	-4.92931127	0.73663323	0.82467308	
		0.03		0.004	8.68717986	-4.67759855	0.78927537	0.82467308	
				0.005	7.90858009	-4.49447066	0.84191752	0.82467308	
				0.006	7.90858009	-4.49447066	0.84191752	0.82467308	
		0.04		0.004	28.0436339	-12.6245224	0.75424002	0.78458394	
				0.005	20.5369454	-8.58999676	0.81238135	0.78458394	
				0.006	16.4404998	-6.96207924	0.87052267	0.78458394	
		0.04	0.004	13.8555275	-6.09754619	0.928664	0.78458394		
			0.005	0.004	-169.942691	-0.00049067	0.82432174	0.74982495	
			0.006	139.505815	-3838.75593	0.88795887	0.74982495		
0.007	51.7683058	-42.6299783	0.951596	0.74982495					
0.007	32.5957957	-15.94486	1.01523313	0.74982495					



Tabla 5.5 Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
3	0.6	10	0.01	0.004	5.953617	-4.06564094	2.17798148	0.46162856
				0.005	5.52708988	-3.97765886	2.34490988	0.46162856
				0.006	5.18142195	-3.90775474	2.51183827	0.46162856
			0.02	0.007	4.89499049	-3.85076166	2.67876667	0.46162856
				0.004	11.1835395	-5.31658593	2.43058262	0.43676919
				0.005	9.76775364	-4.94417955	2.61685097	0.43676919
			0.03	0.006	8.73769347	-4.68973396	2.80311932	0.43676919
				0.007	7.95298705	-4.50471974	2.98938767	0.43676919
				0.004	28.3017049	-12.7927481	2.68388972	0.4155369
			0.04	0.005	20.7094344	-8.66633421	2.88945601	0.4155369
				0.006	16.5699687	-7.00846746	3.0950223	0.4155369
				0.007	13.9592447	-6.13007154	3.3005886	0.4155369
		15	0.01	0.004	-169.142059	-0.00051124	2.93824138	0.3971276
				0.005	142.269512	-4423.39471	3.16306374	0.3971276
				0.006	52.4080471	-44.0520619	3.3878861	0.3971276
			0.02	0.007	32.9396904	-16.2286145	3.61270846	0.3971276
				0.004	5.95213109	-4.06533108	2.09039678	0.47125641
				0.005	5.52575687	-3.9773869	2.25063435	0.47125641
			0.03	0.006	5.18021055	-3.90751194	2.41087193	0.47125641
				0.007	4.89387814	-3.85054195	2.5711095	0.47125641
				0.004	11.1795859	-5.31550789	2.33270286	0.44587857
			0.04	0.005	9.76445224	-4.94334238	2.511513	0.44587857
				0.006	8.73485355	-4.68905087	2.69032314	0.44587857
				0.007	7.95049065	-4.50414296	2.86913327	0.44587857
		20	0.01	0.004	28.2871738	-12.7832166	2.57561159	0.42420345
				0.005	20.6997273	-8.66202026	2.77295556	0.42420345
				0.006	16.5626849	-7.0058495	2.97029953	0.42420345
			0.02	0.007	13.9534108	-6.12823746	3.1676435	0.42420345
				0.004	-169.186485	-0.00051008	2.81943513	0.4054102
				0.005	142.112548	-4387.92426	3.03527432	0.4054102
			0.03	0.006	52.3719544	-43.9705832	3.25111351	0.4054102
				0.007	32.920317	-16.2124957	3.4669527	0.4054102
				0.004	5.95070586	-4.06503389	2.00635132	0.48108069
			0.04	0.005	5.52447829	-3.97712607	2.16016671	0.48108069
				0.006	5.17904861	-3.90727906	2.31398209	0.48108069
				0.007	4.8928112	-3.85033123	2.46779748	0.48108069
		0.004	0.01	0.004	11.1757941	-5.31447415	2.23878922	0.4551738
				0.005	9.76128583	-4.94253956	2.41043998	0.4551738
				0.006	8.73212972	-4.68839578	2.58209074	0.4551738
			0.02	0.007	7.94809627	-4.50358981	2.75374149	0.4551738
				0.004	28.2732392	-12.774083	2.47173652	0.43304682
				0.005	20.6904182	-8.65788515	2.66118694	0.43304682
			0.03	0.006	16.5556993	-7.00333968	2.85063736	0.43304682
				0.007	13.9478157	-6.12647896	3.04008778	0.43304682
				0.004	-169.229159	-0.00050897	2.70548099	0.41386178
			0.004	0.005	141.962181	-4354.21105	2.91269547	0.41386178
				0.006	52.3373512	-43.8926086	3.11990996	0.41386178
				0.007	32.9017399	-16.1970545	3.32712445	0.41386178



Tabla 5.5 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=400\text{ kg/cm}^2$									
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)	
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt					
3	0.8	10	0.04	0.004	5.95130212	-4.06515822	2.04151712	0.47689643	
				0.005	5.5250132	-3.97723519	2.19801985	0.47689643	
				0.006	5.17953472	-3.90737648	2.35452257	0.47689643	
				0.007	4.89325757	-3.85041939	2.51110253	0.47689643	
			0.02	0.004	11.1773804	-5.3149066	2.27808271	0.45121487	
				0.005	9.76261051	-4.94287541	2.45272936	0.45121487	
				0.006	8.73326925	-4.68866983	2.627376	0.45121487	
				0.007	7.94909797	-4.50382122	2.80202265	0.45121487	
			0.03	0.004	28.2790686	-12.7779031	2.51519601	0.42928034	
				0.005	20.6943126	-8.6596148	2.70794962	0.42928034	
				0.006	16.5586217	-7.00438955	2.90070323	0.42928034	
				0.007	13.9501564	-6.12721457	3.09345684	0.42928034	
			0.04	0.004	-169.211298	-0.00050943	2.75315489	0.41026217	
				0.005	142.025067	-4368.27876	2.96397861	0.41026217	
				0.006	52.351826	-43.9252091	3.17480234	0.41026217	
				0.007	32.9095112	-16.2035122	3.38562606	0.41026217	
			15	0.01	0.004	5.94989334	-4.06486448	1.95842073	0.48696395
					0.005	5.52374938	-3.97697737	2.10857282	0.48696395
					0.006	5.17838619	-3.9071463	2.25872491	0.48696395
					0.007	4.89220294	-3.8502111	2.408877	0.48696395
				0.02	0.004	11.1736325	-5.31388494	2.18523562	0.46074024
					0.005	9.75948074	-4.94208196	2.35280231	0.46074024
					0.006	8.73057692	-4.68802238	2.520369	0.46074024
					0.007	7.94673128	-4.50327451	2.68793569	0.46074024
		0.03		0.004	28.2652965	-12.7688798	2.41250931	0.43834266	
				0.005	20.6851117	-8.6555289	2.59745656	0.43834266	
				0.006	16.5517173	-7.00190938	2.78240382	0.43834266	
				0.007	13.9446262	-6.12547675	2.96735107	0.43834266	
		0.04		0.004	-169.253515	-0.00050833	2.64051611	0.418923	
				0.005	141.876538	-4335.12534	2.84280999	0.418923	
				0.006	52.3176309	-43.8482328	3.04510388	0.418923	
				0.007	32.8911515	-16.18826	3.24739776	0.418923	
		20		0.01	0.004	5.94854756	-4.06458389	1.87900567	0.49720193
					0.005	5.52254206	-3.97673109	2.02308692	0.49720193
					0.006	5.17728899	-3.90692641	2.16716817	0.49720193
					0.007	4.89119544	-3.85001214	2.31124942	0.49720193
				0.02	0.004	11.1700524	-5.3129092	2.09651154	0.47042689
					0.005	9.75649104	-4.94132414	2.25730965	0.47042689
					0.006	8.72800506	-4.68740398	2.41810776	0.47042689
					0.007	7.94447046	-4.50275231	2.57890587	0.47042689
			0.03	0.004	28.2521429	-12.7602677	2.31439651	0.44755842	
				0.005	20.6763234	-8.65162804	2.49188013	0.44755842	
				0.006	16.5451223	-6.99954118	2.66936375	0.44755842	
				0.007	13.9393437	-6.12381724	2.84684738	0.44755842	
			0.04	0.004	-169.293902	-0.00050728	2.53291328	0.42773048	
				0.005	141.734815	-4303.7256	2.72705115	0.42773048	
				0.006	52.2849785	-43.774855	2.92118902	0.42773048	
				0.007	32.8736171	-16.1737069	3.11532689	0.42773048	



Tabla 5.5 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=400\text{ kg/cm}^2$									
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)	
H/L	L/B	t (cm)	PI	Pt					
3	1	10	0.01	0.004	5.94942944	-4.06476776	1.9310494	0.4904213	
				0.005	5.52333321	-3.97689248	2.07910928	0.4904213	
				0.006	5.17800798	-3.9070705	2.22716915	0.4904213	
			0.02	0.004	11.1723984	-5.31354857	2.15465476	0.46401141	
				0.005	9.75845015	-4.94182072	2.31988883	0.46401141	
				0.006	8.72969037	-4.6878092	2.4851229	0.46401141	
			0.03	0.004	28.260762	-12.7659103	2.37869086	0.44145481	
				0.005	20.6820821	-8.65418397	2.56106603	0.44145481	
				0.006	16.5494438	-7.00109292	2.74344121	0.44145481	
			0.04	0.004	13.9428052	-6.12490464	2.92581638	0.44145481	
				0.005	-169.267431	-0.00050797	2.60342448	0.42189728	
				0.006	141.827667	-4324.27175	2.80290775	0.42189728	
		15	0.01	0.004	5.94807237	-4.06448482	1.85095649	0.5009742	
				0.005	5.52211576	-3.97664414	1.99289317	0.5009742	
				0.006	5.17690158	-3.90684878	2.13482985	0.5009742	
			0.02	0.004	11.1687883	-5.31256473	2.06517669	0.47399602	
				0.005	9.75543542	-4.9410566	2.22358363	0.47399602	
				0.006	8.72709697	-4.68718565	2.38199057	0.47399602	
			0.03	0.004	28.247499	-12.7572285	2.27974909	0.45095405	
				0.005	20.6732206	-8.65025121	2.45459585	0.45095405	
				0.006	16.5427938	-6.99870523	2.62944262	0.45095405	
			0.04	0.004	13.9374786	-6.12323141	2.80428938	0.45095405	
				0.005	-169.308175	-0.00050691	2.49491894	0.43097568	
				0.006	141.684811	-4292.7013	2.68617518	0.43097568	
		20	0.01	0.004	5.94678042	-4.06421549	1.77467566	0.51168084	
				0.005	5.52095673	-3.97640773	1.91077915	0.51168084	
				0.006	5.17584826	-3.9066377	2.04688263	0.51168084	
			0.02	0.004	11.1653516	-5.31162833	1.97996637	0.48412609	
				0.005	9.75256548	-4.94032928	2.13186901	0.48412609	
				0.006	8.7246281	-4.68659212	2.28377164	0.48412609	
			0.03	0.004	28.2348748	-12.7489705	2.18553932	0.46059167	
				0.005	20.6647854	-8.64650935	2.35321311	0.46059167	
				0.006	16.5364635	-6.99643311	2.52088691	0.46059167	
			0.04	0.004	13.932408	-6.12163905	2.6885607	0.46059167	
				0.005	-169.347017	-0.0005059	2.39162013	0.44018633	
				0.006	141.548962	-4262.89319	2.57503716	0.44018633	
					0.007	52.2421231	-43.6787351	2.75845419	0.44018633
					0.007	32.8505997	-16.1546228	2.94187122	0.44018633



Tabla 5.5 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c= 400 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	PI	Pt				
4	0.6	10	0.01	0.004	5.93698117	-4.06217318	1.19509342	0.62402372
				0.005	5.51216539	-3.97461503	1.28683062	0.62402372
				0.006	5.16785858	-3.90503703	1.37856781	0.62402372
			0.02	0.004	11.1392911	-5.30453284	1.33282269	0.59041915
				0.005	9.73080131	-4.93481719	1.43523851	0.59041915
				0.006	8.70590465	-4.68209333	1.53765434	0.59041915
			0.03	0.004	28.1392006	-12.6865588	1.47045822	0.5617176
				0.005	20.6008429	-8.61819678	1.58353992	0.5617176
				0.006	16.4884705	-6.97923103	1.69662161	0.5617176
			0.04	0.004	13.8939618	-6.10957888	1.80970331	0.5617176
				0.005	-169.643307	-0.00049827	1.60810288	0.53683213
				0.006	140.523355	-4044.43282	1.7318377	0.53683213
		15	0.01	0.004	52.0048979	-43.15047	1.85557253	0.53683213
				0.005	32.7231004	-16.0493186	1.97930736	0.53683213
				0.007	5.9359045	-4.06194885	1.13130459	0.64143116
			0.02	0.004	5.51119944	-3.9744181	1.21815391	0.64143116
				0.005	5.16698069	-3.90486119	1.30500322	0.64143116
				0.006	4.88172961	-3.84814328	1.39185253	0.64143116
			0.03	0.004	11.1364284	-5.303754	1.26162875	0.60688916
				0.005	9.72841043	-4.93421205	1.35859081	0.60688916
				0.006	8.70384772	-4.68159937	1.45555287	0.60688916
			0.04	0.004	7.92323377	-4.49785014	1.55251493	0.60688916
				0.005	28.1286969	-12.6797256	1.39183459	0.57738697
				0.006	20.5938213	-8.6150934	1.49889796	0.57738697
		20	0.01	0.004	16.4831996	-6.97734438	1.60596132	0.57738697
				0.005	13.8897391	-6.1082557	1.71302469	0.57738697
				0.006	-169.676043	-0.00049743	1.52201434	0.55180731
			0.02	0.004	140.411182	-4021.22899	1.63916758	0.55180731
				0.005	51.9788764	-43.0929143	1.75632083	0.55180731
				0.006	32.709106	-16.0378022	1.87347408	0.55180731
			0.03	0.004	5.9348883	-4.06173713	1.07107901	0.65927219
				0.005	5.51028773	-3.97423225	1.15331259	0.65927219
				0.006	5.1661521	-3.90469523	1.23554616	0.65927219
			0.04	0.004	4.88096872	-3.8479931	1.31777973	0.65927219
				0.005	11.1337266	-5.30301903	1.19441728	0.62376943
				0.006	9.72615393	-4.93364097	1.28622891	0.62376943
		0.01	0.004	8.70190638	-4.68113321	1.37804053	0.62376943	
			0.005	7.92152706	-4.4974564	1.46985216	0.62376943	
			0.006	28.1187848	-12.6732805	1.31761709	0.59344665	
		0.02	0.004	20.5871948	-8.61216569	1.41899651	0.59344665	
			0.005	16.4782252	-6.97556432	1.52037592	0.59344665	
			0.006	13.8857538	-6.10700719	1.62175534	0.59344665	
		0.03	0.004	-169.706974	-0.00049664	1.44076114	0.56715551	
			0.005	140.305402	-3999.46966	1.5516981	0.56715551	
			0.006	51.9543243	-43.0386791	1.66263506	0.56715551	
		0.04	0.004	32.6959002	-16.0269424	1.77357202	0.56715551	



Tabla 5.5 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	PI	Pt				
4	0.8	10	0.01	0.004	5.93570762	-4.06190783	1.11963823	0.64477454
				0.005	5.51102281	-3.9743821	1.20559349	0.64477454
				0.006	5.16682016	-3.90482903	1.29154875	0.64477454
			0.02	0.007	4.8815822	-3.84811418	1.37750401	0.64477454
				0.004	11.1359049	-5.3036116	1.24860871	0.6100525
				0.005	9.72797326	-4.9341014	1.34457318	0.6100525
			0.03	0.006	8.70347161	-4.68150905	1.44053764	0.6100525
				0.007	7.92290311	-4.49777385	1.53650211	0.6100525
				0.004	28.1267765	-12.6784766	1.37745676	0.58039653
			0.04	0.005	20.5925375	-8.6145261	1.48341922	0.58039653
				0.006	16.4822359	-6.97699948	1.58938167	0.58039653
				0.007	13.888967	-6.10801379	1.69534413	0.58039653
		15	0.01	0.004	-169.682033	-0.00049728	1.50627268	0.55468354
				0.005	140.390681	-4017.00275	1.62222195	0.55468354
				0.006	51.9741192	-43.0824003	1.73817121	0.55468354
			0.02	0.007	32.7065473	-16.0356976	1.85412048	0.55468354
				0.004	5.93469026	-4.06169587	1.05933981	0.66292565
				0.005	5.51011006	-3.97419603	1.14067358	0.66292565
			0.03	0.006	5.16599062	-3.90466289	1.22200735	0.66292565
				0.007	4.88082043	-3.84796383	1.30334112	0.66292565
				0.004	11.1332	-5.30287582	1.18131702	0.62722614
			0.04	0.005	9.72571418	-4.93352969	1.27212457	0.62722614
				0.006	8.70152805	-4.68104237	1.36293212	0.62722614
				0.007	7.92119446	-4.49737967	1.45373967	0.62722614
		20	0.01	0.004	28.1168533	-12.672025	1.30315219	0.59673533
				0.005	20.5859035	-8.61159527	1.40342348	0.59673533
				0.006	16.4772559	-6.97521749	1.50369477	0.59673533
			0.02	0.007	13.8849772	-6.10676391	1.60396606	0.59673533
				0.004	-169.713006	-0.00049649	1.42492622	0.57029849
				0.005	140.284797	-3995.245	1.53465123	0.57029849
			0.03	0.006	51.9495404	-43.0281195	1.64437624	0.57029849
				0.007	32.6933269	-16.0248271	1.75410125	0.57029849
				0.004	5.93373577	-4.06149702	1.00275025	0.68142743
			0.04	0.005	5.50925371	-3.97402147	1.07974599	0.68142743
				0.006	5.16521233	-3.90450701	1.15674173	0.68142743
				0.007	4.88010573	-3.84782277	1.23373748	0.68142743
		0.01	0.004	11.1306624	-5.30218563	1.11816926	0.64473158	
			0.005	9.72359477	-4.93299339	1.20413592	0.64473158	
			0.006	8.69970465	-4.68060458	1.29010258	0.64473158	
		0.02	0.007	7.91959143	-4.49700989	1.37606924	0.64473158	
			0.004	28.1075446	-12.6659759	1.23343054	0.61338979	
			0.005	20.5796802	-8.60884676	1.32835912	0.61338979	
		0.03	0.006	16.472584	-6.97354617	1.4232877	0.61338979	
			0.007	13.8812342	-6.10559158	1.51821628	0.61338979	
			0.004	-169.742094	-0.00049575	1.34860664	0.58621511	
		0.04	0.005	140.185539	-3974.95571	1.45248815	0.58621511	
			0.006	51.9264875	-42.9772706	1.55636966	0.58621511	
			0.007	32.6809258	-16.014637	1.66025117	0.58621511	



Tabla 5.5 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c= 400 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
4	1	10	0.01	0.004	5.93467333	-4.06169234	1.05833616	0.66324082
				0.005	5.51009487	-3.97419293	1.139593	0.66324082
				0.006	5.16597681	-3.90466012	1.22084984	0.66324082
				0.007	4.88080776	-3.84796133	1.30210668	0.66324082
			0.02	0.004	11.133155	-5.30286357	1.18019702	0.62752434
				0.005	9.72567658	-4.93352018	1.27091872	0.62752434
				0.006	8.70149571	-4.6810346	1.36164042	0.62752434
				0.007	7.92116602	-4.49737311	1.45236213	0.62752434
			0.03	0.004	28.1166882	-12.6719176	1.30191553	0.59701903
				0.005	20.5857931	-8.61154651	1.40209208	0.59701903
				0.006	16.477173	-6.97518784	1.50226863	0.59701903
				0.007	13.8849108	-6.10674311	1.60244518	0.59701903
		0.04	0.004	-169.713521	-0.00049648	1.42357245	0.57056962	
			0.005	140.283036	-3994.88406	1.53319384	0.57056962	
			0.006	51.9491315	-43.0272169	1.64281523	0.57056962	
			0.007	32.6931069	-16.0246463	1.75243662	0.57056962	
		15	0.01	0.004	5.93369608	-4.06148875	1.00039719	0.68223055
				0.005	5.50921811	-3.97401421	1.07721253	0.68223055
				0.006	5.16517998	-3.90450053	1.15402788	0.68223055
				0.007	4.88007602	-3.8478169	1.23084323	0.68223055
			0.02	0.004	11.1305569	-5.30215693	1.1155436	0.64549145
				0.005	9.72350666	-4.9329711	1.20130895	0.64549145
				0.006	8.69962884	-4.68058638	1.28707429	0.64549145
				0.007	7.91952478	-4.49699452	1.37283964	0.64549145
			0.03	0.004	28.1071577	-12.6657245	1.2305317	0.61411272
				0.005	20.5794215	-8.60873251	1.32523809	0.61411272
				0.006	16.4723897	-6.9734767	1.41994448	0.61411272
				0.007	13.8810786	-6.10554285	1.51465086	0.61411272
		0.04	0.004	-169.743304	-0.00049572	1.34543367	0.58690602	
			0.005	140.181414	-3974.11478	1.44907216	0.58690602	
			0.006	51.9255293	-42.9751582	1.55271064	0.58690602	
			0.007	32.6804102	-16.0142136	1.65634913	0.58690602	
		20	0.01	0.004	5.93278398	-4.06129874	0.9463043	0.70151029
				0.005	5.50839979	-3.9738474	1.01897226	0.70151029
				0.006	5.16443625	-3.90435158	1.09164022	0.70151029
				0.007	4.87939305	-3.84768211	1.16430819	0.70151029
			0.02	0.004	11.1281321	-5.30149751	1.05518651	0.66373295
				0.005	9.72148144	-4.93245868	1.13632344	0.66373295
				0.006	8.69788646	-4.68016808	1.21746037	0.66373295
				0.007	7.91799297	-4.4966412	1.2985973	0.66373295
			0.03	0.004	28.0982637	-12.6599477	1.16389798	0.63146745
				0.005	20.5734751	-8.60610718	1.25349585	0.63146745
				0.006	16.4679257	-6.97188012	1.34309373	0.63146745
				0.007	13.877502	-6.10442286	1.43269161	0.63146745
		0.04	0.004	-169.771128	-0.00049501	1.27250332	0.6034919	
			0.005	140.086641	-3954.84256	1.37055414	0.6034919	
			0.006	51.9035067	-42.9266404	1.46860496	0.6034919	
			0.007	32.668562	-16.0044841	1.56665578	0.6034919	



Tabla 5.5 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=400 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
5	0.6	10	0.01	0.004	5.9293921	-4.06059221	0.74501086	0.79083783
				0.005	5.50535663	-3.97322716	0.80223919	0.79083783
				0.006	5.16167046	-3.90379773	0.85946752	0.79083783
			0.02	0.007	4.8768532	-3.84718088	0.91669584	0.79083783
				0.004	11.1191157	-5.29904622	0.8306207	0.74825007
				0.005	9.7139507	-4.93055376	0.89452504	0.74825007
			0.03	0.006	8.69140732	-4.67861295	0.95842937	0.74825007
				0.007	7.91229677	-4.49532757	1.02233371	0.74825007
				0.004	28.0651998	-12.6384952	0.91603459	0.71187602
			0.04	0.005	20.5513671	-8.59635344	0.98660996	0.71187602
				0.006	16.4513278	-6.96594707	1.05718533	0.71187602
				0.007	13.8642035	-6.10026031	1.1277607	0.71187602
		15	0.01	0.004	-169.874829	-0.00049239	1.00129267	0.68033817
				0.005	139.734837	-3884.11674	1.0785341	0.68033817
				0.006	51.821664	-42.7468129	1.15577553	0.68033817
			0.02	0.007	32.6245193	-15.9683692	1.23301696	0.68033817
				0.004	5.92856097	-4.06041911	0.69565402	0.81846731
				0.005	5.50461094	-3.97307519	0.74909509	0.81846731
			0.03	0.006	5.16099273	-3.90366202	0.80253615	0.81846731
				0.007	4.87623082	-3.84705806	0.85597722	0.81846731
				0.004	11.1169065	-5.2984458	0.77556671	0.77439167
			0.04	0.005	9.71210552	-4.93008713	0.83524346	0.77439167
				0.006	8.68981978	-4.67823198	0.89492021	0.77439167
				0.007	7.91090105	-4.49500576	0.95459696	0.77439167
		20	0.01	0.004	28.0571005	-12.6332457	0.85528236	0.73674682
				0.005	20.545951	-8.59396563	0.92119044	0.73674682
				0.006	16.4472614	-6.96449428	0.98709853	0.73674682
			0.02	0.007	13.8609453	-6.09924091	1.05300661	0.73674682
				0.004	-169.900294	-0.00049174	0.93483596	0.70410713
				0.005	139.648784	-3867.01032	1.00697104	0.70410713
			0.03	0.006	51.8016225	-42.702892	1.07910613	0.70410713
				0.007	32.6137315	-15.9595357	1.15124121	0.70410713
				0.004	5.92779007	-4.06025855	0.64986268	0.84686528
			0.04	0.005	5.50391928	-3.97293424	0.69978956	0.84686528
				0.006	5.16036411	-3.90353615	0.74971643	0.84686528
				0.007	4.87565355	-3.84694415	0.79964331	0.84686528
		0.01	0.004	11.1148575	-5.29788896	0.72449303	0.80126037	
			0.005	9.71039411	-4.92965436	0.78024682	0.80126037	
			0.006	8.68834733	-4.67787866	0.83600061	0.80126037	
		0.02	0.007	7.9096065	-4.4947073	0.89175439	0.80126037	
			0.004	28.049589	-12.6283792	0.7989271	0.76230937	
			0.005	20.5409279	-8.59175165	0.860504	0.76230937	
		0.03	0.006	16.44349	-6.96314712	0.92208091	0.76230937	
			0.007	13.8579234	-6.09829558	0.98365782	0.76230937	
			0.004	-169.923934	-0.00049115	0.87319544	0.72853719	
		0.04	0.005	139.569021	-3851.22154	0.94059167	0.72853719	
			0.006	51.783038	-42.6622044	1.00798791	0.72853719	
			0.007	32.603727	-15.951348	1.07538415	0.72853719	



Tabla 5.5 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=400\text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	Pl	Pt				
5	0.8	10	0.01	0.004	5.92859576	-4.06042635	0.69772065	0.81725197
				0.005	5.50464216	-3.97308155	0.75132031	0.81725197
				0.006	5.1610211	-3.9036677	0.80491997	0.81725197
			0.02	0.004	4.87625688	-3.8470632	0.85851963	0.81725197
				0.005	11.116999	-5.29847093	0.77787182	0.77324177
				0.006	9.71218277	-4.93010666	0.8377256	0.77324177
			0.03	0.006	8.68988625	-4.67824793	0.89757938	0.77324177
				0.007	7.91095948	-4.49501923	0.95743316	0.77324177
				0.004	28.0574395	-12.6334654	0.85782595	0.73565282
			0.04	0.005	20.5461777	-8.59406558	0.92392948	0.73565282
				0.006	16.4474317	-6.96455509	0.99003302	0.73565282
				0.007	13.8610817	-6.09928358	1.05613655	0.73565282
		15	0.01	0.004	-169.899228	-0.00049177	0.93761824	0.70306159
				0.005	139.652385	-3867.72475	1.00996717	0.70306159
				0.006	51.8024615	-42.7047297	1.08231609	0.70306159
			0.02	0.007	32.6141831	-15.9599054	1.15466501	0.70306159
				0.004	5.92781327	-4.06026338	0.65124117	0.84596693
				0.005	5.5039401	-3.97293848	0.70127384	0.84596693
			0.03	0.006	5.16038303	-3.90353994	0.75130652	0.84596693
				0.007	4.87567092	-3.84694758	0.8013392	0.84596693
				0.004	11.1149192	-5.29790572	0.72603049	0.80041039
			0.04	0.005	9.71044562	-4.92966739	0.78190239	0.80041039
				0.006	8.68839165	-4.6778893	0.83777428	0.80041039
				0.007	7.90964547	-4.49471628	0.89364618	0.80041039
		20	0.01	0.004	28.0498151	-12.6285257	0.80062349	0.76150071
				0.005	20.5410791	-8.59181829	0.86233079	0.76150071
				0.006	16.4436035	-6.96318767	0.9240381	0.76150071
			0.02	0.007	13.8580144	-6.09832403	0.9857454	0.76150071
				0.004	-169.923222	-0.00049116	0.87505083	0.72776437
				0.005	139.571421	-3851.69569	0.94258974	0.72776437
			0.03	0.006	51.7835973	-42.6634284	1.01012866	0.72776437
				0.007	32.6040281	-15.9515944	1.07766757	0.72776437
				0.004	5.92709352	-4.06011349	0.60847782	0.87524024
			0.04	0.005	5.50329433	-3.97280689	0.65522825	0.87524024
				0.006	5.15979611	-3.90342243	0.70197867	0.87524024
				0.007	4.87513194	-3.84684123	0.7487291	0.87524024
		0.8	0.01	0.004	11.1130062	-5.29738589	0.67833684	0.82810729
				0.005	9.70884778	-4.92926338	0.73054453	0.82810729
				0.006	8.6870169	-4.67755945	0.78275223	0.82810729
			0.02	0.007	7.90843681	-4.49443763	0.83495992	0.82810729
				0.004	28.0428026	-12.6239841	0.74800173	0.78785121
				0.005	20.5363895	-8.58975183	0.80566337	0.78785121
			0.03	0.006	16.4400824	-6.96193019	0.86332502	0.78785121
				0.007	13.8551931	-6.09744159	0.92098666	0.78785121
				0.004	-169.94531	-0.00049061	0.81749931	0.75294747
			0.04	0.005	139.496995	-3837.01953	0.88061157	0.75294747
				0.006	51.7662495	-42.6254821	0.94372384	0.75294747
				0.007	32.5946886	-15.9439545	1.0068361	0.75294747



Tabla 5.5 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=400\text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Lado mayor	Relación entre lados exteriores menor entre mayor	Espesor de columna	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/L	L/B	t (cm)	PI	Pt				
5	1	10	0.01	0.004	5.92794644	-4.06029112	0.6591519	0.84086615
				0.005	5.50405958	-3.97296283	0.7097917	0.84086615
				0.006	5.16049162	-3.90356169	0.76043151	0.84086615
			0.02	0.004	11.1152731	-5.2980019	0.73485357	0.79558429
				0.005	9.71074125	-4.92974214	0.79140323	0.79558429
				0.006	8.688646	-4.67795033	0.84795289	0.79558429
			0.03	0.004	28.0511126	-12.6293661	0.81035867	0.75690922
				0.005	20.5419467	-8.59220068	0.87281428	0.75690922
				0.006	16.444255	-6.96342035	0.93526989	0.75690922
			0.04	0.004	13.8585364	-6.09848731	0.9977255	0.75690922
				0.005	-169.919137	-0.00049127	0.88569862	0.72337629
				0.006	139.585196	-3854.4181	0.95405628	0.72337629
		15	0.01	0.004	5.92719717	-4.06013507	0.61463688	0.87083665
				0.005	5.50338733	-3.97282584	0.66186006	0.87083665
				0.006	5.15988063	-3.90343935	0.70908325	0.87083665
			0.02	0.004	4.87520956	-3.84685654	0.75630643	0.87083665
				0.005	11.1132817	-5.29746075	0.68520582	0.82394084
				0.006	9.70907789	-4.92932156	0.7379413	0.82394084
			0.03	0.004	8.68721488	-4.67760695	0.79067678	0.82394084
				0.005	7.90861087	-4.49447776	0.84341225	0.82394084
				0.006	28.0438125	-12.624638	0.75558023	0.78388729
			0.04	0.004	20.5370648	-8.59004939	0.81382461	0.78388729
				0.005	16.4405895	-6.96211126	0.87206899	0.78388729
				0.006	13.8555994	-6.09756866	0.93031337	0.78388729
		20	0.01	0.004	-169.942128	-0.00049069	0.82578746	0.74915916
				0.005	139.50771	-3839.12909	0.88953735	0.74915916
				0.006	51.7687475	-42.6309443	0.95328724	0.74915916
			0.02	0.004	32.5960335	-15.9450545	1.01703713	0.74915916
				0.005	5.92651305	-4.0599926	0.57398329	0.90119852
				0.006	5.50277353	-3.97270076	0.61808581	0.90119852
			0.03	0.004	5.15932277	-3.90332766	0.66218833	0.90119852
				0.005	4.87469726	-3.84675546	0.70629085	0.90119852
				0.006	11.1114634	-5.29696672	0.63986731	0.85266769
			0.04	0.004	9.70755919	-4.92893758	0.68911886	0.85266769
				0.005	8.68590821	-4.67729345	0.7383704	0.85266769
				0.006	7.90746207	-4.49421293	0.78762194	0.85266769
		0.03	0.004	28.0371478	-12.620323	0.70556009	0.81121767	
			0.005	20.5326077	-8.58808577	0.7599577	0.81121767	
			0.006	16.4372429	-6.96091628	0.81435531	0.81121767	
		0.04	0.004	13.8529179	-6.09673004	0.86875292	0.81121767	
			0.005	-169.963136	-0.00049016	0.77108549	0.77527873	
			0.006	139.437004	-3825.23073	0.83062621	0.77527873	
		0.04	0.004	51.7522617	-42.5949102	0.89016692	0.77527873	
			0.006	32.5871575	-15.9377966	0.94970764	0.77527873	



5.2.1.1 COMPARACIÓN DE ALGUNAS FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE COLUMNAS RECTANGULARES DE SECCIÓN HUECA

En la *figura 5.1* se observa que las columnas con menor espesor son menos vulnerables sísmicamente. Mientras que en la *figura 5.2* indica que las columnas con menor relación de altura entre lado corto soportan mayores aceleraciones.

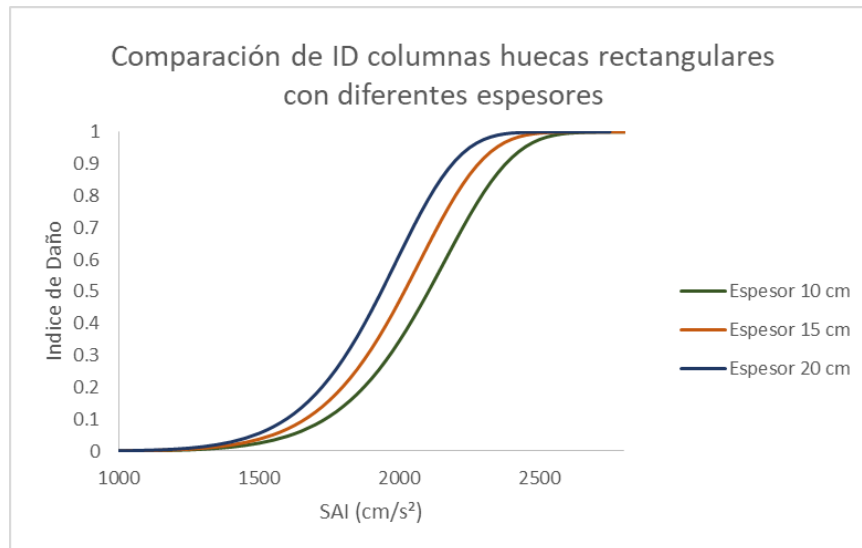


Figura 5.1.- Comparación de índice de daño con diferentes espesores

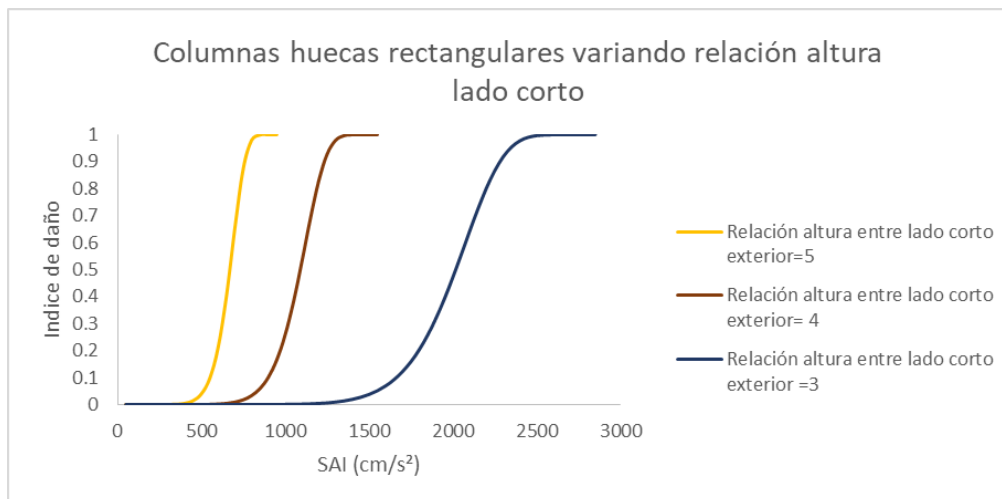


Figura 5.2.- Comparación de índice de daño variando la relación de altura



En la tabla 5.6 se muestran las propiedades geométricas y mecánicas de los especímenes comparados en las figuras 5.1 y 5.2, mientras tanto en la tabla 5.7 se muestran las empleadas de la figura 5.3 y 5.4.

Propiedades de columna hueca rectangular						Propiedades de columna hueca rectangular					
Espesor e	Relación lado exterior menor entre altura H/L	Cuantía		f'c (kg/cm ²)	L/B	Relación lado exterior menor entre altura H/L	Espesor e	Cuantía		f'c (kg/cm ²)	L/B
		Longitudinal Pl	transversal Pt					Longitudinal Pl	transversal Pt		
10	3	0.02	0.005	350	0.8	3	15	0.02	0.005	350	0.8
15	3	0.02	0.005	350	0.8	4	15	0.02	0.005	350	0.8
20	3	0.02	0.005	350	0.8	5	15	0.02	0.005	350	0.8

Tabla 5.6.- Propiedades geométricas y mecánicas figuras 5.1 y 5.2

En la figura 5.3 se observa que las columnas con menor cuantía transversal son más vulnerables sísmicamente. Mientras que en la figura 4.4 indica que las columnas con menor relación lado corto entre lado largo soportan mayores aceleraciones.

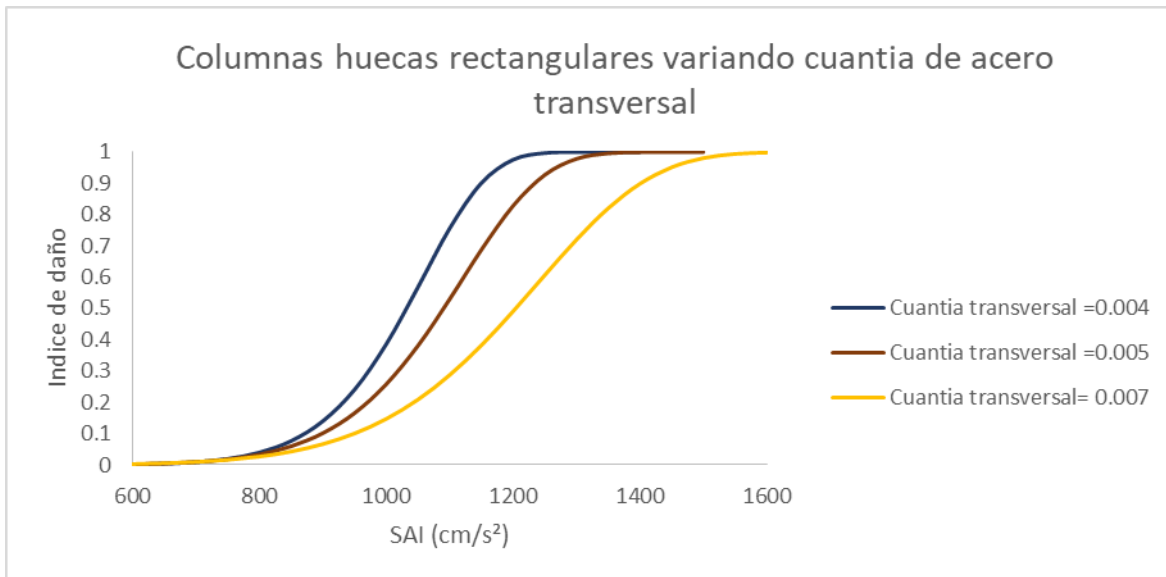


Figura 5.3.- Comparación de índice de daño variando la cuantía transversal.

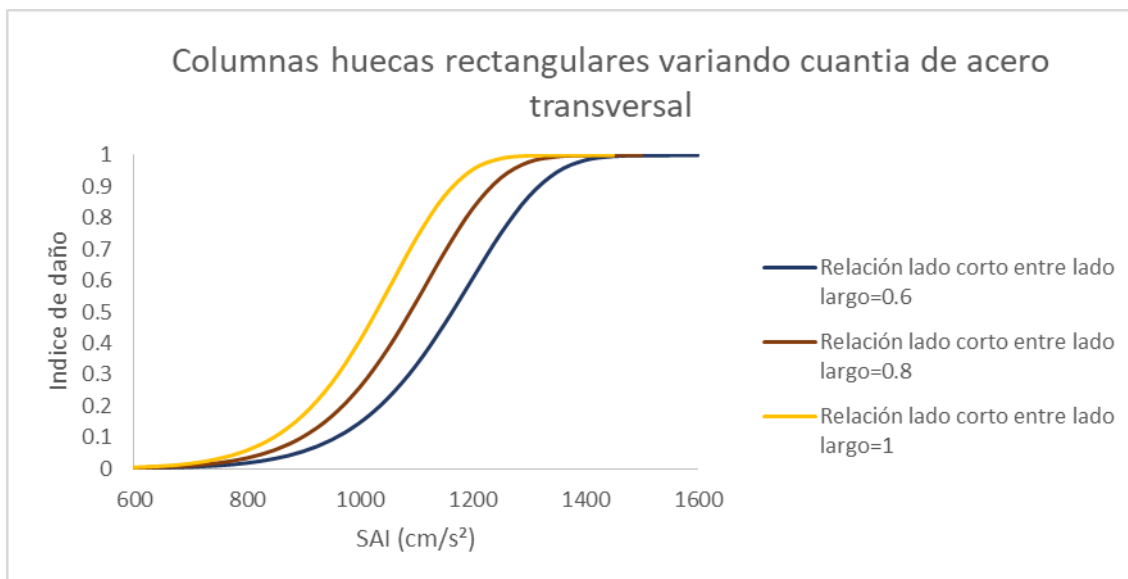


Figura 5.4.- Comparación de índice de daño variando la relación lado corto y largo.

Propiedades de columna hueca rectangular figura 4.4						Propiedades de columna hueca rectangular figura 4.3					
Relación lado corto entre lado largo	Cuantía transversal	Relación lado exterior menor entre altura	Espesor	Cuantía Longitudinal	f'c (kg/cm ²)	Cuantía transversal	Relación lado exterior menor entre altura	Espesor	Cuantía Longitudinal	f'c (kg/cm ²)	L/B
L/B	Pt	H/L	e	Pl		Pt	H/L	e	Pl		
0.6	0.005	4	15	0.02	350	0.004	4	15	0.02	350	0.8
0.8	0.005	4	15	0.02	350	0.006	4	15	0.02	350	0.8
1	0.005	4	15	0.02	350	0.007	4	15	0.02	350	0.8

Tabla 5.7.- Propiedades geométricas y mecánicas figuras 5.3 y 5.4



5.2.2 COLUMNAS CIRCULARES DE SECCIÓN HUECA

Tabla 5.8 Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
3	0.4	0.01	0.004	4.1985924	-3.71563803	2.50486176	0.60386339
			0.005	4.19078972	-3.71415124	2.51119825	0.60386339
			0.006	4.18303555	-3.71267428	2.51753473	0.60386339
			0.007	4.17532941	-3.71120705	2.52387122	0.60386339
		0.02	0.004	14.1394966	-6.1870113	2.88641134	0.5617527
			0.005	14.0512222	-6.1590605	2.89372723	0.5617527
			0.006	13.9642618	-6.1316493	2.90104312	0.5617527
			0.007	13.8785863	-6.1047624	2.90835901	0.5617527
	0.5	0.01	0.004	4.19958158	-3.71582657	2.69834189	0.58171825
			0.005	4.19177604	-3.71433915	2.70516711	0.58171825
			0.006	4.18401903	-3.71286157	2.71199233	0.58171825
			0.007	4.17631005	-3.71139373	2.71881755	0.58171825
		0.02	0.004	14.1457565	-6.1889981	3.10980249	0.54115186
			0.005	14.0574313	-6.1610224	3.11768214	0.54115186
			0.006	13.9704211	-6.1335868	3.12556179	0.54115186
			0.007	13.8846964	-6.106676	3.13344144	0.54115186
	0.6	0.01	0.004	4.20079052	-3.71605699	2.93464999	0.55769691
			0.005	4.19298147	-3.71456882	2.94207199	0.55769691
			0.006	4.18522097	-3.71309049	2.94949399	0.55769691
			0.007	4.17750854	-3.71162189	2.95691599	0.55769691
		0.02	0.004	14.1534081	-6.1914277	3.38272847	0.51880566
			0.005	14.0650209	-6.1634213	3.39129641	0.51880566
			0.006	13.9779497	-6.1359558	3.39986436	0.51880566
			0.007	13.892165	-6.1090158	3.40843231	0.51880566
	0.7	0.01	0.004	4.20221916	-3.71632931	3.21368587	0.53281269
			0.005	4.19440597	-3.71484024	3.22181236	0.53281269
			0.006	4.18664135	-3.71336102	3.22993886	0.53281269
			0.007	4.17892483	-3.71189154	3.23806535	0.53281269
		0.02	0.004	14.1624521	-6.1943005	3.70512496	0.49565675
			0.005	14.0739915	-6.166258	3.71450529	0.49565675
			0.006	13.9868482	-6.1387571	3.72388562	0.49565675
			0.007	13.9009925	-6.1117826	3.73326594	0.49565675
0.8	0.01	0.004	4.20386744	-3.71664353	3.53533144	0.50786206	
		0.005	4.19604947	-3.71515342	3.54426975	0.50786206	
		0.006	4.18828011	-3.71367316	3.55320805	0.50786206	
		0.007	4.18055887	-3.71220266	3.56214635	0.50786206	
	0.02	0.004	14.1728888	-6.1976174	4.07691621	0.47244606	
		0.005	14.0843436	-6.1695331	4.08723248	0.47244606	
		0.006	13.9971117	-6.1419914	4.09754875	0.47244606	
		0.007	13.9111795	-6.1149769	4.10786502	0.47244606	



**Tabla 5.8 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas
sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$**

Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
4	0.4	0.01	0.004	4.19301364	-3.71457495	1.41157119	0.80513968
			0.005	4.18522714	-3.71309166	1.41514409	0.80513968
			0.006	4.17748903	-3.71161818	1.41871699	0.80513968
			0.007	4.16979884	-3.7101544	1.42228989	0.80513968
		0.02	0.004	14.1042094	-6.1758229	1.62529041	0.74899289
			0.005	14.0162209	-6.1480129	1.62941708	0.74899289
			0.006	13.9295418	-6.1207391	1.63354376	0.74899289
			0.007	13.8441429	-6.0939865	1.63767043	0.74899289
	0.5	0.01	0.004	4.19357026	-3.714681	1.52081533	0.77561325
			0.005	4.18578214	-3.71319736	1.52466452	0.77561325
			0.006	4.17804243	-3.71172354	1.52851372	0.77561325
			0.007	4.17035065	-3.71025941	1.53236291	0.77561325
		0.02	0.004	14.1077289	-6.1769379	1.75121404	0.7215255
			0.005	14.0197119	-6.1491138	1.75565966	0.7215255
			0.006	13.9330047	-6.1218264	1.76010529	0.7215255
			0.007	13.8475782	-6.0950604	1.76455091	0.7215255
	0.6	0.01	0.004	4.19425054	-3.71481062	1.65428251	0.74358526
			0.005	4.18646046	-3.71332656	1.65846921	0.74358526
			0.006	4.17871879	-3.71185231	1.66265591	0.74358526
			0.007	4.17102506	-3.71038776	1.66684261	0.74358526
		0.02	0.004	14.1120307	-6.178301	1.90508634	0.691731
			0.005	14.0239788	-6.1504598	1.90992155	0.691731
			0.006	13.9372374	-6.1231557	1.91475675	0.691731
			0.007	13.8517772	-6.0963733	1.91959196	0.691731
	0.7	0.01	0.004	4.19505448	-3.71496381	1.81194072	0.71040677
			0.005	4.18726207	-3.71347924	1.81652603	0.71040677
			0.006	4.17951808	-3.71200449	1.82111135	0.71040677
			0.007	4.17182205	-3.71053945	1.82569667	0.71040677
		0.02	0.004	14.117115	-6.1799125	2.08688672	0.66086623
			0.005	14.029022	-6.152051	2.09218201	0.66086623
			0.006	13.94224	-6.1247271	2.0974773	0.66086623
			0.007	13.85674	-6.0979254	2.10277259	0.66086623
	0.8	0.01	0.004	4.19598206	-3.71514057	1.99375219	0.67713974
			0.005	4.18818695	-3.71365542	1.99879711	0.67713974
			0.006	4.1804403	-3.71218009	2.00384203	0.67713974
			0.007	4.17274162	-3.71071447	2.00888695	0.67713974
		0.02	0.004	14.122982	-6.1817725	2.29659092	0.62991909
			0.005	14.0348414	-6.1538877	2.30241662	0.62991909
			0.006	13.9480127	-6.1265409	2.30824233	0.62991909
			0.007	13.8624666	-6.0997169	2.31406803	0.62991909



**Tabla 5.8 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas
sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$**

Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
5	0.4	0.01	0.004	4.19043071	-3.71408285	0.9041625	1.0064246
			0.005	4.18265169	-3.71260118	0.9064517	1.0064246
			0.006	4.17492102	-3.71112931	0.90874089	1.0064246
			0.007	4.16723821	-3.70966713	0.91103008	1.0064246
		0.02	0.004	14.0878813	-6.1706527	1.04067297	0.93624112
			0.005	14.000025	-6.1429076	1.04331743	0.93624112
			0.006	13.9134759	-6.1156973	1.04596188	0.93624112
			0.007	13.828205	-6.0890067	1.04860633	0.93624112
	0.5	0.01	0.004	4.190787	-3.71415072	0.97420043	0.96951656
			0.005	4.18300695	-3.71266883	0.97666685	0.96951656
			0.006	4.17527525	-3.71119674	0.97913328	0.96951656
			0.007	4.16759142	-3.70973434	0.9815997	0.96951656
		0.02	0.004	14.0901332	-6.1713655	1.12134236	0.90190688
			0.005	14.0022587	-6.1436114	1.12419148	0.90190688
			0.006	13.9156917	-6.1163924	1.12704061	0.90190688
			0.007	13.8304031	-6.0896933	1.12988973	0.90190688
	0.6	0.01	0.004	4.19122245	-3.71423368	1.05978037	0.92948158
			0.005	4.18344114	-3.71275152	1.06246333	0.92948158
			0.006	4.17570819	-3.71127915	1.0651463	0.92948158
			0.007	4.16802312	-3.70981648	1.06782927	0.92948158
		0.02	0.004	14.0928857	-6.1722368	1.21992414	0.86466375
			0.005	14.0049888	-6.1444718	1.22302332	0.86466375
			0.006	13.9184	-6.1172421	1.2261225	0.86466375
			0.007	13.8330898	-6.0905325	1.22922168	0.86466375
	0.7	0.01	0.004	4.19173707	-3.71433173	1.16088915	0.88800847
			0.005	4.18395426	-3.71284924	1.16382793	0.88800847
			0.006	4.17621983	-3.71137655	1.16676671	0.88800847
			0.007	4.16853329	-3.70991356	1.16970549	0.88800847
		0.02	0.004	14.0961387	-6.1732668	1.33640985	0.82608278
			0.005	14.0082155	-6.1454889	1.33980441	0.82608278
			0.006	13.9216008	-6.1182465	1.34319897	0.82608278
			0.007	13.8362651	-6.0915246	1.34659352	0.82608278
0.8	0.01	0.004	4.19233083	-3.71444485	1.27751124	0.84642468	
		0.005	4.18454631	-3.71296199	1.28074504	0.84642468	
		0.006	4.17681017	-3.71148894	1.28397885	0.84642468	
		0.007	4.16912193	-3.71002558	1.28721265	0.84642468	
	0.02	0.004	14.0998924	-6.1744555	1.47078949	0.78739886	
		0.005	14.0119389	-6.1466627	1.47452468	0.78739886	
		0.006	13.9252942	-6.1194057	1.47825987	0.78739886	
		0.007	13.8399291	-6.0926695	1.48199507	0.78739886	



**Tabla 5.8 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas
sección rectangular $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$**

Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
6	0.4	0.01	0.004	4.18902748	-3.71381553	0.6281767	1.20770948
			0.005	4.18125253	-3.71233475	0.62976738	1.20770948
			0.006	4.17352589	-3.71086375	0.63135805	1.20770948
			0.007	4.16584709	-3.70940243	0.63294872	1.20770948
		0.02	0.004	14.0790132	-6.1678464	0.72287373	1.1234893
			0.005	13.9912287	-6.1401366	0.72471143	1.1234893
			0.006	13.9047503	-6.1129607	0.72654914	1.1234893
	0.5	0.01	0.004	4.18927492	-3.71386267	0.67686016	1.16341985
			0.005	4.18149926	-3.71238173	0.67857406	1.16341985
			0.006	4.17377191	-3.71091057	0.68028797	1.16341985
			0.007	4.1660924	-3.70944911	0.68200188	1.16341985
		0.02	0.004	14.0805768	-6.1683412	0.77892374	1.08228823
			0.005	13.9927797	-6.1406251	0.78090378	1.08228823
			0.006	13.9062888	-6.1134431	0.78288382	1.08228823
	0.6	0.01	0.004	4.18957735	-3.71392028	0.73635156	1.11537787
			0.005	4.1818008	-3.71243915	0.73821604	1.11537787
			0.006	4.17407258	-3.71096781	0.74008053	1.11537787
			0.007	4.16639222	-3.70950615	0.74194502	1.11537787
		0.02	0.004	14.082488	-6.1689459	0.84742249	1.03759647
			0.005	13.9946754	-6.1412222	0.84957645	1.03759647
			0.006	13.9081693	-6.1140329	0.85173041	1.03759647
	0.7	0.01	0.004	4.18993475	-3.71398836	0.80664452	1.06561014
			0.005	4.18215717	-3.71250701	0.80868692	1.06561014
			0.006	4.17442793	-3.71103545	0.81072932	1.06561014
			0.007	4.16674653	-3.70957357	0.81277172	1.06561014
		0.02	0.004	14.0847467	-6.1696606	0.92836587	0.99129932
			0.005	13.9969158	-6.141928	0.93072531	0.99129932
			0.006	13.9103918	-6.1147299	0.93308475	0.99129932
	0.8	0.01	0.004	4.19034713	-3.71406692	0.88773154	1.01570959
			0.005	4.18256836	-3.71258531	0.88997915	1.01570959
			0.006	4.17483793	-3.71111349	0.89222676	1.01570959
			0.007	4.16715536	-3.70965136	0.89447437	1.01570959
0.02		0.004	14.087353	-6.1704855	1.02174905	0.94487861	
		0.005	13.999501	-6.1427425	1.02434549	0.94487861	
		0.006	13.9129562	-6.1155342	1.02694192	0.94487861	
			0.007	13.8276894	-6.0888457	1.02953836	0.94487861



Tabla 5.9 Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$							
Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
3	0.4	0.01	0.004	4.19764658	-3.71545778	2.31976053	0.62758911
			0.005	4.18984665	-3.71397158	2.32562935	0.62758911
			0.006	4.18209521	-3.71249521	2.33149817	0.62758911
			0.007	4.17439177	-3.71102856	2.33736699	0.62758911
		0.02	0.004	14.1335121	-6.1851123	2.67275361	0.58382389
			0.005	14.0452861	-6.1571855	2.67952997	0.58382389
			0.006	13.9583735	-6.1297976	2.68630633	0.58382389
			0.007	13.8727449	-6.1029335	2.6930827	0.58382389
	0.5	0.01	0.004	4.19856245	-3.71563233	2.49900195	0.60457389
			0.005	4.19075986	-3.71414555	2.50532364	0.60457389
			0.006	4.18300578	-3.71266861	2.51164532	0.60457389
			0.007	4.17529972	-3.7112014	2.517967	0.60457389
		0.02	0.004	14.1393071	-6.1869511	2.87964662	0.56241365
			0.005	14.0510342	-6.1590011	2.88694544	0.56241365
			0.006	13.9640754	-6.1315906	2.89424425	0.56241365
			0.007	13.8784013	-6.1047045	2.90154306	0.56241365
	0.6	0.01	0.004	4.19968177	-3.71584566	2.71793096	0.57960876
			0.005	4.19187594	-3.71435818	2.72480566	0.57960876
			0.006	4.18411863	-3.71288054	2.73168035	0.57960876
			0.007	4.17640937	-3.71141264	2.73855505	0.57960876
		0.02	0.004	14.1463905	-6.1891994	3.13242346	0.53918947
			0.005	14.0580602	-6.1612211	3.14036018	0.53918947
			0.006	13.9710449	-6.133783	3.1482969	0.53918947
			0.007	13.8853153	-6.1068698	3.15623361	0.53918947
	0.7	0.01	0.004	4.20100451	-3.71609778	2.97646152	0.55374684
			0.005	4.19319485	-3.71460947	2.9839891	0.55374684
			0.006	4.18543373	-3.71313101	2.99151668	0.55374684
			0.007	4.17772069	-3.71166228	2.99904426	0.55374684
		0.02	0.004	14.1547627	-6.1918579	3.43102888	0.51513104
			0.005	14.0663645	-6.1638461	3.43971858	0.51513104
			0.006	13.9792825	-6.1363753	3.44840828	0.51513104
			0.007	13.8934872	-6.1094301	3.45709798	0.51513104
0.8	0.01	0.004	4.20253064	-3.71638869	3.27449224	0.5278159	
		0.005	4.19471655	-3.71489942	3.28277223	0.5278159	
		0.006	4.18695103	-3.71342	3.29105222	0.5278159	
		0.007	4.17923362	-3.71195033	3.2993322	0.5278159	
	0.02	0.004	14.1644241	-6.1949271	3.77539781	0.49100841	
		0.005	14.0759476	-6.1668767	3.78495512	0.49100841	
		0.006	13.9887885	-6.1393681	3.79451243	0.49100841	
		0.007	13.9029174	-6.112386	3.80406973	0.49100841	



**Tabla 5.9 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas
sección rectangular $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$**

Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
4	0.4	0.01	0.004	4.19248144	-3.71447355	1.30708641	0.83677352
			0.005	4.18469649	-3.71299059	1.31039502	0.83677352
			0.006	4.17695991	-3.71151744	1.31370364	0.83677352
			0.007	4.16927124	-3.71005399	1.31701226	0.83677352
		0.02	0.004	14.1008446	-6.1747571	1.50487158	0.77842073
			0.005	14.0128833	-6.1469604	1.50869314	0.77842073
			0.006	13.9262311	-6.1196998	1.51251471	0.77842073
			0.007	13.8408585	-6.09296	1.51633628	0.77842073
	0.5	0.01	0.004	4.19299679	-3.71457174	1.40826305	0.806087
			0.005	4.18521033	-3.71308846	1.41182759	0.806087
			0.006	4.17747227	-3.71161499	1.41539212	0.806087
			0.007	4.16978213	-3.71015122	1.41895665	0.806087
		0.02	0.004	14.1041029	-6.1757892	1.6214775	0.74987415
			0.005	14.0161152	-6.1479795	1.62559452	0.74987415
			0.006	13.929437	-6.1207062	1.62971153	0.74987415
			0.007	13.8440389	-6.093954	1.63382855	0.74987415
	0.6	0.01	0.004	4.19362663	-3.71469174	1.53187755	0.77280063
			0.005	4.18583835	-3.71320807	1.53575472	0.77280063
			0.006	4.17809848	-3.71173421	1.53963188	0.77280063
			0.007	4.17040653	-3.71027005	1.54350905	0.77280063
		0.02	0.004	14.1080854	-6.1770509	1.76396637	0.71890902
			0.005	14.0200654	-6.1492254	1.76844428	0.71890902
			0.006	13.9333555	-6.1219366	1.7729222	0.71890902
			0.007	13.8479262	-6.0951692	1.77740012	0.71890902
	0.7	0.01	0.004	4.19437096	-3.71483357	1.67790245	0.73831857
			0.005	4.18658053	-3.71334943	1.68214887	0.73831857
			0.006	4.17883851	-3.7118751	1.68639529	0.73831857
			0.007	4.17114444	-3.71041048	1.69064171	0.73831857
		0.02	0.004	14.1127923	-6.1785424	1.93232052	0.68683158
			0.005	14.0247342	-6.1506981	1.93722467	0.68683158
			0.006	13.9379867	-6.123391	1.94212881	0.68683158
			0.007	13.8525205	-6.0966058	1.94703296	0.68683158
0.8	0.01	0.004	4.19522977	-3.71499722	1.84630534	0.70374448	
		0.005	4.18743684	-3.71351254	1.85097753	0.70374448	
		0.006	4.17969235	-3.71203767	1.85564973	0.70374448	
		0.007	4.17199583	-3.71057252	1.86032192	0.70374448	
	0.02	0.004	14.1182237	-6.1802639	2.12651914	0.65466853	
		0.005	14.0301216	-6.152398	2.1319147	0.65466853	
		0.006	13.9433308	-6.1250698	2.13731026	0.65466853	
		0.007	13.8578221	-6.0982639	2.14270582	0.65466853	



**Tabla 5.9 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas
sección rectangular $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$**

Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
5	0.4	0.01	0.004	4.19009006	-3.71401795	0.83718435	1.0459669
			0.005	4.18231203	-3.7125365	0.83930404	1.0459669
			0.006	4.17458233	-3.71106484	0.84142373	1.0459669
			0.007	4.16690005	-3.70960287	0.84354342	1.0459669
		0.02	0.004	14.0857282	-6.1699713	0.96353551	0.97302592
			0.005	13.9978894	-6.1422347	0.96598422	0.97302592
			0.006	13.9113575	-6.1150328	0.96843292	0.97302592
	0.5	0.01	0.004	4.19041992	-3.71408079	0.90204176	1.00760875
			0.005	4.18264094	-3.71259913	0.90432558	1.00760875
			0.006	4.17491029	-3.71112727	0.9066094	1.00760875
			0.007	4.16722752	-3.70966509	0.90889323	1.00760875
		0.02	0.004	14.0878131	-6.1706311	1.03823043	0.93734269
			0.005	13.9999573	-6.1428863	1.04086869	0.93734269
			0.006	13.9134089	-6.1156762	1.04350694	0.93734269
	0.6	0.01	0.004	4.19082308	-3.7141576	0.98129307	0.96600079
			0.005	4.18304293	-3.71267569	0.98377744	0.96600079
			0.006	4.17531113	-3.71120357	0.98626182	0.96600079
			0.007	4.1676272	-3.70974114	0.98874619	0.96600079
		0.02	0.004	14.0903613	-6.1714377	1.1295121	0.89863628
			0.005	14.0024849	-6.1436827	1.13238195	0.89863628
			0.006	13.9159161	-6.1164628	1.1352518	0.89863628
	0.7	0.01	0.004	4.19129953	-3.71424837	1.07492701	0.92289821
			0.005	4.183518	-3.71276616	1.07764831	0.92289821
			0.006	4.17578483	-3.71129374	1.0803696	0.92289821
			0.007	4.16809953	-3.70983102	1.08309089	0.92289821
		0.02	0.004	14.0933729	-6.1723911	1.23737325	0.85853947
			0.005	14.0054721	-6.1446242	1.24051668	0.85853947
			0.006	13.9188794	-6.1173925	1.24366011	0.85853947
	0.8	0.01	0.004	4.19184927	-3.7143531	1.18293025	0.8796806
			0.005	4.18406614	-3.71287055	1.18592479	0.8796806
			0.006	4.17633139	-3.71139779	1.18891933	0.8796806
			0.007	4.16864452	-3.70993473	1.19191387	0.8796806
		0.02	0.004	14.096848	-6.1734914	1.3618053	0.81833566
			0.005	14.0089191	-6.1457107	1.36526424	0.81833566
			0.006	13.9222987	-6.1184655	1.36872319	0.81833566
			0.007	13.8369575	-6.0917409	1.37218213	0.81833566



**Tabla 5.9 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas
sección rectangular $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$**

Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
6	0.4	0.01	0.004	4.1887909	-3.71377046	0.58162329	1.25516024
			0.005	4.18101663	-3.71228983	0.58309612	1.25516024
			0.006	4.17329068	-3.71081898	0.58456895	1.25516024
			0.007	4.16561255	-3.70935781	0.58604178	1.25516024
		0.02	0.004	14.0775182	-6.1673735	0.66927979	1.16763106
			0.005	13.9897458	-6.1396696	0.67098137	1.16763106
			0.006	13.9032793	-6.1124995	0.67268296	1.16763106
			0.007	13.8180896	-6.0858482	0.67438454	1.16763106
	0.5	0.01	0.004	4.18901999	-3.7138141	0.62670261	1.20913047
			0.005	4.18124506	-3.71233332	0.62828955	1.20913047
			0.006	4.17351844	-3.71086233	0.62987649	1.20913047
			0.007	4.16583967	-3.70940102	0.63146343	1.20913047
		0.02	0.004	14.0789658	-6.1678315	0.72117664	1.1248112
			0.005	13.9911817	-6.1401218	0.72301004	1.1248112
			0.006	13.9047037	-6.1129461	0.72484343	1.1248112
			0.007	13.8195026	-6.0862893	0.72667683	1.1248112
	0.6	0.01	0.004	4.18929998	-3.71386744	0.68179045	1.15920093
			0.005	4.18152424	-3.71238649	0.68351684	1.15920093
			0.006	4.17379682	-3.71091532	0.68524323	1.15920093
			0.007	4.16611725	-3.70945384	0.68696961	1.15920093
		0.02	0.004	14.0807352	-6.1683913	0.78460029	1.07836351
			0.005	13.9929368	-6.1406746	0.78659474	1.07836351
			0.006	13.9064447	-6.113492	0.7885892	1.07836351
			0.007	13.8212297	-6.0868285	0.79058366	1.07836351
	0.7	0.01	0.004	4.18963088	-3.71393048	0.74688137	1.10747783
			0.005	4.18185418	-3.71244931	0.74877251	1.10747783
			0.006	4.17412581	-3.71097794	0.75066365	1.10747783
			0.007	4.16644529	-3.70951625	0.75255479	1.10747783
		0.02	0.004	14.0828263	-6.1690529	0.85954719	1.03024735
			0.005	13.9950109	-6.1413279	0.86173194	1.03024735
			0.006	13.9085022	-6.1141372	0.86391668	1.03024735
			0.007	13.8232709	-6.0874658	0.86610143	1.03024735
0.8	0.01	0.004	4.19001268	-3.71400321	0.82196891	1.0556167	
		0.005	4.18223488	-3.71252181	0.82405009	1.0556167	
		0.006	4.1745054	-3.71105019	0.82613127	1.0556167	
		0.007	4.16682379	-3.70958827	0.82821245	1.0556167	
	0.02	0.004	14.0852392	-6.1698165	0.94601322	0.98200278	
		0.005	13.9974043	-6.1420819	0.94841745	0.98200278	
		0.006	13.9108764	-6.1148819	0.95082168	0.98200278	
		0.007	13.8256261	-6.0882013	0.95322591	0.98200278	



Tabla 5.10 Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$							
Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
3	0.4	0.01	0.004	4.19688415	-3.71531248	2.17047239	0.64889344
			0.005	4.18908643	-3.71382676	2.17596396	0.64889344
			0.006	4.18133718	-3.71235086	2.18145553	0.64889344
			0.007	4.17363592	-3.71088469	2.1869471	0.64889344
		0.02	0.004	14.1286885	-6.1835822	2.50047617	0.60364256
			0.005	14.0405016	-6.1556746	2.50681727	0.60364256
			0.006	13.9536275	-6.1283056	2.51315836	0.60364256
			0.007	13.8680366	-6.1014598	2.51949946	0.60364256
	0.5	0.01	0.004	4.1977409	-3.71547575	2.33822317	0.62509694
			0.005	4.18994069	-3.7139895	2.34413864	0.62509694
			0.006	4.18218898	-3.71251307	2.35005411	0.62509694
			0.007	4.17448527	-3.71104636	2.35596959	0.62509694
		0.02	0.004	14.1341088	-6.1853017	2.69406198	0.58150551
			0.005	14.045878	-6.1573724	2.70089217	0.58150551
			0.006	13.9589607	-6.1299822	2.70772235	0.58150551
			0.007	13.8733274	-6.1031159	2.71455254	0.58150551
	0.6	0.01	0.004	4.19878798	-3.71567531	2.54312591	0.59928433
			0.005	4.19098474	-3.7141884	2.54955906	0.59928433
			0.006	4.18323001	-3.71271131	2.55599221	0.59928433
			0.007	4.1755233	-3.71124396	2.56242536	0.59928433
		0.02	0.004	14.1407342	-6.187404	2.93058591	0.55749296
			0.005	14.0524498	-6.1594483	2.93801331	0.55749296
			0.006	13.9654796	-6.1320323	2.9454407	0.55749296
			0.007	13.8797943	-6.1051407	2.9528681	0.55749296
	0.7	0.01	0.004	4.20002536	-3.71591115	2.78510523	0.5725445
			0.005	4.19221853	-3.71442346	2.79214958	0.5725445
			0.006	4.18446024	-3.7129456	2.79919394	0.5725445
			0.007	4.17674999	-3.71147748	2.80623829	0.5725445
0.02		0.004	14.1485651	-6.1898898	3.20999955	0.53261784	
		0.005	14.0602171	-6.1619028	3.21813195	0.53261784	
		0.006	13.9731845	-6.1344562	3.22626435	0.53261784	
		0.007	13.8874378	-6.1075347	3.23439675	0.53261784	
0.8	0.01	0.004	4.201453	-3.71618327	3.06407229	0.5457333	
		0.005	4.19364203	-3.71469468	3.07182107	0.5457333	
		0.006	4.18587962	-3.71321593	3.07956986	0.5457333	
		0.007	4.1781653	-3.71174693	3.08731865	0.5457333	
	0.02	0.004	14.1576017	-6.1927596	3.53224587	0.50767634	
		0.005	14.0691805	-6.1647365	3.54119066	0.50767634	
		0.006	13.9820758	-6.1372546	3.55013546	0.50767634	
		0.007	13.8962582	-6.1102986	3.55908025	0.50767634	



Tabla 5.10 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$							
Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
4	0.4	0.01	0.004	4.19205244	-3.71439181	1.22283743	0.86517889
			0.005	4.18426873	-3.71290913	1.22593292	0.86517889
			0.006	4.17653338	-3.71143624	1.22902842	0.86517889
			0.007	4.16884594	-3.70997306	1.23212392	0.86517889
		0.02	0.004	14.0981324	-6.1738982	1.40778789	0.80484524
			0.005	14.0101931	-6.1461123	1.41136339	0.80484524
			0.006	13.9235625	-6.1188622	1.4149389	0.80484524
			0.007	13.8382112	-6.0921327	1.41851441	0.80484524
	0.5	0.01	0.004	4.19253451	-3.71448366	1.31750684	0.83345068
			0.005	4.1847494	-3.71300067	1.32084181	0.83345068
			0.006	4.17701267	-3.71152749	1.32417679	0.83345068
			0.007	4.16932385	-3.71006401	1.32751177	0.83345068
		0.02	0.004	14.1011801	-6.1748634	1.51688031	0.77532961
			0.005	14.0132161	-6.1470654	1.52073231	0.77532961
			0.006	13.9265612	-6.1198034	1.52458431	0.77532961
			0.007	13.841186	-6.0930623	1.52843631	0.77532961
	0.6	0.01	0.004	4.19312369	-3.71459592	1.43317376	0.79903436
			0.005	4.18533687	-3.71311256	1.4368013	0.79903436
			0.006	4.17759845	-3.71163901	1.44042883	0.79903436
			0.007	4.16990794	-3.71017516	1.44405637	0.79903436
		0.02	0.004	14.1049053	-6.1760434	1.65018969	0.74331333
			0.005	14.0169111	-6.1482305	1.65437944	0.74331333
			0.006	13.9302265	-6.1209541	1.65856919	0.74331333
			0.007	13.8448221	-6.0941988	1.66275894	0.74331333
	0.7	0.01	0.004	4.19381997	-3.71472858	1.56981414	0.76338176
			0.005	4.18603113	-3.71324479	1.57378725	0.76338176
			0.006	4.1782907	-3.7117708	1.57776035	0.76338176
			0.007	4.17059821	-3.71030653	1.58173345	0.76338176
		0.02	0.004	14.109308	-6.1774382	1.80770055	0.71014698
			0.005	14.0212781	-6.1496079	1.81228921	0.71014698
			0.006	13.9345584	-6.1223143	1.81687787	0.71014698
			0.007	13.8491195	-6.0955423	1.82146653	0.71014698
0.8	0.01	0.004	4.19462334	-3.71488166	1.72739962	0.72763401	
		0.005	4.18683217	-3.71339736	1.7317712	0.72763401	
		0.006	4.17908943	-3.71192288	1.73614277	0.72763401	
		0.007	4.17139463	-3.7104581	1.74051434	0.72763401	
	0.02	0.004	14.1143883	-6.1790482	1.98939465	0.67689211	
		0.005	14.0263173	-6.1511976	1.99444325	0.67689211	
		0.006	13.9395571	-6.1238843	1.99949185	0.67689211	
		0.007	13.8540784	-6.097093	2.00454045	0.67689211	



Tabla 5.10 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c=400 \text{ kg/cm}^2$								
Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)	
H/De	Di/De	Pl	Pt					
5	0.4	0.01	0.004	4.18981546	-3.71396564	0.78318405	1.08147362	
			0.005	4.18203823	-3.71248436	0.78516707	1.08147362	
			0.006	4.17430932	-3.71101287	0.78715009	1.08147362	
			0.007	4.16662827	-3.70955107	0.78913311	1.08147362	
		0.02	0.004	14.0839928	-6.169422	0.90134987	1.00605655	
			0.005	13.996168	-6.1416924	0.90364073	1.00605655	
			0.006	13.90965	-6.1144972	0.90593159	1.00605655	
	0.5	0.01	0.004	4.19012403	-3.71402442	0.84386382	1.04181335	
			0.005	4.1823459	-3.71254295	0.84600041	1.04181335	
			0.006	4.17461611	-3.71107127	0.848137	1.04181335	
			0.007	4.16693417	-3.70960928	0.8502736	1.04181335	
		0.02	0.004	14.0859429	-6.1700392	0.97122779	0.96916201	
			0.005	13.9981023	-6.1423018	0.97369601	0.96916201	
			0.006	13.9115688	-6.115099	0.97616424	0.96916201	
	0.6	0.01	0.004	4.19050115	-3.71409627	0.91801149	0.99879295	
			0.005	4.18272193	-3.71261456	0.92033573	0.99879295	
			0.006	4.17499106	-3.71114264	0.92265997	0.99879295	
			0.007	4.16730805	-3.70968042	0.9249842	0.99879295	
		0.02	0.004	14.0883265	-6.1707936	1.05662352	0.92914166	
			0.005	14.0004666	-6.1430467	1.05930845	0.92914166	
			0.006	13.913914	-6.1158347	1.06199338	0.92914166	
	0.7	0.01	0.004	4.19094684	-3.71418117	1.00561718	0.9542272	
			0.005	4.18316633	-3.71269919	1.0081631	0.9542272	
			0.006	4.17543417	-3.71122699	1.01070902	0.9542272	
			0.007	4.16774989	-3.70976449	1.01325494	0.9542272	
		0.02	0.004	14.0911435	-6.1716853	1.15753072	0.88768372	
			0.005	14.0032608	-6.1439272	1.16047164	0.88768372	
			0.006	13.9166858	-6.1167043	1.16341257	0.88768372	
	0.8	0.01	0.004	4.19146108	-3.71427915	1.10666922	0.90954251	
			0.005	4.18367908	-3.71279683	1.10947082	0.90954251	
			0.006	4.17594544	-3.71132432	1.11227242	0.90954251	
			0.007	4.16825969	-3.7098615	1.11507403	0.90954251	
		0.02	0.004	14.0943941	-6.1727144	1.27394186	0.84611514	
			0.005	14.0064851	-6.1449434	1.27717802	0.84611514	
			0.006	13.9198842	-6.1177078	1.28041419	0.84611514	
				0.007	13.8345622	-6.0909925	1.28365035	0.84611514



Tabla 5.10 (Continuación) Catálogo de funciones de vulnerabilidad para columnas huecas sección rectangular $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$							
Relación altura entre Diámetro exterior	Relación entre diámetros	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	m	a	Sa/g	Tr (s)
H/De	Di/De	Pl	Pt				
6	0.4	0.01	0.004	4.18860019	-3.71373414	0.54409247	1.2977683
			0.005	4.18082648	-3.71225362	0.54547028	1.2977683
			0.006	4.17310107	-3.71078289	0.5468481	1.2977683
			0.007	4.16542349	-3.70932184	0.54822592	1.2977683
		0.02	0.004	14.0763132	-6.1669923	0.62607561	1.20726782
			0.005	13.9885505	-6.1392932	0.62766744	1.20726782
			0.006	13.9020937	-6.1121278	0.62925928	1.20726782
			0.007	13.8169134	-6.085481	0.63085112	1.20726782
	0.5	0.01	0.004	4.18881449	-3.71377496	0.58626572	1.25017599
			0.005	4.18104015	-3.71229431	0.5877503	1.25017599
			0.006	4.17331413	-3.71082344	0.58923488	1.25017599
			0.007	4.16563594	-3.70936226	0.59071946	1.25017599
		0.02	0.004	14.0776673	-6.1674207	0.67462416	1.16299439
			0.005	13.9898937	-6.1397161	0.67633932	1.16299439
			0.006	13.903426	-6.1125455	0.67805448	1.16299439
			0.007	13.8182351	-6.0858936	0.67976964	1.16299439
	0.6	0.01	0.004	4.1890764	-3.71382485	0.63780286	1.19855152
			0.005	4.18130131	-3.71234403	0.63941791	1.19855152
			0.006	4.17357453	-3.71087301	0.64103295	1.19855152
			0.007	4.16589559	-3.70941166	0.64264799	1.19855152
		0.02	0.004	14.0793223	-6.1679443	0.73395616	1.11496997
			0.005	13.9915353	-6.1402332	0.73582201	1.11496997
			0.006	13.9050545	-6.1130561	0.73768786	1.11496997
			0.007	13.8198506	-6.086398	0.73955371	1.11496997
	0.7	0.01	0.004	4.18938593	-3.71388381	0.6986991	1.14507261
			0.005	4.18160995	-3.7124028	0.70046828	1.14507261
			0.006	4.17388228	-3.71093158	0.70223747	1.14507261
			0.007	4.16620245	-3.70947005	0.70400665	1.14507261
		0.02	0.004	14.0812784	-6.1685631	0.80406854	1.06522044
			0.005	13.9934755	-6.1408442	0.80611243	1.06522044
			0.006	13.9069791	-6.1136596	0.80815632	1.06522044
			0.007	13.8217599	-6.0869941	0.81020021	1.06522044
0.8	0.01	0.004	4.18974308	-3.71395185	0.76894879	1.09145099	
		0.005	4.18196606	-3.71247062	0.77089578	1.09145099	
		0.006	4.17423736	-3.71099917	0.77284277	1.09145099	
		0.007	4.16655652	-3.70953742	0.77478976	1.09145099	
	0.02	0.004	14.0835354	-6.1692773	0.88495765	1.01533815	
		0.005	13.9957143	-6.1415495	0.8872069	1.01533815	
		0.006	13.9091999	-6.114356	0.88945615	1.01533815	
		0.007	13.823963	-6.0876819	0.8917054	1.01533815	



5.2.2.1 COMPARACIÓN DE ALGUNAS FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE COLUMNAS CIRCULARES DE SECCIÓN HUECA

En la *figura 4.5* se observa que las columnas con menor espesor son más vulnerables sísmicamente. Mientras que en la *figura 4.6* indica que las columnas con menor relación de altura entre diámetro exterior soportan mayores aceleraciones.

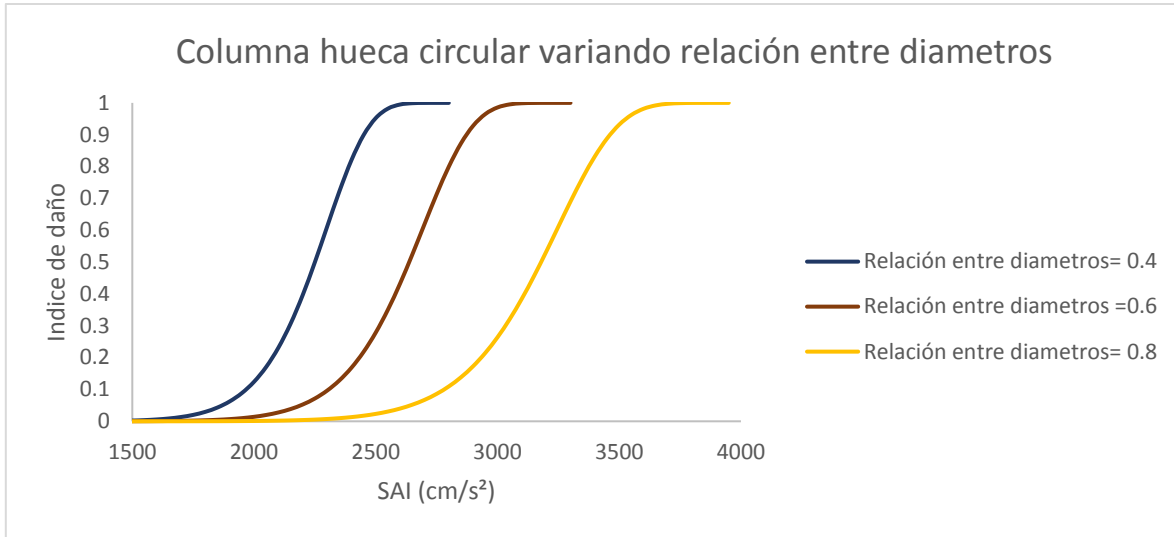


Figura 5.5.- Comparación de índice de daño variando la relación entre diámetros.

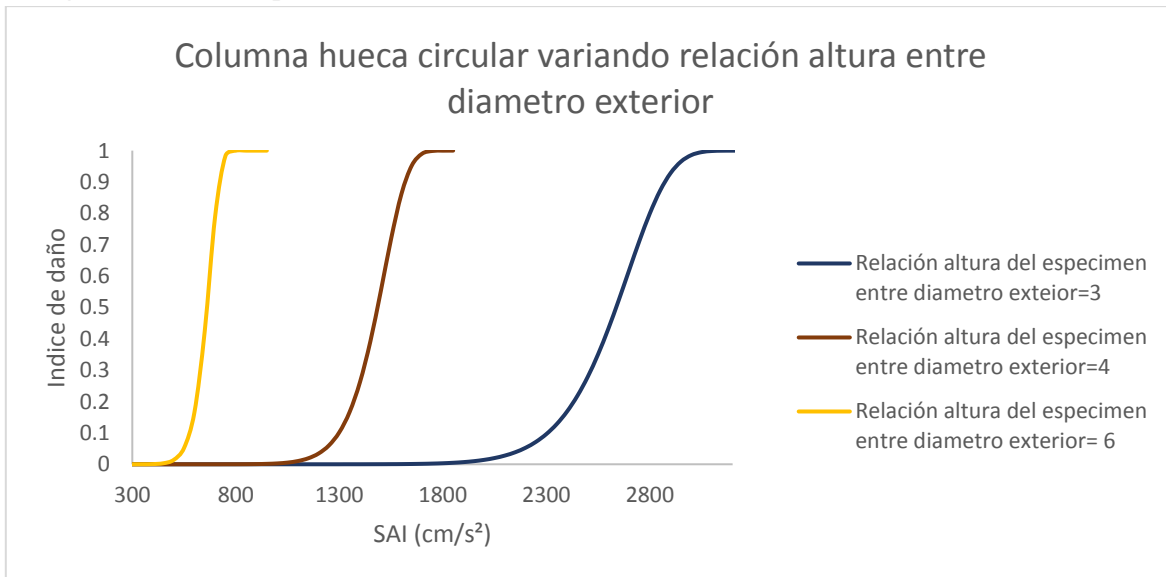


Figura 5.6.- Comparación de índice de daño variando relación altura entre diámetro exterior.



En la tabla 5.11 se muestran las propiedades geométricas y mecánicas de los especímenes comparados en la figura 5.5 y 5.6.

Propiedades de columna hueca circular de grafica 4.5					Propiedades de columna hueca circular de grafica 4.6				
Relacion entre diametros	Relación altura entre diametro exterior	Cuantia transversal	Cuantia Longitudinal	f'c (kg/cm ²)	Relación altura entre diametro exterior	Relacion entre diametros	Cuantia transversal	Cuantia Longitudinal	f'c (kg/cm ²)
Di/De	H/De	Pt	Pl		H/De	Di/De	Pt	Pl	
0.4	3	0.005	0.02	350	3	0.6	0.005	0.02	350
0.6	3	0.005	0.02	350	4	0.6	0.005	0.02	350
0.8	3	0.005	0.02	350	6	0.6	0.005	0.02	350

Tabla 5.10.- Propiedades geométricas y mecánicas figuras 5.5 y 5.6.



5.2.3 COMPARACIÓN DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD DE COLUMNAS CIRCULARES, RECTANGULARES Y CUADRADAS

En la figura 4.7 se compara el índice de daño de columnas con propiedades semejantes las cuales se describen en la tabla 4.5.

Se observa que las columnas de sección cuadrada son las más desfavorables sísmicamente de los tres tipos de secciones mientras que las columnas circulares tienen una ventaja considerable en comparación con las columnas rectangulares y cuadradas.

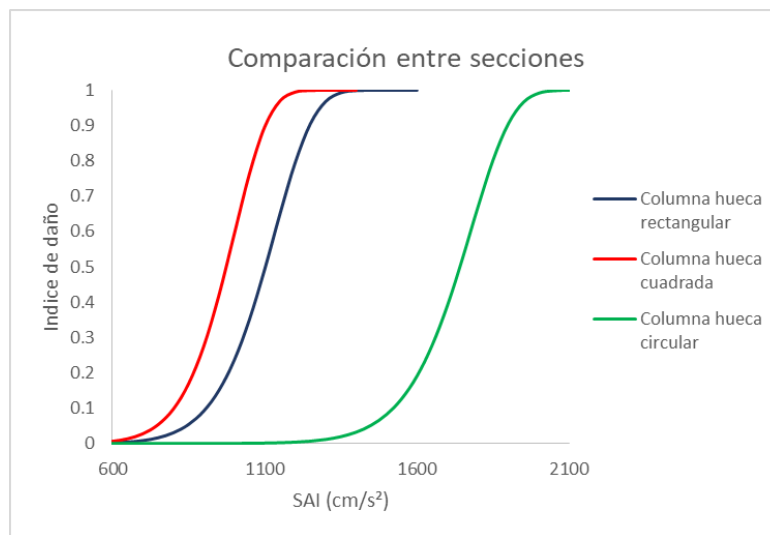


Figura 5.7.- Comparación de índice de daño variando la forma de la columna. En la tabla 5.12 se indican las propiedades mecánicas y geométricas de los especímenes comparados en la figura 5.7.

Sección	Dimensiones	Cuantía longitudinal	Cuantía transversal	Espesor e	Relación		f'c=350 kg/cm ²
		Pl	Pt		Entre diámetros	Entre lados corto y largo	
Rectangular	Lado largo 292 cm Lado corto 175 cm	0.02	0.005	20cm	0.6	1	350
Cuadrada	Lado largo 175 cm Lado corto 175 cm	0.02	0.005	20cm			
Circular	Diam Ext=66.667 cm, Diam Int=22.667 cm	0.02	0.005	20cm	0.4		350

Tabla 5.11.- Propiedades geométricas y mecánicas de figura 5.7



6 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Puente del sistema carretero mexicano con columna hueca rectangular

6.1 UBICACIÓN

El puente se encuentra localizado en el kilómetro 25+900 de la autopista “La Venta – Chamapa”, en las coordenadas $19^{\circ}27'0.05''N$ $99^{\circ}18'10.59''O$. Perteneciendo, por su ubicación al Municipio de Naucalpan, el cual se muestra en la figura 6.1.



Figura 6.1.- Puente del kilómetro 25+900 de la autopista “La venta- Chamapa”

6.2 BREVE DESCRIPCIÓN DEL PUENTE

Puente esviado en el que la estructuración se encuentra resuelta con base en una superficie de rodamiento de doble carril, que está colada sobre traveses presforzados del tipo IV AASTHO con claro de 27 m. Las traveses se encuentran dispuestas en grupos de seis, formando tres claros que dan la longitud total del puente. Los grupos de traveses se encuentran simplemente apoyados en sus extremos. En la parte exterior descansan sobre los estribos mientras que en la parte interior lo hacen sobre dos columnas desplantadas a ambos lados de la autopista.



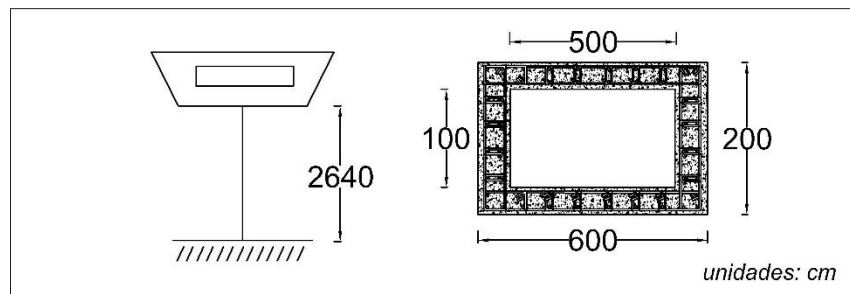
6.3 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE COLUMNAS

Para efectos de tener una idea aproximada de la capacidad de carga se consideró una sección hueca de 6 m x 2 m, con un espesor de pared de 0.50 m, con una altura de 26.40 m, la resistencia del concreto y la nominal a la fluencia del acero de 250 kg/cm² y 4200 kg/cm², respectivamente, en cuanto a la cantidad del refuerzo longitudinal se realizó la estimación con la cuantía de acuerdo a las NTC-Concreto (2017), A_c propuesta =0.02 A_g ; Propuesta=0.02; y una relación de carga axial aplicada $P_a/(A_g*f'_c)=0.10$; para el caso del análisis por sismo se consideró un coeficiente sísmico correspondiente a la zona B I, de acuerdo al Manual de la CFE (1993), con un factor de comportamiento sísmico $Q = 2$, que es un valor que suele ser común en la práctica del diseño sísmico de puentes en México.

6.4 VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL PUENTE

Empleando las ecuaciones de la envolvente de falla y del momento de agrietamiento obtenidas para columnas de sección hueca rectangulares con las propiedades geométricas y mecánicas del espécimen se obtienen valores característicos de la columna a estudiar, los cuales se emplean en las ecuaciones descritas en el apartado de metodología de desarrollo de funciones de vulnerabilidad; dando como resultado la gráfica de índice de daño en comparación con la aceleración mostrada en la *figura 6.2*

Breve descripción de columna a evaluar



Propiedades de la columna	
L=600 cm	l=500 cm
B=200 cm	b=100cm
Pl=0.02	Pt=0.004
$f'_c=250 \text{ kg/cm}^2$	



Donde; L=Lado Largo exterior;l=Lado largo interior; B= Lado corto exterior;
b=lado corto interior; H=Altura de columna; f'_c = Resistencia del concreto;
Pl=Cuantía de acero longitudinal; Pt=Cuantía de acero transversal

El objetivo de este ejemplo de aplicación es comparar los resultados obtenidos de la función de vulnerabilidad (*figura 6.4*) con los registros sismológicos de la UIM el 19 de septiembre del 2017, la cual se por ser la más cercana al puente estudiado.

Los registros obtenidos en la FES Acatlán, del sismo se muestran en la *figura 6.2* en el acelerograma. El cual se empleó para obtener el espectro de respuesta (*figura 6.3*) para conocer la pseudoaceleración aproximada presente en el momento del sismo en el puente.

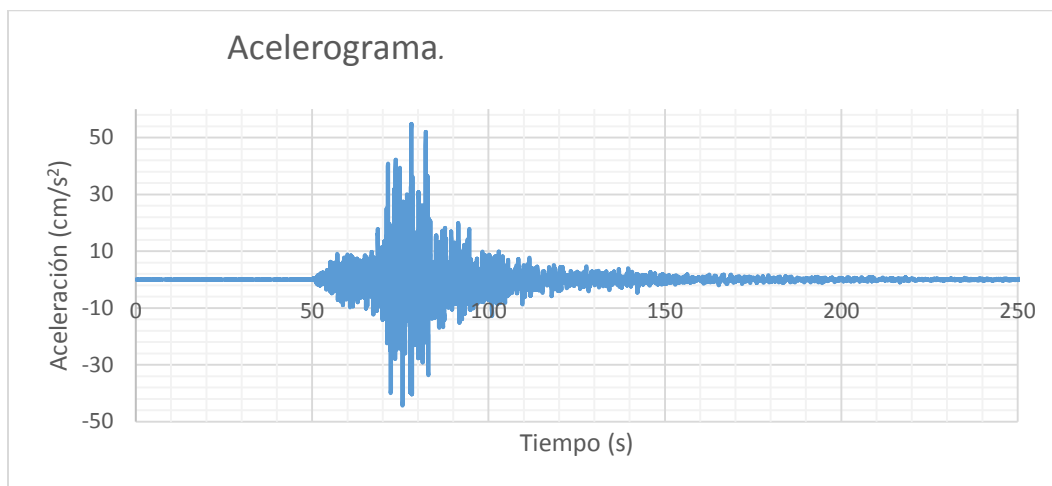


Figura 6.2.- Acelerograma en la UIM FES Acatlán el 19 de septiembre del 2017.

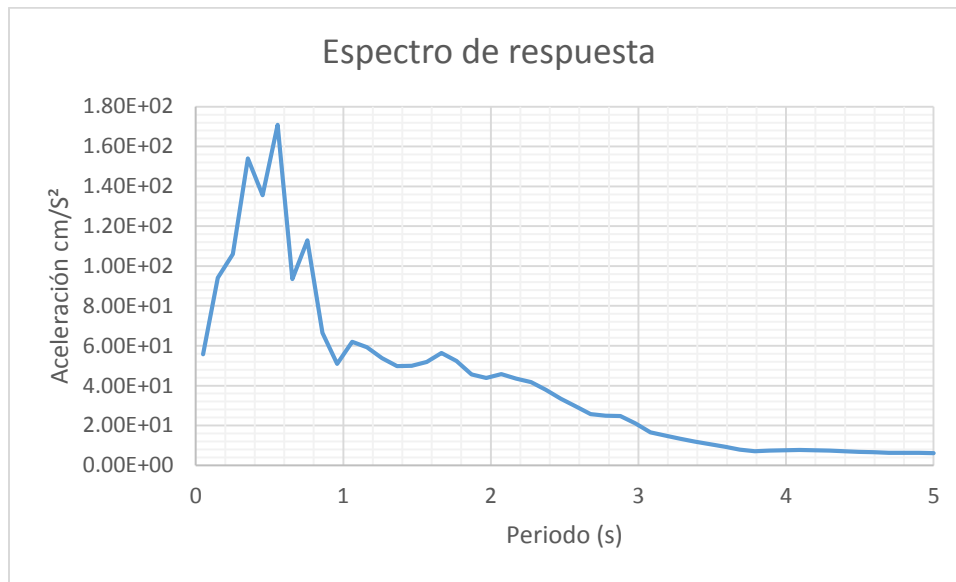


Figura 6.3.- Espectro de respuesta en la UIM FES Acatlán el 19 de septiembre del 2017.

Del espectro de respuesta (*figura 6.3*) se obtiene que la máxima aceleración fue de 171 cm/s².

Empleando las ecuaciones obtenidas de vulnerabilidad sísmica de columnas huecas rectangulares con las propiedades geométricas y mecánicas del puente La Venta-Chamapa se obtuvo la imagen 6.4, la cual indica que para una vulnerabilidad media es necesaria una aceleración mayor a 600 cm/s² el cual es mucho mayor a los valores registrados el 19 de septiembre del 2017 el cual presentó una aceleración de 171 cm/s², en base al espectro de respuesta figura 6.3.

Por lo anterior, se comprueban que las ecuaciones obtenidas para conocer la vulnerabilidad sísmica de columnas huecas rectangulares son confiables debido a que el puente durante el sismo del 19 de septiembre del 2017 no presentó daños y que en la función de vulnerabilidad la aceleración presentada significa daño nulo.

Los registros acelerográficos proporcionados han sido producto de las labores de instrumentación y procesamiento de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria del departamento de Análisis de Riesgos Naturales y Antropogénicos de la FES Acatlán, UNAM

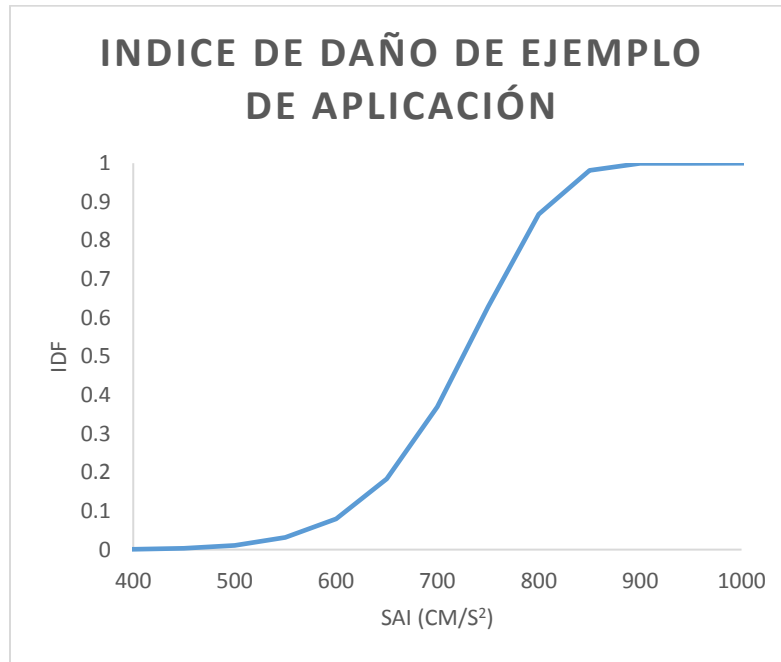


Figura 6.4.- Vulnerabilidad sísmica de un puente Chamapa - Lechería

La función de vulnerabilidad obtenida para el ejemplo de aplicación (figura 6.4), muestra que para que el puente presente daño significativo debería presentarse una aceleración superior a 600 cm/s^2 , lo cual indica que el puente es poco vulnerable sísmicamente hablando.



7 CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se obtienen ecuaciones para estimar la deformación lateral a la cual se presenta primer agrietamiento, fluencia, capacidad máxima, colapso, así como para calcular el momento de inercia agrietado los cuales se emplearon para la deducción de funciones de vulnerabilidad permitiendo obtener un catálogo de funciones de vulnerabilidad de las mismas.

Empleando las funciones obtenidas, se compararon diversos especímenes variando un parámetro pudiendo ser la cuantía, relación de aspecto, espesor entre otras. Permitiendo llegar a las siguientes conclusiones;

En algunas comparaciones realizadas de columnas rectangulares y cuadradas de sección hueca (*pag. 100-102*) se concluye;

- 1) Menor sea la cuantía longitudinal serán más vulnerables a la acción sísmica.
- 2) Entre más esbeltas sean las columnas y menores espesores de pared posean, tendrán un mejor comportamiento sísmico. Siempre y cuando se cumplan con las características de espesor, cuantía transversal entre otras mencionadas en el capítulo 4.
- 3) Menor altura posean serán capaces de resistir mayores aceleraciones.

Para columnas de sección circular de sección hueca (*pag. 115-116*)

- 4) Entre menor sea la relación altura entre diámetro exterior serán más vulnerables sísmicamente.
- 5) Por el contrario mientras menor sea el espesor de pared de la columna hueca será capaz de soportar mayores aceleraciones.

Comparando los tipos de sección (*pag. 117*)

- 6) Las columnas cuadradas de sección hueca son las más desfavorables sísmicamente en comparación con las rectangulares y circulares
- 7) Las columnas circulares de sección hueca presentan un comportamiento excelente debido a que son capaces de soportar aproximadamente el doble de las aceleraciones que los otros tipos de sección a pesar de contar con propiedades semejantes.



Las conclusiones se cumplen siempre y cuando las propiedades geométricas y mecánicas de los materiales se encuentren en el rango de los experimentos utilizados para obtener las ecuaciones de vulnerabilidad sísmica mencionadas en la página 33 del presente trabajo.

Con el ejemplo de aplicación se verificaron las ecuaciones de vulnerabilidad obtenidas en este estudio debido a que el resultado numérico era semejante al presentado en el puente del sistema carretero.

A pesar de que se realizó el estudio de la vulnerabilidad sísmica de columnas huecas de concreto reforzado en el presente trabajo es de suma importancia realizar pruebas experimentales de este tipo de columnas con las condiciones sísmicas, así como de armados para estudiar a fondo su comportamiento debido a que las pruebas estudiadas fueron realizadas en el extranjero, en donde la demanda sísmica es inferior a la que se han presentado en México.



8 REFERENCIAS

- 1V Centenario: el puente roto | Noticiasnet. (s/f). Recuperado el 1 de febrero de 2018, a partir de <http://old.nvinoticias.com/oaxaca/174961-1v-centenario-puente-roto>.
- Abdelkarim, O. I., Anumolu, S., Gheni, A., & Elgawady, M. A. (s/f). Quick Repair of Innovative Precast Hollow-Core FRP-Concrete- Steel Columns.
- Al-jeabory, J. (2009). Behavior of Reinforced Concrete Hollow Circular Columns With Steel Fiber Inclusion Under Cyclic Bending Abstract :, 1138–1152.
- Anumolu, Sujith & Abdelkarim, Omar & Abdulazeez, Mohanad & Gheni, Ahmed & ElGawady, Mohamed. (2017). Hollow-Core FRP–Concrete–Steel Bridge Columns under Torsional Loading. *Fibers*. 5. 10.3390/fib5040044.
- Díaz, J. (2011). *Revisión de diferentes métodos de diseño sísmico de puentes de concreto reforzado basado en desplazamiento* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- Delgado, P., Rocha, P., Rodrigues, V., & Santos, M. (September 2006). Experimental cyclic tests and retrofit of RC hollow piers. (s/f). First European conference on earthquake engineering and seismology llevado a cabo en el congreso European association of earthquake engineering (EAEE), Geneva Switzerland.
- Domínguez, O. (2009). *Propuesta de criterios de refuerzo en columnas de puentes de concreto reforzado para satisfacer las demandas sísmicas del valle de México* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- Faltan puentes vehiculares | El Heraldo de Aguascalientes. (s/f). Recuperado el 1 de febrero de 2018, a partir de <http://www.heraldo.mx/faltan-puentes-vehiculares/> .
- GIPSA INGENIERIA S.A. de C.V. (216d. C.). Socavación en puentes. | Diseño de puentes - Gipsa Ingeniería. Recuperado el 7 de septiembre de 2018, a partir de <https://www.gipsaingenieria.mx/single-post/2016/08/24/Socavación-en-puentes> .
- González, A., Núñez, Á., Herranz, C., Calvo, Á., & Ordaz, S. (s/f). TUNNEL PROJECT. Recuperado a partir de [https://www.intecsa-inarsa.com/images/BLOG/Licuefaccion en suelos Ingeotuneles 21 cap 10.pdf](https://www.intecsa-inarsa.com/images/BLOG/Licuefaccion%20en%20suelos%20Ingeotuneles%20cap%2010.pdf) .



- Hattori, M., & Otsuka, H. (s/f). Seismic performance of hollow reinforced concrete columns under cyclic pure torsional loading, 1799–1807.
- Hines, E. M., Dazio, A., & Seible, F. (2002). Structural systems research project seismic performance of hollow rectangular reinforced concrete piers with highly-confined boundary elements phase iii: web crushing tests. Recuperado a partir de http://www.dot.ca.gov/hq/esc/earthquake_engineering/Research/SSRP200127.pdf.
- Hines, E. M., Dazio, A., & Seible, F. (2006). Structural testing of new East Bay Skyway piers. *ACI Structural Journal*, 103(1), 103–112.
- IABSE. (s/f). ASBI -- ASBI - Projects. Recuperado el 7 de septiembre de 2018, a partir de <http://www.asbi-assoc.org/projects/project.cfm?articleID=3CFF5175-F1F6-B13E-814D565E1DF8FCFA&categoryIDs=44A57F74-F1F6-B13E-81940961706FF0A9&searchString=&mainPageNumber=4&resultsPerPage=20>
- Instrumentación, L. A., Civiles, D. E. O., & México, E. N. (2005). Capítulo 4. la instrumentación de obras civiles en México., 32–38.
- Isakovic, T. University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering (s/f). Cyclic Response of Rc Hollow Box Bridge Columns. Recuperado de <https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=hHizyh5tWR.pdf>.
- Jia, J., Han, Q., Xu, Z., & Zhang, D. (2014). Cyclic load responses of GFRP-strengthened hollow rectangular bridge piers. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/246462>
- Kim, H., Lee, J., Hwang, D., Kwahk, I., Kim, T., & Lee, S. (2015). Research for Hollow Reinforced Concrete Bridge Piers in Korea, 9(8), 951–958.
- Kim, I. H., Sun, C. H., & Shin, M. (2012). Concrete contribution to initial shear strength of RC hollow bridge columns. *Structural Engineering and Mechanics*, 41(1), 43–65. <https://doi.org/10.12989/sem.2012.41.1.043>
- Kim, I., Lim, H., Juhn, G., & Kim, J. K. (2000). Cyclic Loading Test of Small Scale Bridge Pier Models Without Seismic Detailing. (s/f). 12th World Conference on Earthquake Engineering llevado a cabo en el congreso New Zealand Society for Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- Kwan, J., & Hyun. (2001). Cyclic Loading Test of Bridge Pier Models Without Seismic Detailing, (December).



- Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos. (s/f). Clasificación de Suelos SUCS | Geolabs Blog. Recuperado el 7 de septiembre de 2018, a partir de <http://geolabs.com.mx/blog/trabajo/clasificacion-de-suelos-sucs/>.
- M. Abdulazeez, M., & A.ElGawadt, M. (2017). Seismic Behavior of Precast Hollow-Core FRP- Concrete-Steel Column having Socket Connection Seismic Behavior of Precast Hollow-Core FRP-Concrete-Steel, (July).
- Martínez, O(2013). *Evaluación del comportamiento ante cargas laterales de columnas para puentes, prefabricadas de concreto, de sección hueca y pretensadas*. (Tesis de maestría).Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Posgrado en Ingeniería.
- Mendoza, M. (2011). *Instrumentación para el monitoreo de obras civiles*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- Mora, R. E., & Sánchez, H. (2012). Estudio del comportamiento de marcos de concreto de puentes urbanos sometidos a distintas intensidades sísmicas, incursionando en diferentes estados limite. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado a partir de [https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/13026/1/TESIS PARA DISCO.pdf](https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/13026/1/TESIS_PARA_DISCO.pdf).
- Nguyen, W., Trono, W., Panagiotou, M., & Ostertag, C. P. (2014). Seismic Response of a Hybrid Fiber-Reinforced Concrete Bridge Column Detailed for Accelerated Bridge Construction. Pacific Earthquake Engineering Research Center, (2014/19).
- Obras WEB. (2014). La SCT entrega puente en carretera de Guerrero afectada por lluvias - construccion Obrasweb.mx. Recuperado el 21 de febrero de 2018, a partir de <http://www.obrasweb.mx/construccion/2014/05/27/la-stc-entrega-puente-en-carretera-de-guerrero-afectada-por-lluvias>.
- Park, R. (s/f). BEHAVIOUR OF DUCTILE HOLLOW REINFORCED CONCRETE COLUMNS J . B . M a n d e r M . J . N . Priestley SYNOPSIS : An experimental investigation into the seismic performance of of axial load and the amount of transverse steel on the rotational, (iii).
- Prado, N. (2014). *Comportamiento de pilas huecas de concreto reforzado de puentes ante carga lateral cíclica* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Posgrado en Ingeniería.



- Priestley, M. J. N., & Hoshikuma, J.-I. (2000). Flexural Behavior Of Circular Hollow Columns With A Single Layer Of Reinforcement Under Seismic Loading, (59), iii-79.
- Priestley, M. J. N., Seible, F. (Frieder), & Calvi, G. M. (Gian M. (1996). Seismic design and retrofit of bridges. Wiley.
- Pulido, N. (2016). 7 Puentes en México que son extraordinarias obras de la Ingeniería. Recuperado el 21 de febrero de 2018, a partir de <https://www.mexicodestinos.com/blog/2016/11/7-puentes-en-mexico-que-son-extraordinarias-obras-de-la-ingenieria/>.
- Ranzo, G., & Priestley, M. J. N. (2000). Seismic Performance of Large RC Circular Hollow Columns. 12th World Conference on Earthquake Engineering, (59), 1–8.
- Rivera, D. (2005). *Diseño sísmico de columnas de puentes urbanos de concreto reforzado en la ciudad de México* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- Rivera, D. (2007). Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos. Cuadernos de investigación. Recuperado a partir de www.cenapred.unam.mx
- Selangor, S. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi MARA (2007). Seismic Performance of Monolithic Wall Panel Subjected To Quasi-Static recuperado de http://dspace.unimap.edu.my/xmlui/bitstream/handle/123456789/13624/010-017_Seismic%20Performance%204pp.pdf?sequence=1
- Sheikh, N., Vivier, A., & Legeron, F. (2007). Seismic vulnerability of hollow core concrete bridge piers, 1445–1454.
- University of Nevada, Center for Civil Engineering earthquake research (Agust 2015). Design and construction of precast bent caps with pocket connections for high seismic regions (CCER 15-06). Recuperado de <https://wolfweb.unr.edu/homepage/saiidi/USDOT/PDFs/CCEER15-06-CapBeamReportTazarv-and-Saiidi-08-10-2015.pdf>.
- Yazici, V. (2012). Strengthening hollow reinforced concrete columns with fibre reinforced polymers, 153.