

El problema de la columna corta: análisis de casos usando el programa SAP2000

El tema de la columna corta que ha surgido a la luz pública luego de los sismos de enero sigue preocupando a la gente. Hay que aclarar, sin embargo, que los ingenieros estructurales conocían (o deberían conocer) este problema desde hace varios años. Vamos a tratar de entender el tema usando el programa de computadora para análisis estructural SAP2000 Versión 22.0 que usamos en las clases de Análisis Estructural en el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura.

El *problema de la columna corta*, a veces llamada *columna cautiva*, puede ocurrir bajo cuatro condiciones:

- | |
|--|
| 1) Si hay una pared no estructural (un muro de bloques, por ejemplo) que no llega hasta el tope de la columna, sino que queda una porción de esta libre. Usualmente esta porción libre se deja con el objetivo de colocar ventanas o para ventilación natural. Este es el caso más común en la práctica. También hay veces en que elementos que parecen “inofensivos” como jardineras pueden crear el mismo efecto de columna corta. |
| 2) Si la losa de techo tiene una pendiente y está sostenida por columnas con la misma sección transversal, pero con distinta altura. |
| 3) Si la losa de techo es horizontal pero la pendiente del terreno hace las losas de piso estén a distintos niveles y cuando además todas las columnas tienen las mismas propiedades. |
| 4) Si una de las columnas tiene un cambio de sección y esta es mayor en la parte inferior. Esto puede ocurrir porque se le hicieron reparaciones posteriores a su construcción, o por un diseño original con esta condición. |

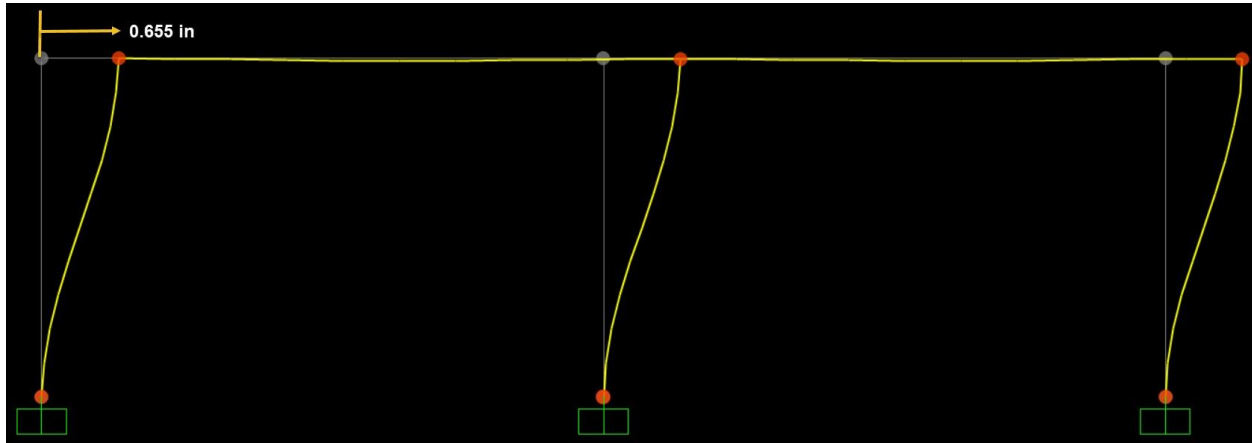
El efecto de un sismo en un edificio de un piso es equivalente a aplicarle una fuerza horizontal en el techo que varía en el tiempo en magnitud y en dirección (hacia la izquierda y derecha). Esta fuerza es igual a la masa concentrada m en el nivel superior multiplicada por la aceleración horizontal del techo $a(t)$ producida por el terremoto. La masa es el peso de la losa, vigas y contenido fijo a la losa (como equipos de aire acondicionado, etc.) dividido por la aceleración de la gravedad g .

Veamos primero un modelo de un pórtico plano de una estructura de un piso con tres columnas iguales y libres. Supongamos que la fuerza que actúa en el techo debido al sismo la calculamos y resultó ser igual a *48,000 libras* (o *48 kip*). Dijimos que la fuerza por el sismo varía en el tiempo, pero este valor es el máximo en un cierto instante de tiempo. Coloquemos esta fuerza en el techo dirigida hacia la derecha.

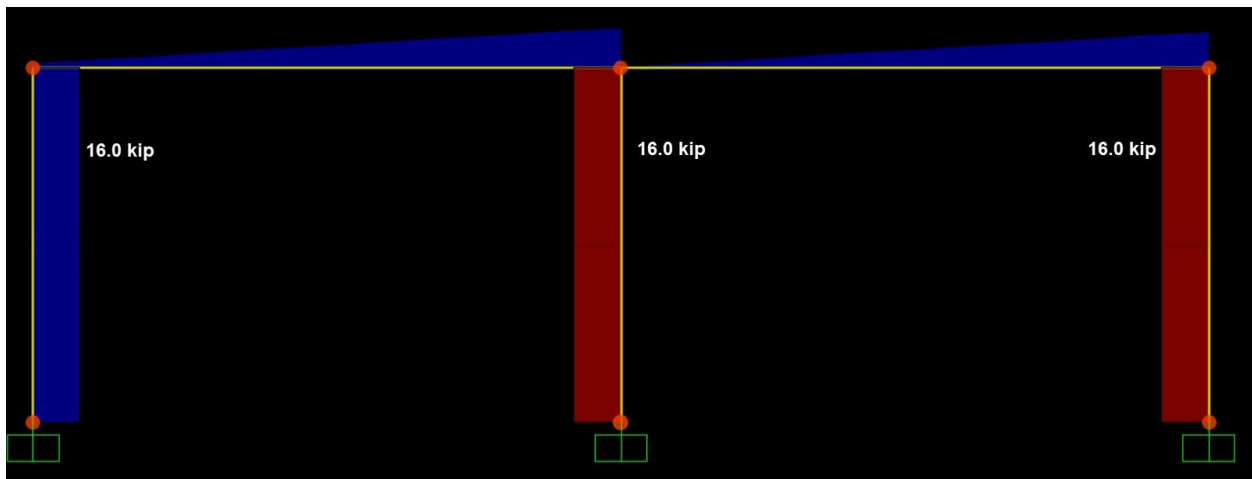
Para los estudiantes, esta fuerza usualmente se coloca en el centro de masa de la losa, pero como el techo es rígido horizontalmente se puede colocarla en uno de los extremos. También podemos dividirla en tres fuerzas de *16 kip* cada una, que es lo que hicimos en este ejemplo. Nuevamente para los estudiantes, cuando se hace este tipo de estudio luego hay que volver a analizar la estructura colocando la fuerzas hacia la derecha porque los momentos flectores van a cambiar dependiendo de su dirección (y porque así es como los sismos mueven las estructuras).

Las columnas de hormigón tienen sección transversal cuadrada de 12-in x 12-in y una altura libre de 12 pies.

La deformación del tope de las columnas es 0.655 pulgadas. Como la losa de techo y las vigas suelen ser muy rígidas para las deformaciones horizontales, los desplazamientos en la parte superior de las columnas serán casi iguales en todos los ejemplos, no importa qué clase de columna o pared sostiene el techo.



El diagrama de fuerzas cortantes se muestra a continuación. Las tres columnas tienen una fuerza cortante de 16,000 lb (16 kip) la cual deben resistir las columnas mediante el diseño apropiado.

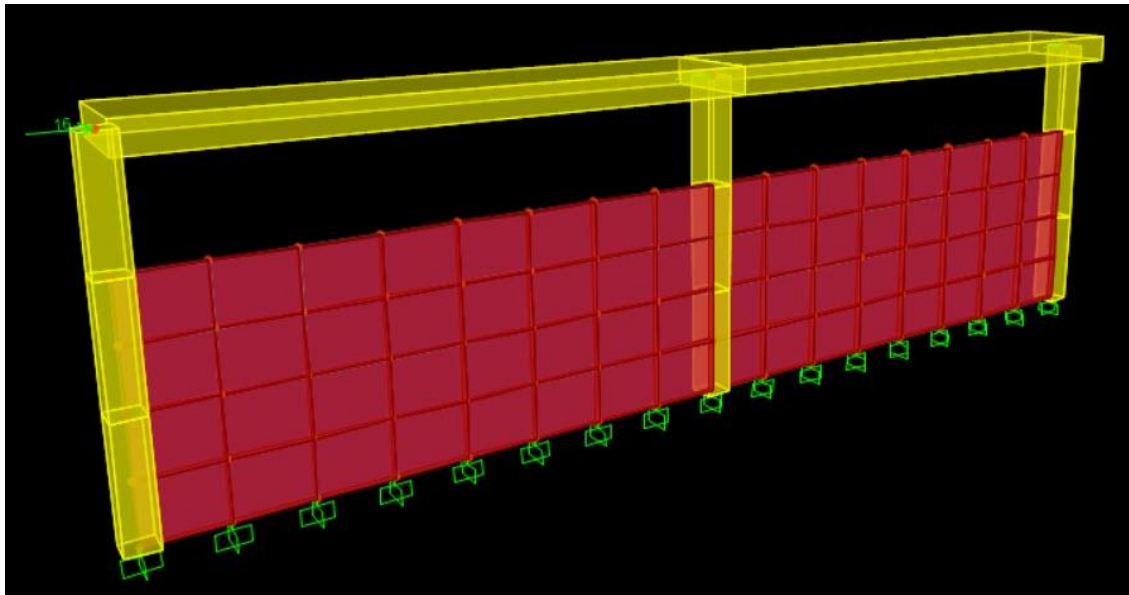


Supongamos ahora que ocurre la siguiente situación:

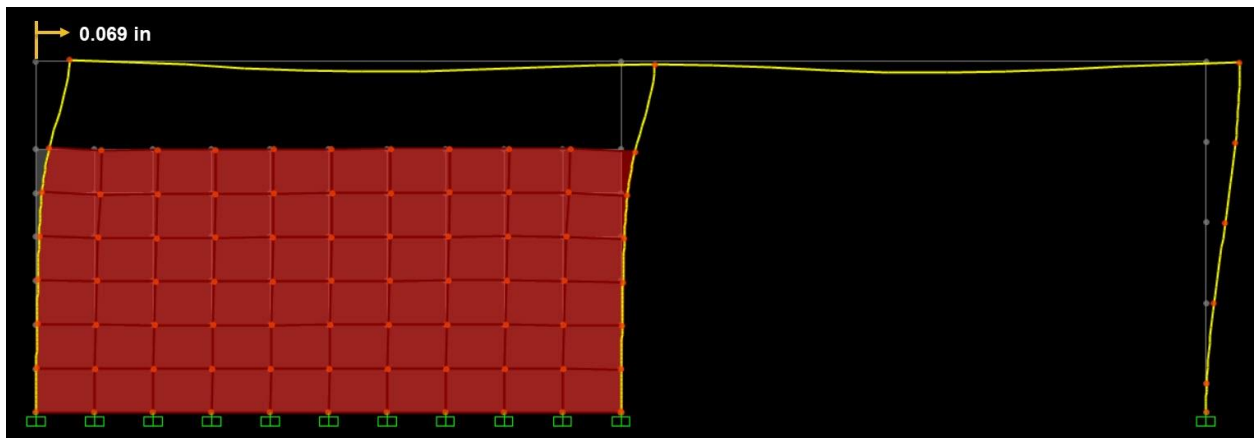
Alguien decide construir una pared de bloques que llega hasta tres cuartos (9 pies) de las dos primeras columnas, como se muestra en la siguiente figura.

También podría ocurrir que se sabía de antemano que se iba a construir esta pared, pero el diseñador decidió ignorarla porque es un elemento no estructural y “*estos no tienen mucho efecto*”. Vamos a verificar si esta suposición puede causar un error en las estimaciones de las fuerzas en las columnas.

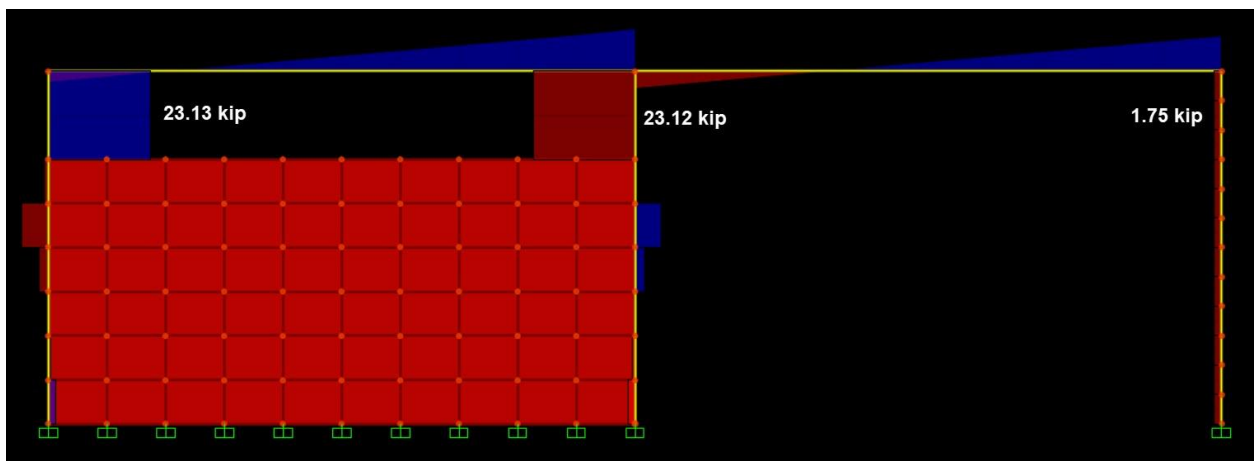
Volvemos a colocar la fuerza sísmica anterior de 48 kip actuando sobre tres puntos de la viga de techo. A continuación, se presenta una vista 3-D del pórtico que se va a estudiar. Para los estudiantes de Ingeniería, los bloques se modelaron con elementos finitos usando un módulo de elasticidad reducido equivalente para el hormigón y también un espesor equivalente (no se dan los detalles aquí por brevedad).



La deformación de la estructura es la siguiente:



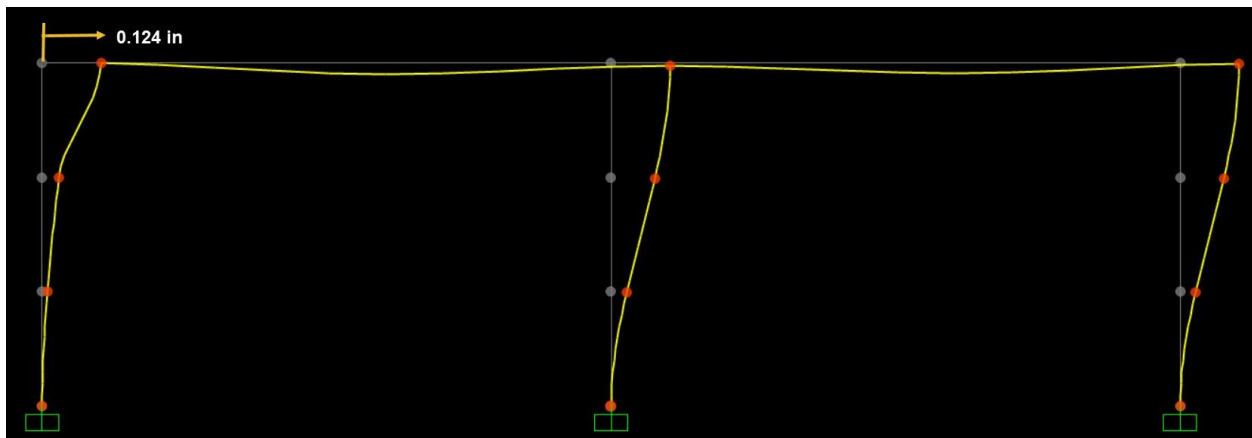
Y las fuerzas cortantes en las columnas son ahora:



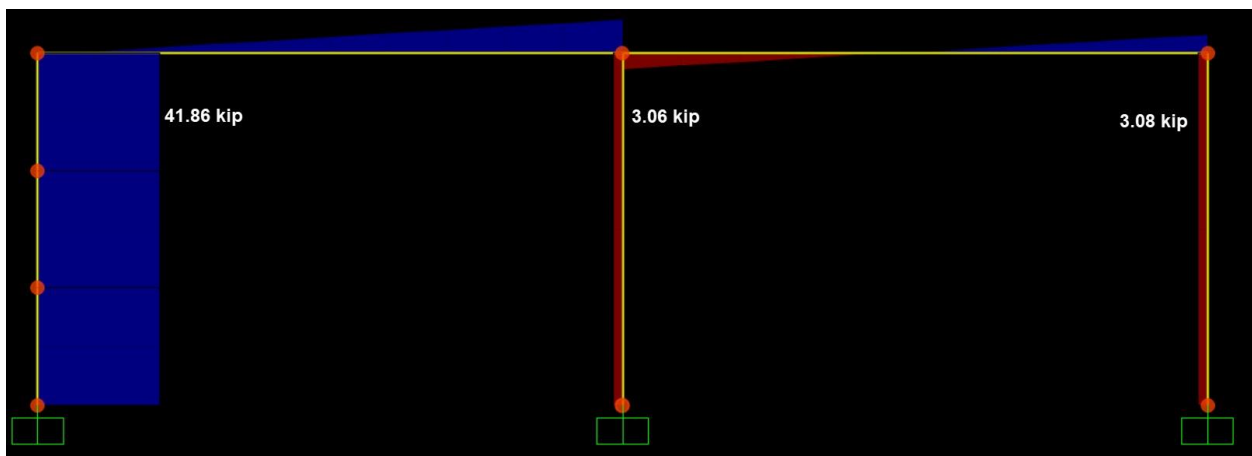
Por lo tanto, es evidente que casi todas las fuerzas del sismo las reciben ahora las dos columnas cortas y deben ser capaz de soportarlas. Si no se diseñaron para estas fuerzas, es posible que las columnas pudiesen fallar. Eso es así porque si bien las secciones y refuerzos de las columnas están generalmente un poco sobre diseñados (resisten un poco más de lo que nos dicen los cálculos por razones que no vienen al caso aquí), estas fuerzas son grandes comparadas con las columnas libres del primer caso (16 kip).

Veamos otro caso que algunas veces pasa desapercibido. Volvamos al pórtico original y supongamos que se le hicieron reparaciones *a la parte inferior* de una de las columnas (la de la izquierda) y que debido a esto tiene ahora una sección mayor, digamos 18-in x 18-in desde 0 hasta 8 ft. Coloquemos nuevamente las mismas fuerzas debidas al sismo y examinemos las deformaciones y las fuerzas cortantes.

La siguiente figura muestra las deformaciones. Notemos que columna con la irregularidad vertical tiene una deformación similar a la columna corta del ejemplo anterior:

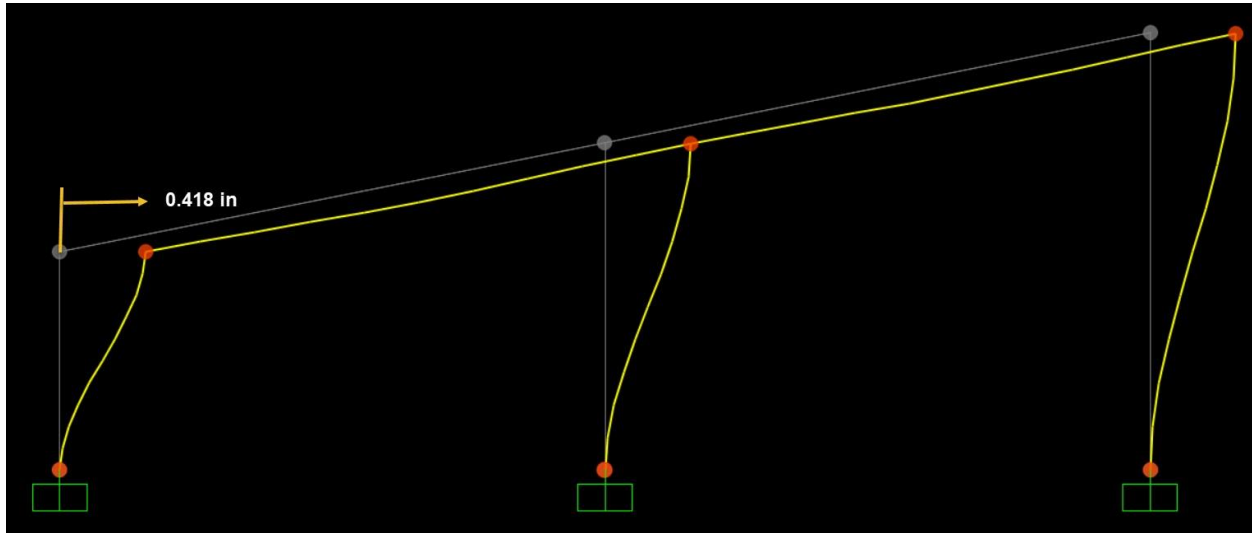


Ahora veamos el diagrama de fuerzas cortantes para este caso. Es evidente que la fuerza que absorbe la columna diferente (la primera) es mucho mayor que las otras dos. Si la parte superior de la columna no reforzada no se diseñó para esta nueva fuerza, es muy probable que falle en esta zona. Este caso es aún peor que el de la pared de bloques.

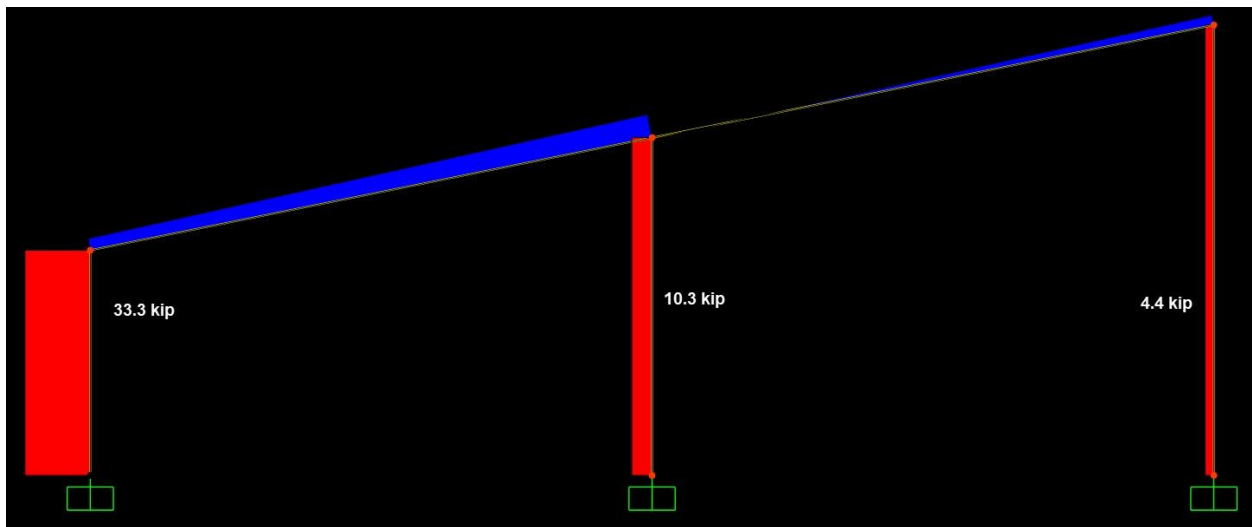


Estudieemos un último caso, el de un techo con desnivel, una situación que en principio parece inocente. Las tres columnas tienen distintas alturas: 8, 12 y 16 pies, pero todas tienen la misma sección transversal

de 12-in x 12-in. Coloquemos las tres fuerzas sísmicas de siempre (las de 16 kip horizontales) y observemos las deformaciones:



Veamos qué ocurre con las fuerzas cortantes para este caso del techo en pendiente.



Una vez más, la columna más corta sale perjudicada: recibe la mayor fuerza cortante y si hay una falla allí es donde se va a iniciar.

Conclusiones:

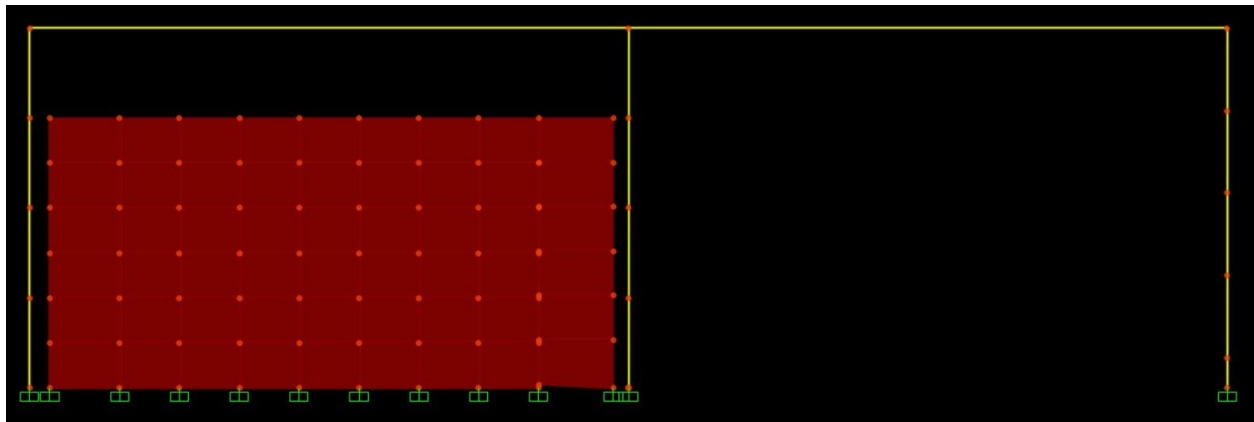
Resumiendo, el problema de la columna corta *se presenta cuando el desplazamiento horizontal relativo entre el tope y la base de la columna* (lo que se conoce como deriva o “drift” en inglés) *se concentra sólo en su porción libre, lo que hace que las fuerzas internas* (los cortantes y momentos) *sean más grandes que las correspondientes a la misma columna, pero si estuviera libre en toda su altura.*

El hecho de que existan columnas cortas en una estructura **no necesariamente** significa que hay un problema grave. **Siempre y cuando esta condición haya sido tomada en cuenta en el análisis** (como se hizo aquí) **y luego en el diseño**, el desempeño de la estructura durante un sismo fuerte debería ser adecuado.

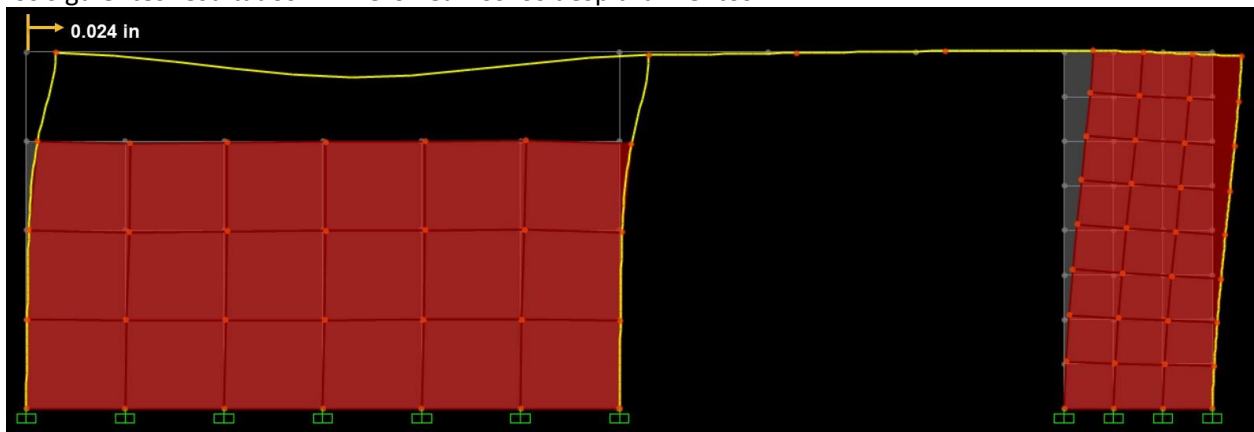
Una vez más enfatizamos que el verdadero problema no radica en que las columnas sean cortas, sino que esta condición especial no haya sido tenida en cuenta cuando se las diseñaron y construyeron.

El verdadero problema ocurre cuando se construyen (desde el comienzo o cuando se hace refacciones posteriores) paredes no estructurales rígidas (como los muros de bloques) que van a afectar la deformación de las columnas. Si se analiza, diseña y construye la estructura suponiendo que las columnas están libres en toda su longitud y no es así, entonces sí se presentará el problema de la columna corta.

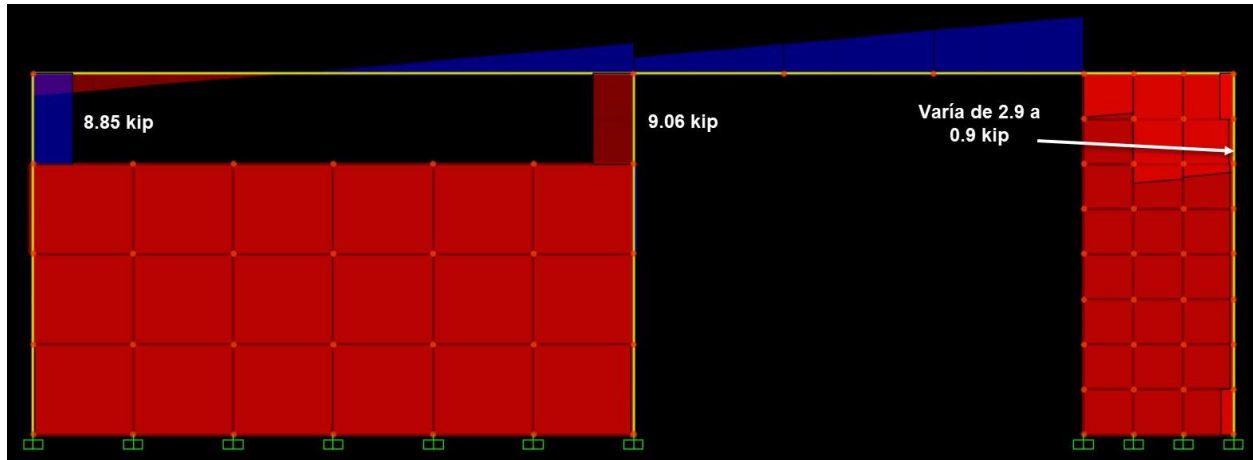
La mejor solución es simplemente evitar esta situación, separando convenientemente la columna de otros componentes no estructurales que puedan restringir su libre deformación. Esto se muestran en el siguiente modelo de SAP2000. La separación debe ser suficiente para que no haya un problema conocido como “golpeteo” (“pounding” en inglés) entre las columnas y la pared de bloque durante el sismo. Si se corre el programa con este modelo, los resultados van a ser los mismos que para el primer ejemplo (el de las tres columnas libres).



Existe otra solución, un poco más costosa pero que es de gran ayuda para resistir las fuerzas por un terremoto: construir una pared estructural o de carga (una pared de hormigón reforzado) la cual va a absorber la mayor porción de las fuerzas cortantes. Por ejemplo, en el siguiente modelo de SAP2000 se ha colocado una pared estructural unida a la columna libre. Al aplicar las fuerzas del terremoto se obtienen los siguientes resultados. Primero veamos los desplazamientos.



Y el diagrama con las fuerzas cortantes es el siguiente:



Las fuerzas cortantes en las dos columnas que delimitan la pared de bloques disminuyeron aproximadamente a la mitad y la reducción en la tercera columna de la derecha es aún mayor. Es la pared estructural la que está resistiendo la mayor parte de las fuerzas del terremoto.

Esta solución (las paredes estructurales) es la que debería usarse siempre en zonas sísmicas. Los edificios en Chile, uno de los países que experimentaron los terremotos más intensos en la historia reciente (de $M > 9$) se construyen con paredes estructurales. Si bien siempre hay daño estructural, como por ejemplo luego de un sismo tan fuerte como el del año 2010 con $M 8.8$, Chile es en general una historia de éxitos en cuanto a la construcción antisísmica se refiere. Ese sismo del 2010 fue 3981 veces “más fuerte” que el que experimentamos en Puerto Rico el 7 de enero de 2020.