



**Jaime Yecid Chia Angarita**  
Ingeniero Civil, Universidad La Gran Colombia, Bogotá  
jaime.chia@hotmail.com

**Humberto Ramírez Montejo**  
Ingeniero Civil, Universidad La Gran Colombia, Bogotá  
teoman05@hotmail.com

# Secuencia de Construcción

usando ETABS

## RESUMEN

Este artículo es el resumen del proyecto de investigación que permitió estudiar las opciones de diseño de un edificio. Este se hace normalmente con la estructura completa, pero realmente se construye piso a piso, situación que genera diferencia entre lo que se construye y lo que se diseña. Por esta razón, se hace el análisis estructural de un edificio de concreto reforzado de diez pisos, considerando únicamente el peso propio, comparando los resultados de un análisis tradicional con un análisis por secuencia de construcción, utilizando el software de Análisis Tridimensional Extendido de Sistemas de Edificios, ETABS, versión 9.7.0. Los resultados obtenidos se comparan y se obtienen conclusiones.

Palabras clave: Análisis estructural; análisis tridimensional extendido de sistemas de edificios, etabs, versión 9.7; edificios de concreto reforzado; secuencia de construcción.

## ABSTRAC

When he / she is carried out the structural calculation of a building this it is made with the complete structure but floor is really built to floor, situation that generates difference among what is built and what is designed, for this reason the structural analysis of a building of reinforced concrete often floors is made only considering the own weight, comparing the results of a traditional analysis with an analysis for construction sequence using the software of Three-dimensional Extended Analysis of Systems of Buildings, ETABS, version 9.7.0. The obtained results are compared and conclusions are obtained.

Words Key Structural analysis; Three-dimensional extended analysis of systems of buildings, etabs, version 9.7; buildings of reinforced concrete; construction sequence.

## I. INTRODUCCIÓN

Cuando se realiza el análisis estructural de un edificio de cualquier número de pisos, se hallan momentos y cortantes teniendo en cuenta el edificio completo, pero en realidad se construye piso a piso o zona por zona, dependiendo del tipo de estructura. Utilizando el software Análisis Tridimensional Extendido de Sistemas de Edificios, ETABS, versión 9.7, se compararon los resultados de un análisis con secuencia de construcción y un análisis del edificio completo, para ver la diferencia y apreciar que tan importante es tener en cuenta la secuencia de construcción.

Ésta aplica para el caso de carga propia y consiste en realizar el análisis de una estructura, de la misma forma como se va a construir, es decir, determinar momentos y cortantes en los elementos de la estructura, cuando se construye el primer piso, luego estos mismos valores cuando se cons-

truye el segundo piso y así sucesivamente hasta el último de los pisos. La secuencia de construcción es de gran importancia para edificaciones cuya construcción es por etapas, o que por su complejidad, el tiempo de obra es muy prolongado. Esta herramienta permite al ingeniero calculista revisar si los resultados de los análisis estructurales, incluidas las fuerzas sísmicas son menores a los resultados obtenidos con el método de secuencia de construcción en determinada etapa.

En la actualidad este método es usado en las grandes edificaciones que construyen las potencias mundiales. Algunas edificaciones de estas no solo contemplaron la secuencia de construcción, si no que contemplaron la ocurrencia de un sismo durante su construcción, entre estas están: Torre Dubái Arch de 40 pisos y Torre Burj Dubái de 156 pisos, en los Emiratos Árabes.



## II. METODOLOGÍA

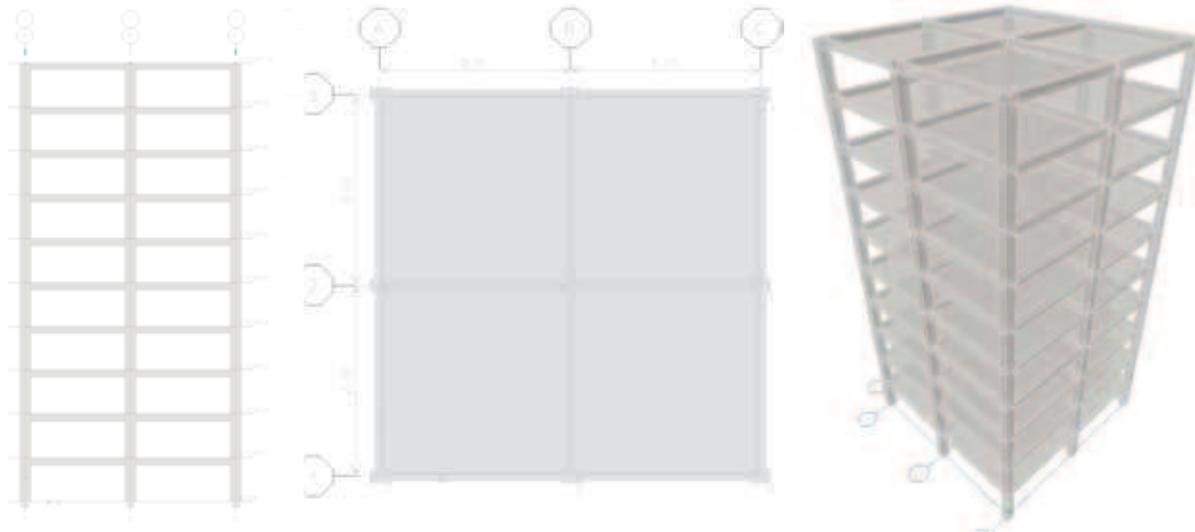


FIGURA 1. VISTA 3D EDIFICIO DE 10 PISOS, ELEVACIÓN, Y PLANTA  
Fuente: autores.

Se tomó un edificio de 10 pisos, con tres ejes por cada lado totalmente simétrico, luz entre ejes de columnas de 6,0 m y altura de piso 2,50 m, columnas de 0,60m\*0,40m, vigas de 0,4m\*0,3m, losa maciza, tipo membrana de 15cm de espesor. Las propiedades de los materiales son:

- Resistencia a la compresión del concreto  $f'_c = 210 \text{Kg/cm}^2$
- Peso por unidad de volumen del concreto  $\gamma = 2,4 \text{T/m}^3$
- Relación de Poisson del concreto  $\mu = 0,2$
- Módulo de elasticidad del concreto  $E = 181142,2 \text{Kg/cm}^2$
- Esfuerzo de fluencia en el acero  $f_y = 4200 \text{Kg/cm}^2$

La secuencia de construcción es muy importante en edificaciones cuya construcción es prolongada, a través del tiempo. También, se puede modelar la estructura para que suceda el sismo durante la construcción de cualquier piso y diseñar los elementos estructurales para esta situación.

Usando el software ETABS, versión 9.7.0, se modela la estructura así:

Se genera la malla de trabajo: dos espacios de 6,0 metros en el sentido x y en el sentido y, 10 pisos de altura con 2,5 metros cada uno.

Se definen las propiedades de los materiales, en este caso para el concreto reforzado.

Se definen las secciones de vigas, columnas y losa de entrepiso.

Se agrega el caso de secuencia de construcción. Se crea un caso de carga para peso propio y se le solicita al software

	Label	Height	Elevation	Master Story	Splice To	Splice Point	Splice Height
11	STORY10	2,5	25	Yes	No	No	0
10	STORY9	2,5	22,5	No	STORY10	No	0
9	STORY8	2,5	20	No	STORY10	No	0
8	STORY7	2,5	17,5	No	STORY10	No	0
7	STORY6	2,5	15	No	STORY10	No	0
6	STORY5	2,5	12,5	No	STORY10	No	0
5	STORY4	2,5	10	No	STORY10	No	0
4	STORY3	2,5	7,5	No	STORY10	No	0
3	STORY2	2,5	5	No	STORY10	No	0
2	STORY1	2,5	2,5	No	STORY10	No	0
1	BASE		0				

FIGURA 3. COORDENADAS MALLA DE PISO EDIFICIO  
Fuente: autores.

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc	Grid Color
1	A	0	Primary	Shown	Top	
2	B	6	Primary	Shown	Top	
3	C	12	Primary	Shown	Top	
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

FIGURA 2. COORDENADAS MALLA  
Fuente: autores.



FIGURA 4. PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO  
Fuente: autores.

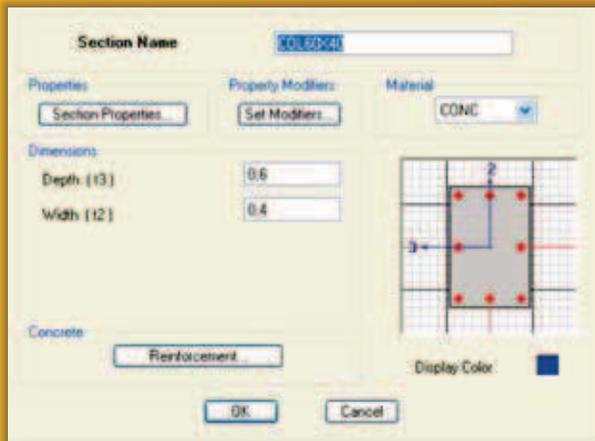


FIGURA 5. SECCIONES DE VIGAS  
Fuente: autores.

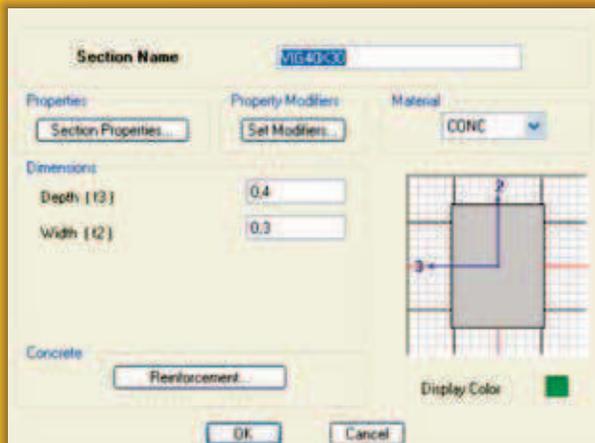


FIGURA 6. SECCIONES DE COLUMNA  
Fuente: autores.



FIGURA 7. SECCIONES DE LOZA  
Fuente: autores.



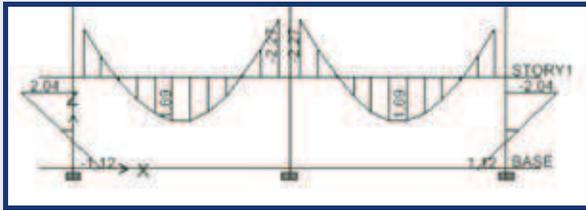
FIGURA 8. CASO DE SECUENCIA DE CONSTRUCCION.  
Fuente: autores.

Después de cargar los datos del edificio en estudio se corre el software ETABS V.9.7.0 y se extraen los datos generados para compararlos. En la Tabla I se observan los valores de momento y cortante para la columna C1, en todos los pisos para los casos de secuencia de construcción y caso estático.

Ahora se observan tres escenarios. El primero de ellos cuando se analiza la estructura completa para

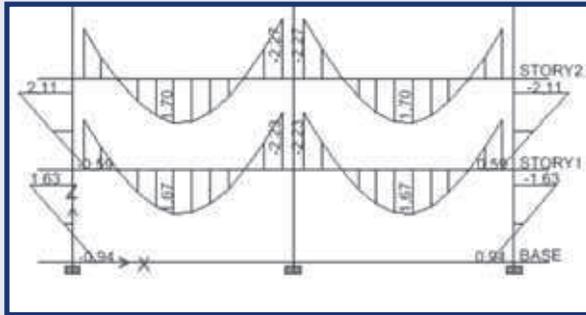
el caso estático tradicional en la columna C1 del primer piso, en el cual se tiene un momento de 0,96T-m. El segundo escenario es cuando se termina de construir el primer piso, y el valor de momento en la misma columna es de 2,04T-m. El tercer escenario es cuando se termina de construir el edificio y se contempló la secuencia de construcción, y el valor del momento en la columna C1 es 1,714T-m. De lo anterior, observando la Tabla I el comportamiento piso a piso tiene la misma tendencia, pero más im-

FIGURA 9. MOMENTOS, PISO A PISO, SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN, PRIMER NIVEL.



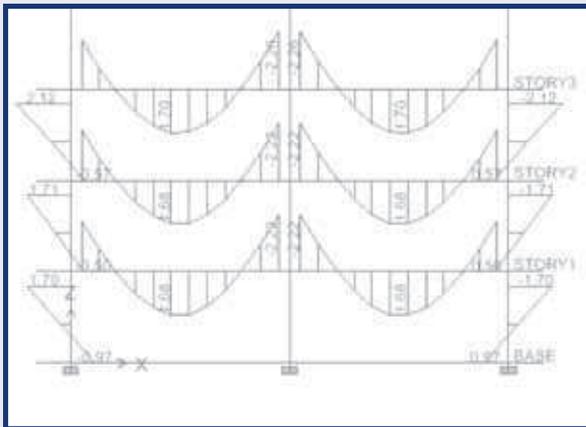
Fuente: autores.

FIGURA 10. MOMENTOS, PISO A PISO, SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN, SEGUNDO NIVEL.



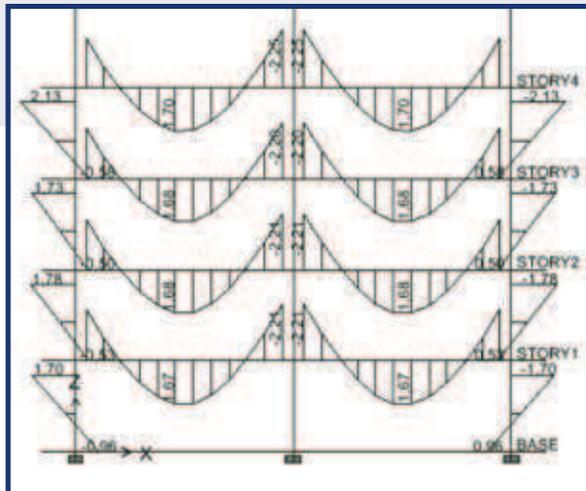
Fuente: autores.

FIGURA 11. MOMENTOS, PISO A PISO, SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN, TERCER NIVEL.



Fuente: autores.

FIGURA 12. MOMENTOS, PISO A PISO, SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN, CUARTO NIVEL.



Fuente: autores.

portante aún es el valor mayor de momento, cuando está construido el primer piso y la reducción de este valor a medida que se va construyendo cada piso. Esto indica que la fuerza axial va estabilizando el sistema; es decir, a mayor carga axial disminuyen los momentos en las columnas.

Si se comparan los escenarios finales, se observa un incremento aproximado del 80% en el caso de secuencia de construcción, respecto al caso estático en todos los pisos, menos en el último piso, donde los momentos son aproximadamente iguales.

El proceso paso a paso se puede observar de la figura 9 a la figura 12. Allí están los valores de momento en cada columna a medida que se construye hasta el cuarto piso.

TABLA I MOMENTOS Y CORTANTES EN COLUMNAS PARA L OS CASOS ESTÁTICO Y SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN.

COLUMNA	Loc	SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN		CASO ESTÁTICO		DIFERENCIA ENTRE MOMENTOS MOMENTO (T-m)
		CORTANTE (T)	MOMENTO (T-m)	CORTANTE (T)	MOMENTO (T-m)	
C1	2,1	1,25	2,172	1,96	2,357	NO APLICA
C1	2,1	1,03	1,786	1,16	0,918	0,87
C1	2,1	1,1	1,868	1,31	1,162	0,71
C1	2,1	1,1	1,869	1,27	1,112	0,76
C1	2,1	1,11	1,874	1,26	1,104	0,77
C1	2,1	1,11	1,87	1,23	1,085	0,79
C1	2,1	1,09	1,86	1,21	1,064	0,80
C1	2,1	1,07	1,841	1,16	1,04	0,80
C1	2,1	1,05	1,813	1,23	1,009	0,80
C1	2,1	1,18	1,714	0,69	0,958	0,76

Fuente: autores.

TABLA II VALORES DE MOMENTO EN LA COLUMNA

VALORES DE MOMENTO EN LA COLUMNA C1 A MEDIDA QUE SE CONSTRUYE CADA PISO									
PRIMER PISO	SEGUNDO PISO	TERCER PISO	CUARTO PISO	QUINTO PISO	SEXTO PISO	SEPTIMO PISO	OCTAVO PISO	NOVENO PISO	DECIMO PISO
MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)	MOMENTO (T-m)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,172
0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,17
0	0	0	0	0	0	0	0	2,16	1,78
0	0	0	0	0	0	2,15	1,77	1,86	1,87
0	0	0	0	0	2,14	1,76	1,84	1,85	1,87
0	0	0	0	2,14	1,75	1,83	1,84	1,85	1,87
0	0	0	2,13	1,74	1,81	1,82	1,83	1,85	1,86
0	0	2,12	1,73	1,8	1,8	1,81	1,82	1,83	1,84
0	2,11	1,71	1,78	1,78	1,79	1,79	1,8	1,81	1,81
2,04	1,63	1,7	1,7	1,7	1,7	1,71	1,71	1,71	1,71

Fuente: autores.





Fuente Fotográfica: [http://emplea.universia.es/informacion/sectores\\_profesionales/construccion\\_inmobiliaria/construccion/](http://emplea.universia.es/informacion/sectores_profesionales/construccion_inmobiliaria/construccion/)

### III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda al ingeniero calculista revisar la secuencia de construcción de todo diseño estructural de edificios y comparar el valor de momento en las columnas, incluida la fuerza sísmica y demás efectos particulares, con el valor del momento piso a piso de la secuencia de construcción, donde este último debe ser menor para no tener grandes deformaciones o colapso de la estructura.

Así mismo se podrán saber los valores de las fuerzas internas que actúan en la estructura piso a piso, también es posible considerar un evento sísmico durante la construcción, situación muy común en edificios de gran altura, complejidad y costos muy elevados, donde no se puede dejar este tipo de fenómenos naturales a la suerte.

El uso de los microcomputadores y el poderoso software de análisis estructural han refinado y disminuido el tiempo del diseño estructural, así como la posibilidad de evaluar la secuencia de construcción en pocos minutos, proceso que al hacerlo manualmente, mediante un análisis no lineal, tomaría meses en obtener los mismos resultados.

Los valores de momento obtenidos por secuencia de construcción superan en un 70%, aproximadamente, los valores de un análisis estático tradicional. Lo que implica la importancia de verificar y comparar estos resultados con los obtenidos en el análisis estructural, considerando fuerzas sísmicas.

Un análisis por secuencia de construcción es ideal para edificaciones que se construyan por etapas o de alta complejidad, que requieren de varios años para su culminación.

Los eventos sísmicos no se pueden predecir, situación que pone en desventaja a los constructores e inversionistas, pero el ingeniero calculista puede simular la ocurrencia de éstos, durante la construcción y garantizar la respuesta positiva de la edificación ante este hecho, para así resguardar la vida de los constructores y salvar el patrimonio de los inversores.

Aunque el análisis se hizo para un edificio de diez pisos, para más o menos pisos ocurre algo semejante. Sin embargo, se deja a consideración de cada calculista la evaluación de cada caso en particular.

### REFERENCIAS

Computers & Structures, Inc. (2009) Manual de Verificación ETABS y SAP2000.  
Wilson, E.L. (2010) Análisis Estático y Dinámico de Estructuras, Berkeley: Universidad de California.