

RESULTADOS PROYECTO

Vibración libre y análisis no lineal estático:

A partir de los resultados del análisis de vibración libre y el análisis estático no lineal en ambas direcciones se determina que el sistema presenta mayor rigidez, capacidad y ductilidad en dirección Y, además de un periodo menor, lo que tiene relación con que en dicha dirección hay una mayor cantidad de muros de corte oponiéndose al movimiento, así como una mayor cantidad de conectores Angle Bracket, los que la proveen de mayor ductilidad.

Además se determinó que la ductilidad del modelo dúctil aumentó en un 39% para la dirección X y en un 30% para dirección Y.

Dirección de análisis	Rigidez (kN/m)	Capacidad (kN)	δ_y	δ_u	μ
X	16991	1076	0.51	1.599	3.135
Y	24637	1398	0.442	1.528	3.457

Tabla 4: Resultados análisis estático no lineal

Dirección de análisis	Periodo (s)
X	0.52
Y	0.415

Tabla 5: Periodos fundamentales

Análisis dinámico incremental:

Luego se obtienen los resultados del análisis dinámico incremental. A partir de la Figura 4 se observa que para generar un mismo nivel de daño en ambas direcciones se requiere de una mayor intensidad sísmica en dirección Y.

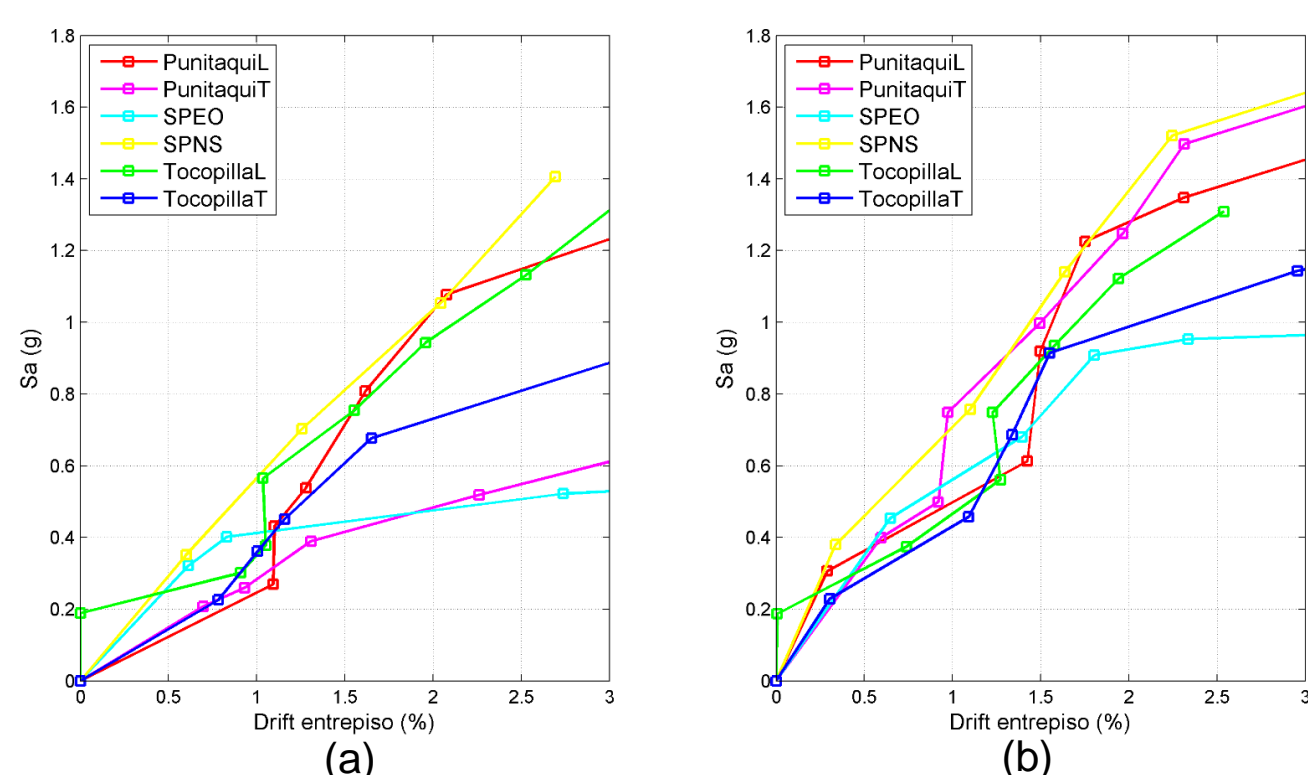


Figura 4. Curva IDA en (a) dirección X y (b) dirección Y

Curva de fragilidad vs sismo máximo considerado en suelo diseño (E):

En las Figuras se observan las curvas de fragilidad para diferentes estados de daño: Operacional (OP), Seguridad de la vida (SV), Cercano al colapso (CC) y Colapso determinado a partir del análisis estático no lineal (CPO). Además se tiene el sismo máximo considerado calculado a partir del espectro de la norma NCh433 (SMT/ESP) y determinado a partir del análisis estático de la norma NCh433 (SMT/EST).

Se observa que el modelo frágil posee mayores probabilidades de llegar a un estado de daño de colapso al ser sometido al sismo máximo considerado, tanto para dirección X e Y.

Si bien las probabilidades de que ambos modelos lleguen a un estado de daño de colapso son altas, superior a 90%, se observa que el hecho de proveer de mayor ductilidad al sistema hace que éste adquiera un mayor nivel de seguridad, ya que se genera una disminución de la probabilidad de colapso.

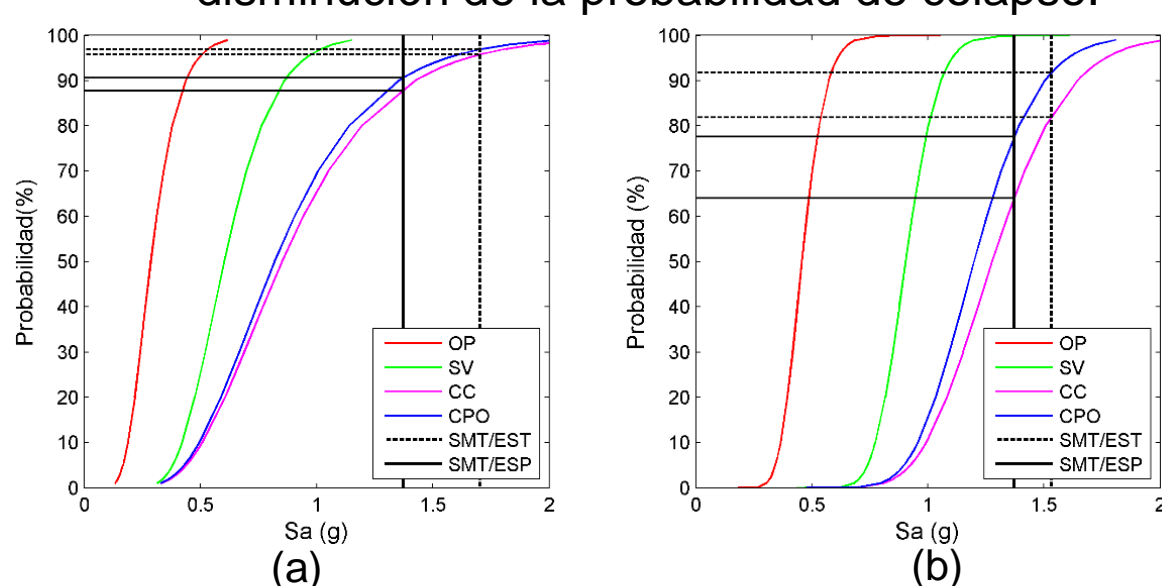


Figura 5. Curvas de fragilidad modelo dúctil en (a) dirección X y (b) dirección Y

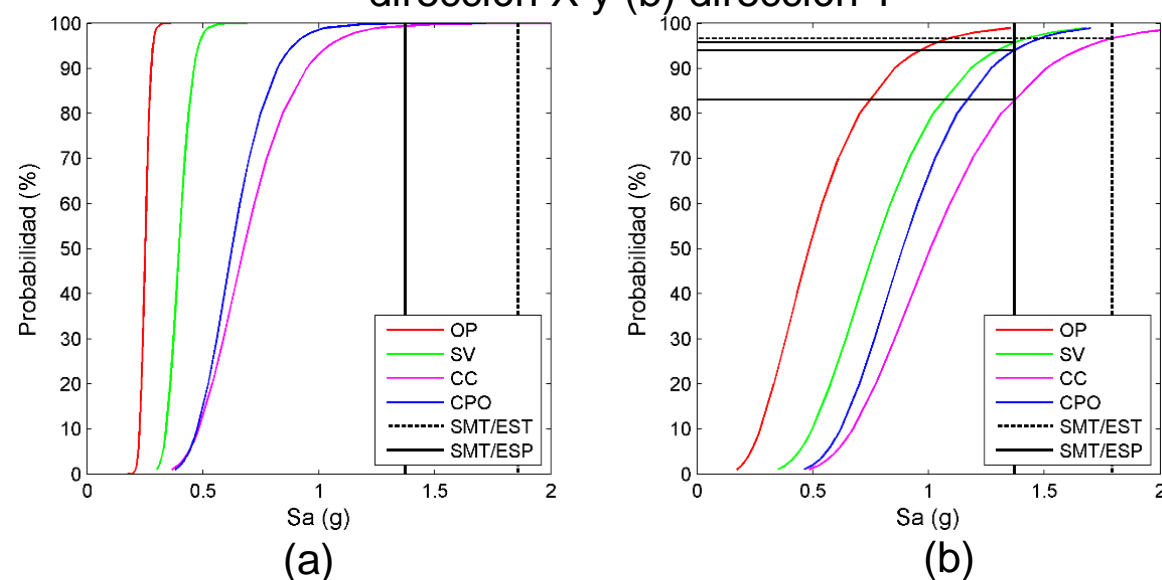


Figura 6. Curvas de fragilidad modelo frágil en (a) dirección X y (b) dirección Y

Dirección	SMT	Seguridad de la vida (%)	Colapso Pushover (%)	Cerca del colapso (%)
X	Espectral	-	96.9	95.8
	Estático	-	90.6	87.8
Y	Espectral	100	91.8	81.8
	Estático	100	77.6	64.1

Tabla 6: Probabilidades según estado de daño modelo dúctil

Dirección	SMT	Seguridad de la vida (%)	Colapso Pushover (%)	Cerca del colapso (%)
X	Espectral	-	100	100
	Estático	-	-	96.6
Y	Espectral	-	-	96.6
	Estático	95.7	94.1	83.1

Tabla 7 Probabilidades según estado de daño modelo frágil

Curvas de fragilidad modelo frágil vs modelo dúctil:

En la Figura 7 se presenta una comparativa entre las curvas de fragilidad de ambos modelos para los diferentes estados de daño considerado en dirección Y.

Para estados de daño Operacional y Seguridad de la vida, se observa que ambos modelos tienen un comportamiento similar. Sin embargo, para estados de daño de colapso, se observa una clara diferencia entre ambos. El hecho de aumentar la ductilidad en base a la capacidad de los conectores Angle Bracket genera que las curvas de fragilidad se desplacen hacia la derecha, haciendo que cuando ambos modelos se ven sometidos a una misma intensidad de registros sísmico las probabilidades de que el modelo dúctil colapse son inferiores a las que presenta el modelo frágil. En específico, si ambos modelos se ven sometidos a un evento con una aceleración de 1 (g) la probabilidad de que el modelo dúctil colapse son en promedio un 45% menos que las presentadas por el modelo frágil. En dirección X se presenta un comportamiento similar.

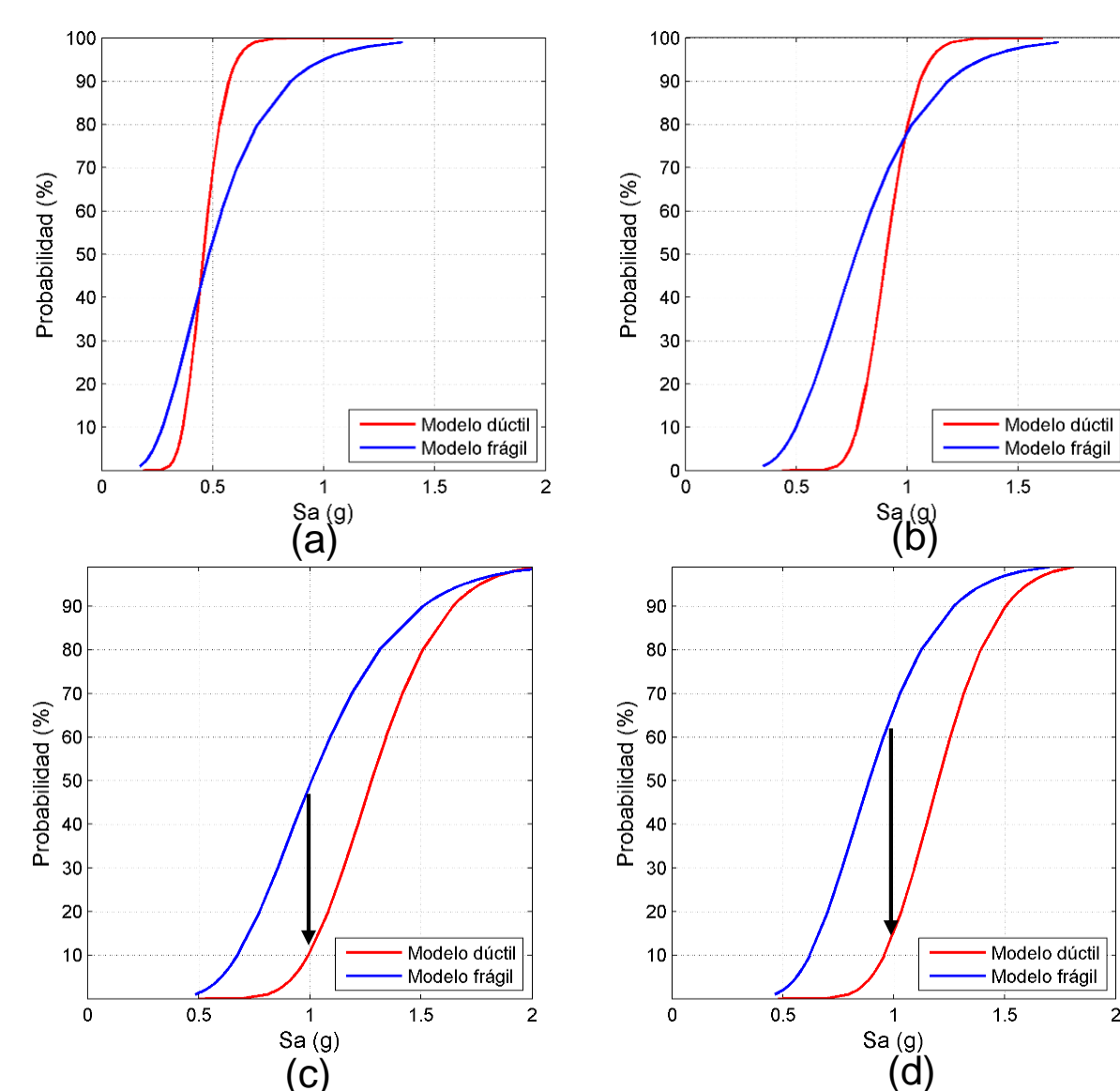


Figura 7. Comparativa curvas de fragilidad en estado de daño (a) Operacional (b) Seguridad de la vida (c) Cercano al colapso y (d) Colapso Pushover

Razón de margen de colapso:

En la Figura 8 se tiene la razón de margen de colapso determinada a partir del SMT/EST. Es posible observar que el modelo dúctil aumentó su CMR en un 30% en promedio con respecto al sistema frágil, lo que implica una disminución en la vulnerabilidad del sistema.

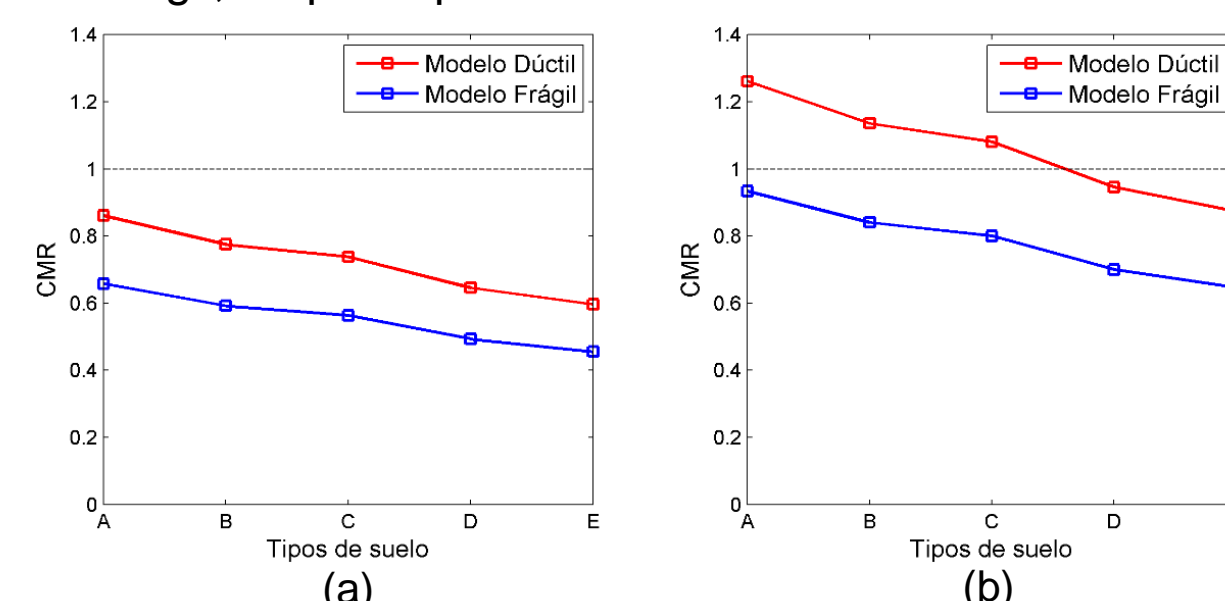


Figura 8. Razón de margen de colapso para diferentes tipos de suelos en (a) dirección X y (b) dirección Y

Con respecto a la razón de margen de colapso determinada a partir del SMT/ESP se observa que para suelos tipo A, B y C la variación en el CMR es baja, menor a 11%, lo que se debe principalmente a que hubo un gran aumento de la demanda sísmica, en torno al 35%, producto de la variación que se generó en el periodo entre ambos modelos. Por el contrario, cuando hay una mayor variación en el CMR (suelos D y E), implica que hubo una baja variación en la demanda sísmica. De lo anterior se concluye que efectivamente se logró aumentar la seguridad del sistema mediante el aumento de los conectores AB, disminuyendo su vulnerabilidad sísmica.

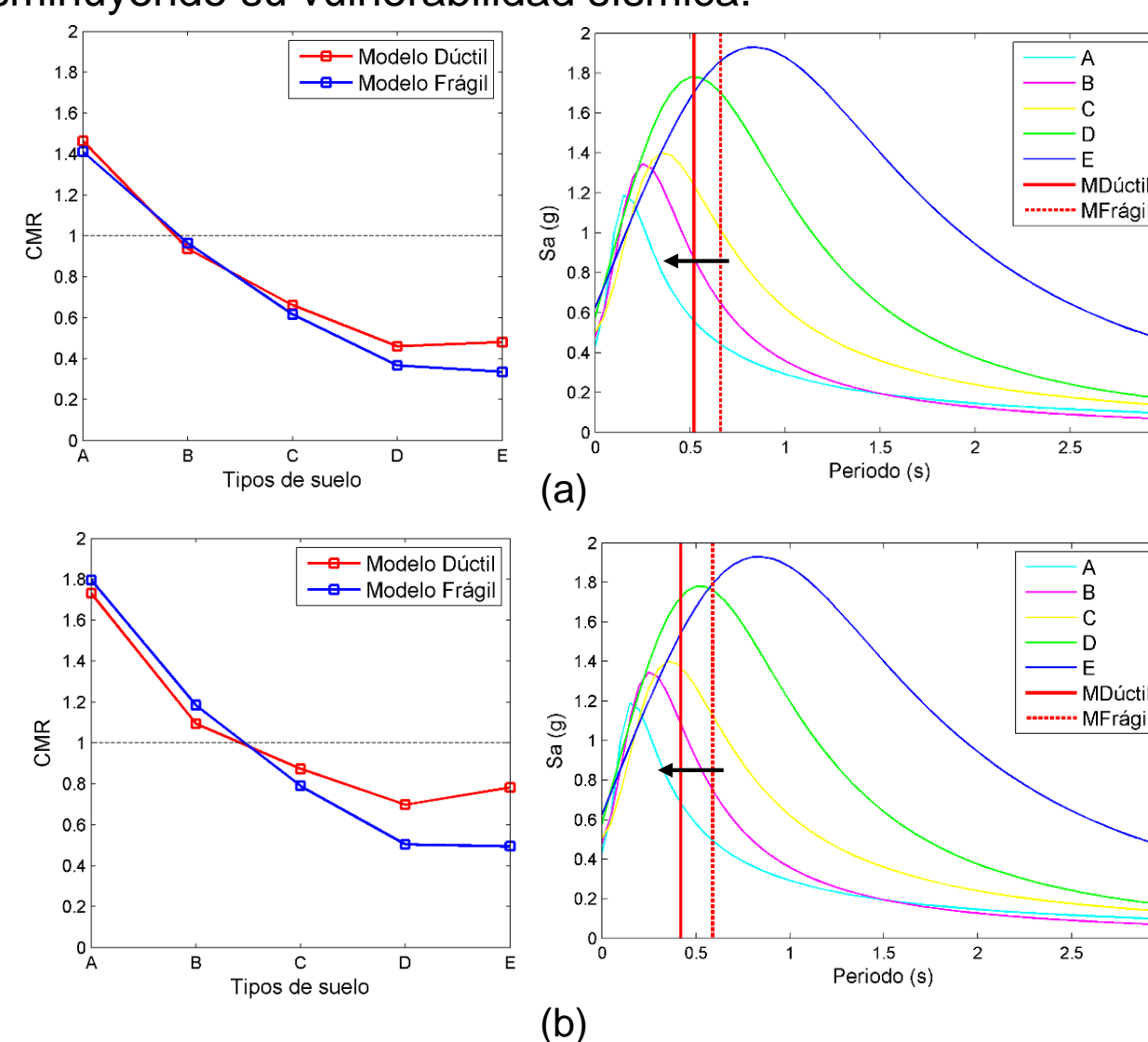


Figura 9. Razón de margen de colapso y espectro sismo máximo considerado para (a) dirección X y (b) dirección Y

Tipo de suelo	Variación porcentual CMR (%)	Variación porcentual SMT (%)
A	3.64	26.41
B	-2.87	34.88
C	7.27	22.13
D	25.20	4.65
E	43.11	-8.45

Tabla 8: Variación CMR vs variación SMT en dirección X

Tipo de suelo	Variación porcentual CMR (%)	Variación porcentual SMT (%)
A	-3.61	40.14
B	-7.65	46.28
C	10.64	22.09
D	38.32	-2.34
E	58.01	-14.51

Tabla 9: Variación CMR vs variación SMT en dirección Y

Conclusiones

Se obtienen las curvas de fragilidad de la estructura en estudio para diferentes estados de daño, a partir de las que se observa que si bien ambos modelos en estudio presentan una alta vulnerabilidad sísmica al verse sometidos al sismo máximo considerado (probabilidad de colapso sobre 90%), el proveer de una mayor ductilidad a la estructura por medio de conectores Angle Bracket (modelo dúctil) genera una disminución en la probabilidad de que se alcance un estado de daño de colapso, disminuyendo su vulnerabilidad sísmica.

Se logró demostrar que existe una relación entre los niveles de ductilidad provenientes de los conectores Angle Bracket y la razón de margen de colapso. En particular, se demostró que a mayores niveles de ductilidad, mayor será la razón de margen de colapso, lo que implica un aumento en la seguridad del sistema.

Finalmente, fue posible generar un sistema en base a marcos livianos de madera que presenta un mayor nivel de seguridad, siendo capaz de resistir de mejor manera demandas sísmicas altas (estados de daño de colapso). Específicamente, se presenta una disminución promedio de un 45% en la probabilidad de alcanzar el colapso con respecto al modelo frágil cuando ambos son sometidos a un evento de aceleración espectral 1 (g).

Referencias

Alarcón, J., & Pinto, L. (2018). Análisis del desempeño estructural de un edificio en base a marcos livianos de madera. Universidad del Bío Bío, Concepción, Chile.

Federal emergency management agency (2009). FEMA P695: Quantification of building seismic performance factors. Washington D.C., U.S.A.

Grandón, J. (2018). Aplicación del método FEMA P695 a una estructura de mediana altura en base a marcos livianos de madera. Universidad del Bío Bío, Concepción, Chile.

Instituto nacional de normalización (INN). NCh 433-2011: Diseño sísmico de edificios. Santiago, Chile.

Vamvatsikos, D., & Cornell, A. (2002). Incremental dynamic analysis, Department of civil and environmental engineering, Stanford University. U.S.A.