

# ***Comparación de Diseño de un Edificio de Paredes de Corte de 20 pisos con y sin Paredes Acopladas***

Rony Espinosa

Ingeniería Civil

Alberto Guzmán de la Cruz, Ph. D.

Departamento de Ingeniería Civil

Universidad Politécnica de Puerto Rico

---

**Abstracto** — Este artículo consiste en el análisis y diseño de un edificio de 20 pisos de hormigón armado de uso residencial. Se compara la utilización de paredes acopladas y no acopladas, sometido a cargas de viento y sísmica usando el programa ETABS. Se encontró que en el sistema acoplado se produjo un 68% menor de deriva a nivel intermedio y un 86% en el piso superior. En el sistema no acoplado se produjo un 77% menor de cortante por piso y un 59% menor de momento por piso.

**Palabras Claves** — Acopladas, no acopladas, deriva, ductilidad, vinculadas.

## **INTRODUCCIÓN**

Una pared acoplada consiste de dos o más paredes vinculadas o unidas mediante vigas de acoplamiento. Las vigas a menudo están formadas como resultado de las aberturas requeridas a través de la pared, en cada piso; la estructura resultante se convierte efectivamente en un marco con columnas muy fuertes y vigas débiles. La mayor parte del rendimiento se confina a las vigas de acoplamiento, siempre que estén adecuadamente diseñadas, que a menudo implica el uso de acero diagonal; excelente ductilidad y rigidez pueden obtenerse.

Una estructura se puede definir como algo que constituye la cobertura protectora o envoltura de un objeto; algo que soporta peso y recibe o resiste cargas y fuerzas de alguna naturaleza.

Cuatro son las principales consideraciones o criterios que rigen casi todos los diseños estructurales: comodidad o función, rigidez, apariencia y la economía [1]. Este último aunque anteriormente no haya sido objetado por los proyectistas adinerados, con certeza ahora sí lo es.

Por comodidad o función simplemente se quiere decir que, como la estructura fue construida con un fin particular, el objetivo del proyectista es que ésta desempeñe bien dicho fin. Los proyectistas no siempre lo tienen presente, y se ocupan más del tercer criterio, la apariencia, que de asegurarse que su estructura trabaje bien.

La segunda consideración para una buena edificación, la rigidez, es responsabilidad especial del ingeniero estructural. Este debe garantizar que la estructura no colapsara bajo la acción de cargas. Además, no deben presentarse agrietamientos serios o deformaciones desagradables, ni vibrar por motivos de los vientos fuertes, tampoco sufrir hundimientos en el terreno. Un buen diseño estructural requiere entender la forma en que las estructuras se sostienen y transmiten fuerzas, así como la resistencia y demás propiedades de los materiales estructurales.

Casi todas las estructuras se construyen con alguna limitación de gasto y esta restricción financiera es un punto importante e influye sobre los demás criterios. Recortar el costo puede poner en peligro la estructura. Si por otro lado, se construye innecesariamente resistente, puede no ser competitiva y el proyectista deberá tratar de refinar los detalles o tal vez variar toda la concepción estructural, posiblemente con el cambio de material, lo cual brinda la resistencia y estabilidad de forma más económica. Al final la estructura puede ser más barata aún cuando pese más, como por ejemplo, para alturas moderadas, los edificios de concreto armado generalmente son más económicos que los de estructuras de acero, aún cuando los de concreto son normalmente más pesados. Sin embargo, el peso puede ser una consideración primordial.

El costo real de una estructura no es, por supuesto, simplemente el costo de su diseño y construcción, sino que a este primer costo, se le suma el costo capitalizado necesario para mantenerla en buenas condiciones durante su vida útil. Pero no siempre los proyectistas ni los clientes se preocupan por esto, y prefieren la opción de un costo mínimo de construcción. El costo no solamente se encuentra relacionado con solidez o seguridad sino también el criterio de la buena apariencia, el impacto visual que la estructura genera en la gente.

Los materiales empleados en las estructuras siempre influyen en la forma y apariencia de estas. Cada material estructural presenta características y limitaciones que determinan la forma estructural hasta el grado no siempre imaginado por los no conocedores. Por lo tanto, este estudio de las estructuras se inicia observando las características principales de los materiales para la construcción que tiene estrecha relación con la resistencia y estabilidad.

La ingeniería estructural es una habilidad única que, de manera análoga con la metalurgia, se desarrolló como un arte práctico mucho antes de que se entendieran las ciencias subyacentes. En efecto, la edificación constituye uno de los oficios tradicionales, y su práctica durante cualquier época se encuentra grandemente influenciada por la del pasado, a veces con la del pasado remoto.

El arte del ingeniero estructural es altamente habilidoso y difícil. Debe comprender la acción estructural, la manera en que se resiste y transmite las fuerzas a través de las estructuras, que esfuerzos y deformaciones se generan, y finalmente cuál de los muchos tipos de fallas pueden ocurrir. Por tanto, el estructural no es simplemente un analista, es más que nada un creador de las estructuras.

## CLASIFICACIÓN DE LOS EDIFICIOS

Por lo general los edificios se clasifican en los siguientes tipos [3]:

- **Residentes:** en esta clasificación se pueden encontrar los edificios de apartamentos, asilos

de ancianos, alojamientos para personas discapacitadas, entre otros.

- **Comerciales:** tiendas por departamento, supermercados, centros comerciales, dealers de autos, centros de servicios para autos, oficinas generales, laboratorios de investigación, estaciones de televisión, estaciones de radio, funerarias, entre otros.
- **Hospitalarios:** restaurantes, tiendas de cocina, centros de conferencias y hoteles.
- **Educativos:** escuelas, colegios, universidades, centros de estudiantes, laboratorios universitarios y bibliotecas.
- **Asistencias Médicas:** hospitales en general, suites quirúrgicas, suites para rayos X, farmacias, departamentos de fisioterapia, laboratorios médicos, centros de rehabilitación, centros de cuidados mentales, escuelas médicas, escuelas de dentistas y enfermeras.
- **Culturales y entretenimiento:** Museos, cines, galerías de arte, entre otros.
- **Gubernamentales y públicos:** edificios municipales, estaciones de bomberos, estaciones de policías, centros de recreación, palacios de justicia, embajadas y cancillerías.
- **Religiosos:** Iglesias en general, templos, sinagogas y capillas.
- **Transportación:** aeropuertos, puertos marítimos, estacionamientos, estacionamientos multipisos, entre otros.

## EDIFICIOS MULTIPISOS

Desde 1945 han ocurrido grandes cambios en el diseño de edificios altos. Un desarrollo importante hasta para 20 pisos es el empleo de paredes de carga sin importar el armazón estructural. En los edificios tradicionales de mampostería, las paredes exteriores (muros de cargas) soportan las cargas verticales debidas al peso muerto de las paredes y pisos superiores, así como la carga viva de los pisos y las fuerzas horizontales debidas a la presión del viento que actúa lateralmente sobre ellas.

Cuanto más alto es un edificio, más importante son las fuerzas de viento en comparación con otras cargas. Para un valor dado de la presión de viento, los esfuerzos de flexión en la base de la estructura, considerada como una viga en voladizo vertical, aumentan según el cuadrado de su velocidad que depende directamente de la altura.

Las presiones del viento aumentan con la altura sobre el terreno. Las velocidades del viento a una altura de 500 mts pueden ser el doble que las del nivel del terreno, y como la presión del viento es proporcional al cuadrado de su velocidad, esto significa que las presiones del viento pueden ser el cuádruple de las cercanas al terreno.

De esta manera los esfuerzos de flexión en un edificio de 500 mts. de altura pueden ser ocho veces más grandes que en uno similar de 100 mts. de altura [2]. En el diseño estructural de edificios muy altos, las fuerzas del viento son normalmente las cargas que tienden a controlar el diseño.

La demanda en las ciudades de edificios cada vez más altos, hizo que se revisaran cuidadosamente los métodos más económicos para desafiar tales estructuras para que resistieran las fuerzas del viento. La estructura tradicional de vigas y columnas no es un sistema estructural eficiente para fuerzas laterales grandes, ya que la acción proviene principalmente de la resistencia a la flexión de vigas y columnas.

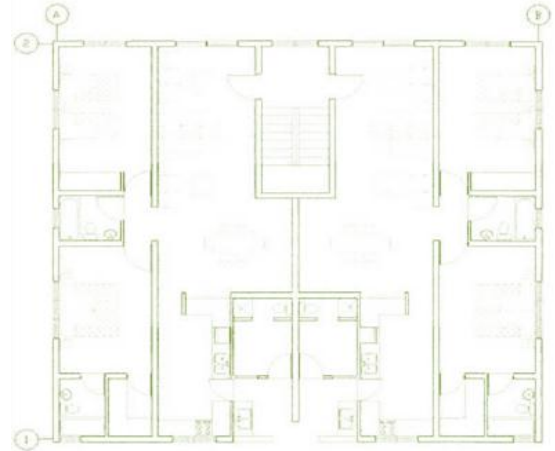
## OBJETIVOS

El principal objetivo de este proyecto es estudiar, evaluar y comparar el comportamiento de un edificio de 20 pisos (180 fl. de altura) en hormigón armado de uso residencial con paredes no acopladas y acopladas, sometido a cargas de viento y sísmica. Este es un edificio no existente, fue seleccionada una planta típica (Ver Figura 1) para el estudio único de este proyecto.

Se establecerá si es conveniente tanto en el aspecto económico como en lo funcional, que al analizar una estructura con una altura definida es recomendable desarrollarla teniendo en cuenta o no, la presencia de paredes acopladas.

Para esto se desarrollará análisis y diseño de un edificio de veinte (20) niveles, con una planta como se muestra a continuación (Ver Figura 1), teniendo en cuenta estos aspectos y evaluando la efectividad que podría tener en la isla de Puerto Rico.

Todos los análisis se han realizado usando los programas ETABS [4], SAFE Y AUTO CAD.



**Figura 1**  
**Planta Típica de la Estructura**

## MODELO ANALÍTICO

Para ambos modelos (acoplado y no acoplado) la carga viva aplicada fue de 40 Ib-fl, la carga muerta fue de 15 Ib-fl y la velocidad del viento aplicada fue de 145 mph según el ASCE 7-02 para la isla de Puerto Rico. Los factores o parámetros sísmicos según el UBC 1997 son: Factor de Reducción de Respuesta R es de 4.5, Factor de Importancia I es de 1 y el Factor de Zona Sísmica Z es de 0.30.

## ANÁLISIS

Se evaluará y comparará los siguientes parámetros:

- Deriva
- Shear capacity
- Moment capacity
- Análisis de costo

Los materiales en ambos casos (acoplado y no acoplado) son los mismos. Ver Tabla 1.

**Tabla 1**  
**Propiedades de los Materiales**

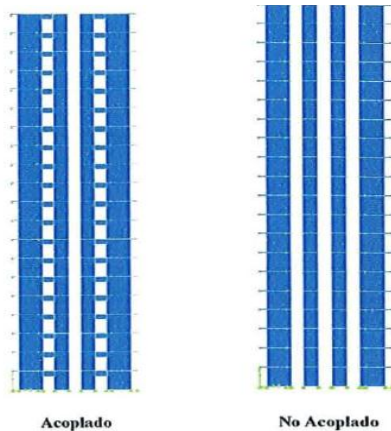
	Acoplado	No Acoplado
F'c paredes 1er al 10mo nivel	4000 psi	4000 psi
F'c paredes 11 <sup>vo</sup> al 20 <sup>vo</sup> nivel	3000 psi	3000 psi
F'c en losas	3000 psi	3000 psi
F'c en vigas	3000 psi	3000 psi
Espesor de paredes	6 in	6 in
Espesor de losas	5 in	5 in

La Tabla 2 muestra la altura y la elevación por piso de la estructura.

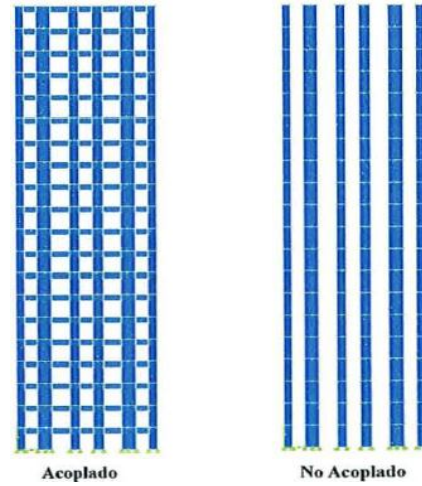
**Tabla 2**  
**Datos por Pisos**

Piso	Altura[ft]	Elevación[ft]
20	9	180
19	9	171
18	9	162
17	9	153
16	9	144
15	9	135
14	9	126
13	9	117
12	9	108
11	9	99
10	9	90
9	9	81
8	9	72
7	9	63
6	9	54
5	9	45
4	9	36
3	9	27
2	9	18
1	9	9

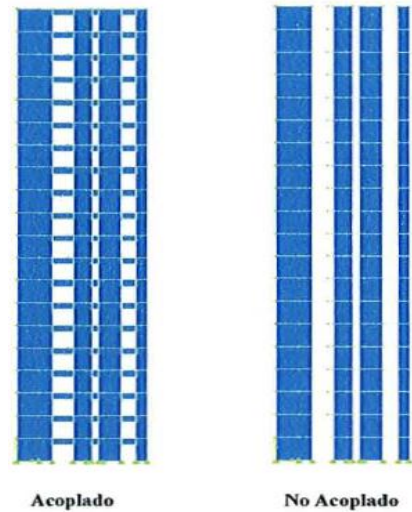
Las Figuras de la 2 a la 5 muestran las diferentes elevaciones de la estructura.



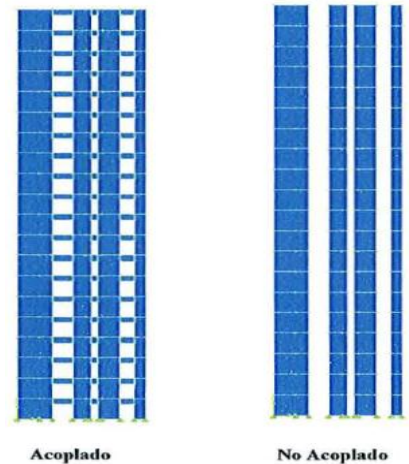
**Figura 2**  
**Elevación Posterior. Eje 1**



**Figura 3**  
**Elevación Frontal. Eje 2**



**Figura 4**  
**Elevación Lateral Derecho. Eje A**



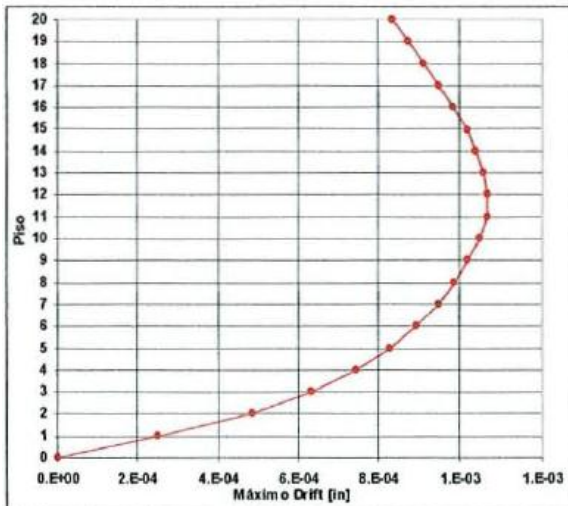
**Figura 5**  
**Elevación Lateral Izquierdo. Eje B**

## RESULTADOS: DERIVA

En las Tablas 3 a la 6 y las Gráficas 1 a la 4 se puede observar la deriva máxima por nivel tanto en la dirección de "X" como en la dirección de "Y" de ambos casos.

**Tabla 3**  
Máxima deriva por piso en la dirección de X

Acoplado			
Piso	Dirección	Carga	Máxima Deriva
20	X	EQX	8.35E-041
19	X	EQX	8.73E-08
18	X	EQX	9.12E-04
17	X	EQX	9.50E-04
16	X	EQX	9.85E-04
15	X	EQX	1.02E-03
14	X	EQX	1.04E-03
13	X	EQX	1.06E-03
12	X	EQX	1.07E-03
11	X	EQX	1.07E-03
10	X	EQX	1.05E-03
9	X	EQX	1.02E-03
8	X	EQX	9.87E-04
7	X	EQX	9.48E-04
6	X	EQX	8.95E-04
5	X	EQX	8.29E-04
4	X	EQX	7.42E-04
3	X	EQX	6.33E-04
2	X	EQX	4.86E-04
1	X	EQX	2.52E-04



**Gráfica 1**  
Máximo Deriva por Piso Dirección de X. Edificio Acoplado

Se puede observar que el valor máximo de deriva del edificio acoplado en la dirección X se encuentra en

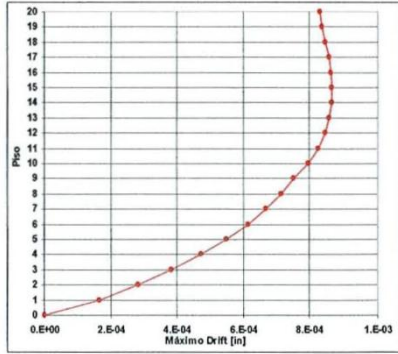
los pisos 11 y 12; mientras que en el edificio no acoplado se encuentra en el piso 10.

**Tabla 4**  
Máxima deriva por piso en la dirección de X

Acoplado			
Piso	Dirección	Carga	Máxima Deriva [in]
20	X	EQX	9.65E-04
19	X	EQX	1.05E-03
18	X	EQX	1.11E-03
17	X	EQX	1.19E-03
16	X	EQX	1.27E-03
15	X	EQX	1.34E-03
14	X	EQX	1.40E-03
13	X	EQX	1.46E-03
12	X	EQX	1.51E-03
11	X	EQX	1.53E-03
10	X	EQX	1.54E-03
9	X	EQX	1.51E-03
8	X	EQX	1.49E-03
7	X	EQX	1.45E-03
6	X	EQX	1.39E-03
5	X	EQX	1.30E-03
4	X	EQX	1.18E-03
3	X	EQX	9.95E-04
2	X	EQX	7.41E-04
1	X	EQX	3.21E-04

**Tabla 5**  
Máxima deriva por piso en la dirección de Y

Acoplado			
Piso	Dirección	Carga	Máxima Deriva [in]
20	Y	EQY	8.32E-04
19	Y	EQY	8.36E-04
18	Y	EQY	8.47E-04
17	Y	EQY	8.58E-04
16	Y	EQY	8.64E-04
15	Y	EQY	8.67E-04
14	Y	EQY	8.67E-04
13	Y	EQY	8.60E-04
12	Y	EQY	8.47E-04
11	Y	EQY	8.27E-04
10	Y	EQY	7.97E-04
9	Y	EQY	7.54E-04
8	Y	EQY	7.15E-04
7	Y	EQY	6.68E-04
6	Y	EQY	6.13E-04
5	Y	EQY	5.48E-04
4	Y	EQY	4.72E-04
3	Y	EQY	3.84E-04
2	Y	EQY	2.82E-04
1	Y	EQY	1.66E-04

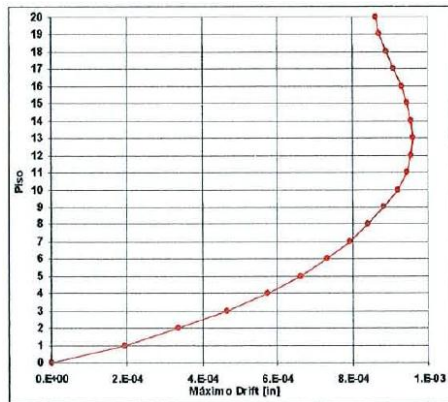


Gráfica 3

Máxima Deriva por Piso Dirección Y. Edificio Acoplado

Tabla 6  
Máxima deriva por piso en la dirección de Y

Acoplado			
Piso	Dirección	Carga	Máxima Deriva [in]
20	Y	EQY	8.61E-04
19	Y	EQY	8.70E-04
18	Y	EQY	8.88E-04
17	Y	EQY	9.09E-04
16	Y	EQY	9.29E-04
15	Y	EQY	9.43E-04
14	Y	EQY	9.54E-04
13	Y	EQY	9.58E-04
12	Y	EQY	9.54E-04
11	Y	EQY	9.42E-04
10	Y	EQY	9.19E-04
9	Y	EQY	8.80E-04
8	Y	EQY	8.40E-04
7	Y	EQY	7.92E-04
6	Y	EQY	7.33E-04
5	Y	EQY	6.61E-04
4	Y	EQY	5.74E-04
3	Y	EQY	4.67E-04
2	Y	EQY	3.37E-04
1	Y	EQY	1.95E-04



Gráfica 4

Máxima Deriva por Piso Dirección de Y. Edificio No Acoplado

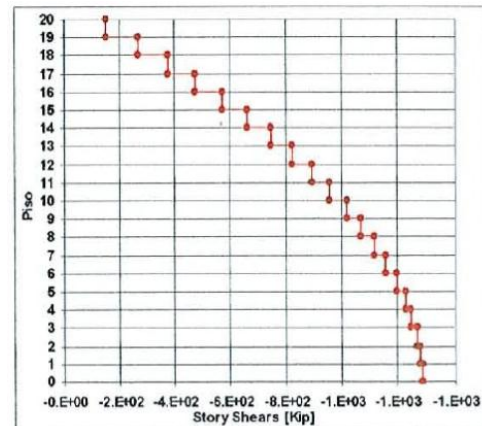
Pero por otro lado cuando comparamos la deriva en ambas direcciones y en ambos edificios, se puede observar que el máximo encontrado fue en piso 10 del edificio no acoplado en dirección X.

## RESULTADOS: CORTANTE POR PISO Y MOMENTO POR PISO

En las Tablas 7 a la 10 y las Gráficas 5 a la 12 se pueden observar los cortantes y los momentos por cada nivel, por cada caso (acoplado y no acoplado) y en ambas direcciones.

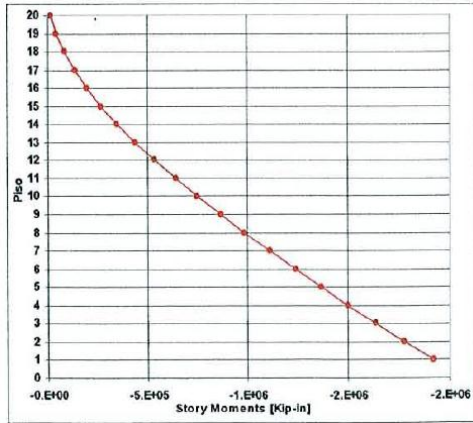
Tabla 7  
Fuera por Piso (EQX)

Acoplado		
Piso	VX[Kip]	MX [Kip-in]
20	-1.54E+02	-1.65E-04
19	-2.67E+02	-4.53E+04
18	-3.75E+02	-8.57E+04
17	-4.76E+02	-1.37E+05
16	-5.72E+02	-1.99E+05
15	-6.61E+02	-2.70E.05
14	-7.45E-02	-3.50E+05
13	-8.22E+02	-4.39E+05
12	-8.94E+02	-5.36E+05
11	-9.59E+02	-6.39E+05
10	-1.02E+03	-7.49E+05
9	-1.07E+03	-8.65E+05
8	-1.12E+03	-9.86E+05
7	-1.16E+03	-1.11E+06
6	-1.20E+03	-1.24E+06
5	-1.23E+03	-1.37E+06
4	-1.25E+03	-1.50E+06
3	-1.27E+03	-1.64E+06
2	-1.28E+03	-1.78E+06
1	-1.29E+03	-1.92E+06

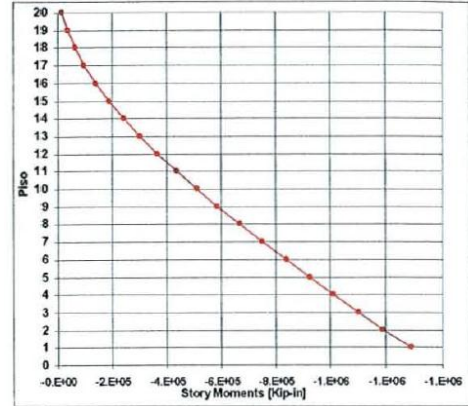


Gráfica 5

Cortante por Piso Dirección X. Edificio Acoplado



**Gráfica 6**  
Momento por Piso Dirección X. Edificio Acoplado



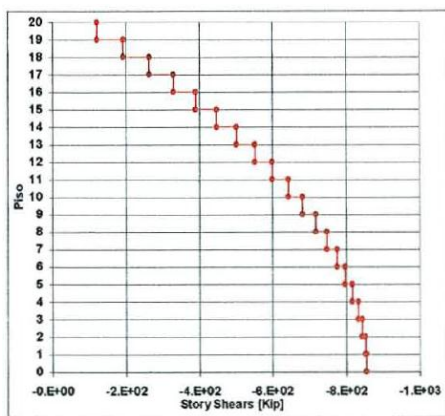
**Gráfica 8**  
Momento por Piso Dirección X. Edificio No Acoplado

**Tabla 8**  
Fuera por Piso (EQX)

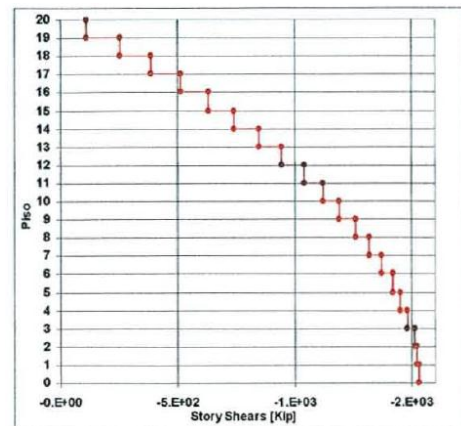
Acoplado		
Piso	VX[Kip]	MX [Kip-in]
20	-1.20E+02	-1.29E-04
19	-1.93E+02	-3.38E+04
18	-2.63E+02	-6.22E+04
17	-3.29E+02	-9.77E+05
16	-3.91E+02	-1.40E+05
15	-4.49E+02	-1.88E.05
14	-5.03E-02	-2.42E+05
13	-5.53E+02	-3.02E+05
12	-6.00E+02	-3.67E+05
11	-6.42E+02	-4.36E+05
10	-6.81E+03	-5.10E+05
9	-7.16E+03	-5.87E+05
8	-7.47E+03	-6.68E+05
7	-7.74E+03	-7.51E+06
6	-7.97E+03	-8.37E+06
5	-8.16E+03	-9.25E+06
4	-8.32E+03	-1.01E+06
3	-8.44E+03	-8.51E+06
2	-8.51E+03	-1.19E+06
1	-8.55E+03	-1.29E+06

**Tabla 9**  
Fuera por Piso (EQX)

Acoplado		
Piso	VY[Kip]	MY [Kip-in]
20	-1.11E+02	-1.19E-04
19	-2.53E+02	-3.91E+04
18	-3.87E+02	-8.08E+04
17	-5.13E+02	-1.36E+05
16	-6.33E+02	-2.04E+05
15	-7.45E+02	-2.84E.05
14	-8.49E-02	-3.76E+05
13	-9.46E+02	-4.78E+05
12	-1.04E+03	-5.90E+05
11	-1.12E+03	-7.10E+05
10	-1.19E+03	-8.39E+05
9	-1.26E+03	-9.75E+05
8	-1.32E+03	-1.11E+05
7	-1.37E+03	-1.26E+06
6	-1.42E+03	-1.41E+06
5	-1.45E+03	-1.57E+06
4	-1.48E+03	-1.73E+06
3	-1.51E+03	-1.89E+06
2	-1.52E+03	-2.06E+06
1	-1.53E+03	-2.27E+06



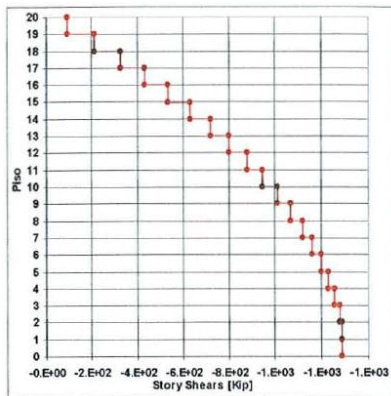
**Gráfica 7**  
Cortante por Piso Dirección X. Edificio No Acoplado.



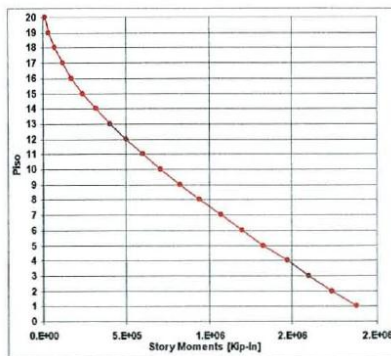
**Gráfica 9**  
Cortante por Piso dirección Y. Edificio Acoplado

**Tabla 10**  
**Fuera por Piso (EQY)**

Acoplado		
Piso	VY[Kip]	MY [Kip-in]
20	-9.30E+01	1.00E+04
19	-2.13E+02	3.30E+04
18	-3.27E+02	6.83E+04
17	-4.34E+02	1.15E+05
16	-5.35E+02	1.73E+05
15	-6.30E+02	2.41E+05
14	-7.19E+02	3.18E+05
13	-8.01E+02	4.05E+05
12	-8.77E+02	4.99E+05
11	-9.46E+02	6.02E+05
10	-1.01E+03	7.11E+05
9	-1.07E+03	8.26E+05
8	-1.12E+03	9.46E+05
7	-1.16E+03	1.07E+06
6	-1.20E+03	1.20E+06
5	-1.23E+03	1.33E+06
4	-1.26E+03	1.47E+06
3	-1.28E+03	1.60E+06
2	-1.29E+03	1.74E+06
1	-12.9E+03	1.88E+06



**Gráfica 11**  
**Cortante por Piso Dirección Y. Edificio No Acoplado.**



**Gráfica 12**  
**Momento por Piso Dirección Y. Edificio No Acoplado**

## ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación se presenta un breve análisis de costo con las cantidades aproximadas en la que saldría la compra del volumen de hormigón y quintales de acero de ambos casos. Estos precios no incluyen mano de obra ni equipos, solo incluyen la compra del hormigón y el acero necesario para los dos casos por individual. Ver Tablas 11 y 12.

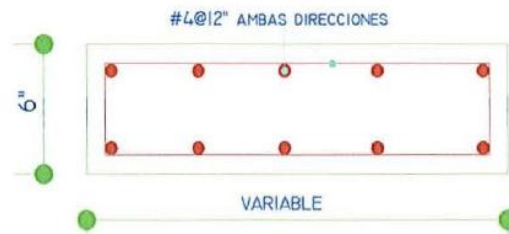
**Tabla 11**  
**Análisis de Costo Edificio No Acoplado**

No acoplado				
Descrip.	Cant.	Unidad	Precio unitario	Total
Hormigón	2050	Yd <sup>3</sup>	\$100.00	\$205,000.00
Acero	1680	QTT	\$40.00	\$67,200.00
<b>Total</b>				<b>\$272,200.00</b>

**Tabla 11**  
**Análisis de Costo Edificio No Acoplado**

No acoplado				
Descrip.	Cant.	Unidad	Precio unitario	Total
Hormigón	2120	Yd <sup>3</sup>	\$100.00	\$212,000.00
Acero	1800	QTT	\$40.00	\$72,200.00
<b>Total</b>				<b>\$284,000.00</b>

La Figura 6 muestra un detalle típico de las paredes y la colaboración del acero.



**Figura 6**  
**Detalle Típico Paredes**

## CONCLUSIONES

Según el análisis de costo y al solo tomar en cuenta el precio de compra de hormigón y acero necesario para la construcción de cada caso por individual, la diferencia del mismo se podría decir que no es tan significativa (US\$11,800.00); la diferencia de este análisis de costo sería más notable si se tomaran muchos más aspectos que conlleva la construcción del edificio acoplado,

como por ejemplo equipos, mano de obra especializada, material adicional y tiempo.

Al comparar la deriva en ambos casos, se llega a la conclusión que para el caso acoplado este es menor en un 68% que en el no acoplado, esto se debe a que el acoplamiento en la estructura disminuye los desplazamientos en ambas direcciones.

Sin embargo, al comparar el cortante y el momento en ambos casos, para el caso no acoplado se produjeron un 77% y un 59% menos, respectivamente, que en el acoplado.

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente es mas conveniente optar por la opción de no acoplado si solo tenemos en cuenta el aspecto económico, en otras palabras por la economía, a veces no siempre este parámetro de la economía es mas importante que los demas; por lo que si evaluáramos todos los demás parámetros y haciendo un equilibrio de lo económico versus comportamiento de la estructura definitivamente resulta mejor optar par la opción de la estructura acoplada.

## **REFERENCIAS**

- [1] Ambrose, James, "Diseño Simplificado de Estructurasde Edificios", Primera Edición, 1982.
- [2] Booth, Edmund, "Concrete Stuctures in Earthquake Regions", Longman Groups, 1994.
- [3] De Chiara, Joseph, "Time Saver Standards for Building Types", Fourth Edition, 1997.
- [4] Extender 3D Analysis of Building Systems (ETABS) Nonlinear Version 9.5.0, Copyright 1984-2008 Computers and Structures, Inc.