

ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERÍA  
JULIO GARAVITO

**“Estudio de la prefabricación en concreto  
reforzado y su influencia en la construcción de  
estructuras en Colombia”**

**Ing. Alejandro David Carreño Bustos**

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Maestría en Ingeniería Civil

Bogotá D.C, Colombia

2015

# **“Estudio de la prefabricación en concreto reforzado y su influencia en la construcción de estructuras en Colombia”**

**Ing. Alejandro David Carreño Bustos**

Trabajo de profundización presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Estructural**

Director:

Ing. Jorge Ignacio Segura Franco

**Línea de profundización**

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Maestría en Ingeniería Civil

Bogotá D.C, Colombia

2015

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “ESTUDIO DE LA PREFABRICACIÓN EN CONCRETO REFORZADO Y SU INFLUENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS EN COLOMBIA”, presentado por Alejandro David Carreño Bustos, en cumplimiento del requisito parcial para optar al título de Maestría en Ingeniería Civil, con énfasis en estructuras, fue aprobado por el director del proyecto dirigido y por el jurado correspondiente.

---

**Ing. JORGE IGNACIO SEGURA FRANCO**

Director de trabajo de grado

---

**Ing. PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA**

**Ph.D, Msc.**

Jurado

---

**Ing. Nancy Torres Castellanos**

**M.Sc**

Jurado

Bogotá D.C., Noviembre de 2014

**Dedicado a:**

Mi madre Luz Amparo, por su apoyo incondicional, por hacerla feliz a través de este logro.

A Mary, por compartir de igual manera esta fase de mi vida y demostrar que podemos cumplir nuestras metas. Por su apoyo incondicional como ingeniera, amiga y esposa.

A mi familia, mi hermana y abuelo porque siempre los llevo en el corazón.

A la memoria de mi padre Isaías.



**Agradecimientos a:**

A la Magna Presencia de Dios que es Todo y está en todo, por ser a través de mi la Voluntad y la Fuerza para poder lograr las metas que me propongo.

El ingeniero Jorge Segura Franco, a quien admiro por su labor como ingeniero, docente, empresario y director. Gracias por la confianza en estos años de trabajo y por todas las enseñanzas que me guiaron en la realización de este proyecto de investigación con el cual aportamos a la ingeniería estructural de nuestro país.

## CONTENIDO

0.	INTRODUCCIÓN .....	13
1.	LA PREFABRICACIÓN Y PRETENSADO DEL CONCRETO.....	17
1.1	CONCRETO PREFABRICADO.....	17
1.2	CONCRETO PRETENSADO O PRESFORZADO.....	18
1.3	FORMALETAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COMPONENTES PREFABRICADOS.....	23
2.	MATERIALES CONSTITUYENTES .....	31
2.1	CONCRETO PREFABRICADO EN COLOMBIA .....	31
2.2	CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO .....	35
2.3	TIPOS DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO .....	42
2.4	VENTAJAS DEL USO DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO .....	43
2.5	ACERO DE REFUERZO PRETENSADO.....	44
3.	COMPONENTES PREFABRICADOS .....	47
3.1	MUROS PREFABRICADOS.....	50
3.2	LOSAS COMO SISTEMA DE ENTREPISO .....	60
3.3	VIGAS PREFABRICADAS .....	76
3.4	COLUMNAS PREFABRICADAS .....	77
4.	PLANEACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS Y SUS VENTAJAS.....	79
4.1	PREFABRICADOS EN CONCRETO ARQUITECTÓNICO.....	81
4.2	GENERALIDADES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PREFABRICADO .....	84
4.3	VENTAJAS DE LA PREFABRICACIÓN .....	89
5.	INDUSTRIA DE LA PREFABRICACIÓN .....	103
6.	SOSTENIBILIDAD EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN .....	110
6.1	SOSTENIBILIDAD Y SU RELACIÓN CON LA PREFABRICACIÓN.....	110
6.2	CONSIDERACIONES DE CONSTRUIR EDIFICACIONES SOSTENIBLES.....	111
6.3	DISEÑO INTEGRADO DE EDIFICACIONES SOSTENIBLES.....	112
6.4	REDUCIR - REUSAR - RECICLAR .....	118
6.5	SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED Y PREFABRICADOS .....	120
7.	CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO SÍSMICO DE SISTEMAS DE ENTREPISO PREFABRICADOS .....	135
7.1	INTEGRIDAD ESTRUCTURAL.....	135
7.2	TIPOS DE CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ENTREPISO.....	146
7.3	ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO DE ENTREPISOS PREFABRICADOS.....	148
8.	COMPARACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE ENTREPISO.....	162
8.1	SISTEMA DE ENTREPISO ALVEOLAR (E1).....	165
8.2	SISTEMA DE ENTREPISO LOSA MACIZA CON VIGAS DESCOLGADAS (E2) ....	167
8.3	SISTEMA DE ENTREPISO DE LOSA NERVADA (E3) .....	170

8.4	ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES (5PC Y 9PC).....	174
9.	COMPARACIÓN DEL PREFABRICADO A TRAVÉS DE LAS ETAPAS DE LA CONSTRUCCIÓN .....	184
9.1	INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN LA ETAPA DE DISEÑOS .....	185
9.2	INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN LAS CANTIDADES DE MATERIALES .....	190
9.3	INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN LA REDUCCIÓN DEL DESPERDICIO .....	197
9.4	INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN LA EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	199
9.5	INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN EL RETORNO DE LA INVERSIÓN .....	209
10.	CONCLUSIONES.....	224
	BIBLIOGRAFÍA.....	233
	ANEXOS .....	235

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de concreto en función de su resistencia a la compresión .....	34
Tabla 2. Secciones de losa alveolar fabricadas en Colombia .....	64
Tabla 3. Estrategias integradas de diseño sostenible con prefabricados .....	116
Tabla 4. Puntos potenciales LEED en la utilización de concreto prefabricado .....	121
Tabla 5. Relaciones de concentración y Emisión de VOCs para materiales comunes.....	130
Tabla 6. Valores límites Luz/espesor para limitar vibraciones (U. Andes) .....	145
Tabla 7. Valoración de distancias libre y entre ejes con losas alveolares .....	176
Tabla 8. Parámetros para análisis sísmico de las edificaciones en estudio.....	178
Tabla 9. Materiales utilizados en las edificaciones en estudio.....	179
Tabla 10. Cargas vivas y muertas utilizadas en las edificaciones en estudio .....	179
Tabla 11. Definición de los modelos computacionales en el programa ETABS.....	183
Tabla 12. Cargas en columna por cada combinación y para cada tipo de edificación.....	188
Tabla 13. Tipos de losa alveolar utilizados en el entrepiso E1 .....	191
Tabla 14. Densidad de vigas de acuerdo al tipo de entrepiso utilizado .....	192
Tabla 15. Rendimiento del ciclo de instalación de la losa alveolar para entrepiso E1 .....	200
Tabla 16. Actividades de construcción estructuras 5PC con entrepiso E1, E2 y E3.....	203
Tabla 17. Actividades de construcción estructuras 9PC con entrepiso E1, E2 y E3.....	205
Tabla 18. Cálculo de precios unitarios entrepiso alveolar tipo E1 .....	212
Tabla 19. Cálculo de precios unitarios entrepiso tradicional tipo E2.....	213
Tabla 20. Cálculo de precios unitarios entrepiso tradicional tipo E3.....	213
Tabla 21. Cálculo de precios unitarios para columna.....	214

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 .Esquema de tensionamiento y anclaje del ingeniero <i>Freyssinet</i> .....	19
Figura 2. Sistema de tensionamiento hidráulico de torones utilizado actualmente .....	19
Figura 3. Puente Luzancy en Francia (1946) .....	20
Figura 4. Formaleta en cama de acero para elementos prefabricados (Moldes) .....	24
Figura 5. Formaleta en acero para columnas circulares y rectangulares .....	26
Figura 6. Formaleta en madera para vigas “T” invertidas .....	27
Figura 7. Formaleta en acero para losas alveolares .....	28
Figura 8. Formaleta en madera para muros prefabricados en sitio .....	29
Figura 9. Formaleta en acero para Muros en fábrica .....	29
Figura 10 .Banco de prefabricación de losas alveolares – Manufacturas de cemento S.A .....	33
Figura 11 Componentes en estructuras totalmente prefabricadas .....	48
Figura 12 Muros prefabricados y su montaje en edificaciones .....	51
Figura 13 Muros prefabricados Tilt-Up y su montaje .....	53
Figura 14 Muros prefabricados tilt-up con vigas de amarre superior y dinteles .....	54
Figura 15 Sistema de fachada con antepechos prefabricados .....	56
Figura 16 Cerramiento utilizando paneles alveolares .....	57
Figura 17 Muro de contención de dos niveles utilizando paneles alveolares .....	58
Figura 18 Muro de contención de un nivel utilizando paneles alveolares .....	58
Figura 19 Muros de contención nervados .....	59
Figura 20 Losa prefabricada en doble T .....	60
Figura 21 Aplicación losa prefabricada en doble T en edificaciones metálicas .....	61
Figura 22 Losas alveolares prefabricadas .....	62
Figura 23 Secciones de losa alveolar fabricadas en Estados Unidos .....	64
Figura 24 Relaciones luz vs Altura de sistema de losas para entrepisos .....	67
Figura 25 Pistas de fabricación de losas alveolares .....	69
Figura 26 Tensionamiento de armadura para losas alveolares .....	70
Figura 27 Maquina extrusora y de vertido de concreto .....	71
Figura 28 Alimentación de la máquina para vaciado de concreto .....	72
Figura 29 Corte de losa alveolar con disco diamantado .....	72

Figura 30 Disposición de losas alveolares para aberturas en entrepiso.....	73
Figura 31 Prelosa pretensada con triaceros.....	74
Figura 32 Componente de losa maciza.....	75
Figura 33 Esquemas de diferentes vigas en “L”, “T” invertida y Rectangular .....	76
Figura 34 Unión Viga-Columna prefabricada .....	77
Figura 35 banco de prefabricación para columnas con alturas diferentes de entrepiso.....	78
Figura 36 banco de prefabricación para columnas con iguales alturas de entrepiso.....	78
Figura 37 Fachadas Prefabricadas .....	81
Figura 38 Fachadas prefabricadas en concreto arquitectónico .....	84
Figura 39 Esquema general de carga para un panel de antepecho en edificaciones.....	85
Figura 40 Conexión soldada de panel de fachada .....	86
Figura 41 Fabricación Industrial de Paneles y escaleras prefabricados .....	88
Figura 42 Diferentes texturas de acabados en concreto arquitectónico .....	93
Figura 43 Montaje de componentes prefabricados .....	95
Figura 44 Concreto arquitectónico prefabricado de apariencia pétreo .....	99
Figura 45 Corte oblicuo de losa alveolar para entrepiso .....	101
Figura 46 Posicionamiento de losa alveolar sobre viga y corte en nudo .....	102
Figura 47 Ciclo de construcción para componentes y sistemas prefabricados.....	109
Figura 48 Construcción compuesta en entresijos con losa alveolar (Colector) .....	146
Figura 49 Construcción no compuesta en entresijos con losa alveolar (colector) .....	147
Figura 50 Elementos constituyentes en diafragma con losas alveolares.....	149
Figura 51 Fuerzas de piso $F_x$ y fuerzas amplificadas para diseño de diafragma $F_{px}$ .....	151
Figura 52 Transferencia de fuerzas horizontales en diafragma con losas alveolares .....	152
Figura 53 Tensiones y compresiones para diseño de amarres internos por integridad estructural .....	154
Figura 54 Idealización de viga simple en diafragma de piso .....	155
Figura 55 Esquema para análisis de esfuerzos en el concreto – modelo puntal-tensor .....	157
Figura 56 Idealización de puntal- tensor en diafragma de piso .....	158
Figura 57 Acción de corte en diafragma con losas alveolares.....	159

Figura 58 Propuesta de refuerzo en entrepiso alveolar con vigas fundidas en sitio utilizadas en Colombia.....	161
Figura 59 Tipologías de edificaciones para estudio (5PC y 9PC).....	163
Figura 60 Esquema de comparaciones para entrepisos con tipologías de edificación.....	164
Figura 61 Sección transversal del sistema de entrepiso alveolar (E1) .....	165
Figura 62 Armado del sistema de entrepiso alveolar apoyado sobre vigas fundidas en sitio.....	166
Figura 63 Sección transversal del sistema de entrepiso losa maciza y vigas descolgadas (E2).....	167
Figura 64 Entrepisos de losa maciza con vigas descolgadas .....	168
Figura 65 Formaletas y casetones en entrepisos de losa maciza y vigas descolgadas .....	168
Figura 66 Camillas y casetones de poliestireno expandido comúnmente utilizados en el medio.....	170
Figura 67 Sección transversal del sistema de entrepiso con losa nervada (E3).....	171
Figura 68 Armado de entrepiso de losa nervada con casetón recuperable.....	172
Figura 69 Edificación con entrepiso de losa nervada con casetón no recuperable.....	172
Figura 70 Esquemas de construcción tradicional con casetones en poliestireno expandido comunes del medio. ....	173
Figura 71 Distribución en planta de losas alveolares del mismo ancho entre ejes .....	174
Figura 72 Dimensiones arquitectónicas para espacio de vehículo en parqueaderos .....	175
Figura 73 Planta Tipo – Entrepiso Alveolar (E1) .....	180
Figura 74 Planta Tipo – Entrepiso tradicional losa e = 0,10 m (E2).....	181
Figura 75 Planta Tipo – Entrepiso Tradicional losa nervada e = 0,05 m (E3).....	182
Figura 76 Comparación del peso propio de las edificaciones en función del tipo de entrepiso.....	185
Figura 77 Comparación de las cargas totales a cimentación de las edificaciones en función del tipo de entrepiso .....	186
Figura 78 Columna más solicitada en modelos estructurales según tipo de entrepiso.....	187
Figura 79 Comparación del número de pilotes $\varnothing=0.60$ m por columna más solicitada para las edificaciones en función del tipo de entrepiso.....	188
Figura 80 Comparación del cortante basal de las edificaciones en función del tipo de entrepiso.....	189

Figura 81 Comparación del volumen de concreto total de las edificaciones en función del tipo de entrepiso .....	191
Figura 82 Comparación del volumen de concreto de vigas y losa de las edificaciones en función del tipo de entrepiso.....	192
Figura 83 Comparación del índice de concreto por unidad de área en función del tipo de entrepiso .....	193
Figura 84 Comparación de la cantidad total de acero de refuerzo de las edificaciones en función del tipo de entrepiso.....	194
Figura 85 Comparación de la cantidad de acero de refuerzo en vigas y losa de las edificaciones en función del tipo de entrepiso.....	195
Figura 86 Comparación del índice de acero por unidad de área de las edificaciones en función del tipo de entrepiso.....	196
Figura 87 Comparación del área de formaleta proporcional al área de vigas en función del tipo de entrepiso .....	197
Figura 88 Comparación del área destinada para casetones por unidad de área para cada tipo de entrepiso .....	198
Figura 89 Cronogramas de actividades de construcción estructuras 5PC con entrepiso tipo E1, E2 y E3 .....	204
Figura 90 Cronogramas de actividades de construcción estructuras 9PC con entrepiso tipo E1, E2 y E3 .....	207
Figura 91 Comparación del tiempo de construcción de la estructura de las edificaciones en función del tipo de entrepiso.....	208
Figura 92 Metodología de evaluación financiera por etapas .....	210
Figura 93 Flujo de caja – Costos edificaciones 5PC .....	216
Figura 94 Comparación del desempeño esperado de construcción de edificaciones 5PC en función del tipo de entrepiso.....	217
Figura 95 Flujo de caja – Costos edificaciones 9PC .....	218
Figura 96 Comparación del desempeño esperado de construcción de edificaciones 9PC en función del tipo de entrepiso.....	220



## 0. INTRODUCCIÓN

La técnica de la prefabricación ha existido desde hace muchos años perfeccionándose con el paso del tiempo a medida que también se perfecciona el concreto. Para el avance de esta técnica, han surgido asociaciones dedicadas al estudio, difusión, investigación y desarrollo de los prefabricados de concreto por todo el mundo. En Europa se encuentra la “*Federation Internationale de la Precontrainte (FIP)*”, el “*Prestressed Concrete Development Group (PCDG)*” y por América, en los Estados Unidos se encuentra el “*Prestressed/Precast Concrete Institute (PCI)*”, como algunos principales exponentes.

La prefabricación utiliza uno de los materiales más útiles y versátiles que tiene el hombre para moldear su entorno. Desde su aplicación en la antigua Roma, el concreto nos ha mostrado estructuras icónicas que no dejan de sorprender tanto a diseñadores como constructores. El concreto y específicamente el concreto pre-esforzado y prefabricado se ha utilizado desde principios del siglo XX en Europa. Solo hasta mediados del siglo pasado, las técnicas de prefabricación de concreto y en concreto pre-esforzado se convirtieron en una influencia importante para la industria de la construcción como las desarrolladas principalmente en los Estados Unidos. En la actualidad, la prefabricación de concreto representa una industria que es sinónimo de eficacia, calidad, desarrollo y sostenibilidad en los países que la han adoptado e implementado.

La evolución del concreto prefabricado es una historia fascinante sobre el trabajo de ingenieros que fueron pioneros e innovadores de diferentes técnicas. El primer motivo para optimizar y mejorar la manera de construir fue el ahorro de materiales como concreto y acero, lo que llevó a que se realizaran diferentes desarrollos y avances en la época de la segunda guerra mundial. Como todo proceso ingenieril, el prefabricado en concreto fue evolucionando a partir de la prueba y el error mostrando diferentes técnicas e ideas para su análisis, diseño y consolidación como un material clave para el desarrollo de la construcción, gracias a sus bondades de resistencia y durabilidad.

La prefabricación como opción para responder a la productividad, modernización y cuidado del medio ambiente, es una solución a problemas como la demanda de vivienda, la optimización de recursos naturales, el déficit de empleo y la demora recurrente en los tiempos de entrega de las edificaciones, entre otros aspectos que se presentan en la industria de la construcción en Colombia. Las diferentes técnicas de prefabricación de concretos han mostrado mejoras en la calidad de las edificaciones, principalmente en países alrededor del mundo que han adoptado dichas técnicas en sus códigos o reglamentos de construcción. La prefabricación en concreto cambió positivamente la calidad de la industria.

El prefabricado le aporta al concreto el complemento perfecto que desarrolla todo el potencial de este maravilloso material. El prefabricado de concreto es el resultado de un proceso altamente controlado que puede ser adaptado de muchas maneras para alcanzar una gran variedad de desafíos en el diseño arquitectónico, estructural y la construcción.

En Colombia la prefabricación de concreto ha tenido un desarrollo interesante, aunque en principio fue prometedor debido al surgimiento de empresas dedicadas a la producción de elementos de concreto desde la primera y segunda década del siglo XX. Con la llegada de maquinaria para fabricación de cemento y posteriormente para tubería prefabricada, entró en decadencia con el surgimiento del concreto bombeado entre otros factores. Como consecuencia, los procesos constructivos utilizados se ajustaron a la técnica de fundir concreto en sitio, la cual aún es vigente en el país y que poco ha variado con lo realizado hace más de 60 años.

Colombia debe entrar en la era moderna de las técnicas de construcción y utilización de prefabricados, ya que esto tiene un alto impacto a nivel nacional tanto para diseñadores como para constructores. Aunque el concreto es un material muy antiguo, las técnicas empleadas para construir deben cambiar y ajustarse para mejorar, así como ha evolucionado el mismo material, llegando a altos niveles de desempeño estructural.

Nuestro país se encuentra en un momento muy interesante de su historia donde la economía y el sector productivo crecen aceleradamente junto con el aumento de la población. Los plazos contractuales para entrega de estructuras exigen soluciones eficaces en construcción que den cumplimiento a los cronogramas propuestos. Es aquí donde la prefabricación en concreto aporta ese salto hacia la modernidad, el desarrollo y la eficacia, con mejores opciones de suplir las necesidades actuales en la construcción.

La intención de este trabajo de investigación es brindar un panorama positivo ante la concepción, diseño y construcción de sistemas prefabricados en Colombia y su masificación para edificaciones como respuesta a una industria cada día más exigente y a un entorno en donde la sostenibilidad, la durabilidad, la calidad, el tiempo y la economía juegan un papel primordial en el desarrollo de proyectos de construcción.

El objetivo primordial consistirá en encontrar cómo el prefabricado de concreto influye en el ámbito de la construcción nacional, partiendo de la investigación en la construcción tradicional desarrollada hasta el momento y comparándola contra la construcción prefabricada vigente en el país. Esta última presenta innumerables soluciones, recursos y ventajas en todos los aspectos de la cadena constructiva que representan un avance tecnológico considerable. Culturalmente en Colombia la prefabricación ha sido asociada con estructuras sencillas, baratas, poco especificadas y con muy poco uso estructural para edificaciones, razón por la cual es importante reconsiderar el uso de prefabricados para construcciones de alta calidad.

Se estudiarán los componentes y sistemas prefabricados más representativos utilizados en el mundo y los que actualmente se están implementando en el país. Se investigará ¿Cómo han sido concebidos?, ¿qué funciones y aplicaciones tienen?, ¿cómo se conectan unos con otros?, ¿cómo son sus procesos constructivos?, ¿Qué equipos y maquinaria utilizan para su producción y montaje?, ¿Qué mano de obra y de especialización requieren?, ¿Por qué deben utilizarse en comparación con otros sistemas o componentes

estructurales fundidos en sitio?, para finalmente tener un concepto aplicable en la concepción de edificaciones de alta calidad, determinando las técnicas de escogencia y mejorando la percepción ante la integridad estructural acorde con nuestro reglamento de construcción y diseño.

Otro aspecto muy importante que se estudiará, será el concreto prefabricado dentro del marco de la sostenibilidad. La tendencia en el planeta se enfoca hacia la conservación de nuestros recursos naturales y hacia la mitigación del impacto que tiene la industria de la construcción sobre los recursos no renovables. Colombia en materia de construcción sostenible no puede estar exenta del proceso y por lo tanto, un objetivo de este trabajo de investigación es mostrar las ventajas que ofrece la prefabricación para el sector de la construcción en materia de ahorro de materiales, ahorro de tiempo, consumo de recursos naturales y desperdicios generados; es decir, la influencia del prefabricado en la sostenibilidad de la construcción.

Teniendo en cuenta el uso masivo de sistemas prefabricados alrededor del planeta, se busca que en nuestro país su aplicación también lo sea, aportando a la industria de la construcción ese valor agregado que se traduce en la optimización de costos y tiempos de ejecución en los proyectos. Por lo anterior, este trabajo estudiará las ventajas técnicas y económicas obtenidas cuando se involucran componentes prefabricados en un proyecto de edificación común del ámbito nacional.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones de este estudio de investigación en el tema de la prefabricación en concreto aplicables a edificaciones representativas de nuestro país.

# 1. LA PREFABRICACIÓN Y PRETENSADO DEL CONCRETO

## 1.1 CONCRETO PREFABRICADO

Como su nombre lo dice, es el concreto con todos sus constituyentes (mezcla de cemento, agua, sus agregados y aditivos) que es fundido y curado en una forma específica. El elemento de concreto es colocado en una formaleta típicamente de madera o metal, el cual es curado antes de ser separado de la misma y generalmente al siguiente día. Luego, los componentes son transportados al sitio en el que prestarán su servicio. Existen dos tipos de prefabricados de concreto; por una parte se encuentran los que se realizan en una planta de producción especializada y certificada; y por otra, los que son fabricados en el mismo sitio de la obra bajo condiciones estrictas de control en sus especificaciones.

El concreto utilizado en elementos prefabricados ha ido evolucionando a través del tiempo a la par con el avance de la ciencia y la tecnología, tratando de llevar este material hacia nuevos límites, buscando permanentemente la innovación en técnicas de diseño y mejoras en la construcción. Generalmente los componentes prefabricados de vanguardia utilizan concretos de altas resistencias, lo que implica una alta calidad del producto terminado, velocidad de vaciado, flexibilidad, versatilidad y durabilidad.<sup>1</sup>

Los componentes de concreto prefabricado pueden tener como refuerzo el acero convencional en barras, o el acero de pre-tensión de alta resistencia, o una combinación de los dos. El acero de pre-tensión como su nombre lo indica, se tensiona antes de que el concreto sea vaciado. Una vez que el concreto ha curado a determinada resistencia, los aceros de pre-tensión formados por cables junto con la pieza de concreto son cortados según las dimensiones requeridas en el diseño estructural. El acero tratará de volver a su estado original después del corte, dando lugar a una fuerza de compresión actuante que

---

<sup>1</sup> PCI *Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, 6<sup>th</sup> Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2004.*

incrementa la capacidad de carga del elemento y controla la fisuración a límites establecidos por el reglamento de construcción.

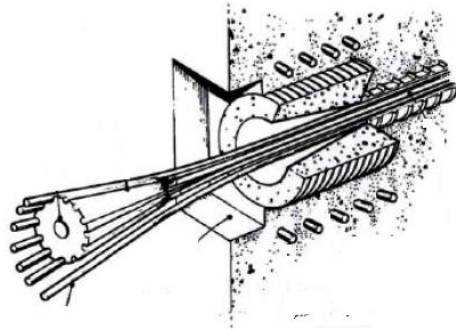
## **1.2 CONCRETO PRETENSADO O PRESFORZADO**

La idea relativa al concreto pretensado o presforzado es ya antigua. *Doehring* fue el que en el año 1888, expuso claramente por primera vez el concepto de la pre-compresión para un elemento de concreto. La aplicación práctica de estos conocimientos no tuvo éxito ya que no se disponían de materiales adecuados de calidad. Posteriormente, en el año 1907, *Koenen* volvió sobre el principio de pre-compresión, asentado anteriormente por *Doehring* y estudió su aplicación en obras de ingeniería para sustituir el concreto armado. Un sector de aplicación fue en las vigas y tableros de los puentes para ferrocarriles con el fin de evitar la fisuración y, consecuentemente, la oxidación.

No fue sino hasta el año de 1920 cuando uno de los pioneros más conocidos en la construcción prefabricada, el ingeniero francés *Eugene Freyssinet*, también conocido como el “padre del concreto pretensado” descubrió en la década de los veinte cómo minimizar la deformación en el concreto aplicando fuerzas de pre-compresión con el uso de gatos.

Otros pioneros notables hicieron desarrollos importantes como *Dill* (Estados Unidos), *Mganel* (Bélgica), *Hoyer* (Alemania) y *Gifford* (Reino Unido). Desde entonces muchos avances se lograron entre la década de los veinte a la década de los cuarenta del siglo XX, tanto en Europa como en Estados Unidos basándose en el sistema de tensionamiento por cables de alta calidad del ingeniero *Freyssinet*.

**Figura 1 .Esquema de tensionamiento y anclaje del ingeniero Freyssinet**



**Fuente: “A review of the development of Prestressed Concrete”.**

Muchos otros sistemas de pre-tensionamiento del acero se desarrollaron con la idea original del ingeniero *Freyssinet* aumentando el número de alambres, aunque se crearon dificultades en el anclaje se consiguió aumentar la fuerza de pretensado concentrada en un área pequeña y logrando como objetivo fundamental la reducción de la sección transversal de las diferentes estructuras de concreto.

A medida que se evolucionó en la utilización de alambres de tensionamiento, también evolucionaron a la par los sistemas para aplicar tracción a los mismos. Desde los gatos de tracción manual hasta los modernos de sistema hidráulico.

**Figura 2. Sistema de tensionamiento hidráulico de torones utilizado actualmente**



**Fuente: Internet**

El puente *Luzancy* en Francia (1946), fue uno de los puentes pioneros que inspiró a los ingenieros de la época por su innovación. El uso del pretensado se expandió por Europa dando como resultado la construcción de numerosos puentes pre-tensionados longitudinal y transversalmente, como en el Reino Unido el puente *Rhinefield* (1949).

La primera conferencia de la “*Federation Internationale de la Precontrainte (FIP)*”, se llevó a cabo en Londres, donde se discutió el avance tanto en la práctica de la construcción como en la teoría de puentes prefabricados pretensados.

**Figura 3. Puente Luzancy en Francia (1946)**



**Fuente: Internet**

Los desarrollos en el continente Americano se fueron dando en Estados Unidos y México. El país mexicano al tener a su vecino a la vanguardia de la investigación logró avanzar en construcciones prefabricadas y presforzadas mucho más rápido que otros países de habla hispana como Colombia. A la par que avanzaba la tecnología del presfuerzo en Estados Unidos, la misma avanzó en el país centro americano.

En este país la primera aplicación de prefabricados data de 1925, solamente para fachadas de edificios. Pero más adelante se intensificó el uso de prefabricados en



puentes debido a la necesidad de salvar grandes luces que estaban reservadas solo para las estructuras metálicas.

La primera estructura realizada en México por medio de concreto postensionado fue el puente *Zaragoza*, sobre el río Santa Catalina en Monterrey en el año de 1951. Este fue un puente donde se utilizaron vigas en “I” postensadas. En los años cincuenta es cuando el presforzado en México toma gran aceptación dando lugar a la aparición de empresas prefabricadoras y finalmente a la constitución de la “*Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y la Prefabricación*” (ANIPPAC).

En Colombia la historia de la prefabricación está íntimamente ligada al desarrollo del concreto en sus diferentes regiones. Hacia la primera década del siglo XX llega por primera vez a territorio colombiano maquinaria para la fabricación y procesamiento de cal, un molino de bolas de acero con carga de 700 kg y un juego de zarandas y malla de bronce, despachados por la firma *Hesse Newman & Co* para la firma *Samper Brush y Cia*.

También llegaron las primeras máquinas para la fabricación de cemento, la prensa Dragón despachada por la firma *Charles Lavy & Co* de la ciudad de Londres. Llegaron trituradoras, mezcladoras, elevadores, molinos de tubo, tolvas para promover la manufactura del concreto. El 20 de Julio de 1910 se comenzó oficialmente con la producción de la fábrica de cementos artificiales de los hijos de Miguel Samper.

Es hacia la segunda década del siglo XX cuando llega al país maquinaria para la elaboración de prefabricados. Así, llegaron más trituradoras, arrastradores, ascensor para hornos con una torre de acero. También llegó maquinaria alemana para la elaboración de bloques, moldes “*perplex*” para bloques de concreto con accesorios como planchas de roca, de “*busarda*” y lisas para diferentes dimensiones. La fábrica *Krupp* envía mezcladoras portátiles. Es en esta década cuando se inicia la fabricación de tubería en cemento junto con la mejora de las máquinas mezcladoras de concreto.

Hacia el año de 1915 llega la primera máquina de doblar acero de refuerzo en frío, así como más maquinaria de tipo americano para la conformación de bloques de concreto.

Hacia finales de la década se construían baldosas y tubería de concreto de alta calidad expandiéndose la construcción en concreto por todo el territorio colombiano e implementado la tubería para la construcción de alcantarillados.

Para el año de 1940, se reemplazaron los viejos entresijos contruidos de madera por entresijos hechos de vigas o viguetas prefabricadas en concreto. Así mismo proliferó la construcción de casas en mampostería y concreto con variados estilos marcando una etapa muy importante del desarrollo inmobiliario del país. El entonces Instituto de Crédito Territorial realizaba unidades de vivienda con componentes prefabricados.

En la mitad del siglo XX y las décadas siguientes se comenzaron a consolidar las constructoras más reconocidas del país, las cuales utilizaban componentes prefabricados en sus entresijos y bloques de arcilla y concreto. La firma *Preload de Colombia Ltda* ofrecía dentro de sus servicios de construcción tanques pretensados para acueductos (Sistema *Preload*), puentes de estructuras continuas (Sistema *Neonhardt*) y aplicación de morteros entre otros<sup>2</sup>.

El comité del *American Concrete Institute* (ACI), define el presforzado de la siguiente manera:

*“Los esfuerzos internos que han sido introducidos para reducir los esfuerzos de tensión potenciales debidos a la aplicación de las cargas”<sup>3</sup>.*

El pre-tensionamiento mejora las capacidades estructurales de un miembro de concreto, capacidades que redundan en secciones más esbeltas y resistentes empleadas para superar la debilidad natural del concreto frente a esfuerzos de tracción, que dan como resultado estructuras económicamente competitivas frente a las concebidas y contruidas convencionalmente.

---

<sup>2</sup> CAICEDO, Hernando, LOPEZ, Andrés. “Historia de la prefabricación en concreto en Colombia: Notas para registrar un aprendizaje”. Departamento de arquitectura. Universidad de los Andes, 2010.

<sup>3</sup> ACI Committee 318, “*Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-02, and “*Commentary*”. ACI 318R-02, *American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002.*

Con el concreto de alta resistencia, prefabricado y pretensado se pueden realizar componentes altamente especializados, lo cuales al ser estudiados a fondo, pueden maximizar la eficiencia en el diseño, producción, despacho, montaje y mantenimiento de cualquier proyecto de ingeniería.

Finalmente, la tecnología en el concreto nos demuestra que este es un material que sigue avanzando y evolucionando con el tiempo, ya sea presforzado o no, lo que marca la diferencia es su concepción en las diferentes aplicaciones para construcción. Si las obras de ingeniería contemplan elementos prefabricados, estos necesariamente aportarán una serie de ventajas técnicas, operativas y económicas que influirán al constructor a tenerlos presentes en cada proyecto.

### **1.3 FORMALETAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE COMPONENTES PREFABRICADOS**

El tipo de formaleta utilizado para la manufactura de componentes prefabricados no difiere mucho del utilizado para los fundidos en sitio tradicionalmente. La formaleta en la mayoría de las veces puede ser de madera o metálica pero con el valor agregado que se garantiza un mejor cuidado, un dimensionado más exacto acorde al componente a realizar, ya que en el sitio de la obra, ya sea por espacio disponible, no siempre se pueden lograr los acabados esperados como en una planta de prefabricación.

Un aspecto muy importante consiste en el número de veces que la formaleta es utilizada. Generalmente en las plantas de prefabricación las formaletas son más robustas y más resistentes debido a la gran frecuencia en su uso, de acuerdo a la cadena de producción del componente prefabricado en particular.

El hecho de poder producir un componente estructural pretensado con formaletas de planta, en un ambiente controlado, garantiza un mejor producto, lo que le aporta más libertad a los arquitectos e ingenieros a la hora de proyectar formas, texturas, dimensiones y características que en el sitio de la obra son difíciles de alcanzar. No es una excusa el tener un elemento estructural con baja calidad en su construcción debido a la utilización de formaletas en mal estado o afectadas por condiciones climáticas.

Un factor fundamental a la hora de decidir si es necesario prefabricar en el sitio de la obra es si la misma por su magnitud y volumen de componentes prefabricados, económicamente resulta más viable montar la planta en el sitio mismo, que la manufactura y transporte de componentes desde la planta de prefabricación.

En la actualidad las plantas de prefabricación tienen la capacidad de manejar grandes cantidades de elementos los cuales se ajustan a la medida de los proyectos. Estos elementos son fundidos en grandes y largas camas de acero. Algunos de los elementos estructurales que se producen de esta manera son: Losas Alveolares, Losas doble "T", antepechos, vigas en "T" invertida.

**Figura 4. Formaleta en cama de acero para elementos prefabricados (Moldes)**



**Fuente:** [www.masterbuilder.co.in](http://www.masterbuilder.co.in)

Como se mencionó anteriormente, la formaleta en general puede realizarse con materiales como la madera o el acero, pero también se utilizan materiales como la fibra de vidrio, aluminio, plástico o poliestireno expandido siempre y cuando mantengan su forma ante las presiones ejercidas al momento de vaciar el concreto. Además estos materiales

deberán ser viables ante vibraciones e impactos propios del ajuste del acero de refuerzo y el mismo proceso de manufactura.

Generalmente las formaletas realizadas en fibra de vidrio y madera llegan a ciclos de uso de hasta 50 veces. Las conformadas en acero poseen los más altos ciclos de uso siempre y cuando tengan un adecuado mantenimiento. En el caso de manufactura de formas complejas y elementos arquitectónicos prefabricados, las formaletas más utilizadas son las de poliestireno expandido, aunque su ciclo de uso sea el más bajo.

Comparando las formaletas utilizadas tradicionalmente con las utilizadas en planta de prefabricación, estas últimas pueden ser vibradas en “camas” vibratorias aportando una óptima distribución del concreto y por tanto un certificado proceso de calidad superior. El curado al vapor y el calentamiento de estas camas es posible en este tipo de formaletas lo que incrementa la tasa de aumento en la resistencia del concreto.

Otro aspecto a comparar es que las formaletas utilizadas en sitio necesitan de más cuidados, mayores mantenimientos y mayor mano de obra, lo que afecta el rendimiento de manufactura comparada con la realizada en planta. Esto es importante saberlo al momento de realizar cronogramas de construcción de la estructura en concreto.

Las tolerancias dimensionales de formaletas para un producto prefabricado en planta frente a las realizadas en el sitio de la obra son menores, ya que las primeras funcionan para producción industrial donde los diseños y los montajes deben ser muy precisos.

En el proceso de diseño de estas formaletas para elementos prefabricados se debe tener en cuenta factores como su reutilización y sus dimensiones, las cuales deben soportar el excesivo uso y el desgaste al cual estarán sometidas. El lado liso de la formaleta generalmente se deja para la parte del elemento que va a ser expuesto en fachada tratándose de muros o antepechos. Los bordes internos de las formaletas no deberán poseer ángulo recto y generalmente se forman chaflanes en acero o madera para dar este tipo de acabado.

### 1.3.1 Formaletas para columnas prefabricadas

Generalmente las empresas prefabricadoras manejan dimensiones estándar en sus formaletas para producir ciertos componentes de uso frecuente. En el caso de vigas y columnas las formaletas se pueden realizar ya sea de madera o acero en módulos del largo según el diseño estructural.

En el caso de las columnas prefabricadas el acero utilizado generalmente no es en cables sino convencional, por lo que se requiere de especial cuidado en su colocación. La forma de las formaletas también puede variar si la columna es circular o rectangular. Estas formaletas aseguran la estanqueidad y la resistencia como cualquier otra pero su vida útil es más larga debido a las condiciones favorables de la planta de prefabricación y al no estar expuestas a la intemperie.

**Figura 5. Formaleta en acero para columnas circulares y rectangulares**



Fuente: [www.masterbuilder.co.in](http://www.masterbuilder.co.in)

### 1.3.2 Formaletas para vigas prefabricadas

En el caso de las formaletas para vigas, la industria de la prefabricación maneja en su gran mayoría formas para viga “T” invertida. Este tipo de formaleta es especial ya que deben realizarse con lados separables para poder ajustar el acero pretensado y los flejes

de confinamiento basados en el diseño estructural. La viga “T” invertida por su forma es especial para dar el apoyo necesario a componentes de losa como las alveolares. También pueden realizarse formaletas en madera o acero.

La base para sostener la formaleta generalmente es de acero, aportando durabilidad, mayor resistencia, menor desgaste y una superficie de mejor limpieza.

**Figura 6. Formaleta en madera para vigas “T” invertidas**



Fuente: [www.masterbuilder.co.in](http://www.masterbuilder.co.in)

### **1.3.3 Formaletas para losas alveolares**

La formaleta utilizada en las camas para losas alveolares debe ser en estructura metálica debidamente apoyada contra suelo firme y nivelado. Hacia los bordes finales esta formaleta debe tener una serie de contrafuertes para poder tensionar los cables de pretensado.

El ancho de estas formaletas se proyecta de acuerdo a las dimensiones típicas que maneja cada empresa prefabricadora. La longitud de estas camas de prefabricación puede tener más de 100 metros y disponer varias líneas de producción.

**Figura 7. Formaleta en acero para losas alveolares**



Fuente: [www.masterbuilder.co.in](http://www.masterbuilder.co.in)

#### **1.3.4 Formaletas para muros**

La formaleta utilizada para los muros estructurales generalmente se realiza en acero. Las dimensiones varían de acuerdo al tipo de muro. Se pueden realizar formaletas para muros sencillos con acero convencional que soportan carga o muros de fachada con concretos de características especiales.

También se encuentran las formaletas tipo cama donde se coloca el acero pretensado y se realizan en serie de acuerdo a requerimientos propios de cada proyecto.

Otro tipo de formaletas para muros utilizadas en la industria de la prefabricación son las que se utilizan en los sistemas de muro *Tilt-Up*. Estas formaletas generalmente son de madera apuntaladas sobre una losa vaciada en el mismo lugar de la obra y sobre una superficie previamente nivelada y adecuada para tal fin.



**Figura 8. Formaleta en madera para muros prefabricados en sitio**



Fuente: [www.masterbuilder.co.in](http://www.masterbuilder.co.in)

**Figura 9. Formaleta en acero para Muros en fábrica**



Fuente: [www.masterbuilder.co.in](http://www.masterbuilder.co.in)

En general para la realización de las formaletas metálicas (en planta) de un proyecto que involucra componentes prefabricados se deben tener las siguientes consideraciones:

1. Una vez aprobada su modulación se preparan los planos de taller para cada componente o se ajustan a los ya establecidos en las plantas de prefabricación. Allí se deberán establecer con suficiente claridad dimensiones, armado de refuerzo y elementos metálicos para su manejo y manipulación.
2. Una coordinación estricta entre el fabricante de piezas y el contratista de obra, donde se ajuste el cronograma a las entregas programadas de cada componente en particular. Tener una claridad en las fechas de suministro y orden de montaje. Este último es clave para tener claro el orden de prefabricación y el acopio de materiales.
3. Las formaletas o moldes deben ser estancos y resistentes a la deformación, siendo preferiblemente metálicos o de madera con o sin bases de goma. La calidad del producto depende de la calidad del molde o formaleta.
4. El control de calidad comienza por la elección de los materiales siguiendo las especificaciones mínimas de calidad para: áridos, cementos, agua, refuerzo y adiciones.
5. Para la manufactura de los componentes de concreto se deberá dejar el recubrimiento mínimo por normatividad dependiendo del componente a fabricar. En el fondo del molde debe quedar suficiente espacio para lograr un buen acabado.
6. Una vez realizada la formaleta o el molde se aplica el desencofrante de manera uniforme, se coloca el acero de refuerzo y los elementos metálicos de izaje y anclaje.
7. Se procede al vaciado y vibrado de manera uniforme y posteriormente al curado para evitar la pérdida del agua de hidratación.
8. Una vez se alcanza la resistencia necesaria se retiran las formaletas y se disponen los elementos o componentes en el sitio de acopio.
9. El acopio de las piezas en fábrica se realiza con elementos rígidos que no produzcan deformación.

## **2. MATERIALES CONSTITUYENTES**

### **2.1 CONCRETO PREFABRICADO EN COLOMBIA**

El concreto como constituyente de los componentes prefabricados es el material idóneo para ser utilizado en cualquier tipo de construcción que pretenda cumplir con estándares de calidad, durabilidad, fácil mantenimiento, manejabilidad, aislante térmico, acústico y resistencia al fuego. Producto de la mezcla de áridos, cemento y agua, tras un proceso de fraguado adquiere una consistencia de carácter pétreo con una determinada resistencia a la compresión.

El concreto fue ampliamente utilizado en tiempos romanos, pero su uso significativo en la construcción de estructuras se alcanzó con la invención del cemento Portland. Originalmente fue visto como reemplazo de la piedra natural y fue usado como prefabricado en bloques. A medida que la industria se volvió más mecanizada, se llegaron a tener grandes piezas prefabricadas que dieron inicio a los componentes actuales que se utilizan para edificaciones.

Como se mencionó anteriormente, desde comienzos del siglo XX en Colombia por el año de 1910, se dio inicio a la primera fábrica de cementos artificiales motivada por la realización de la primera planta hidroeléctrica de la Empresa de Energía de Bogotá. El cemento utilizado en esta construcción fue importado en su totalidad por los hermanos Samper Brush.

Con el objeto de contribuir al desarrollo de modernos sistemas de construcción, que sustituyeran los hasta entonces conocidos de tapia pisada, bahareque, el adobe y la mampostería con argamasa de cal, la Compañía de Cementos Samper estableció una oficina técnica con ingenieros civiles y arquitectos, cuya primera labor consistió en capacitar maestros de obra y oficiales de construcción para labores hasta entonces desconocidas en el medio, tales como la clasificación y lavado de agregados pétreos adecuados, su dosificación y mezcla con cemento en proporciones preestablecidas, la

figuración y colocación de varillas de refuerzo de acero en concreto armado, la elaboración técnica de formaletas para columnas y vigas, etc.

La Compañía de Cementos Samper dio comienzo a la primera producción de prefabricados de concreto, consistentes en baldosas para pisos y tubos para drenaje; para tal fin organizó en 1916 y dentro de los mismos predios de la fábrica, un departamento llamado desde entonces Manufacturas de Cemento.

Los primeros tubos de concreto fueron producidos en moldes individuales metálicos, utilizando una mezcla húmeda, compactación por sistemas manuales y unión del tipo machihembrado.

Con motivo de la primera ampliación de la fábrica de cemento y de la crisis económica mundial presentada a partir de 1929, la "Compañía de Cemento Samper" fue oxigenada mediante el ingreso a la misma de nuevos e importantes grupos de accionistas. La razón social se cambió a "Fábrica de Cemento Samper" y el departamento de Manufacturas de Cemento, se convirtió en una nueva sociedad del todo independiente, a la cual los accionistas fundadores de la Compañía de cemento aportaron, entre otros bienes, los equipos y moldes hasta entonces utilizados en prefabricación. Fue así que el 1o. de julio de 1938 se constituyó Manufacturas de Cemento S.A.<sup>4</sup>

En el ámbito industrial, la empresa "*Preload de Colombia Ltda*" filial de "*Preload Company New York*", ofrecía como servicios el diseño y construcción de tanques pretensados para acueductos y oleoductos, puentes de estructuras continuas, piscinas públicas, privadas y morteros de aplicación neumática ofreciendo ventajas sobre sistemas tradicionales como la reducción tanto de concreto como de acero en sus construcciones.

---

<sup>4</sup> CAICEDO, Hernando, LOPEZ, Andrés. "Historia de la prefabricación en concreto en Colombia: Notas para registrar un aprendizaje". Departamento de arquitectura. Universidad de los Andes, 2010.

**Figura 10 .Banco de prefabricación de losas alveolares – Manufacturas de cemento S.A**



**Fuente: Manufacturas de Cemento S.A – Titán**

La primera obra en concreto pretensado construida en Colombia hacia la década del 1940, consistió en dos grandes tanques de almacenamiento para el hospital San Carlos. La obra fue ejecutada por la firma “*CUSEGO, Cuellar Serrano Gomez y Cia Ltda*”, utilizando técnicas de *Preload Company*.. Esta empresa diseñó sistemas propios de anclajes y tensionamiento, los cuales puso en operación mediante la firma *Prefabricaciones Ltda*. La empresa inicialmente suministró cerca de 40.000 m<sup>2</sup> de entresijos y cubiertas tensionadas para viviendas de clase media. Con el tiempo esta firma se especializó y adquirió las máquinas para producir cables de tensionamiento para sus obras contribuyendo a desarrollar los prefabricados en el país.

Hoy en día con el avance de la tecnología, el concreto demuestra tener una versatilidad que no poseen otros materiales. En Colombia existen los recursos para la elaboración de los distintos tipos de concretos (Normales y de Alto desempeño) y en la actualidad la selección de materiales constituyentes, el diseño, la producción, la colocación y el manejo de mezclas, han evolucionado al punto que sin incurrir en mayores costos se pueden obtener altas resistencias, mayor durabilidad, mejor estabilidad al volumen, manejabilidad y apariencia.

Como consecuencia del avance tecnológico en concreto, se ha incrementado en los últimos años la construcción de edificaciones mucho más altas y esbeltas. El uso de concretos de alto y ultra alto desempeño ha hecho posible el desarrollo de rascacielos y estructuras que los ingenieros no hubieran imaginado generaciones atrás.

Los concretos que más se utilizan en las construcciones tradicionales del país tienen resistencias entre 21 y 28 MPa fundidos en sitio, tanto para el sistema principal de resistencia a cargas verticales como laterales o una combinación de las dos, así como para los diferentes tipos de entrepisos en donde generalmente se manejan concretos con resistencia de 21 MPa. Sin embargo, ya ha comenzado una nueva generación de edificaciones más altas y ambiciosas que las tradicionales con el uso de concretos de alto desempeño. En el tema de entrepisos y fachadas, actualmente se realizan componentes prefabricados que combinan perfectamente las propiedades de los concretos de alto desempeño, con variedad de formas, texturas, grabados y coloraciones.

Colombia es un país cuyos recursos naturales favorecen la construcción de estructuras en concreto, y por lo tanto es el material de construcción más utilizado por encima del acero estructural.

**Tabla 1. Tipos de concreto en función de su resistencia a la compresión**

CONCRETO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
	[MPa]	[psi]
NORMAL	7 a 35	1000 a 5000
ALTO DESEMPEÑO	42 a 100	6000 a 14000
ULTRA ALTO DESEMPEÑO	> 100	> 14000

## **2.2 CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO**

La definición de concreto de alto desempeño ha cambiado con el tiempo, sin embargo, el ACI-363 en sus reportes lo define como aquel que tiene una resistencia de 42 MPa (6000 psi) o superior y no involucra concretos hechos con materiales o técnicas especiales. Los 42 MPa de resistencia suponen una línea divisoria entre concretos convencionales y concretos de alto desempeño.

En Colombia se han producido mezclas de concreto con resistencias especificadas entre 14 y 35 MPa, pero para lograr estructuras prefabricadas con propiedades de resistencia y durabilidad se hace necesario la implementación y uso de concretos de alto desempeño. El concreto de alto desempeño provee tanto a ingenieros diseñadores, arquitectos como constructores una serie de ventajas técnicas y económicas que pueden considerarse soluciones novedosas en los proyectos.

La combinación entre elementos prefabricados pretensados y la utilización de concretos de alto desempeño es sin duda estar un paso adelante dentro de la industria de la construcción.

Dentro de las características y ventajas de este tipo de concretos están:

- Optimización de secciones de elementos y componentes estructurales
- Reducción de acero de refuerzo
- Mejor manejo arquitectónico de los espacios
- Menor cantidad de material utilizado
- Mayores luces y alturas en las edificaciones
- Fácil colocación y consolidación
- Alta resistencia temprana
- Durabilidad
- Estabilidad de volumen

Estas características del concreto de alto desempeño hacen que su uso combine perfectamente con el prefabricado logrando hacer una fusión de ventajas y propiedades estructurales. Una meta dentro del sector productivo colombiano debe ser el obtener

prefabricados con concretos de alto desempeño de una manera económica y sostenible. Si se tienen en cuenta las ventajas mencionadas anteriormente, el sector de la construcción adoptará culturalmente esta llamada “fusión” redundando en menores costos operacionales, mejores tiempos de ejecución de los proyectos, menor impacto ambiental, dando un espacio en la industria para que la construcción sea ampliamente competitiva con respecto a los demás países.

Por definición, cualquier concreto que satisfaga los criterios propuestos para sobrepasar las limitaciones de un concreto convencional puede ser llamado concreto de alto desempeño (“*Federal Highway Administration*” FHWA, 1994). Según varios grupos de trabajo sobre concretos de alto desempeño realizados por el “*National Institute of Standards and Technology*” (NIST) en 1990 y el *American Concrete Institute* (ACI), se define como “el concreto que reúne un comportamiento especial, uniformemente exigido, que no puede nunca ser alcanzado utilizando solamente los materiales convencionales, y una mezcla, colocación y curado normal”. También (ACI) lo define como “el concreto que presenta funcionamiento y uniformidad especiales, que no puede ser obtenido utilizando ingredientes convencionales, procedimientos normales de mezclado y prácticas típicas de curado.

La materia prima para un concreto de alto desempeño utilizado en componentes prefabricados debe basarse en una selección y controles de calidad más estrictos respecto a los concretos tradicionales.

### **2.2.1 Cementos**

La elección del cemento debe basarse en la necesidad de resistencia de acuerdo con la edad del concreto, debido a que algunos cementos producen altas resistencias a edades anteriores a la de un concreto tradicional, mientras otros la desarrollan a edades posteriores (Salcedo, 2006). El cemento más utilizado en Colombia es el cemento portland tipo I. Si de buscar resistencia y durabilidad se trata, el rol del cemento portland tipo I en la mezcla juega un papel importante en la construcción. Los tipos de cemento



portland son hidráulicos y están compuestos principalmente por silicatos de calcio hidráulico.

La ASTM C150, Especificación estándar para cemento Portland reconoce 10 tipos de cemento. Estos según la (PCA) “*Portland Cement Association*” son:

Tipo I y IA\*: Cementos para uso general donde las características especiales de los otros tipos no se requieren.

Tipo II y IIA\*: los cementos tipo II contienen no más del 8% de Aluminato Tricálcico ( $C_3A$ ), usados para moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo II(MH) y Tipo II(MH)A\*: Estos cementos tienen la característica de calor de hidratación moderado basado en el requerimiento de que la suma de  $C_3S+4.75C_3A$  debe ser menor del 100%, y tienen propiedades moderadas de resistencia a los sulfatos basadas en un contenido de  $C_3A$  máximo del 8%.

Tipo III y Tipo IIIA\*: Química y físicamente son similares a los cementos tipo I, a excepción de que son molidos más finos para producir resistencias más altas a temprana edad.

Tipo IV: Usados en estructuras para concretos masivos donde la relación y cantidad de calor generado de la hidratación deben ser minimizados. Este tipo de cemento desarrolla resistencia a menor velocidad que otros tipos de cementos.

Tipo V: Contiene no más del 5% de  $C_3A$ , y es utilizado para tener alta resistencia a los sulfatos.

\*Indica cementos con inclusores de aire.

### **2.2.2 Cementos en el reglamento NSR-10**

Para Colombia se encuentra lo estipulado en el Reglamento NSR-10, capítulo C.3. En el se indica que los materiales cementantes deben cumplir con NTC 121 (Cemento Portland – Especificaciones físicas y Mecánicas) y NTC 321 (Cemento portland – Especificaciones Químicas), permitiendo también el uso de ASTM C150. La cantidad de cemento por metro cúbico de concreto que se utiliza en la mezcla generalmente está comprendida entre 400 y 550 kg/m<sup>3</sup> dependiendo de la mezcla, para esto se deben realizar pruebas.

### 2.2.3 Adiciones

Las adiciones que se le hacen al cemento son motivo de muchas investigaciones. En Colombia las adiciones más comunes son Puzolanas, Cenizas Volantes y Humo de Sílice. Los cementos producidos en Colombia son adicionados y se exigen ensayos previos antes de combinar con otras adiciones.

- Puzolanas: Estos son materiales naturales o artificiales silíceos y aluminosos, sin valor cementante, pero que en presencia de humedad y finamente divididos, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos con propiedades cementantes. Estos deberán cumplir con NTC 3493 (ASTM C618).
- Ceniza Volante: También se le conoce con el nombre de ceniza de combustión pulverizada y es un subproducto de la combustión del carbón. Sus partículas son de forma esférica y su finura debe ser por lo menos igual a la del cemento, lo cual es muy conveniente para la cantidad de agua de la mezcla. Se utiliza de dos formas: Para cementos adicionados con ceniza volante y/o introduciéndola en el proceso de dosificación, esta segunda opción es mejor porque tiene un proceso lento de hidratación que conlleva un bajo calor de hidratación. Estos deberán cumplir con NTC 3493 (ASTM C618).
- Humo de Sílice: También se le conoce como microsíllica o en inglés *silica-fume*. Es un subproducto del proceso de aleación de ferro-silíceos (Silicato de Hierro), en el cual las partículas de humo se desprenden y son atrapadas mediante tecnología de filtración de gases. Estas se utilizan como materia prima en la industria del concreto, los polímeros y los refractarios. Su forma es como un polvo de color gris claro u oscuro, cuya finura es muy elevada ( $20 \text{ m}^2/\text{gr}$ ) y posee una densidad baja con respecto al cemento portland común. Estos deberán cumplir con NTC 4637 (ASTM C1240).

### 2.2.4 Agregados

Los agregados utilizados más frecuentemente para concretos de alto desempeño ejercen una influencia decisiva sobre el comportamiento final del concreto y deben cumplir con NTC 174 (ASTM C33) para agregado de peso normal y NTC 4045 (ASTM C330) para

agregado de peso liviano. Sus características más importantes son: Configuración geométrica y textura rugosa, granulometría, propiedades mecánicas y estabilidad química.

- Agregado Fino:

El parámetro de finura, es decir que tan fina o gruesa es la arena es una de las características más importantes para escoger el agregado fino. En la práctica es recomendable manejar arenas gruesas con módulo de finura entre 2.7 y 3.2 para obtener una buena manejabilidad y resistencia. Otro aspecto importante a determinar en los agregados finos es su mineralogía. En Colombia se maneja con gran frecuencia la arena de río y la arena de aluvión, las cuales poseen una granulometría constante.

- Agregado grueso:

Una característica muy importante de los concretos de alto desempeño es que su resistencia se ve notablemente afectada debido al tamaño del agregado grueso. Entre menor sea el tamaño máximo del agregado grueso, mayor será la resistencia del concreto. Cuando la relación entre agregado grueso sobre agregado fino es superior a 1,5, el valor de la resistencia del concreto es proporcional al tamaño del agregado manejando tamaños de agregado hasta de 19 mm. En los concretos de alto desempeño el mecanismo de falla se establece por el agregado grueso; este se encuentra en tamaños entre 4,76 mm y 19 mm.

## **2.2.5 Aditivos**

Son productos utilizados ampliamente en la producción de concretos de alto desempeño. Los más comunes son:

- Retardantes: Son aditivos que cambian el endurecimiento de la pasta, tornándolo más lento sin alterar su composición. Se utilizan para el control temprano de la hidratación atrasando el tiempo de generación de calor de hidratación y el aumento de temperatura.
- Acelerantes: Es un aditivo para acelerar la resistencia temprana y reducir el tiempo de fraguado. Aceleran el desarrollo del calor de hidratación y la velocidad de fraguado sin verse afectada la cantidad de agua y la manejabilidad.

- Reductores de Agua o superplastificantes: Son reductores de agua más efectivos que los acelerantes. Producen una mejor hidratación del cemento y aumento de resistencias a edades tempranas.

### **2.2.6 Agua**

El agua que se utiliza en concretos de alto desempeño, posee más requisitos que el agua utilizada en concretos convencionales. La pureza del agua deberá ser comprobada para evitar concentraciones de partículas no deseadas que produzcan alteraciones en el comportamiento del material ya sea en estado fresco o endurecido. La verificación del agua a utilizar en las mezclas de concreto se realiza a través de cubos para ensayo de mortero hechos con el agua fuente. Si los cubos obtienen una resistencia igual o mayor al 90% de la resistencia a compresión de cubos hechos con agua destilada la fuente de agua es aceptada.

Los cuidados que se deben tener con la obtención de concretos de alto desempeño no difieren en los utilizados para concretos de resistencias normales; pero todos los procedimientos demandan precauciones especiales y un excelente control de calidad.

El ACI-363 provee los requisitos mínimos a considerar en el control de calidad de concretos de alto desempeño. La calidad de este tipo de concretos será controlada por la calidad y uniformidad de los ingredientes, por el mezclado, compactación y las condiciones de curado.

Un alto nivel de control de calidad es esencial para aquellos involucrados en la cadena de producción, transporte y manejo del mismo.

- Mezclado: El mezclado debe permitir la uniformidad. Los agregados deberán estar saturados para mejorar el proceso de hidratación de la pasta y ayudar a la disolución de los aditivos. Son recomendables tiempos de amasado altos para inducir uniformidad.

- Compactación: De la compactación depende el grado de consistencia. Están los métodos mecánicos de compactación para mezclas de consistencia plástica mediante vibración externa (vibradores de pared), o mediante vibración interna (Vibradores de aguja) con frecuencias entre 100 y 200 Hertz. El tiempo de compactación dependerá del elemento a compactar, de la dosificación del concreto y del método elegido. El tiempo de compactación está entre los 5 y 20 segundos de vibración. Cuando se utilizan mezclas con alto contenido de superplastificantes (muy fluidas) bastará con una ligera vibración.
- Fraguado: El tiempo de fraguado dependerá del tipo de material cementante, de la temperatura de la mezcla, de su composición, de la relación agua/material cementante, de la cantidad de aditivos y adiciones lo que implica que deberán realizar mezclas de prueba para establecer el tiempo real de fraguado en cada caso.
- Curado: Para lograr altas resistencias y durabilidad el curado del concreto es esencial. Debido a que se poseen altas cantidades de cemento y bajas relaciones agua/material cementante, el curado deberá ser muy riguroso. Se recomienda curar desde temprana edad y por lo menos un periodo de 7 días. La norma técnica colombiana NTC-1377 y el capítulo 4 del manual para la práctica del concreto, ACI-363 describen el procedimiento y las condiciones a tener en cuenta. Un curado con agua (inmersión, riego, etc.) es recomendado para concretos de alto desempeño.
- Control de calidad: La calidad de este tipo de concretos dependerá de la interacción de muchas variables, de los procedimientos, del personal involucrado y por supuesto de los materiales constituyentes. Es necesario que en todo proyecto que utilice concretos y concretos de alto desempeño, exista personal calificado en el aseguramiento y control de la calidad. La calidad se debe asegurar en aspectos como: materiales, control de operaciones, equipos y laboratorios. Los procedimientos de control de la calidad involucran el criterio de aceptación de las muestras de concreto, las curvas de distribución de la resistencia, los tiempos de muestreo de los cilindros y los métodos de evaluación.

### 2.3 TIPOS DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO

Los concretos de alto desempeño se pueden clasificar de maneras diferentes de acuerdo con el resultado esperado o con los materiales utilizados. A continuación se hace una breve descripción de los tipos de concretos de alto desempeño:

- Concreto de alta resistencia inicial: Denominado concreto súper acelerado, son aquellos que poseen una alta velocidad de adquisición de resistencia, llegando a 42 MPa (6000 psi) a los 3 días. Se logran con cementos Portland tipo III, cementos de fraguado extra rápido y de ultra alta resistencia (variaciones del tipo III), en cuantías altas. También se logran utilizando acelerantes y reductores de agua, con adiciones de microsíllica, ceniza volante o escoria y tamaños máximos de agregado grueso de 25,4 y 12,5 mm triturados y de textura rugosa.
- Concretos de alta resistencia final: Corresponden a los concretos cuya resistencia a la compresión excede los 42 MPa (6000 psi) a los 56 y 90 días. Su velocidad de adquisición de resistencia es baja a edades tempranas; aunque luego el crecimiento es mayor comparado con concretos convencionales. Se obtienen utilizando: Cementos Portland tipo I en altas cuantías (mayores a 450 kg/m<sup>3</sup>), agregados triturados rugosos de tamaño máximo entre 12,5 y 19 mm, aditivos reductores de agua, adiciones de microsíllica, ceniza volante, escoria o cascarilla de arroz.
- Concretos con alto contenido de cemento: Obtenido con dosificaciones altas de cemento (más de 450 kg/m<sup>3</sup>), alcanza resistencias a todas las edades, sin inclusión de aditivos ni adiciones. Pueden utilizarse cementos tipo I y III, obteniéndose mezclas con baja trabajabilidad y consistencia plástica que requieren buena compactación.
- Concretos con agregados y cementos especiales: La dosificación incluye cementos Portland tipo III o cementos especiales de fraguado extra rápido y ultra alta resistencia, lo que permite que la resistencia sea elevada a edades tempranas. La manejabilidad de esta mezcla depende del tipo de aditivos utilizados y se pueden mezclar con agregados naturales o artificiales.

- Concretos con aditivos y adiciones: Incluyen el uso de aditivos y/o adiciones en las dosis recomendadas por cada fabricante, conjuntamente con el cemento, agua y agregados. Los aditivos más utilizados son los reductores de agua, reductores de alto rango, retardantes, plastificantes y superplastificantes. Pueden incluir adiciones como puzolanas, ceniza volante, escoria y microsilica. Esta opción de concreto de alto desempeño a partir de mezclas y adiciones parece ser la más indicada por el beneficio económico.

## **2.4 VENTAJAS DEL USO DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO**

Las siguientes son algunas ventajas que ofrece el utilizar concretos de alto desempeño:

1. Disminución del peso propio en las estructuras, ya que se permite el uso de secciones más esbeltas y de mayores longitudes tanto para elementos verticales como horizontales. Estructuras con menor masa desarrollan menores fuerzas sísmicas. Otro aspecto muy importante de la reducción del peso de la edificación es la baja en cargas a cimentación, lo que implica menores secciones de zapatas o pilotes según sea el caso.
2. Disminución del material usado en elementos estructurales, ya que se tiene un aumento de la capacidad de resistencia, se conciben diseños más flexibles y con mayores usos, dando valor agregado a la edificación. En general se logra un ahorro del volumen de concreto utilizado en las edificaciones.
3. Mayor módulo de elasticidad, lo cual disminuye las deformaciones.
4. Mayor compacidad e impermeabilidad del concreto, lo que redundará en mayores resistencias a agentes externos agresivos y finalmente en un mayor ciclo de vida de la estructura.

5. Desencofrado más rápido. Se mejoran los tiempos y se benefician las duraciones de las actividades, cambiando positivamente los cronogramas de obra.

6. Mayor resistencia a la tracción. Esto beneficia la disminución de acero por tracción, lo que también redundará en el ahorro de materiales.

7. Ventajas económicas: El uso de concretos de alta resistencia para columnas y muros es idóneo, presentando cuantías de acero que se ven reducidas sin sacrificar resistencia y manteniendo dimensiones que no sacrifican mayores espacios aportando flexibilidad arquitectónica y un beneficio muy grande a constructores y propietarios. En los países desarrollados es difícil concebir proyectos de gran altura sin considerar el uso de concretos de alto desempeño para componentes como muros y columnas. Se obtienen de esta manera sistemas de resistencia sísmica mejorados, lo que garantiza un óptimo comportamiento ante cargas verticales y laterales.

8. El uso de concretos de alta resistencia en diafragmas de piso, como lo son las losas alveolares, las losas "T" o en doble "T", proporciona luces generosas sin columnas intermedias para espesores relativamente pequeños y con un ahorro considerable en la cuantía de acero.

Uno de los objetivos del presente trabajo de investigación es el estudio de la influencia sobre la construcción en la utilización del prefabricado en sistemas de entrepiso. Este tema será ampliado más adelante.

## **2.5 ACERO DE REFUERZO PRETENSADO**

### **2.5.1 Cables**

Se denominan cables de pretensado los productos formados por cordones arrollados helicoidalmente alrededor de un núcleo central o alma que actúa como soporte. Dicho núcleo puede estar constituido por un muelle helicoidal, un alambre, un cordón u otro



cable. Este tipo de alambres es utilizado como refuerzo principal de componentes en concreto pretensado.

### **2.5.2 Alambres**

Se fabrican lisos y/o grafilados con altos contenidos de carbono según el diámetro y la norma de referencia. Las normas básicas para este tipo de productos son: ASTM A421, NTC 159, UNE 36094 Y ASTM A881.

### **2.5.3 Torones**

Generalmente los torones están constituidos por un alambre central y varios alambres exteriores enrollados helicoidalmente sobre dicho núcleo. Estos torones se producen sin recubrimiento, con recubrimiento de cinc y/o polietileno de alta densidad, según los requerimientos de diseño. Las normas básicas aplicables son NTC 2010, ASTM A416 y los requerimientos del Instituto de post-tensionamiento americano PTI.

En Colombia, adicional a los torones de 7 alambres se producen cordones de dos alambres (bifilares) o de tres alambres (torzales) basados en normatividad internacional. A su vez se consiguen torones grafilados basados en la norma ASTM A886. La norma ASTM A416 aplica para las propiedades mecánicas de los torones de acero fabricados con alambres lisos. La norma ASTM A886 aplica para las propiedades mecánicas de torones de acero con alambres grafilados.

Existen diferentes tipos de torones que se ofrecen para el mercado colombiano, estos son:

Torón encauchetado: Las propiedades de carga de rotura, carga al 1% de elongación, longitud de paso y diámetro son las mismas que se requieren para el torón sin recubrimiento (*uncoated strand*). Sus propiedades son establecidas por la norma ASTM A416. Se obtienen en el mercado torones grado 1725 (250) y grado 1860 (270). La resistencia máxima ofrecida es de 260,7 kN para un torón de 15,24 mm de diámetro. Las especificaciones del recubrimiento se definen a continuación:

- Suficiente resistencia y durabilidad para evitar el daño durante la fabricación, transporte, instalación y/o tensionamiento
- Hermeticidad en toda la longitud
- No debe reaccionar con el concreto, el acero, ni con el inhibidor de corrosión (grasa de relleno)
- El espesor mínimo del recubrimiento (chaqueta) no debe ser menor que 1 mm para polietileno y/o polipropileno, de alta densidad o el equivalente si se usan otros materiales.
- El diámetro interno del recubrimiento (chaqueta) debe ser al menos de 0,76 mm mayor al diámetro máximo del torón.

Inhibidor de corrosión:

El recubrimiento del material inhibidor de corrosión debe tener las siguientes propiedades:

- Ser químicamente estable y no reactivo con el acero, el material de recubrimiento (chaqueta) y el concreto.
- Debe tener la polaridad adecuada para desplazar la humedad
- Debe proveer una unión entre el torón y la chaqueta, manteniendo una cantidad mínima de grasa.

Torón galvanizado: Las propiedades físicas y mecánicas corresponden a los grados 250 y 270 definidos en la norma ASTM A416 para torones de relajación normal; al igual que para torones desnudos el grado se determina tomando como base el área nominal del torón. Las especificaciones del recubrimiento se definen a continuación:

- El material de cinc utilizado para la protección de los alambres constitutivos del torón debe ser de alta pureza grado SGH (*Special High Grade*) de acuerdo a lo establecido en ASTM B6, para garantizar la adecuada interface hierro-cinc y que esta sea suficientemente tenaz, no frágil y que logre una adecuada protección galvánica del acero.
- La masa de recubrimiento de cinc debe ser homogénea en toda la longitud de los alambres cumpliendo con normas mínimas como ASTM A475, BS 183, ASTM A363 y las requeridas por los clientes.

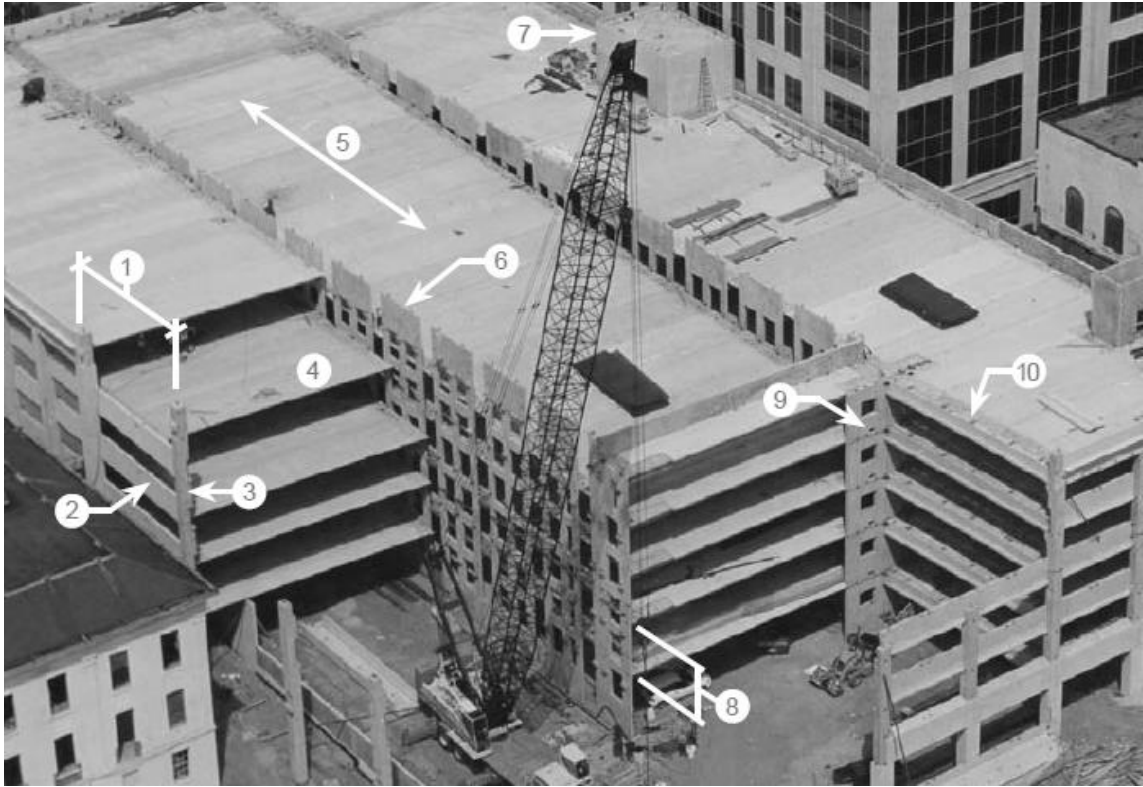
### **3. COMPONENTES PREFABRICADOS**

Una gran variedad de componentes pueden derivarse del concreto prefabricado de alto desempeño, dependiendo del tipo de estructura que se requiera en la realización de un proyecto. La industria de la construcción a nivel mundial ha logrado aplicar a un gran número de edificaciones, componentes o elementos estructurales prefabricados que prácticamente mejoran el concepto de edificación.

El ingeniero estructural en común acuerdo con el fabricante de piezas de concreto, debe establecer que componentes funcionarán de la manera más eficiente revisando dimensiones, localización de uniones, consideraciones de fabricación y montaje que puedan generar una relación costo beneficio viable para cada proyecto específico.

Es vital para la concepción de proyectos prefabricados desde el punto de vista arquitectónico y estructural, conocer las dimensiones de cada componente con el fin de proyectar dimensionalmente cada espacio, lograr ortogonalidad en los ejes y no incurrir en el ajuste de los componentes a los espacios ya establecidos, es decir, que se debe proyectar la arquitectura y por ende las estructuras desde adentro hacia afuera basándose en el componente prefabricado principal y predominante. No cumplir con lo anterior, desencadena una serie de procesos de reajuste, partiendo del diseño estructural, procesos logísticos y procesos constructivos que finalmente afectarán la eficiencia misma inherente del prefabricado y la idea de construcción prefabricada industrializada. Cuando no se proyecta correctamente la edificación en función del componente prefabricado predominante se incurrirán en mayores costos y demoras en la entrega de las edificaciones que redundarán en la extensión de los cronogramas de trabajo.

**Figura 11 Componentes en estructuras totalmente prefabricadas**



**Fuente: Metromont Structures**

En la figura anterior se pueden observar varios de los diferentes componentes prefabricados aplicados en una edificación de tipo parqueaderos totalmente prefabricada. Los espacios arquitectónicos, así como la estructura, han sido concebidos totalmente en función de los componentes dando lugar a una construcción eficiente, limpia y altamente competitiva dentro del sector de la construcción.

La grúa, aunque no es un componente propio de la edificación hace parte indispensable del proceso de construcción prefabricada, cumpliendo la función del izaje de cada componente estructural.

1. Espaciamiento entre ejes: Es de suma importancia la concepción del espaciamiento de los ejes, ya que este espacio junto con las dimensiones de la viga proporcionan el

espacio exacto para que se acomoden componentes de losa tipo alveolar, tipo viga doble "T", o cualquier elemento con dimensiones preestablecidas.

2. Antepechos: Concebidos para dar amarre y cerramiento a los espacios, estos componentes se conectan entre componentes verticales tipo muro o columnas.
3. Columnas prefabricadas adaptadas para la conexión de antepechos, muros estructurales o vigas en diferentes puntos.
4. Componentes de losa: Pueden ser en losa alveolar o losas en doble "T" perfectamente acoplados a las vigas o antepechos y distribuidos de manera exacta sobre el diafragma de piso.
5. Rampas: Formadas también con componentes de losa, estos elementos se pueden conectar en diferentes niveles para dar pendiente a las superficies.
6. Muros con aberturas: Componentes especiales que funcionan estructuralmente para cargas verticales y laterales.
7. Núcleo de elevadores y escaleras: Formado por componentes de muros estructurales y componentes de escaleras prefabricadas.
8. Altura de Entrepiso: Altura definida arquitectónica y estructuralmente en función de los componentes prefabricados de muros y columnas e incluso de componentes prefabricados de fachada.
9. Muro a Cortante: Concebido para trabajar ante cargas sísmicas amarrados al sistema principal de resistencia integralmente.
10. Vigas prefabricadas: Estos componentes horizontales proporcionan el apoyo de sistemas de entrepiso, proyectados en función de la carga y el espaciamiento entre ejes. En el caso de sistemas totalmente prefabricados poseen geometrías tipo "T" invertida para las vigas intermedias o geometría tipo "L" para las vigas laterales.

A continuación se describen los diferentes componentes y sistemas prefabricados en concreto los cuales son altamente adaptables a nuevos conceptos de diseño arquitectónico y estructural.

## **3.1 MUROS PREFABRICADOS**

### **3.1.1 Paneles de Muros**

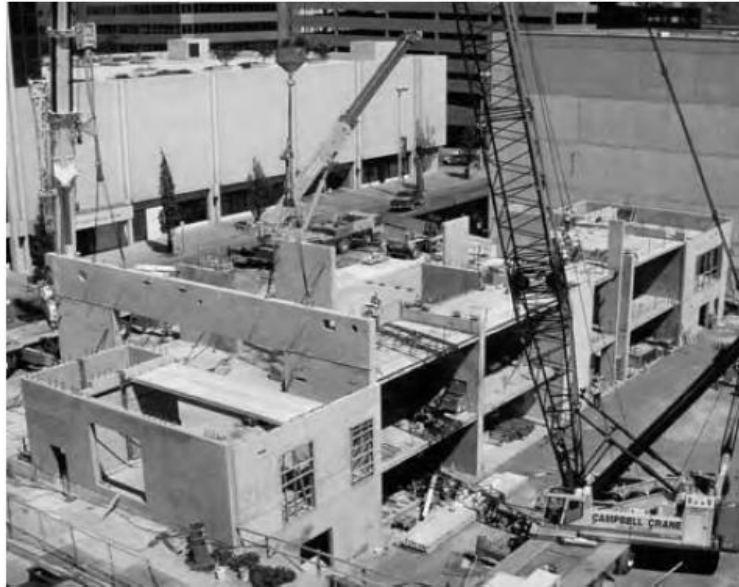
Son paneles o muros de concreto que pueden o no ser de carga, a los cuales se les puede incluir aislamiento interno. Son componentes versátiles que se usan de manera arquitectónica o estructural dando lugar a diferentes tipos de aplicaciones en edificaciones. Los paneles de concreto prefabricado pueden conectarse tanto a estructuras fundidas en sitio como a estructuras prefabricadas o de acero. Lo anterior se conoce como estructuras híbridas. Estructuralmente se utilizan para resistir las cargas laterales de sismo o viento. También son llamados muros de cortante que van de un nivel a otro formando el sistema principal de resistencia sísmica más utilizado de la industria.

Los muros de cortante en estos sistemas actúan como vigas verticales en voladizo transfiriendo las fuerzas laterales del piso hacia la fundación. Estos muros deberán estar orientados en las dos direcciones principales de la edificación.

El proceso de fabricación de este tipo de componentes generalmente se realiza horizontalmente en las plantas de prefabricación a causa de la alta exigencia para sus conexiones, dimensiones, tolerancias y detallado de refuerzo propio para un sistema de resistencia ante cargas laterales.

Su colocación en obra debe realizarse con grúas para su correcta manipulación y unión de conexiones. En su diseño estructural se deben considerar los puntos de izaje de cada muro y el refuerzo equivalente para esta actividad.

**Figura 12 Muros prefabricados y su montaje en edificaciones**



**Fuente:** PCI

### **3.1.2 Muros para tilt up**

Existen otro tipo de muros que no son fabricados en la planta sino en el mismo lugar de la obra. Estos muros son componentes del sistema *Tilt-Up*, por su nombre en el idioma inglés, el cual hace referencia a un método y proceso constructivo. La construcción en *Tilt-up* es un método innovador para construir estructuras que abarcan grandes superficies con gran velocidad y una alta relación costo beneficio.

En construcciones tradicionales de paneles de muros, estos pueden ser construidos en mampostería de arcilla o bloques de concreto para luego ser pañetados dando la apariencia de un solo panel continuo. Esta actividad consume demasiado tiempo en las obras y requiere de bastante personal. Los paneles de muros en *tilt-up* son fundidos horizontalmente sobre una larga losa o cama de concreto, donde se realizan las formaletas y luego son izados por una grúa en posición vertical y colocados en las fachadas de la edificación una vez hayan obtenido la resistencia necesaria de diseño. Prácticamente el muro queda terminado y listo para mostrarse como fachada de una manera muy eficiente ahorrando una gran cantidad de tiempo y personal.

La construcción en *Tilt-up* tiene una larga historia, pero su uso masivo es relativamente un fenómeno nuevo. Este tipo de construcción se ha convertido rápidamente en la manera de hacer bodegas de grandes superficies, *call centers*, centros de distribución, edificios de almacenaje y toda variedad de facilidades industriales y comerciales con grandes superficies.

La construcción en este método comienza con la preparación del terreno dejándolo totalmente plano, compactado y listo para el vaciado de los muros de manera horizontal. Durante esta etapa del proyecto se instalan todas las formaletas necesarias formando el perímetro del muro y según la geometría requerida. Normalmente la formaleta se realiza con madera por el personal de obra y se unen al terreno para darle firmeza a la hora de vaciar el concreto. Los paneles deberán quedar con las dimensiones exactas según el diseño arquitectónico y estructural y tener todas las aberturas necesarias requeridas tales como ventanas y puertas. Una vez esta etapa haya sido realizada con precisión, el equipo en campo colocará el refuerzo necesario en las dos direcciones y los refuerzos adicionales para cada abertura. En esta etapa también quedan embebidos los elementos necesarios para anclaje, izaje y de sujeción entre paneles adyacentes.

Después de tener la canasta de refuerzo debidamente posicionada, la superficie deberá estar libre de cualquier elemento metálico o que no sea parte del panel y totalmente seca. El concreto será vaciado hasta dejar una superficie uniforme según el espesor requerido. Cuando el concreto vaciado ha alcanzado la resistencia necesaria, las formaletas se retiran y los paneles horizontales son finalmente izados por medio de grúas en los puntos de izaje, dejándolos en posición vertical anclados en la cimentación. El tamaño y capacidad de las grúas de izaje dependerá del tamaño y peso de los paneles de concreto previamente definidos en la factibilidad del proyecto. Una vez se completa este proceso para cada panel, se procede con el siguiente realizando el mismo procedimiento. La velocidad de este proceso de colocación es asombrosa si se compara con un proceso de armado de fachadas verticales de mampostería, donde la mano de obra es más de tipo artesanal y consume mayores tiempos de ejecución.



En la práctica de colocación de paneles de *tilt-up* un equipo de trabajo puede lograr hasta 30 paneles en un solo día, lo que evidencia la velocidad y eficiencia de este método constructivo. Cuando se tienen todos los paneles en posición, el equipo de trabajo podrá aplicar, si lo desea, un “*sand-blasting*” o pintura de acuerdo con los requerimientos de fachada. En esta etapa también se reparan pequeñas imperfecciones y se arreglan desajustes de los muros. Teniendo las fachadas listas, se procede con la instalación de la cubierta y con el acondicionamiento interno de la estructura.

**Figura 13 Muros prefabricados Tilt-Up y su montaje**

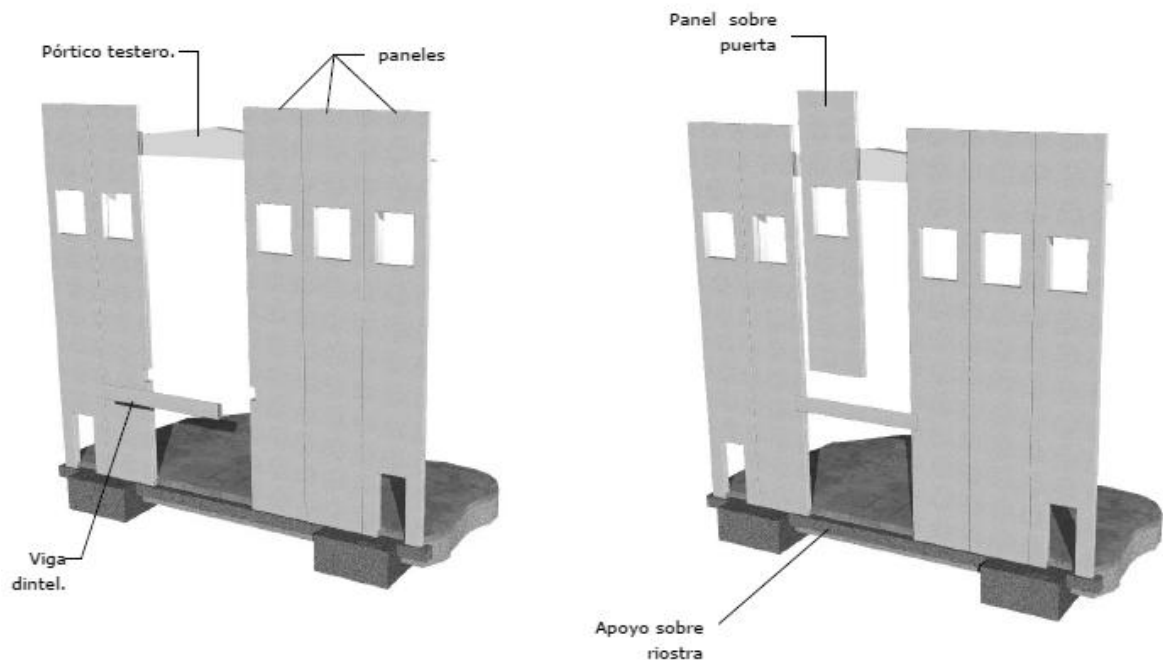


**Fuente: PCI**

Para una edificación en sistema *Tilt-up*, los muros son creados creando la formaleta en el suelo y vaciando el concreto como si fueran losas directamente en el sitio de la obra, posterior a esto, los muros se levantan para formar la fachada de la edificación. Por lo tanto no se necesita transporte alguno de los paneles.

Los paneles pueden en ciertas ocasiones ser extremadamente anchos o altos. En ciertos proyectos en los Estados Unidos se han medido muros de hasta 21 metros de ancho y 28 metros de alto, siempre que se llegue a un acuerdo entre arquitectos, ingenieros y contratistas de la construcción. Estos rangos de dimensiones en los paneles aportan gran flexibilidad en la planeación de los proyectos de grandes superficies.

**Figura 14 Muros prefabricados tilt-up con vigas de amarre superior y dinteles**



**Fuente: Grupo PACADAR**

Los constructores de paneles de muros con el método del *Tilt-up* se encuentran a merced de las condiciones climáticas teniendo dificultades en condiciones extremas para el curado de cada panel lo que puede llegar a incrementar los costos de construcción. Por esta razón es que este método es más popular en el sur de los Estados Unidos donde se dan menos temporadas frías. Esto sin embargo es una ventaja enorme en países en vía de desarrollo como Colombia donde el clima cálido favorece el curado del concreto y los cronogramas de construcción no deberían presentar demoras.

El proceso de fabricación de componentes prefabricados de muros es similar a la construcción prefabricada en *Tilt-up* pero sin las dificultades del clima, ya que los paneles se realizan en las plantas especializadas de prefabricación. Después de su curado los paneles son llevados al sitio de trabajo y el proceso de instalación es el mismo pero llamado por los constructores *Tillwall*. La única limitación que se presenta es este proceso es por las condiciones de transporte, ya que se limitan las dimensiones de los paneles para que estos no presenten dificultad al ser transportados de un lugar a otro.

Sería imposible para cualquier tipo de obra cargar con paneles extremadamente grandes y pesados, ya que se necesitarían grandes camiones y el costo sería muy elevado para el contratista de la estructura. Lo ideal para la obra será tener paneles pequeños y del mismo tamaño buscando que su transporte sea factible desde el punto de vista logístico, contractual y económico.

El método del *Tilt-up* en general es muy útil en zonas donde las condiciones climáticas lo permitan y los paneles prefabricados de planta especializada son una opción donde por factores ambientales y tiempos de construcción excluyen la opción de fundirlos *in situ*.

### **3.1.3 Muros para antepechos**

Muros que generalmente se colocan entre columnas o paneles de muros para albergar ventanas, puertas u orificios de todo tipo. Son elementos de menor altura que los paneles de concreto y se utilizan para muchas aplicaciones arquitectónicas y estructurales. Estos componentes también deben ser fabricados en planta debido a la exigencia en el detallado de refuerzo, las tolerancias dimensionales y conexiones especiales.

Se utilizan también como remate de las fachadas en edificaciones, con variedades de estampados y colores aportando gran versatilidad y estética a las mismas. Es un componente con el cual los arquitectos pueden ser libres para la creación de fachadas que consideren un impacto visual y novedoso.

**Figura 15 Sistema de fachada con antepechos prefabricados**



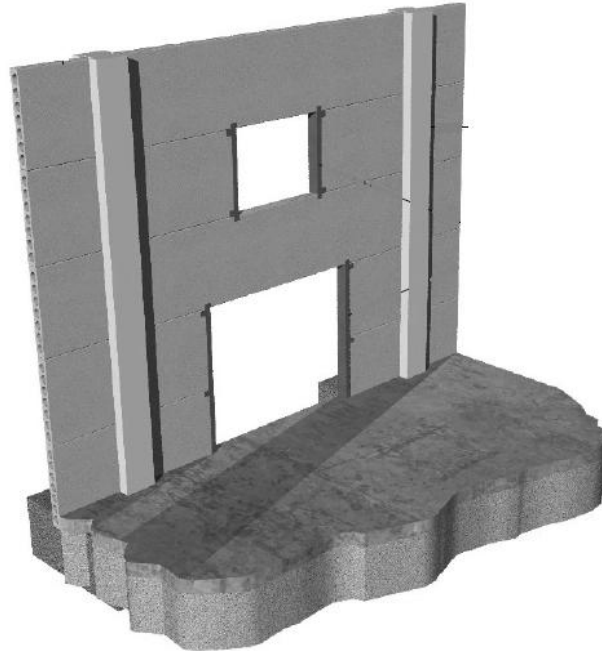
**Fuente: Amazing Architecture NPCAA**

### **3.1.4 Muros para cerramientos o contención**

Una característica especial de los componentes alveolares, es que se pueden utilizar también como muros para cerramiento o contención de tierras. Los perfiles laterales de estos componentes se modifican para formar llaves de corte convirtiéndolo en un sistema macho-hembra.

Cuando se utilicen cerramientos con estos componentes se debe buscar que estos sean simétricos con el fin de evitar deformaciones. En este tipo de cerramiento, existe siempre un elemento acanalado ya sea de concreto o metálico que funciona como soporte lateral (columna) de los paneles alveolares los cuales conforman el cuerpo del muro pero orientados en su longitud más larga. La fundación de este tipo de cerramientos es muy sencilla, ya que basta con vaciar una losa maciza o viga sobre la cual se apoyan los paneles. La fundación para el soporte lateral puede ser vaciada in situ. Generalmente este cerramiento se utiliza en estructuras de grandes superficies.

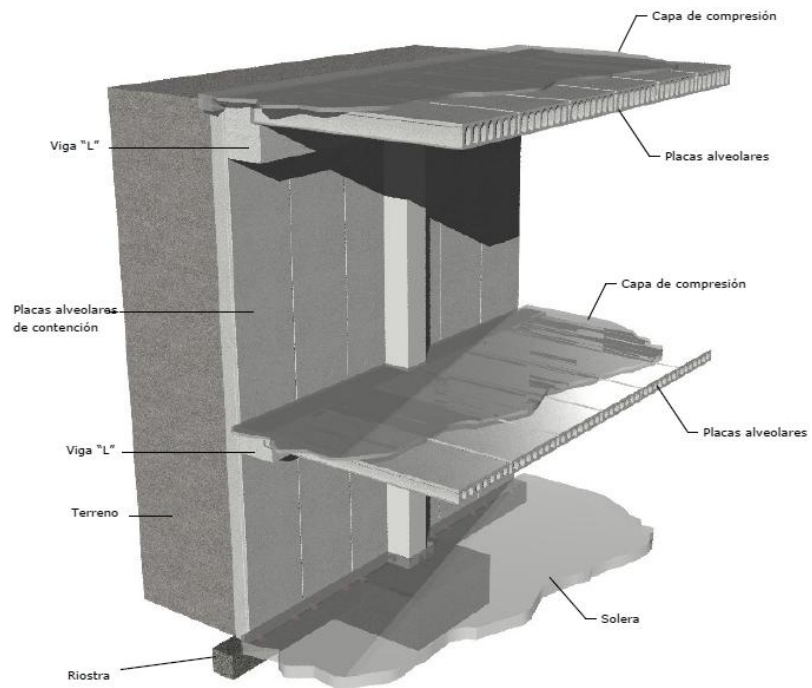
**Figura 16 Cerramiento utilizando paneles alveolares**



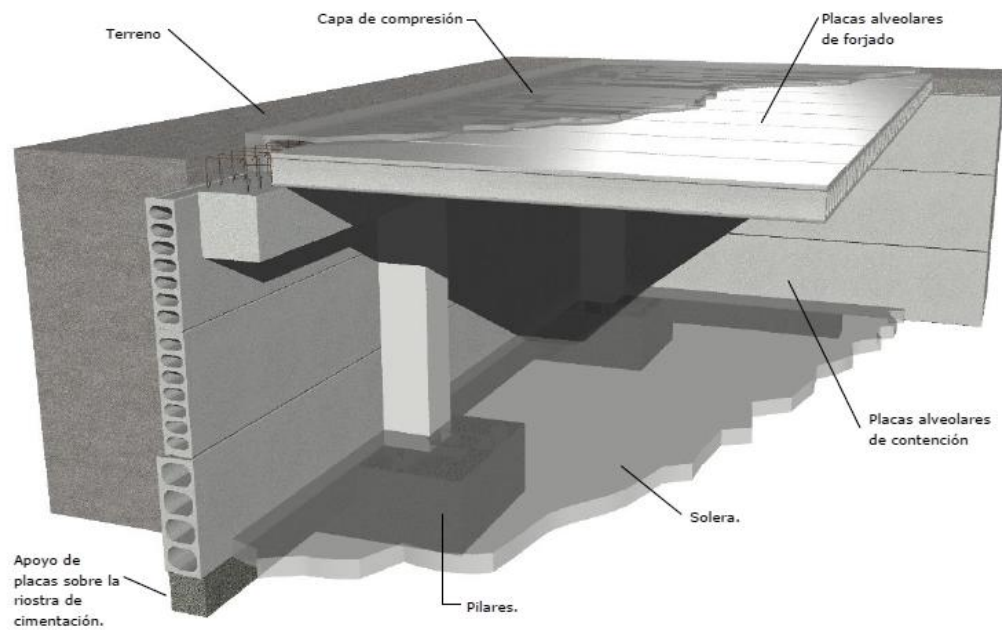
**Fuente: Grupo PACADAR**

En el caso de muros de contención para edificaciones se pueden utilizar los paneles alveolares apoyados y conectados en las vigas de concreto del entrepiso. Estos paneles pueden orientarse tanto vertical como horizontalmente de acuerdo a la geometría de los sótanos, disposición de luces entre columnas y alturas libres. Son una opción viable para la construcción de sótanos de varios niveles, siempre y cuando se garantice hermeticidad y una integridad estructural de la edificación.

**Figura 17 Muro de contención de dos niveles utilizando paneles alveolares**



**Figura 18 Muro de contención de un nivel utilizando paneles alveolares**

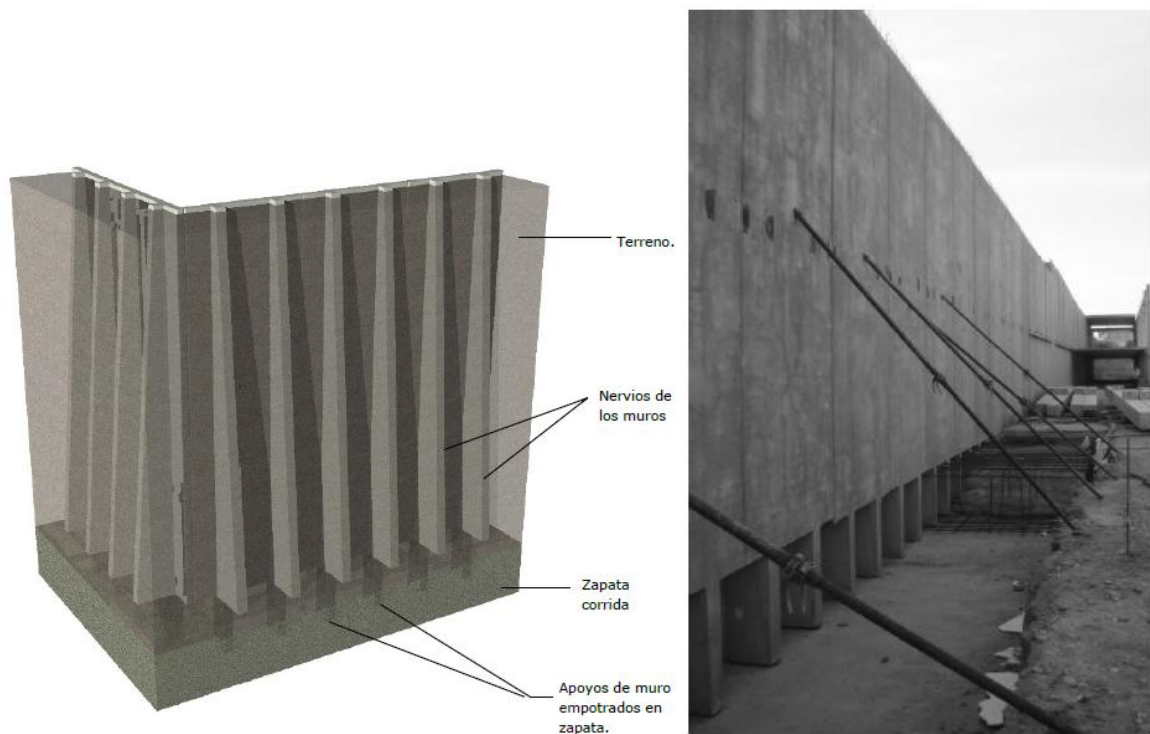


**Fuente: Grupo PACADAR**

También se pueden utilizar muros nervados de contención de tierras que no necesitan ningún apoyo superior. Estos muros poseen nervios con altura variable los cuales alcanzan dimensiones de hasta 9 metros. Sobre los nervios se apoya una losa de sección transversal bastante eficiente y de ancho variable dependiendo de las condiciones del diseño.

El montaje de estos muros se realiza sobre un concreto de limpieza y empotrados mediante una zapata fundida en sitio y a la que se encuentran debidamente conectados.

**Figura 19 Muros de contención nervados**



**Fuente: Grupo PACADAR**

## 3.2 LOSAS COMO SISTEMA DE ENTREPISO

### 3.2.1 Losas en doble T

Elementos de losa, que como su nombre lo indica es una losa apoyada sobre dos secciones perpendiculares a la losa horizontal que actúan como viga. También se pueden utilizar para sistemas de cubierta dando la posibilidad de aberturas y cubrir grandes luces. Pueden ser usadas en cualquier tipo de estructura, pero principalmente se utilizan en estructuras de parqueaderos, edificios de oficinas y facilidades industriales con distancias entre ejes considerables.

**Figura 20** Losa prefabricada en doble T



**Fuente:** PCI

Las alturas de las losas en doble T pueden variar desde 200 mm hasta 600 mm, con anchos de 2400 mm. El espesor de la losa que conecta las secciones perpendiculares es variable, pero variará de acuerdo al diseño propio de la separación de vigas.



Este tipo de componentes de losa es muy utilizado para dar aislamiento sonoro en conjunción con grandes luces. La resistencia del concreto utilizado para su manufactura es de 45 MPa, y para una posible capa de compresión se utilizan concretos de 21 MPa. Las unidades de losas en doble T de 2400 mm de ancho han sido probadas para resistir al fuego por 90 minutos.

Para su izaje, estas losas de acuerdo a su peso y su diseño se les debe proveer puntos de izaje donde las cadenas de agarre no deberán tener más de 30° con la vertical. Su almacenamiento se debe dar sobre el suelo firme y deben estar apoyadas en sus extremos. Un gran uso de estas losas se ha adoptado para edificaciones de parqueaderos pero en general estructuras multipropósito.

**Figura 21 Aplicación losa prefabricada en doble T en edificaciones metálicas**



**Fuente: Stresscrete**

### **3.2.2 Losas alveolares**

Estos componentes prefabricados de concreto pretensado son utilizados horizontalmente como losas para entrepisos, con huecos a lo largo de la pieza llamados alvéolos con espesor constante y superficie plana, logrando una reducción de peso sin disminuir su capacidad de carga y manteniendo la resistencia estructural. La mayor aplicación de estos

componentes es como losas de piso y losas de cubierta. También tienen usos alternativos como muros de cerramiento, muros estructurales, barreras de sonido, tableros para puentes, paneles térmicos, bases para tribunas, y como elementos de contención. Debido a que este componente es de gran uso en el país, se hace extensiva la descripción de este prefabricado que ha sido utilizado en grandes proyectos de uso industrial y de oficinas.

Como reseña histórica se puede mencionar que el primer elemento estructural similar a lo que se conoce hoy en día como losa alveolar apareció hacia los años treinta, de manos del alemán *Wilhen Schaefer* y su colega *Otto Kuen* con la máquina extrusora.

Se trataba de un elemento estructural constituido por una losa alveolada (hueca) de piedra pómez situada entre dos lositas de concreto armado normal. Alrededor de 1955 se abandonó la losa de piedra pómez para iniciar la realización de la losa alveolar en concreto, lo que permitía resistir mayores cargas y cubrir mayores luces, sin sufrir la escasa resistencia a cortante de la piedra pómez.

**Figura 22 Losas alveolares prefabricadas**



**Fuente: AIDEPLA**

El componente de losa alveolar prefabricada es el más utilizado en la industria de la construcción para entresijos en todo tipo de edificaciones donde la carga viva es considerable. La evolución de la losa alveolar hasta nuestros días la ha llevado a convertirse en uno de los componentes prefabricados estructurales más industrializados del mercado. Su producción se realiza en instalaciones cerradas, sobre largas pistas de acero (alrededor de 120 a 150 metros) acondicionadas para conseguir un curado acelerado del concreto. Las plantas de hoy en día, cuentan con toda la tecnología y están equipadas al punto que requieren muy poca mano de obra.

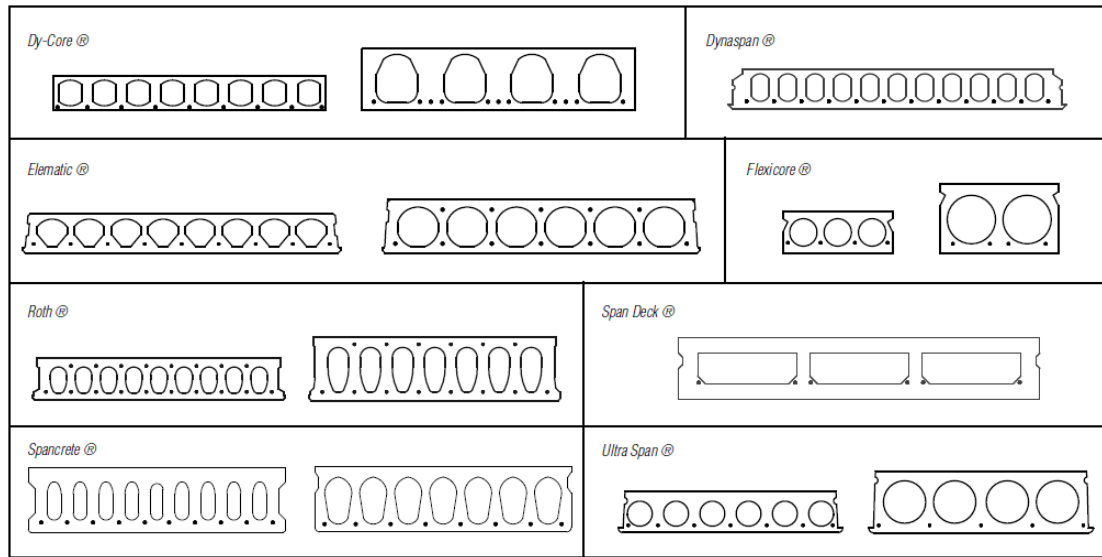
Para adaptarse perfectamente a las diferentes condiciones de trabajo a la que puede estar sometida la losa alveolar, existen en el mercado gran variedad de espesores, de los cuales los más usuales están entre los 120 mm y los 500 mm, aunque en la actualidad se fabrican losas desde 100 mm hasta 1000 mm de espesor en países como Italia bajo pedido y por requerimientos especiales del proyecto de construcción. En España se pueden obtener espesores hasta de 830 mm, utilizándose armadura pasiva además del pretensado en las losas alveolares de más de 500 mm. En general los espesores varían desde 100 mm hasta 1000 mm.

Los anchos de losas alveolares más comunes son de 600 mm, 1200 mm y 2400 mm. Algunos fabricantes realizan losas de 3000 mm y 3650 mm de ancho bajo pedidos especiales. Los huecos (alvéolos) de la losa alveolar pueden ser utilizados para colocar tubería, equipo mecánico y eléctrico.

En Colombia ya se utilizan losas alveolares para entresijos en edificaciones de grandes áreas. Se tienen en el mercado una amplia gama de espesores de losa desde 0,08 m hasta 0,25 m, para luces desde los 3,00 m (3000 mm) hasta 9,50 m (9500 mm) y con anchos de 0,60 m (600 mm) y 1,20 m (1200 mm).

La losa alveolar ha tenido gran aceptación y difusión en todos los continentes siendo, probablemente, el más internacional de los componentes prefabricados estructurales en la construcción mundial.

**Figura 23 Secciones de losa alveolar fabricadas en Estados Unidos**



Fuente: PCI

**Tabla 2. Secciones de losa alveolar fabricadas en Colombia**

Espesor (e) de Losa Alveolar [m]	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]	Luz Máxima (38e) [m]	Espesor Equivalente [m]
0.08	135.2	3.00	0.056
0.10	145	3.80	0.060
0.12	187	4.60	0.078
0.15	215	5.70	0.090
0.20	275	7.60	0.115
0.25	325	9.50	0.135

Fuente: Manufacturas de cemento S.A – TITAN

La losa alveolar como componente prefabricado posee gran ventaja frente a los sistemas de entresijos tradicionales ya que es de fácil transporte, almacenamiento, montaje, fomenta la reducción de tiempos y la reducción de cargas en cimentación, lo que se traduce en ahorro para el constructor. Entre las ventajas de este componente estructural se destacan las siguientes:

- Por ser un elemento prefabricado ofrece elevados niveles de calidad y control debido a que se trabaja en un entorno controlado, con personal especializado y empleando tecnología de vanguardia.
- Usar concretos preparados con agregados y áridos seleccionados de curvas granulométricas controladas y especialmente constantes en el tiempo, de baja proporción agua cemento, bien compactadas y con elevadas características físico-mecánicas, ralentizando sensiblemente la velocidad de carbonatación, lo que asegura su durabilidad y permitiendo su utilización incluso en ambientes muy agresivos cuando se respetan los recubrimientos de acero señalados por la normativa vigente.
- Poder aplicar fácilmente la técnica del pretensado mediante el uso de alambres y cordones de características certificadas, de muy alta resistencia y pequeñas secciones, que requieran menor espacio y posibilitan piezas más ligeras, más seguras frente a la fisuración y con menores deformaciones.
- Reducir los tiempos de ejecución y la mano de obra necesaria al tratarse de un proceso sencillo, repetitivo y seguro, en el que se cubre mucha superficie con un solo elemento, maximizando el rendimiento por operario. Esto tiene una repercusión enorme a la hora de reducir costos en la obra.
- Por ser un componente de gran versatilidad, ya que nos ofrece diversas posibilidades de aplicación como entrepisos, cerramientos, muros de sótano, contención de tierras, depósitos, silos, piscinas, graderías, pasarelas, andenes etc.
- Gran flexibilidad en cada uno de los usos antes especificados.

La aplicación de la losa alveolar como entrepiso es sin duda la más desarrollada e importante en países desarrollados y a la que se le dedican el mayor número de metros cuadrados producidos. Para que un conjunto de losas pueda considerarse como un

entrepiso es necesario darle una continuidad transversal que establezca la colaboración de unas piezas con otras para que se redistribuya la carga vertical y lateral entre ellas, se permita su comportamiento como diafragma y se aseguren las condiciones de aislamiento, estanqueidad e integridad estructural requeridas.

Esto se consigue rellenando con concreto la junta longitudinal entre las losas alveolares, cuyo perfil lateral es tal que permite la formación de una llave que obliga a trabajar conjuntamente a ambas losas, con lo que se verán forzadas a tener los mismos desplazamientos bajo ciertas consideraciones de diseño y disposición de conectores en cada componente.

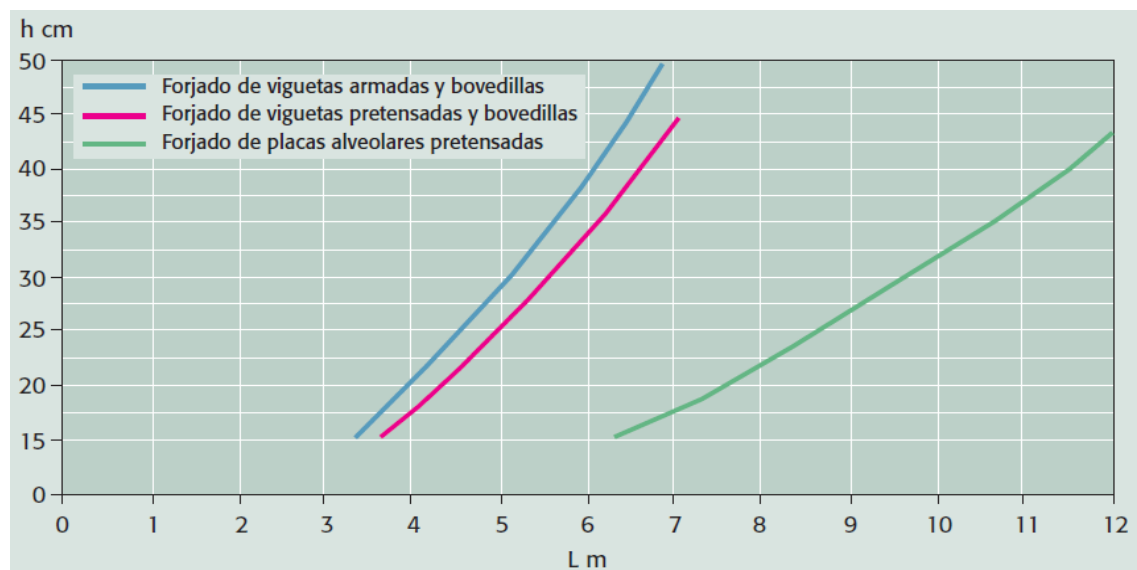
Otras ventajas de la losa alveolar utilizada como entrepiso son las siguientes:

- Solamente incorporan material in situ: Este se reduce al concreto para el relleno de las juntas tanto longitudinales como transversales. En ciertos casos y por condiciones de carga o desempeño sísmico podría requerirse capa de compresión con armadura adicional, que es simplemente un concreto adicional vaciado en sitio que permite aumentar la capacidad de carga y facilitar la acción de diafragma. Sin embargo esta opción debe estudiarse a fondo ya que puede incurrir en mayores gastos para el proyecto de construcción.
- Simplicidad en el transporte y acopio: Ya que sólo hay un único componente, se elimina el doble transporte y el consiguiente acopio necesario cuando también hay piezas de entrevigado, por lo que la descarga en obra se agiliza.
- Se trata de un elemento o componente autoportante: La resistencia de la losa será suficiente, en general, para soportar su propio peso, el peso del concreto vertido sobre ella y las sobrecargas de ejecución. Esto es un ahorro significativo en costo de formaleta aportando rapidez, seguridad, comodidad y limpieza en la obra.
- Se puede prescindir de la capa de compresión siempre y cuando se calcule el entrepiso para tal fin y se tomen las medidas necesarias para que la acción en conjunto con otras

losas proporcione en la juntas la resistencia necesaria y la acción de diafragma. En obras donde se garantiza la acción de diafragma sin utilizar capa de compresión se pueden obtener grandes ahorros de material.

- Gran resistencia a cortante: Esto se obtiene debido al número de almas que tiene cada componente de losa alveolar.
- Eficiencia en las secciones y en los espacios: Debido al uso del concreto pretensado con la losa alveolar se pueden proyectar mayores luces y mantener los mismos espesores de losa que otros sistemas. La luz máxima que puede cubrir una losa alveolar dependerá de su diseño estructural, la resistencia de concreto utilizada, la cantidad de cables de pretensado, los requerimientos por vibraciones, exposición al fuego y finalmente las cargas de diseño.

**Figura 24 Relaciones luz vs Altura de sistema de losas para entresijos**



Fuente: ANDECE

Para obtener todos los beneficios que la prefabricación ofrece desde un aspecto global, y aplicarlo a una edificación con entresijo de losa alveolar en particular, es fundamental

que se cumplan las condiciones de volumen y estandarización de los componentes, aparte de una estricta planificación desde la concepción arquitectónica de adentro hacia afuera, lo que redundará en la efectividad del sistema y el mejoramiento de los rendimientos de obra.

Una gran ventaja de la planificación en proyectos que utilizan losas alveolares es que este entrepiso ofrece gran flexibilidad a la hora de presentarse cambios o ajustes en los diseños o trazados originales. La losa alveolar permite cortes transversales, longitudinales, oblicuos, y aberturas con saca núcleo para instalaciones.

Las losas alveolares se utilizan en todo tipo de sistemas de edificaciones prefabricadas de concreto o en combinación con estructuras metálicas o estructuras híbridas.

#### **Métodos de Fabricación de la losa alveolar:**

Existen dos tipos de máquinas para la fabricación de las losas alveolares de concreto pretensado: Una es la formadora o *Slip Former*, que produce una losa alveolar de forma poco eficiente ya que es una máquina que solo vibra el concreto y lo forma con un molde de placas deslizantes. La máquina está montada sobre rieles de acero en una mesa de ancho variable entre 1.20 m y 2.40 m. La longitud varía entre una fábrica y otra, obedeciendo a las recomendaciones del fabricante de la máquina o al terreno disponible. El sistema de traslado de la máquina requiere de una sincronización entre la velocidad del formado de la losa y el traslado de la máquina. Las ventajas de esta máquina son su versatilidad para la fabricación de otros componentes de concreto pretensado tales como vigas "T" invertidas, losas planas, losas en "V" entre otros.

La mejor alternativa para la producción de este tipo de losa es la máquina extrusora. El ancho de losa hueca producida por esta máquina se limita a 1.20 m, pero produce losas de menor peso por unidad de área, ya que además de extruir el concreto, lo vibra dando un concreto más uniforme y resistente al momento de la extrusión. Esto quiere decir que se produce una losa con un menor número de nervios verticales y por lo tanto una losa de menor peso por unidad de área.



La máquina extrusora de losas alveolares recibe su nombre debido a un tornillo sin fin cónico situado debajo de la tolva de concreto de la máquina cuya función es recibir el concreto en su parte de menor diámetro y transportarlo con su espiral hacia su parte de mayor diámetro, comprimiendo el concreto contra las paredes del molde que lo rodea. Posterior a esto, el concreto pasa por un vibrador cilíndrico adosado al tornillo y luego por una pieza fija que le da la forma al concreto extruido.

El tornillo sin fin, al extruir el concreto, impulsa la máquina hacia adelante convirtiéndose este en un “propulsor” de la extrusora. Ambas máquinas requieren de cables o alambres de presfuerzo en la parte inferior y una cortadora transversal.

**Figura 25 Pistas de fabricación de losas alveolares**



**Fuente: ANDECE**

En resumen, el proceso de fabricación de losas alveolares se puede describir en las siguientes etapas:

1. Preparación de la pista: Limpieza con agua a presión y aplicación del desencofrante
2. Colocación del refuerzo (Generalmente armadura activa, aunque también puede llevar armadura pasiva)
3. Tensionamiento de las armaduras con control sistemático tanto de la tensión como de los alargamientos.
4. Colocación de la máquina para vaciado del concreto que previamente ha sido ajustada con el molde adecuado.

**Figura 26 Tensionamiento de armadura para losas alveolares**



**Fuente: ANDECE**

**Figura 27 Maquina extrusora y de vertido de concreto**



**Fuente: ANDECE**

5. Alimentación de la máquina para un vaciado continuo de concreto de modo que la máquina avance a una velocidad regular de 1,10 a 1,50 m/minuto.
6. Marcado de las losas según el pedido.
7. Cobertura de las pistas con lonas para facilitar el curado acelerado mediante el sistema de calefacción.
8. Control sistemático de la resistencia del concreto mediante la falla de probetas sujetas a un tratamiento de vibración y curado idéntico al de las pistas para saber si se ha alcanzado la resistencia necesaria.
9. Desactivar tensionamiento de las armaduras activas.
10. Corte mediante disco diamantado, obteniendo los elementos de losa de la longitud deseada.
11. Verificación de las dimensiones y tolerancias. Control de calidad
12. Traslado de las losas desde la pista a la zona de acopio.

**Figura 28 Alimentación de la máquina para vaciado de concreto**



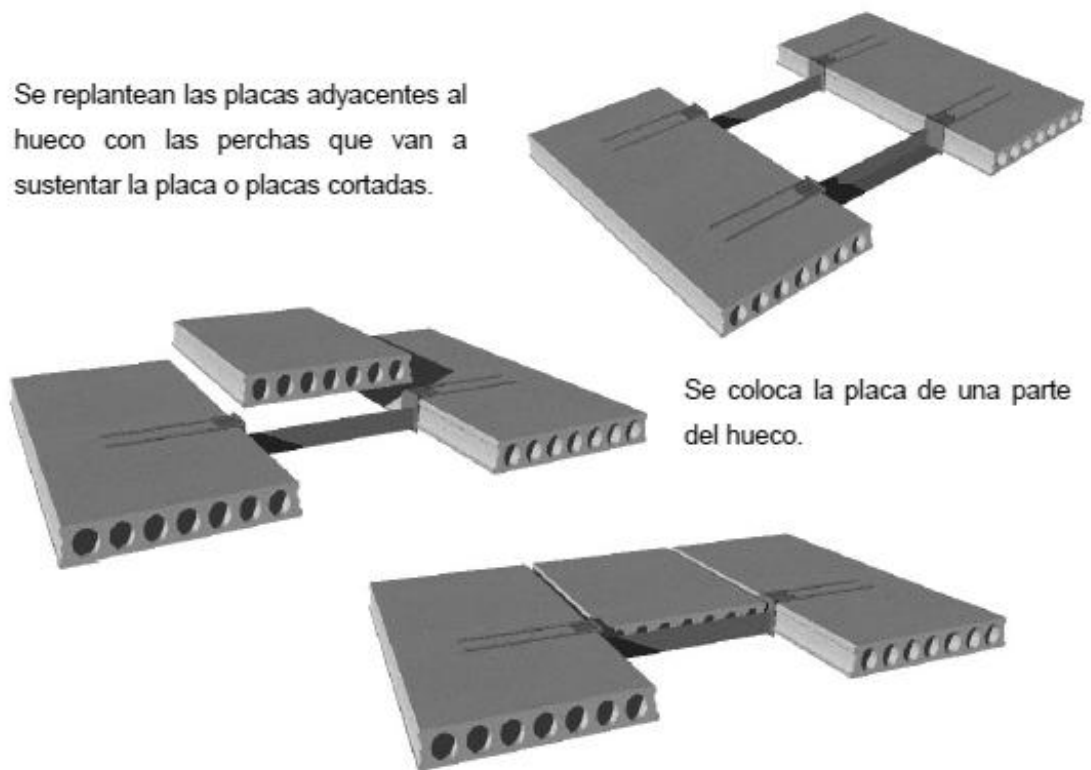
**Fuente: ANDECE**

**Figura 29 Corte de losa alveolar con disco diamantado**



**Fuente: ANDECE**

**Figura 30 Disposición de losas alveolares para aberturas en entrepiso**



Fuente: ANDECE

### 3.2.3 Prelosas pretensadas

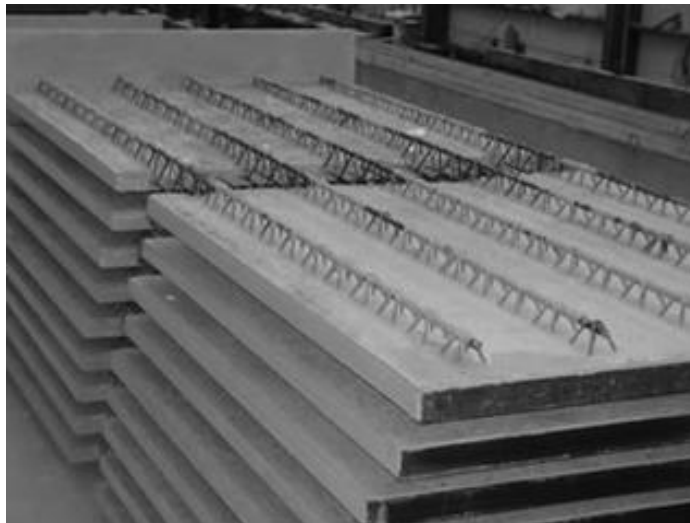
Son componentes pretensados prefabricados y macizos que llevan un triacero o disposición de refuerzos longitudinales soldados en forma triangular, para posteriormente poder vaciar una capa de compresión in situ, generando una acción compuesta, generalmente conocidos como prelosas. Se utilizan de manera muy similar a los sistemas de entrepiso en losa alveolar pero con la diferencia que estos funcionan como formaleta y apoyo para el personal de obra.

Es un componente que puede ser utilizado también para entrepisos y cubiertas dependiendo de las características del proyecto. Es útil en la elaboración de pasarelas de circulación, áreas para parqueaderos y circulación en puentes.

La prelosa presenta una cara superior rugosa con la armadura en celosía que sobresale. La cara inferior es lisa presentando un acabado perfecto que se puede dejar a la vista. Se pueden obtener prelosas pretensadas de 50 mm y 60 mm de espesor aumentando cada 10 mm y 1200 mm de ancho estándar hasta 1500 mm. Las prelosas se pretensan con alambre grafilado de 5 mm de diámetro.

Este componente puede alcanzar luces aproximadas de 3 metros de acuerdo al diseño estructural.

**Figura 31 Prelosa pretensada con triaceros**



**Fuente: ALJEMA PREFABRICADOS**

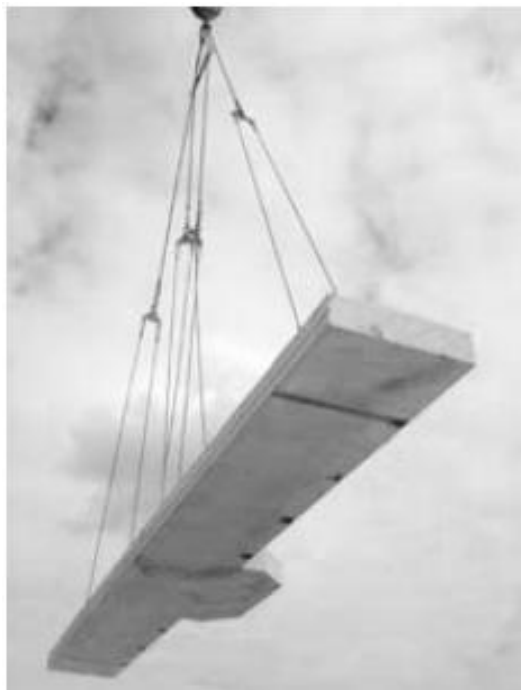
### **3.2.4 Losas macizas prefabricadas**

Las losas macizas prefabricadas se utilizan en zonas puntuales y generalmente en condiciones en donde la prefabricación es total, es decir, donde se tiene tanto el sistema de resistencia a cargas gravitacionales y laterales junto con el entrepiso con componentes prefabricados.

Una losa maciza prefabricada puede ser útil en la implementación de balcones debidamente apoyados los cuales tengan gran volumen y gran repetición con formas especiales que con otro componente de losa no se consiga. Los espesores de esta losa pueden variar de 100 mm a 300 mm.

Como se observa en la siguiente figura, los componentes de losa maciza pueden llegar a tener dimensiones considerables que requieren la utilización de grúas. Su diseño estructural debe garantizar el izaje y el amarre con los demás componentes de apoyo en la fachada de la edificación.

**Figura 32 Componente de losa maciza**

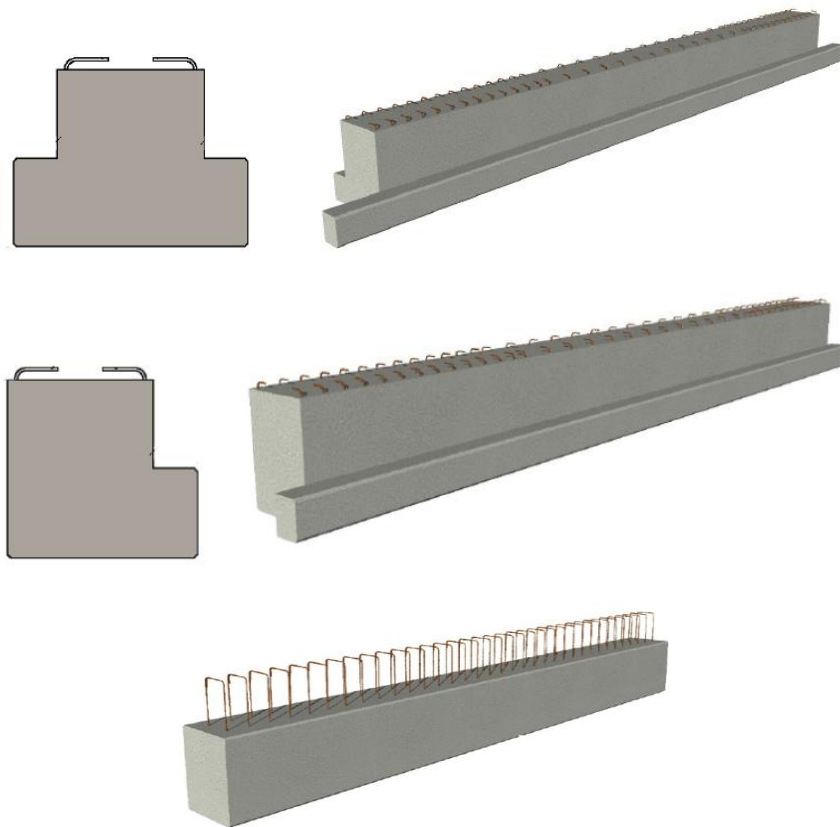


**Fuente: PCI**

### 3.3 VIGAS PREFABRICADAS

Elementos horizontales sometidos a flexión, corte y torsión, utilizados para soportar los componentes de losa. Estos elementos estructurales se utilizan en la formación de pórticos resistentes a momento tanto de sistemas prefabricados totales como híbridos. Existen varios tipos de vigas prefabricadas en concreto que son las más comunes: Vigas rectangulares, vigas en “T” invertidas, vigas con forma de “L” y vigas con forma de “U”. Los tamaños de vigas utilizados varían para satisfacer los requerimientos estructurales de cada proyecto. El proceso de prefabricación de estos elementos consiste en el pretensado a lo largo del elemento estructural similar al usado para doble “T”. También se utiliza acero de refuerzo convencional para luces más pequeñas. La orientación de su prefabricación es en el mismo sentido en que funcionarán y serán utilizadas en la obra.

Figura 33 Esquemas de diferentes vigas en “L”, “T” invertida y Rectangular



Fuente: Grupo PACADAR



**Figura 34 Unión Viga-Columna prefabricada**



**Fuente:** *Elliot, K. S., Precast Concrete Structures, Butterworth Heinemann, 2002.*

### **3.4 COLUMNAS PREFABRICADAS**

Las columnas son los elementos utilizados para transmitir la carga de la estructura hacia la fundación de la misma. Son elementos de soporte para las vigas y paneles fabricados en varios niveles según los requerimientos de diseño, proceso y montaje. Las columnas se pueden fabricar desde un nivel hasta seis niveles y más dependiendo del diseño.

El proceso de fabricación de una columna prefabricada es altamente especializado por lo que es necesario hacerlo en una planta certificada donde se posicione refuerzo de pre-tensionamiento o refuerzo convencional en función del diseño estructural y del proceso de montaje. Las columnas son fundidas horizontalmente y son izadas en sitio para su montaje y conexión con los elementos de fundación. Las dimensiones y formas de las columnas varían según los requerimientos arquitectónicos y estructurales de cada proyecto.

En la industria se utilizan dimensiones de columnas desde 300x300 mm hasta 300x1200 mm según sea el caso. Como las columnas son fabricadas horizontalmente, 3 de los 4 lados de la columna son creados con el molde y el cuarto lado se realiza con llana dándole un acabado igual al de los otros.

**Figura 35** banco de prefabricación para columnas con alturas diferentes de entrepiso



Fuente: *Elliot, K. S., Precast Concrete Structures, Butterworth Heinemann, 2002.*

**Figura 36** banco de prefabricación para columnas con iguales alturas de entrepiso



Fuente: *Elliot, K. S., Precast Concrete Structures, Butterworth Heinemann, 2002.*

En las figuras anteriores se puede apreciar claramente que el proceso de prefabricación de una columna en planta requiere de traviesas de acero tan largas como el diseño estructural y el izaje de la misma lo requieran. Todos los elementos embebidos de conexión con vigas o fachadas quedan debidamente posicionados en esta etapa.

#### **4. PLANEACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS Y SUS VENTAJAS**

La planeación y proyección de sistemas prefabricados tiene su fundamento en la integración arquitectónica y estructural que abarcan el concepto de edificación, donde cada componente ocupa su lugar y realiza un trabajo específico, conectándose por medio de una unión especial diseñada para tal fin. El ingeniero estructural, en el ejercicio de su profesión, debe conocer cada componente, las cargas involucradas y su trayectoria, es decir, desde que el elemento recibe carga hasta llevarla a la fundación utilizándolos de la mejor manera y logrando un sistema adecuado, óptimo, resistente tanto a cargas verticales como a cargas laterales.

Existen una variedad de arreglos de sistemas en concreto prefabricado que pueden ser utilizados para lograr que se cumpla la integridad estructural. Los sistemas estructurales de concreto prefabricado ofrecen todos los beneficios de la prefabricación y le dan valor agregado debido a la estrecha relación e integración de estructura y arquitectura. Un ejemplo de esto es la utilización de las fachadas que trabajan estructuralmente y además dan forma al proyecto arquitectónico.

Para proyectar sistemas prefabricados, los ingenieros deben estar familiarizados con el diseño, la fabricación, los métodos de despacho de los componentes y el montaje de dichas estructuras para que la prefabricación con todas sus ventajas sea una realidad.

El hecho de tener un proyecto con un sistema prefabricado en concreto requiere que los inversionistas o dueños del proyecto tomen decisiones de tipo económico mucho más temprano que en proyectos de construcción tradicional donde los tiempos, personal, materiales, instalaciones y presupuestos difieren de los de un proyecto prefabricado.

En el caso de ingenieros estructurales, arquitectos y en general todos los profesionales y estudios técnicos involucrados, se debe tener una coordinación muy temprana para lograr que cada componente y cada sistema cumpla con todos los requerimientos y

especificaciones que cada disciplina exige. A su vez esta coordinación debe involucrar al fabricante de los componentes prefabricados que logrará integrar y materializar cada parte del proyecto.

En proyectos de prefabricación cada componente y sistema debe ser estudiado meticulosamente para lograr el éxito en la obra. Las dimensiones y pesos de los mismos juegan un papel importante a la hora de hacer montajes, ensambles, conexiones y requerir equipos como grúas logrando la máxima eficiencia en el uso de cada pieza. De esta manera se logrará obtener todo el beneficio que los sistemas prefabricados ofrecen a la industria de la construcción.

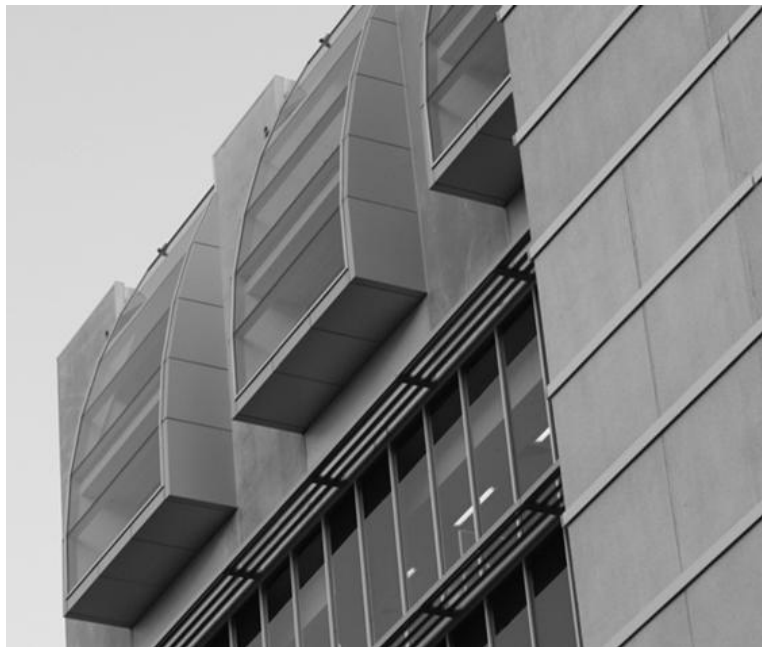
La programación en un proyecto de edificación con prefabricados en concreto requiere que el dueño o inversionista esté relacionado con expertos en diseño de componentes y sistemas certificados en la fabricación de los mismos. El diseño esquemático que se plantee a través de un modelo de información del edificio logrará que todas las disciplinas involucradas en el proyecto se acoplen perfectamente desencadenando la serie de procesos constructivos que el fabricante llevará a cabo para desarrollar las piezas prefabricadas que conforman el proyecto. En otras palabras, se debe hacer una pre-construcción del proyecto visualizando todos los esquemas, ya sean eléctricos, mecánicos, hidráulicos, estructurales o arquitectónicos y el ensamble de cada componente que finalmente será prefabricado, despachado, izado y colocado en el sitio de la obra.

La idea es que el equipo o empresa encargado de la fabricación de piezas, el equipo de montaje y el personal encargado de la construcción junto con el equipo de diseño o consultores operen de una manera conjunta, eficiente y se tenga la optimización esperada desde la planeación y coordinación para que la obra refleje este beneficio.

#### **4.1 PREFABRICADOS EN CONCRETO ARQUITECTÓNICO**

Cuando se habla de acabados y de obtener su máximo beneficio en un proyecto de edificación con prefabricados, el arquitecto debe enfrentar los retos de dimensionado de componentes y pesos de los mismos proyectados para la estructura. El diseño que se realice de fachadas deberá ajustarse a los requerimientos estructurales y de fabricación y tendrá que planearse en conjunto desde las primeras etapas del proyecto. Los acabados exteriores en paneles de concreto requieren de espesores y recubrimientos que deben detallarse específicamente para cada pieza y lograr un acople perfecto con el sistema de apoyo estructural para dar la apariencia requerida.

**Figura 37 Fachadas Prefabricadas**



**Fuente: CITYWIDE PRECAST**

Las tolerancias en paneles de muros de concreto y en general de cualquier componente son importantes en cuestiones de ventanería y aberturas requeridas por el dimensionamiento del diseño arquitectónico y deben cumplir con lo estipulado por el

reglamento de construcción. Cada panel arquitectónico para fachada deberá ser diseñado para que puedan ser izados y colocados en sitio de manera precisa.

Siempre se deben verificar aspectos como la disponibilidad del transporte de piezas, peso de componentes y maniobrabilidad que puedan influenciar el tamaño de las mismas y su apariencia. Finalmente una obra brilla por su apariencia y el valor estético que le aportan los prefabricados en fachada con acabados superiores logra sin duda que sean la primera opción para el constructor.

El arquitecto buscará en unión con el ingeniero estructural, lograr la mejor alternativa dimensional tanto en planta como en altura basada en el conocimiento, repetición y eficiencia de los componentes prefabricados involucrados en la edificación.

El uso del concreto arquitectónico ha crecido en popularidad en países desarrollados como un producto durable, económico, flexible y de fácil adquisición. Por estas razones se ha desarrollado toda una industria a su alrededor la cual a su vez también ha desarrollado un estricto control de calidad en sus procedimientos.

El éxito del uso del concreto arquitectónico no solo dependerá del entendimiento que el arquitecto tenga del material, sino también de la calidad y entendimiento del fabricante de piezas especializadas alineadas a los requerimientos específicos del proyecto. Por lo tanto, es necesario que cuando se maneje este tipo de componentes arquitectónicos se tengan en cuenta todos los controles de calidad, inspección y certificación de las piezas.

El control de calidad del concreto arquitectónico involucra elementos clave como:

- Tipo de material cementante
- Agregados
- Agua
- Pigmentos
- Insertos o embebidos

Para cualquier profesional de la arquitectura es un hecho que el prefabricado de concreto aporta libertad en sus proyectos con una serie de cualidades y ventajas como: la durabilidad de la fachada, gran variedad de acabados, rapidez de montaje, flexibilidad en diseño, resistencia al fuego, aislamiento, reducción de escombros, reducción de mano de obra, reducción de andamiaje, reducción en mantenimientos.

En general todas las aprobaciones de materiales utilizados en la confección de un concreto arquitectónico deberán estar reguladas por los estándares ASTM y las normas técnicas colombianas NTC. El *Precast Prestressed Concrete Institute (PCI)*, hace referencia a todos los requerimientos para obtener un producto en concreto arquitectónico de calidad. Desde la concepción del producto en planta, su inspección, almacenamiento, despacho y montaje hasta los cuidados necesarios en caso de reparación, manejo de juntas, conexiones metálicas y limpieza.

A su vez el *American Concrete Institute (ACI)* respalda la utilización del concreto arquitectónico tanto para diseño como para construcción en los siguientes documentos:

- Design Responsibility for architectural Precast Concrete Projects ACI-533.1R*
- Specification for Tolerances for Precast concrete ACI-ITG-7*
- Guide to Durable Concrete ACI-201.2R*
- Guide for Precast Concrete Wall Panels ACI-533R*
- Tilt-UP Concrete Construction Guide ACI-551.1R*
- Guide to Formwork for Concrete ACI-347*

**Figura 38 Fachadas prefabricadas en concreto arquitectónico**



**Fuente: CITYWIDE PRECAST**

#### **4.2 GENERALIDADES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PREFABRICADO**

El ingeniero estructural que analiza y diseña edificaciones prefabricadas en concreto se enfrenta a una serie de retos que no son usuales y que difieren del diseño de estructuras convencionales. Debe contar con una total integración de los componentes prefabricados logrando la integridad estructural tanto para cargas verticales como para cargas laterales. Coordinar con el diseñador arquitectónico el dimensionamiento y peso de cada pieza logrando acoplarla al sistema de resistencia adoptado.

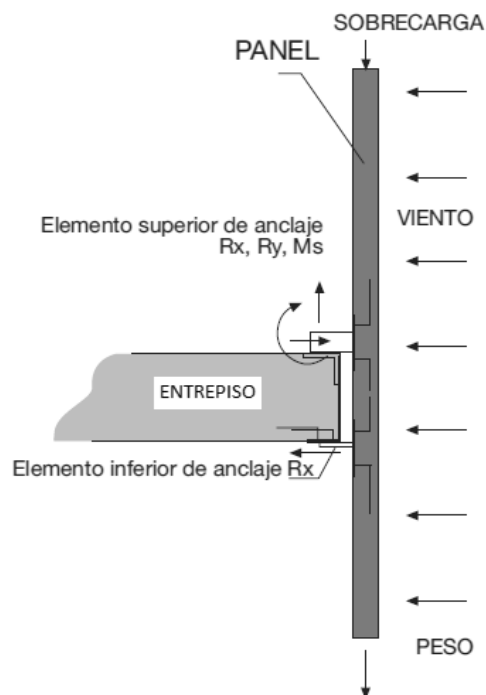
La idea de tener un proyecto con componentes y sistemas prefabricados exige que el ingeniero estructural utilice de manera eficiente los mismos ya sea en elementos de losa, como las doble T, losas alveolares, vigas, muros o columnas. También es posible conformar una cimentación prefabricada coordinando cada componente y su trayectoria de carga maximizando el uso repetido de las mismas y de acuerdo a las características del proyecto.



Durante los cálculos estructurales se debe contemplar que las cargas de cada componente se transmiten a través de su conexión, ya sea con el entrepiso o con las mismas columnas o muros portantes. Las cargas a considerar dependerán si el componente prefabricado trabaja para cargas laterales o para cargas gravitacionales.

En el caso de los paneles prefabricados para fachadas, estos deben sujetarse independientemente con el fin de evitar el traspaso de deformaciones de un elemento a otro. Cada panel debe estar conectado por al menos cuatro puntos. Las cargas para diseño que predominan en este tipo de componentes son su peso propio y el viento de acuerdo al mapa eólico para el territorio colombiano.

**Figura 39 Esquema general de carga para un panel de antepecho en edificaciones**



Cada componente prefabricado, ya sea de fachada o perteneciente al sistema de resistencia de la estructura deberá considerar las cargas pertinentes que aseguren su funcionamiento y resistencia durante su vida útil.

**Figura 40 Conexión soldada de panel de fachada**



**Fuente: Fachadas de hormigón arquitectónico. ANfhARQ**

Para todos los componentes prefabricados en general se deberán contemplar como mínimo las cargas estipuladas en el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Los componentes prefabricados de losa que forman entresijos deberán contemplar los siguientes tipos de carga sin excepción para su análisis y diseño dentro de la edificación.

1. Peso propio del componente prefabricado
2. Carga Muerta: Muros, acabados, cielorrasos y tubería
3. Carga Viva: Dependiendo del uso
4. Carga de Sismo: Para diseño del diafragma

El ingeniero estructural que involucra componentes prefabricados como parte del entresijo y finalmente como diafragma estructural, debe tener presente en su análisis que el entresijo al comportarse como un todo desde el análisis también lo deberá hacer cuando sea instalado y puesto en operación. Por una parte está el propio diseño estructural inherente al prefabricado que dependerá igualmente de las cargas

anteriormente mencionadas del reglamento de construcción; y que generalmente es responsabilidad de la planta de prefabricación; y por otro lado, está mediante cálculos sustentados integrar este componente al entrepiso garantizando que funcione como un diafragma. En la construcción y el montaje se deberá ver reflejada la integridad estructural del diafragma a través del acondicionamiento de los componentes de losa y su conexión entre las vigas principales y entre ellos mismos.

Un análisis de carga para las vigas es considerar el peso propio por metro cuadrado de losa que le aporta el componente prefabricado, tal y como se realiza el análisis para una losa fundida en sitio.

En todos los casos de construcción para sistemas de entrepisos en zonas sísmicas que sean totalmente prefabricados o híbridos, se debe garantizar la integridad estructural mediante un análisis que logre la acción de diafragma de todo el conjunto. Estas consideraciones serán ampliadas en el capítulo de integridad estructural.

Como se ha mencionado anteriormente, el concreto prefabricado puede estar reforzado mediante acero convencional, cables o torones. La utilización de una u otra alternativa dependerá de la función estructural del componente, la resistencia del concreto y las cargas que tendrá que soportar. En el caso del concreto presforzado, su mayor aplicación se encuentra en los componentes que trabajan a flexión, corte y torsión, como es el caso de vigas, sistemas de losa en doble "T" y sistemas de losas alveolares los cuales se fabrican con concretos de alto desempeño que soporten los esfuerzos de tensión.

El rango de aplicación estructural de los componentes prefabricados ya sean pretensados o no, es inmensamente variado, y su aplicación en países de considerable sismicidad es una realidad.

**Figura 41 Fabricación Industrial de Paneles y escaleras prefabricados**



**Fuente: CITYWIDE PRECAST**

## 4.3 VENTAJAS DE LA PREFABRICACIÓN

### 4.3.1 Ventajas del concreto prefabricado

La gran competitividad del sector de la construcción en Colombia y en el mundo hace que conocer el valor agregado que poseen los productos prefabricados disponibles en el mercado sea un tema crucial tanto para constructores como para consultores.

Los prefabricados de concreto permiten desarrollar una construcción más confiable, eficaz, estética y por ende competitiva frente a otros materiales y sistemas constructivos. El concreto prefabricado proporciona una gran variedad de ventajas para arquitectos, diseñadores, ingenieros estructurales, ingenieros ambientales e incluso entidades financieras o aseguradoras. A continuación se muestran algunas de sus ventajas<sup>5</sup>.

#### Gran versatilidad

- Resistente al uso diario
- Resistente a la intemperie
- Posee la propiedad de aislar el ruido o potenciarlo según su uso
- Eficiencia energética
- Mayor comodidad en el diseño arquitectónico
- Facilita la preinstalación de tuberías para servicios
- Favorece la utilización de nuevas tecnologías

---

<sup>5</sup> ANDECE. Asociación Nacional de Prefabricados y Derivados del Cemento. Adaptado del libro: *"The Little Book of Concrete"*. *British Precast Federation*.

- Es ignífugo y requiere reparaciones mínimas tras sufrir un incendio
- Resistente a altas temperaturas
- Es resistente a ataques biológicos, termitas y roedores
- Excelente uso en tuberías de concreto prefabricado autocompactante
- Gran versatilidad en obras de drenaje y contención de aguas

### **Estructuras para hoy y para el mañana**

- Gran durabilidad
- Aumenta su resistencia con el paso del tiempo
- Gran eficiencia estructural. Permite elementos de altas relaciones Luz/espesor, permitiendo reducir los coeficientes de seguridad.
- Gran calidad en el diseño y producción de elementos prefabricados ya que se tiene control desde la fábrica o planta de manufactura
- El uso de losas alveolares permite construir más alto con losas de menores espesores
- A priori se tiene más seguridad en los elementos prefabricados. Ideal para grandes luces
- Gracias a la densidad del concreto prefabricado se absorben mejor las ondas expansivas y las vibraciones.

- Es inteligente, debido a que permite la incrustación de sensores en su fabricación para saber su comportamiento estructural. En la industrialización es posible hacer el seguimiento de diferentes piezas mediante lectura de código de barras.
- Especial para altos niveles de resistencia
- Rápida puesta en obra basado en una adecuada logística
- Mejores niveles de recubrimiento frente al concreto fundido in situ
- Ideal para rampas o áreas pavimentadas que precisan de una alta resistencia y durabilidad
- Ideal para contención en carreteras o vías principales
- Permite cubrir grandes luces ofreciendo diseños más elegantes, ágiles y livianos.
- Posibilidad de crear elementos prefabricados de gran esbeltez incluyendo fibra de vidrio a la mezcla de concreto

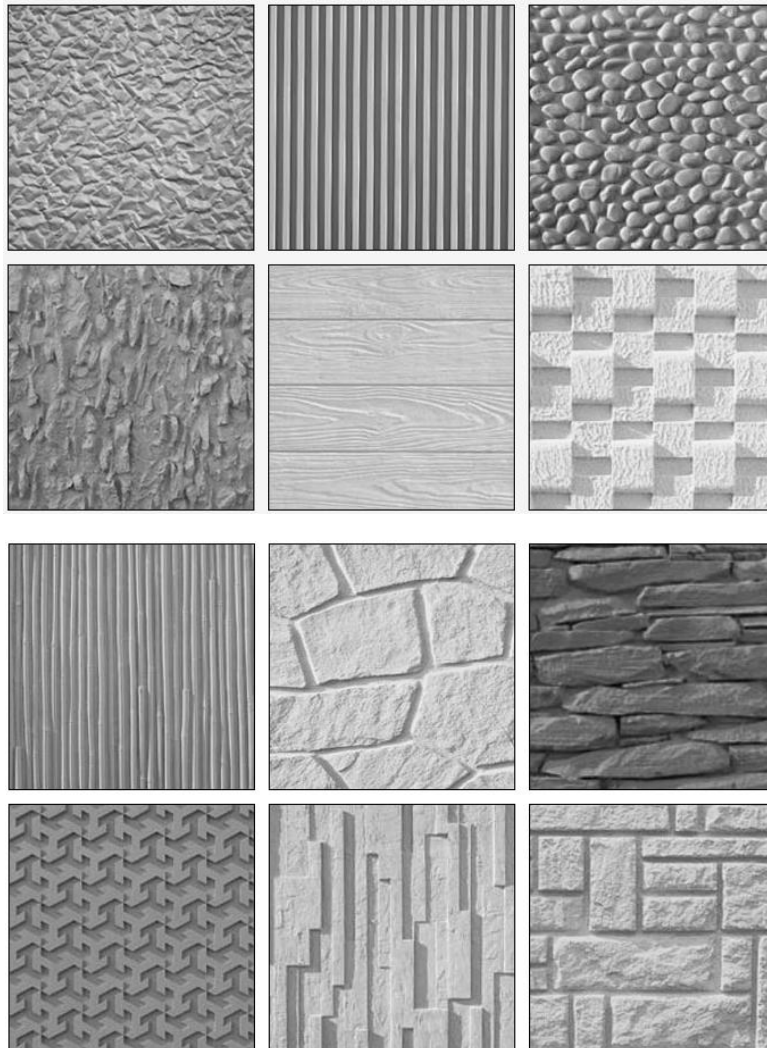
### **Mejores diseños**

- El proceso de moldeado se realiza bajo estrictos controles utilizando los moldes más adecuados para cada producto. Esto permite crear gran variedad de formas desde las más clásicas a las más novedosas.
- Permite una interacción entre diseñadores, constructores y fabricantes para lograr formas más ambiciosas.
- Los moldes para concreto prefabricado se ajustan a las necesidades específicas del cliente. El molde se ajusta a diferentes formas y tamaños logrando compatibilidad dentro de los elementos acabados.

- Para estructuras de interés histórico y arquitectónico es importante que los nuevos edificios se integren armónicamente con los más antiguos asegurando la conservación de espacios importantes. El uso de mezclas de concreto cuidadosamente creadas en fábrica y del diseño de maquetas asegura la unión perfecta entre piezas antiguas y nuevas.
- El concreto prefabricado permite hacer réplicas perfectas de diseños, formas e incluso otros materiales que son más escasos y caros. Se puede por un lado copiar modelos clásicos como capiteles o por otro imitar la piedra desgastada por el paso del tiempo.
- Se puede lograr concreto prefabricado con carácter decorativo y a la vez funcional, como el caso de muros de contención con diferentes texturas y colores de un alto grado de detalle.
- Para los proyectos más vanguardistas se logran prefabricados con una amplia gama de colores, insertando en las mezclas de concreto diferentes áridos y aditivos.
- Pueden obtenerse prefabricados totalmente blancos o con diferentes tonalidades de negro.
- Se logran elementos hechos a la medida. Las piezas de prefabricados salen de la fábrica incluyendo todas las perforaciones necesarias (puertas, ventanas, instalaciones) con gran precisión. Se logra gran detallado en las conexiones.
- Se pueden lograr fotograbados incorporando imágenes a tamaño real.



**Figura 42 Diferentes texturas de acabados en concreto arquitectónico**



**Fuente: CITYWIDE PRECAST**

- Se pueden lograr superficies suaves al tacto. Esto facilita la aplicación de la pintura en caso de requerirse.
- Material auto lavable. El dióxido de titanio mezclado con el cemento blanco no solo produce un elemento acabado de color blanco, sino que además contribuye a que el elemento prefabricado se mantenga limpio por más tiempo. Este efecto se

consigue porque el dióxido de titanio captura las partículas de suciedad hasta que el agua de lluvia se las lleva.

- Se pueden utilizar tintes de tipo termo cromático en los prefabricados de concreto haciendo que su superficie cambie de color cuando alcance cierta temperatura. A futuro, el propio elemento podría llegar a tener un indicador de la temperatura externa o interna.

### **Máxima calidad en producción y construcción**

- Los elementos de concreto prefabricado se llevan a cabo en plantas de producción bajo estrictos controles técnicos y ambientales. En las plantas de fabricación la temperatura es estable, se siguen procesos estandarizados y trabajan profesionales expertos. Las condiciones climatológicas del exterior no tienen ninguna afectación en la fabricación, obteniéndose elementos de gran calidad.
- Los fabricantes trabajan en conjunto con empresas especialistas en la instalación de estos productos garantizando calidad en el servicio una vez los elementos prefabricados salen de la planta de producción.
- Los estrictos controles de calidad garantizan un recubrimiento de armaduras totalmente uniforme.
- Trabajos realizados bajo normativas vigentes de diseño de concreto. Los sistemas de producción de las plantas de prefabricados se basan en normas que aseguran la calidad como ISO 9001 e ISO 14001.
- Con los prefabricados es posible replicar elementos individuales garantizados e idénticos, una o tantas veces como sea necesario.
- Los moldes almacenados de elementos permiten que los prefabricados se repliquen en caso de ser requeridos por el proyecto mucho tiempo después.

- Rápido montaje en obra. Los elementos de concreto prefabricado llegan listos para el montaje logrando un ahorro general en costos y tiempos. Las piezas se programan para llegar justo al tiempo de ensamble evitando riesgos en almacenamiento o manipulación de las mismas.

**Figura 43 Montaje de componentes prefabricados**



**Fuente: CITYWIDE PRECAST**

- Permite rapidez en la construcción. La incorporación de códigos de barras y/o micro dispositivos en los elementos prefabricados facilita la identificación de las diferentes piezas asegurando que estas lleguen siempre a tiempo y a su destino correcto. También agiliza el ensamble de cada pieza y su control.
- Máxima compatibilidad. Hay dos razones principales por las que los prefabricados de concreto facilitan la máxima compatibilidad en los proyectos de construcción. Por un lado, el trabajo con elementos prefabricados precisa de una planificación previa, por lo que siempre hay tiempo para que el diseñador u otros técnicos involucrados en el proyecto realicen ajustes y se aseguren de que los detalles de unión y juntas se hayan calculado correctamente. Por otro lado, dadas sus características técnicas, los prefabricados, generalmente, favorecen la utilización de uniones simples y fáciles de usar que agilizan la construcción y reducen el riesgo de error.

- Las losas alveolares proporcionan una excelente plataforma de trabajo amplia y segura en la que se pueden realizar tareas durante el transcurso de la obra.
- Obras mucho más limpias y amigables con el medio ambiente. Para la instalación de estructuras prefabricadas no se precisa ningún tipo de vibración, ni de un proceso que produzca ruido. De esto se benefician los residentes y los mismos trabajadores.
- Menos interrupciones debido a que no se presentan inclemencias climatológicas, ya que todo el proceso de producción se lleva a cabo dentro de plantas de producción y lo único que se realiza en el exterior es su montaje. Los elementos prefabricados de concreto de esta manera son menos vulnerables a situaciones de lluvia, calor o frío y el proceso en la planta no se verá detenido por las variaciones del clima.
- Existe una minimización de los imperfectos, ya que durante el montaje se pueden producir pequeños golpes o manchas estropeando el aspecto externo de la pieza instalada, pero gracias a las bondades del concreto su limpieza y reparación resultan muy fáciles. Los fabricantes de prefabricados ofrecen un amplio asesoramiento de cómo realizar estas tareas correctamente.
- Los productos prefabricados de concreto se pueden pre-visualizar antes de ser instalados, ya sea en diferentes muestras o en maquetas. Esta pre-visualización facilita la coordinación de los proyectos y la toma de decisiones importantes como la de los acabados finales.
- La belleza de los acabados de edificios prefabricados en concreto ha logrado galardones y prestigiosos premios a nivel mundial. El acabado es muy superior con respecto al concreto fundido en sitio.

## **Protección Para el ser Humano y su Entorno**

- Todos los materiales que se utilizan en la fabricación de productos prefabricados de concreto pueden ser de origen nacional. Acero, agregados, cemento y de esta manera se incentiva la industria nacional del concreto.
- Existe la reutilización de residuos industriales. Los productos prefabricados de concreto pueden utilizar como materia prima algunos residuos industriales que de otra manera se desaprovecharían. A parte de mejorar el comportamiento de los elementos, también se puede utilizar como sustituto del cemento portland.
- Un acabado prefabricado de buena calidad depende del proceso de despegue entre el molde y la pieza. Aunque los agentes químicos utilizados normalmente son derivados del petróleo, estos se pueden sustituir si se desea por agentes de origen vegetal. Los agentes vegetales permiten por un lado reducir el impacto ambiental y por otro reducir la vulnerabilidad de los prefabricados a las fluctuaciones del precio del gas y del petróleo.
- Fabricación industrial muy eficiente. En la actualidad, las fábricas de elementos prefabricados son altamente eficientes, ya que muchas utilizan programas informáticos para controlar procesos de formulación, mezcla y moldeado. La informatización de las plantas de prefabricación es sinónimo de eficiencia.
- El cemento, la lechada y el agua previamente procesada que se utiliza en los procesos de fabricación de piezas se pueden reciclar; incluso cuando se trata de pequeñas cantidades de otros restos y escombros. La tendencia actual es ir hacia una reutilización total de los materiales que queden como desecho.
- Disminución de costos medioambientales. Un mayor aprovechamiento de los recursos naturales es una excelente estrategia empresarial. El uso de prefabricados favorece el cumplimiento de leyes medioambientales y previene el pago de sanciones.

- Si se llegara a tener un problema durante la fabricación de una pieza de concreto en la planta, todavía queda la posibilidad de aprovechar estos elementos usándolos en otra parte de la estructura en construcción o bien demoler la pieza, triturarse y volverse a utilizar. El porcentaje de áridos a reutilizar de las demoliciones debe ser regulado por la normativa de cada país.
- Al final de la vida de una estructura, algunos de los elementos prefabricados de concreto pueden desmantelarse y reutilizarse íntegramente. Un ejemplo de esto son las baldosas para pavimentación. La demanda de elementos prefabricados de segunda mano y la aparición de empresas dedicadas al reciclado van en aumento cada año.
- Proporciona ahorro energético. La inercia térmica del concreto contribuye a mitigar los cambios de temperatura dentro de los edificios, tanto a lo largo de un mismo día como en los cambios estacionales. El resultado es un espacio interior más acogedor sin necesidad de recurrir al uso excesivo de calefacciones o aires acondicionados. Como consecuencia se ahorra energía y finalmente dinero.
- Reducción de CO<sub>2</sub>. Gracias a un proceso llamado fotocatalisis se pueden reducir las emisiones de gases nocivos a la atmósfera. Para conseguirlo se utiliza un material muy novedoso en el recubrimiento de las paredes de elementos prefabricados en edificios. Este producto atrapa las partículas de dióxido de carbono y sulfuro, liberándolas a la atmósfera con el agua de la lluvia, una vez el efecto nocivo se ha neutralizado.

### **Es atractivo para inversionistas**

- Empresas, organismos gubernamentales, fundaciones y otros inversionistas consideran los elementos prefabricados de concreto como una inversión excelente por la durabilidad y resistencia que poseen sus estructuras, tanto de uso diario como de usos excepcionales. Características importantes para empresas donde la

aparición de las oficinas es un reflejo de su política empresarial y de la solidez de su negocio.

- La arquitectura vanguardista que se deriva del uso de prefabricados de concreto atrae la atención de grandes empresarios e inversionistas, luego al tener más versatilidad tiene más opciones de venta o de alquiler.
- Facilidad en los procesos de ampliación. Los elementos prefabricados se pueden desmantelar, resultando más fácil y económico añadir extensiones a estructuras ya existentes. Simplemente se retiran paneles del final y se amplía la estructura desde ese punto; los paneles usados se pueden colocar de nuevo como cerramiento o fachada.
- Mínimos costos de reparación tras un incendio. Los prefabricados necesitan muy pocos trabajos de reparación. En la mayoría de los casos, es suficiente con una ligera capa de concreto para retoque o la utilización de pintura para que recuperen su aspecto original.

**Figura 44 Concreto arquitectónico prefabricado de apariencia pétreo**



**Fuente: Internet**

## **Ventajas del uso de losas alveolares en Colombia**

- Son una opción para la industria de la construcción económica y eficiente. La losa alveolar cuenta con estudios y ensayos de validación por parte de Colciencias en conjunto con la Universidad de los Andes.
- Permitir grandes luces y sobrecargas con pequeños espesores para ser utilizadas en los diferentes tipos de edificaciones del país.
- Su montaje es rápido: Su rendimiento, bajo ciertas consideraciones de planeación arquitectónica, estructural y disposición en obra puede llegar de 900 a 1500 m<sup>2</sup>/semana, logrando una ventaja sobre los sistemas convencionales.
- Disminución de la formaleta, encofrado y apuntalamiento. Dependiendo de la magnitud del proyecto, la disminución o eliminación de la formaleta es algo que significa un ahorro en mano de obra y tiempo.
- En el caso de realizar diseños de entresijos sin capa de compresión, existe un ahorro significativo de concreto y acero de refuerzo para el constructor.
- Eliminación del uso de aligeramientos. La no utilización de poliestireno expandido (Norma Técnica Colombiana, NTC 1426), de baja densidad, recubiertos con polietileno diseñados para uso en la construcción, contribuye en gran medida a la conservación del ambiente. Un casetón por mayor cuidado que se le proporcione, no se utilizará hasta un número determinado de veces en una obra y después será desechado como basura. Su colocación y posterior retiro implican tiempos y personal que con las losas alveolares prefabricadas se evitarían.
- Mayor control de calidad del material. Las losas alveolares que se ofrecen en el mercado son de excelente calidad, producidas en planta con condiciones controladas y que garantizan las dimensiones y resistencias necesarias para cualquier aplicación de entresijo.



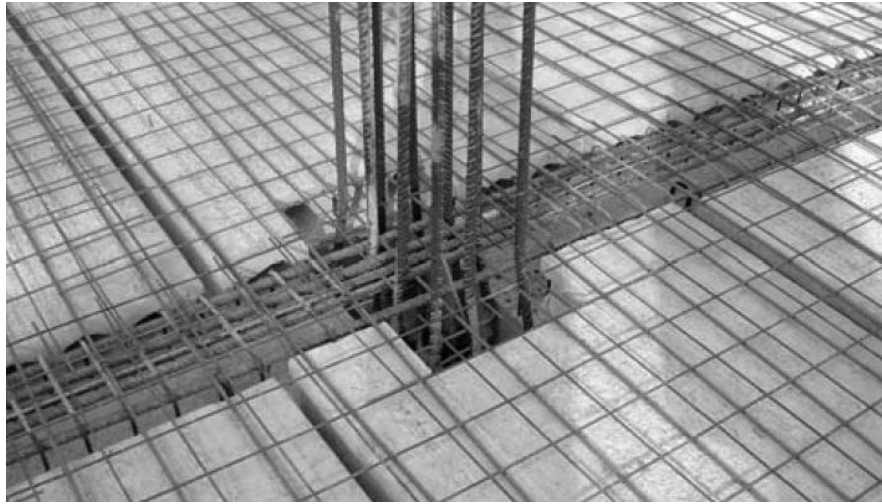
- Reducción de la cantidad de concreto en obra y de desperdicios: En Colombia ya se pueden encontrar edificaciones con sistemas de resistencia ante cargas gravitacionales y laterales construidas con concretos de alto desempeño, en acero, o mampostería estructural, junto con sistemas de entrepiso en losa alveolar prefabricada. En estas edificaciones se ha evidenciado un ahorro en concreto vaciado, junto con lo que implica todo el proceso de bombeo y fraguado del sistema de entrepiso. Sumado a esto, las labores de limpieza por desperdicios y salpicaduras de concreto en andamios y formaletas se pueden minimizar significativamente.
- Ahorro de mano de obra. Con la planeación adecuada y conocimiento de las bondades del prefabricado se puede incurrir en ahorro de personal o en el manejo eficiente del mismo.
- Posibilidad de inducir acabados en las losas como entrepiso y cielorraso.
- Excelente resistencia al fuego (hasta 4 horas dependiendo del recubrimiento del acero)

**Figura 45 Corte oblicuo de losa alveolar para entrepiso**



**Fuente: ANDECE**

**Figura 46 Posicionamiento de losa alveolar sobre viga y corte en nudo**



**Fuente: AIDEPLA**

## 5. INDUSTRIA DE LA PREFABRICACIÓN

La construcción industrializada es factible gracias a la prefabricación de componentes de concreto. En los llamados países del primer mundo, la prefabricación en la industria de la construcción juega un papel muy importante en el desarrollo y competitividad de la misma. La necesidad de atender y responder con calidad ante una demanda de construcciones en plazos más cortos fue fundamental para que en aquellos países esta industria se masificara, creando nuevas empresas y generando diferentes fuentes de empleo.

Países como Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña, China, Francia, Suiza, Alemania, Irlanda, Nueva Zelanda, Australia, España entre otros, han desarrollado una fuerte industria alrededor de la prefabricación invirtiendo gran cantidad de tiempo y de recursos en investigación para su consolidación. En estos países existe una estrecha relación entre las empresas de manufactura junto con el gremio de constructores y consultores, ofreciendo mayores ventajas entre las etapas de planeación, diseño y montaje.

Los fabricantes de componentes prefabricados juegan un papel fundamental en la planeación y ejecución de las edificaciones que involucren sus productos. La idea de esta participación es lograr alcanzar la solución más económica para el proyecto y maximizar el número de componentes o elementos prefabricados estandarizados, logrando un ahorro en costo significativo. La interacción entre arquitectos, ingenieros estructurales y fabricantes es vital para la consolidación de una edificación prefabricada totalmente funcional que se planee, analice, diseñe y construya de la manera más eficiente.

En el mundo existe una continua innovación sobre la prefabricación de componentes estructurales que se encuentra vinculada con la innovación en nuevos materiales de construcción. El uso de componentes estandarizados prefabricados a utilizar en un proyecto variará dependiendo de las condiciones, necesidades constructivas y condiciones económicas; con la posibilidad de que se despachen desde la planta o se utilicen en obra componentes fundidos en sitio. El éxito está en lograr hacer una combinación de componentes que aporte estética, rapidez, seguridad y economía en la

construcción. Cada nuevo proyecto que involucra componentes prefabricados aporta su grano de arena en la reducción del impacto ambiental, lo que comparándola con la construcción tradicional genera un valor agregado para los inversionistas.

La prefabricación puede estar incorporada en cualquier tipo de edificación, ya sea esta de geometrías regulares o irregulares, utilizada de manera completa o parte de ella como en el caso de la utilización de pórticos, muros, sistemas de entepiso, balcones, escaleras y fachadas, que pueden ser prefabricadas sin ningún inconveniente. El equipo de planeación de los proyectos tiene la tarea de definir qué tipo de componentes estructurales se prefabricarán basándose en la experiencia de fabricantes y diseñadores con el fin de lograr la mayor eficiencia y beneficio a la hora de construir y realizar montajes que cumplan con los cronogramas establecidos.

El sector de la construcción en los países desarrollados hace mucho tiempo comprendió que los grandes proyectos requerían más agilidad para ser competitivos en un mercado cada día más exigente y que podían obtener un mayor beneficio en costo y rentabilidad. También era una necesidad recurrente reducir todos los problemas o inconvenientes asociados con la construcción tradicional fundida en sitio. Lo anterior llevó a que surgieran grupos o asociaciones encargados de la investigación y desarrollo de la prefabricación.

A nivel internacional existen numerosas asociaciones que marcan la pauta en innovación y están a la vanguardia en investigación sobre el concreto pretensado y prefabricado. Algunas de estas asociaciones son:

- Estados Unidos: *Precast/Prestressed Concrete Institute. PCI*
- Canadá: *Canadian Precast/Prestressed Concrete Institute CPCI*
- Gran Bretaña: *The British Precast Federation Limited*
- España: Asociación Nacional de prefabricados y derivados del cemento. ANDECE.
- Nueva Zelanda: *Concrete Design Comitee P3101*
- Irlanda: *Irish Precast Association*
- Australia: *National Precast Concrete Association Australia NPCAA*

## **Beneficios inherentes a la utilización de componentes prefabricados**

Las ventajas considerables de los prefabricados están ligadas con los beneficios inherentes del material de manufactura: El concreto. Esta combinación ofrece un producto de construcción superior con las siguientes ventajas:

- **Resistencia al fuego:** El concreto tiene su propia resistencia al fuego la cual está presente durante todas las etapas de construcción. La resistencia inherente del concreto al fuego ahorra materiales en recubrimientos especiales que si se deben usar con otros, como lo son la madera o el acero. Esta es una importante ventaja a la hora de planear y presupuestar un proyecto.
- **Economía:** Una de las grandes ventajas de la prefabricación. Existe una reducción de costos al momento de hacer un proyecto que involucra prefabricados. Se tienen ahorros en el uso de formaleta, andamiaje, desperdicios, casetones o aligeramientos, con reducciones de volumen de concreto por unidad de área. Una aproximación basada en prefabricación total sobre la reducción frente a estructuras fundidas en sitio es: Formaleta 75%, andamiaje y casetones 75%-90%. Lo anterior resulta ser un incentivo más para constructores que tengan presente el uso de prefabricados en sus obras.
- **Seguridad:** En el caso de componentes para entresijos como las losas alveolares, losas en doble "T" o losas macizas, estas proporcionan una plataforma segura de trabajo que no necesita andamiaje y ahorra aligeramientos o casetones. El trabajo más pesado lo realizan las grúas para el posicionamiento de los diferentes elementos.
- **Reducción del Cronograma de trabajo:** Bajo una logística de montaje eficiente y debido a la facilidad en el transporte y colocación de los elementos prefabricados, el proyecto se construirá de manera más rápida; lo que redundará en una entrega temprana de la estructura en concreto. Lo anterior acelera las actividades subsiguientes como mampostería, pañetados, pinturas, carpinterías y colocación de ventanas, evidenciando un avance general del frente constructivo,

comparándolo a una construcción tradicional fundida en sitio. Una reducción de los cronogramas de entrega de la estructura genera una tasa de retorno mucho mayor desde el punto de vista financiero del proyecto. Se estima que una estructura prefabricada toma un 20% menos de tiempo que una similar construida de manera tradicional.

- **Control del proyecto:** El uso de componentes prefabricados que han sido planificados, estandarizados, repetitivos, sujetos a un control estricto de calidad, requiere un control administrativo y financiero del proyecto a su vez de la misma naturaleza. El control del proyecto es tan esencial como la logística involucrada, ya que el seguimiento riguroso de las actividades de construcción redundante en la calidad misma de la obra.
- **Calidad de Materiales:** En la producción de componentes estructurales y arquitectónicos en plantas de prefabricación, se asegura mayor calidad de acabados, control dimensional y de recubrimientos estricto, control de condiciones de humedad y de curado, controles ambientales, almacenamiento de materiales adecuado y mano de obra calificada. Comparado con estructuras construidas en sitio, la labor de verificación de los componentes se reduce entre un 50% y 80%.
- **Construcción:** Una estructura prefabricada se construye por etapas cuya duración se minimiza debido a que ya están fabricadas, con la posibilidad y la flexibilidad de cambios de último momento o ajuste de los espacios. Los componentes prefabricados se pueden desmontar en cualquier momento sin afectar considerablemente un cronograma de construcción y sin afectar otras actividades en curso. La planta de prefabricación puede modificar los diseños originales de acuerdo a cambios o ajustes en la geometría del proyecto y entregar un producto de alta calidad en menor tiempo frente a lo que implica un cambio estructural de último momento construyendo de manera tradicional.
- **Mayores luces y espacios:** Los componentes pretensados y prefabricados ofrecen la reducción del número de columnas o muros debido a las grandes luces que

proporcionan. Esto es sin duda una de las mayores ventajas y atractivos de utilizar sistemas prefabricados para la versatilidad de usos de la estructura. En la práctica general estas estructuras son aprovechadas para parqueaderos, estadios, bodegas y lugares donde se requieran grandes espacios. Lo anterior también influye en menos elementos estructurales y menos peso propio de la estructura con reducción de cargas para la cimentación. Esta reducción en peso puede estar alrededor del 20% al 40%, lo que significa también un gran ahorro en costos para esta etapa de la construcción.

- **Aislamiento sonoro:** Las estructuras prefabricadas en concreto llegan a los más altos estándares de resistencia sonora y transmisión. Una losa o elemento de 150 mm de espesor es capaz de aislar hasta 50db.
- **Acción compuesta:** Los elementos prefabricados de entrepiso como las losas alveolares pueden combinarse con el concreto fundido en sitio (Capa o losa superior de compresión) logrando realizar una acción conjunta que mejora las capacidades estructurales.
- **Reducción de desperdicio:** Al prefabricar componentes de concreto, el uso de materiales se hace muy preciso. Se reduce el uso de concreto y acero de manera significativa cuando la obra a realizar es de grandes proporciones. El acero adicional se puede reducir hasta en un 80% dependiendo de las condiciones del entrepiso y el número de componentes pretensados. Los trabajos de limpieza por salpicaduras, propios de una construcción con concreto bombeado se ven reducidos a gran escala, lo que implica un ahorro de tiempo considerable de mano de obra en limpiezas.

## Ciclo de construcción prefabricada

El ciclo de construcción prefabricada incluye generalmente las siguientes etapas:

- Definición del equipo de diseño: La definición de roles de Arquitecto, Ingeniero Estructural, Constructor y cliente.
- Definición del programa de seguridad y salud ocupacional.
- Etapa de diseños: Diseños desde el punto de vista arquitectónico, estructural y en general de todas las disciplinas, que en conjunto jueguen con la disponibilidad de componentes prefabricados y el cumplimiento de las normatividades específicas de diseño, resistencia, durabilidad y requerimientos ambientales.
- Entrega de planos preliminares: Si es posible, la construcción prefabricada deberá empezar desde una interacción clara y precisa entre arquitectos e ingenieros basándose en herramientas computacionales tipo BIM (*Building Information Model*) que permiten integrar todos los estudios técnicos y realizar una pre-construcción de tipo virtual.
- Control de documentación: Toda la información deberá ser plasmada con toda claridad y la trazabilidad pertinente, ya que en este tipo de proyectos es imprescindible un control estricto de los componentes a prefabricar.
- Aprobación de componentes: En cierta etapa del proyecto, el equipo de diseño en conjunto con el responsable de la manufactura de componentes prefabricados aprobarán los distintos elementos fabricados en planta que cumplan con todos los requerimientos técnicos establecidos en el diseño.
- Programa de entregas: El responsable de manufactura en conjunto con el constructor en caso de no ser la misma persona, deberán realizar el programa de fabricación y entregas de componentes para el proyecto. En una edificación de



varios niveles es necesario programar el despacho de los componentes propios del entrepiso ajustados al cronograma de actividades.

- **Instalación/Montaje:** La instalación se basará en el programa de entregas acordado previamente. Esto requiere por parte del constructor consolidar toda la logística de montaje que incluye el personal y las grúas de montaje, así como la inspección en obra de las piezas prefabricadas que van llegando al sitio de la obra.

**Figura 47 Ciclo de construcción para componentes y sistemas prefabricados**



## 6. SOSTENIBILIDAD EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

### 6.1 SOSTENIBILIDAD Y SU RELACIÓN CON LA PREFABRICACIÓN

La sostenibilidad es usualmente definida como el desarrollo realizado para alcanzar las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras<sup>6</sup>. Alrededor de todo el planeta los seres humanos consumimos 20% más de recursos de los que pueden ser generados. En particular, la población de los Estados Unidos consume más recursos per cápita que cualquier otra nación en el mundo seguida de países como China cuya población sigue en aumento.

La industria de la construcción y la operación de las diferentes edificaciones es ya de por sí un impacto que se le hace al medio ambiente. En los Estados Unidos los edificios consumen el 74% de la electricidad generada y más de 39% de la generada con gas, además producen cerca del 30% de las emisiones de gas invernadero, usan el 12% del agua potable disponible y emplean el 40% de materiales no renovables (3 billones de toneladas al año) para construcciones alrededor del planeta.<sup>7</sup> Con un análisis de los datos anteriores es evidente que la construcción altera el uso de los recursos no renovables, razón suficiente para que tanto consultores como constructores tengan presente en sus proyectos materiales, componentes y sistemas constructivos que logren mitigar el impacto ambiental generado.

Una de las maneras de mitigar o reducir el uso de materiales no renovables en la industria de la construcción es la utilización de sistemas o componentes prefabricados en concreto teniendo en cuenta sus propiedades inherentes. La prefabricación conduce a prácticas sostenibles, ya sea desde la concepción misma del proyecto y la integración de todos sus

---

<sup>6</sup> *World Commission on Environment and Development*. 1987. "Report on Our Common Future," Oxford University Press, New, York, NY.

<sup>7</sup> *U.S. Green Building Council (USGBC)*. 2005. "An Introduction to the U.S. Green Building Council and the LEED Green Building Rating System," PowerPoint presentation on the USGBC website, USGBC, Washington, DC.

estudios técnicos hasta el uso razonable de sus materiales con una significativa reducción de desperdicios, reducción de ruido y ahorro en tiempos de construcción.

La mayoría de los consumidores están conscientes del impacto generado por los proyectos de edificación. Existen casos en donde es preferible tener más costos para el proyecto en desarrollo, pero teniendo en cuenta que se puede llegar a un menor impacto sobre el medio ambiente. El concepto de sostenibilidad sin embargo debe balancear el diseño con la relación beneficio costo. La sostenibilidad siempre buscará en los proyectos de edificación las relaciones entre costos, desperdicios, eficiencia energética, durabilidad, flexibilidad en los espacios, impacto medio ambiental y calidad de vida dependiendo del tipo de estructura proyectada.

Existe siempre una relación de triplicidad cuando de construcciones sostenibles se habla; medio ambiente, sociedad y economía, se conocen como las tres vertientes y son aspectos inseparables al momento de hablar de sostenibilidad. Las consecuencias económicas están relacionadas con las consecuencias medio ambientales y sociales. Las consecuencias sobre la sociedad implican impactos en la población y su crecimiento, la seguridad, el empleo entre otros. La disminución en el impacto que se genera por la reducción de materiales y reducción en emisiones tiene consecuencias más allá de las mismas generadas por la edificación en sí.

## **6.2 CONSIDERACIONES DE CONSTRUIR EDIFICACIONES SOSTENIBLES**

Un diseño sostenible puede resultar en una reducción de costos para el proyecto de edificación y en una estructura eficiente en términos de energía y utilización de los recursos. Los proyectos con edificaciones eficientes en gasto de energía y agua representan estructuras con costos de operación menores y ahorros de recursos en comparación con las edificaciones tradicionales sin visión sostenible.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> U.S. Green Building Council (USGBC). 2005. "An Introduction to the U.S. Green Building Council and the LEED Green Building Rating System," PowerPoint presentation on the USGBC website, USGBC, Washington, DC.

Bajos costos de operación se traducen en requerimientos mínimos para equipos mecánicos como aire acondicionado. Un eficiente aprovechamiento del uso de la luz natural reduce también el consumo energético de las edificaciones. La reutilización de materiales como concreto reciclado puede ser una opción a la hora de ahorrar costo de acarreo y almacenaje.

Cuando la sostenibilidad es un objetivo desde el principio del proceso de planificación y concepción, el costo de una edificación sostenible es competitivo. A menudo los edificios sostenibles no cuestan más que los edificios convencionales debido a las estrategias de utilización de los recursos utilizados tales como reducir el tamaño de los sistemas mecánicos, eléctricos y estructurales.

La variación de aumento en costos iniciales para edificios sostenibles es del 0% al 2%. Generalmente un aumento de los costos de construcción del 2% resultará en un ahorro de 10 veces la inversión inicial en costos de operación de los servicios públicos (energía, agua y de residuos) en los primeros 20 años de vida del edificio.

Una edificación es sostenible desde que nace sostenible. Tanto los arquitectos como los ingenieros deben concebir el proyecto para que en términos generales no se comprometa la calidad de vida, presente y futura; así mismo deberán innovar en la manera de construir con el fin de no continuar con prácticas nocivas para personas y medio ambiente, y por último reconocer que nuestro bienestar social, nuestra economía y medio ambiente son interdependientes.

### **6.3 DISEÑO INTEGRADO DE EDIFICACIONES SOSTENIBLES**

Un principio clave del diseño sostenible es la holística o enfoque de diseño integrado. Este enfoque requiere la coordinación de los diseños arquitectónicos, estructurales y mecánicos en las primeras fases del diseño esquemático. Por ejemplo un edificio bien aislado con pocas ventanas que dan al este y al oeste requerirá menos calefacción y aire acondicionado. Esto influye en el diseño mecánico de la edificación requiriendo menos ductos. Los muros de concreto prefabricado actúan como contenedores térmicos para

retrasar y reducir los picos de radiación. A su vez los muros de carga poseen un papel primordial en el diseño estructural del edificio.

No se debe conceptualizar el término “sostenible”, como un proceso independiente, autónomo, sin ayuda exterior, relacionado con el hecho de utilizar los recursos naturales, económicos, sociales y ambientales disponibles en el lugar del proyecto.

Desde el punto de vista arquitectónico, entre las tendencias que responden a postulados ambientales se destacan: Arquitectura bioclimática, arquitectura ecológica, arquitectura bioambiental, arquitectura solar, eco-arquitectura, arquitectura natural, arquitectura verde, edificios de alta eficiencia energética, edificios inteligentes, edificios de alta calidad ambiental, construcciones con materiales reciclados o reciclables, bioconstrucción, eco-construcción, eco-villas, eco barrios, entre otras.

### **6.3.1 Arquitectura bioclimática**

Esta rama de la arquitectura plantea generar espacios con óptimas condiciones de bienestar y confort, incorporando determinantes de diseño que permitan la interrelación de variables climáticas para lograrlo. Es aquella arquitectura que diseña para aprovechar el clima y las condiciones del entorno con el fin de conseguir una situación de confort térmico en su interior. Juega exclusivamente con el diseño y los elementos arquitectónicos sin necesidad de utilizar sistemas mecánicos complejos. Los sistemas de aprovechamiento de las energías renovables en la arquitectura bioclimática se basan en tres principios: La captación de energía (Calor o frío), su acumulación y su correcto aprovechamiento gracias a una adecuada distribución.

### **6.3.2 Arquitectura sostenible**

La arquitectura sostenible introduce una nueva variable en su alcance, la cual está en función del tiempo de vida de la construcción; se define como aquella que tiene en cuenta el impacto de la edificación durante todo su ciclo de vida, desde su construcción, pasando por su uso, hasta su demolición. Reflexiona a su vez sobre el impacto ambiental de todos los procesos implicados en una edificación, desde la extracción de materiales, fabricación de elementos e insumos, componentes y su transporte, las técnicas de construcción que

supongan un mínimo deterioro ambiental, la ubicación de la edificación y su impacto con el entorno, el consumo de energía en el funcionamiento, inclusive al reciclado de los materiales cuando la edificación ha cumplido su función y vida útil.

Los principios generales, en los cuales actúa la arquitectura sostenible son:

1. Ubicación adecuada, la cual dependerá de la evaluación de aspectos como: estabilidad del terreno, topografía y existencia de redes de servicios.
2. Integración en su entorno más próximo, que consiste en considerar todos sus componentes: agua, tierra, flora, fauna, paisaje y aspectos socioculturales.
3. Aplicación de variables bioclimáticas, teniendo en cuenta el recorrido del sol (trayectoria e intensidad), el viento, la latitud, la pluviosidad, la humedad y la temperatura.
4. Uso de materiales de construcción, que involucre aspectos de disponibilidad, estética, accesibilidad, respondiendo inicialmente a las condiciones de existencia y producción local.
5. Utilización de materiales y tecnologías que tengan la menor cantidad de CO<sub>2</sub> en el entero ciclo de vida, considerando las diferentes etapas: extracción de materias primas, transporte, procesos productivos, uso, reutilización, reciclaje y disposición final.
6. Implementación de sistemas energéticos alternativos que disminuyan costos económicos y que eviten la generación de impactos negativos al ecosistema.
7. Implantar circuitos cerrados de aguas y residuos, la eficiencia de estos recursos, y generar la menor cantidad de emisiones al entorno.
8. Fomentar los procesos de reciclaje y la reutilización de los residuos de la construcción.

9. Optar por proveedores que tengan certificaciones ambientales en sus materiales, ya sea nacionales o internacionales (por ejemplo: ISO 14.000/14.001, IRAM, etc.)
10. Evitar en todos los procesos constructivos la generación masiva de residuos, sean estos sólidos, líquidos o gaseosos; con la obligación de gestionar adecuadamente los residuos generados.
11. Tener en cuenta uso de suelos con vocación para la construcción de edificaciones. Se debe adaptar el proyecto a las características geomorfológicas, con el fin de disminuir riesgos y amenazas naturales, estableciendo un equilibrio entre áreas construidas y áreas libres.

Para facilitar los criterios anteriores en intervenciones concretas, todo este conjunto de criterios se pueden agrupar en tres objetivos básicos de sostenibilidad<sup>9</sup>:

- Integración en el medio natural, rural y urbano
- Ahorro de recursos energéticos, recursos naturales renovables y materiales.
- Calidad de vida en términos de salud, bienestar social y confort.

En este marco las políticas mundiales de sostenibilidad ambiental en las edificaciones han adelantado estándares de construcción, sistemas de clasificación y certificación para edificaciones sostenibles que evalúan los diferentes factores relacionados con la calidad ambiental y emiten certificaciones de diferentes categorías, de acuerdo con la clasificación obtenida.

Entre los más importantes se encuentran:

---

<sup>9</sup> Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Asuntos Ambientales. República de Colombia.

- ✓ BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) de Inglaterra.
- ✓ LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) de Estados Unidos.
- ✓ CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) de Japón.
- ✓ GBC – VERDE de España
- ✓ PCES (Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables) de México.

Estos sistemas de clasificación han sido la base para el desarrollo de procesos similares en otros países que se encuentran en vía de consolidar su sistema de evaluación y certificación de construcción sostenible, de acuerdo a los factores más incidentes en su región. En el año de 1988 se creó el *World Green Building Council – WGBC*, encargado de coordinar la gestión en cada país hacia el desarrollo de construcciones sostenibles. Colombia se ha sumado mediante la participación del Consejo Colombiano de la Construcción Sostenible – CCCS, mostrando el interés en planear, diseñar y construir de manera amigable con el medio ambiente.

### 6.3.3 Diseño integrado

En la siguiente tabla se muestran algunas estrategias integradas de diseño sostenible que involucran la utilización de prefabricados de concreto:

**Tabla 3. Estrategias integradas de diseño sostenible con prefabricados**

Estrategia de Integración	Atributo de Sostenibilidad
Usar Paneles prefabricados en superficies internas	Ahorro de material. No hay necesidad de muros de mampostería ni drywall
Usar losas o paneles alveolares para llevar ductos	Ahorro de material y energía. Elimina el trabajo de pases de tubería
Usar la masa térmica en combinación con apropiado aislamiento interior en paneles de muros	Masa térmica con aislamiento proporciona ahorro en sistemas mecánicos



Diseñar componentes o elementos ajustables a cambios futuros. Flexibilidad de espacios con el uso de componentes prefabricados.	Ahorro de material. Excede la vida útil de los paneles y en si de la edificación
Usar materiales durables y resistentes.	Materiales de larga vida necesitaran menos gastos de mantenimiento
Usar diseños amigables con el medio ambiente	Reduce gastos de energía y aumenta la satisfacción dentro de la estructura
Reciclar y reducir el desperdicio en construcción.	Reduce costos de transporte y de almacenaje. El reciclaje de materiales minimiza la contaminación y el impacto ambiental.

Los 8 elementos del diseño integrado son:

1. Enfatizar en el proceso integrado.
2. Considerar la edificación como un todo, interactiva y multifuncional.
3. Enfocarse en el ciclo de vida.
4. Enfocar las diferentes disciplinas involucradas en el desarrollo del proyecto en un trabajo en equipo desde el principio.
5. Realizar valoraciones para lograr alcanzar las metas.
6. Desarrollar soluciones a la medida que logren múltiples beneficios alcanzando las metas propuestas.

7. Evaluar soluciones.

8. Asegurar que las metas y objetivos se cumplan.

#### **6.4 REDUCIR - REUSAR - RECICLAR**

El uso de las 3Rs de reducción del desperdicio puede ser aplicado a la industria de la construcción.

Un aspecto clave en sostenibilidad de la construcción es la reducción del desperdicio que se genera en la obra. El desperdicio puede ser definido como cualquier ineficiencia en el uso de materiales, equipos, mano de obra y capital en cantidades que son consideradas necesarias en la materialización y puesta en marcha de un proyecto. El desperdicio agrega costos adicionales al proyecto que le restan valor. En general se puede decir que el concepto de desperdicio radica en la generación de costos que no generan valor.

Una manera práctica de entender el desperdicio es clasificándolo. Una primera clasificación se puede realizar dependiendo del control que se tenga, en dos categorías:

- El desperdicio directo: Este es el que se remueve directamente de la obra, en algunos casos es inevitable.
- El desperdicio indirecto: Este desperdicio no se encuentra a simple vista y se evidencia cuando se presentan cambios en el pedido de material para los trabajos del día. Cualquier sustitución de material obedece a una falta de planeación. En la obra es común utilizar más material de lo normal cuando la mano de obra es deficiente o poco preparada. Otro ejemplo de desperdicio presente en la construcción es el control dimensional el cual genera cantidades de concreto mayores que las especificadas en planos estructurales.

El desperdicio en la obra también puede clasificarse de acuerdo al transporte y almacenamiento que se le proporciona a los materiales. Cuando los equipos no son los

adecuados o el material se almacena en lugares poco aptos, se incurre en pérdidas de material.

Para la investigación en la influencia del prefabricado sobre la mitigación del desperdicio, se observó que al utilizar menos concreto bombeado debido al uso de componentes prefabricados de losa alveolar en los entrepisos, se incurre directamente en ahorro de concreto, mano de obra para instalación y limpieza aportando una reducción de las actividades a desarrollar y minimizando el desperdicio de manera general. Esto se evidenció a través de las visitas de obra realizadas como parte del proceso investigativo.

#### **6.4.1 Reducción de la cantidad del desperdicio**

El concreto prefabricado y pretensado puede ser diseñado con el fin de optimizar la cantidad de concreto utilizado. Desperdicios industriales como la ceniza volante, escoria y silicatos pueden ser utilizados como materiales sustituyentes del cemento bajo ciertas restricciones y de esta manera reducir la cantidad de material cementante en el concreto. El concreto prefabricado puede generar desperdicio con baja toxicidad llegando a ser del 2% en una planta de prefabricación.

Otra ventaja que se encuentra en el uso de prefabricados en la obra es que el uso de componentes reducen el volumen de concreto por unidad de área. Durante el trabajo de investigación se ha logrado concluir que para un entrepiso construido con componentes prefabricados como la losa alveolar, el volumen de concreto por unidad de área de la edificación se reduce. Esto se podrá evidenciar en el capítulo para la comparación entre sistemas constructivos de entrepiso.

Aunque el tema de reducción de desperdicios es muy amplio dentro de las actividades de obra, esta reducción de volumen de concreto es un hecho cuantificable dada la optimización de las secciones estructurales que proporcionan los componentes prefabricados y pretensados. En comparación con una construcción tradicional, el estricto control dimensional de los componentes prefabricados reduce el desperdicio drásticamente en cuanto a volumen se refiere. Una losa fundida en sitio con tan solo

medio centímetro de desfase dimensional proporciona un desperdicio considerable en un proyecto de grandes superficies.

#### **6.4.2 Reutilización de productos y contenedores**

Los componentes de concreto prefabricado pueden ser reutilizados cuando se presentan ampliaciones en los proyectos de edificación. Las piezas de concreto para demoliciones pueden ser trituradas y reutilizadas en otras construcciones. Las formaletas de madera pueden ser utilizadas de 25 a 30 veces sin mantenimiento, mientras que las de fibra de vidrio, concreto y acero tienen significativamente vidas de servicio mucho mayores.

El concreto en la mayoría de áreas urbanas es reciclado para reutilización como material de relleno o base para autopistas. Las formaletas de madera o acero son recicladas cuando se vuelven obsoletas. Virtualmente todo el acero de refuerzo se puede reciclar y reutilizar en construcciones nuevas ahorrando procesos de extracción del material. Las plantas de concreto pueden utilizar desperdicios de aceite, solventes y llantas en la manufactura del cemento.

#### **6.5 SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED Y PREFABRICADOS**

La aproximación actual para valorar los niveles de sostenibilidad es el Liderazgo en Diseño Energético y Medio Ambiental, por sus siglas en inglés (*LEED*). El sistema de calificación para edificaciones “Verdes” es un consenso estándar nacional desarrollado en los Estados Unidos para promover edificaciones sostenibles de alto desempeño. Consiste en valorar por medio de créditos edificaciones bajo ciertos criterios dando una certificación y una guía de diseño para la operación y construcción de edificaciones.

Esencialmente el sistema de calificación *LEED* proporciona un marco para evaluar el rendimiento de las edificaciones alcanzando las metas de sostenibilidad. Los créditos o puntos se obtienen cuando se alcanza cierta meta y la edificación obtiene su certificación *LEED* cuando se obtienen al menos 40 puntos de un total de 110 disponibles. Los puntos se adquieren de 5 categorías principales:

- Categoría 1: Sitios Sostenibles

- Categoría 2: Eficiencia en manejo del recurso agua
- Categoría 3: Atmósfera y Energía
- Categoría 4: Materiales y Recursos
- Categoría 5: Calidad de ambientes interiores

Entre más puntos tenga la edificación menor es el impacto que esta tiene en el medio ambiente. Se tienen puntuaciones de plata, oro y platino para valoraciones de 50, 60 y 80 puntos respectivamente. El uso de prefabricados de concreto puede influir en alcanzar hasta 20 puntos en las diferentes categorías de valoración *LEED*. La utilización del concreto y en especial el concreto prefabricado optimiza el uso de energía necesaria en la industria de la construcción, incrementa el desempeño energético y aumenta la vida útil de las edificaciones.

En Colombia los constituyentes del concreto son de fácil acceso, y la construcción con concreto es más económica que cualquiera. Por lo tanto lograr una edificación certificada por el programa *LEED* es mucho más viable utilizando los atributos y ventajas del concreto y en especial el concreto prefabricado.

En la siguiente tabla se observan los puntos potenciales en la utilización del concreto prefabricado de una lista de chequeo *LEED* del Consejo Americano de Edificaciones Verdes (*USGBC*)<sup>10</sup>.

**Tabla 4. Puntos potenciales LEED en la utilización de concreto prefabricado**

---

<sup>10</sup> U.S. Green Building Council (*USGBC*). 2005. "An Introduction to the U.S. Green Building Council and the *LEED* Green Building Rating System," PowerPoint presentation on the *USGBC* website, *USGBC*, Washington, DC.

LEED CATEGORY	CREDIT OR PREREQUISITE	POINTS AVAILABLE
Sustainable Sites	Credit 5.1: Site Development, Protect or Restore Habitat	1
Sustainable Sites	Credit 5.2: Site Development, Maximize Open Space	1
Sustainable Sites	Credit 7.1: Heat Island Effect, Non-Roof	1
Energy and Atmosphere	Prerequisite 2: Minimum Energy Performance	—
Energy and Atmosphere	Credit 1: Optimize Energy Performance	1-10
Materials and Resources	Credit 1.1: Building Reuse, Maintain 75% of Existing Shell	1
Materials and Resources	Credit 1.2: Building Reuse, Maintain 95% of Existing Shell	1
Materials and Resources	Credit 2.1: Construction Waste Management, divert 50% by weight or volume	1
Materials and Resources	Credit 2.2: Construction Waste Management, divert 75% by weight or volume	1
Materials and Resources	Credit 4.1: Recycled Content, the post-consumer recycled content plus one-half of the pre-consumer content constitutes at least 10% (based on cost) of the total value of the materials in the project	1
Materials and Resources	Credit 4.2: Recycled Content, the post-consumer recycled content plus one-half of the pre-consumer content constitutes at least 20% (based on cost) of the total value of the materials in the project	1
Materials and Resources	Credit 5.1: Local/Regional Materials, Use a minimum of 10% (based on cost) of the total materials value	1
Materials and Resources	Credit 5.2: Local/Regional Materials, Use a minimum of 20% (based on cost) of the total materials value	1
Indoor Environmental Quality	Credit 3.1: Construction Indoor Air Quality Management Plan, During Construction	1
Innovation and Design Process	Credit 1.1: Use of high volume supplementary cementitious materials. Apply for other credits demonstrating exceptional performance	1†
Innovation and Design Process	Credits 1.2: Apply for other credits demonstrating exceptional performance	1†
Innovation and Design Process	Credits 1.3: Apply for other credits demonstrating exceptional performance	1†
Innovation and Design Process	Credits 1.4: Apply for other credits demonstrating exceptional performance	1†
Innovation and Design Process	Credit 2.1: LEED Accredited Professional	1
<b>PROJECT TOTALS</b>		<b>23</b>

Fuente: PCI/LEED

A continuación se describen ciertos factores que son clave en la obtención de créditos o puntos LEED utilizando concreto prefabricado en la industria de la construcción.

### 6.5.1 Créditos por durabilidad y reutilización

Un aspecto clave de la reutilización es que los materiales originales sean durables. Los componentes de concreto prefabricado proporcionan una larga vida debido a la durabilidad de sus superficies y su bajo mantenimiento. La construcción modular en paneles interiores y exteriores aporta protección externa e interna de las estructuras. Los prefabricados ofrecen la opción de restaurar edificaciones sin tener que hacer mayores gastos por ello y arrancar de cero. El prefabricado es sostenible en este aspecto en dos maneras: No contribuye con el desperdicio sólido y su uso reduce el agotamiento de los recursos naturales.

Cuando se utilizan fachadas en concreto arquitectónico y prefabricado en las edificaciones, se incurre en la utilización de materiales durables que tienen larga vida, muy poco mantenimiento y en cualquier caso se pueden desmontar y reutilizar sin ningún inconveniente. Cuando al menos el 55% de los paneles ya sean para la fachada o para la estructura son instalados en el sitio, se le otorgará 1 crédito o punto; 2 créditos para el 75% y 3 para el 95%. En el caso de edificaciones institucionales como colegios se dará un punto si tienen al menos el 75% y 2 puntos para el 95%.

**LEED Materials and Resources Credit 1.1 on Building Reuse.** *The purpose of this credit is to leave the main portion of the building structure and shell in place when renovating, thereby conserving resources and reducing wastes and environmental effects of new construction. The building shell includes the exterior skin and framing but excludes window assemblies, interior partition walls, floor coverings, and ceiling systems. This credit should be obtainable when renovating buildings with a precast concrete facade, because concrete generally has a long life. This is worth 1 point if 55% of the existing building structure/shell is left in place and 2 points if 75% is left in place and 3 points for 95%. For Schools, if 75% of the existing building structure/shell is left in place this is worth 1 point and 2 points if 95% is left in place.*

### 6.5.2 Créditos por efecto de isla urbana de calor

El concreto prefabricado proporciona superficies reflectantes que minimizan el efecto de isla de calor presente en las ciudades, que causa un aumento en la temperatura de 2°C a 4°C. Esta diferencia de temperaturas está asociada a la absorción de calor de las edificaciones adyacentes y pavimentos que han tomado el lugar de la vegetación. Los árboles proporcionan sombra, evaporación y transpiración que mantienen los ambientes frescos.

La absorción de calor se da principalmente en grandes áreas planas como cubiertas de edificios o carreteras y vías de asfalto aumentando la temperatura del lugar. El uso de prefabricados en concreto para carreteras y en general para andenes o mobiliario urbano contribuye en la disminución del efecto de isla de calor por sus propiedades. El aumento de temperatura también se presenta en las fachadas, por esta razón escoger un material reflectante de radiación solar es muy importante para garantizar espacios frescos y ambientes interiores de calidad sin la utilización de aires acondicionados.

El concreto es un material con un alto albedo, es decir el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las opacas. Los paneles prefabricados de concreto para fachadas cumplen con este fin a la vez que decoran las edificaciones como se explicó anteriormente.

El concreto con cemento portland tiene un albedo con un índice de 0,4 a 0,5 de radiación aproximadamente. Entre más grande sea la superficie de los materiales como arena y materiales cementantes mayor será el albedo del concreto<sup>11</sup>.

Otro aspecto importante para el uso del concreto es su humedad que por evaporación contribuye con el enfriamiento de la superficie. La humedad en el concreto variará hasta que la pieza de concreto alcance el nivel de humedad del ambiente circundante en proceso que dura alrededor de dos años. El albedo en concretos nuevos es generalmente bajo cuando la superficie está seca hasta el punto en que empieza la evaporación, que puede ser de un periodo de 2 a 3 meses.

**LEED Sustainable Sites Credit 7.1 on Heat Island Effect, Non-Roof.** *The intent of this credit is to reduce heat islands. The requirements are met by placing a minimum of 50% of parking places underground or covered by a parking structure. Precast concrete parking structures, can be used to help obtain this point. Any roof used to shade or cover parking must meet specified criteria, such as having a solar reflectance index (SRI) of at least 29.<sup>21</sup> This credit is worth 1 point. For more information on concrete's SRI, see the credit interpretation ruling section of this document.*

**LEED Sustainable Sites Credit 7.2 on Heat Island Effect, Roof.** *The intent of this credit is to reduce heat islands. The requirement is to use highly reflective/high-emissivity roofing for a minimum of 75% of the roof surface; install a vegetated roof for at least 50% of the roof surface or a combination of both for 75% of the roof area. When left exposed (in parking structure roofing applications), concrete with high solar reflectance can contribute to this credit. Alternatively, precast concrete structural systems are ideal for supporting the heavy loads of vegetated roofs. This credit is worth 1 point.*

---

<sup>11</sup> *Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI). 2006. Energy Conservation and Condensation Control. Designers Notebook (DN) 15. PCI, Chicago, IL.*



### **6.5.3 Créditos por protección ambiental**

Una meta de la sostenibilidad es reducir la radiación y los materiales tóxicos. El concreto proporciona una barrera efectiva contra la radiación y puede ser utilizado para aislar materiales químicos tóxicos y desperdicios. El concreto es resistente a la mayoría de los ambientes naturales que tienen sustancias que causan daño y deterioro. Dependiendo del diseño de la mezcla este se puede hacer casi tan resistente como se desee para ataques químicos manteniendo una relación agua/material cementante alrededor de 0,40.

El uso de paneles prefabricados de muros colabora en este sentido con configuraciones para estructuras estancas que son resistentes a ataques químicos y proporcionando en el caso de edificaciones aislamiento sonoro y una mayor seguridad ante impactos.

En la producción del concreto prefabricado se tienen muchos beneficios medioambientales con respecto al concreto vaciado en sitio.

- Las mezclas son precisas y no hay espacio para desperdicio. En caso de tal, este se reutiliza en nuevas mezclas. El pretensado de concreto tiene como consecuencia secciones de menor tamaño que ahorran material. El diseño pretensado colabora en esta medida con el medio ambiente.
- Se pueden alcanzar niveles óptimos de aislamiento con los paneles prefabricados tipo sándwich.
- Debido al estricto control de cantidades de materiales en la planta de prefabricación de concreto, el desperdicio se minimiza.
- Se promueve el reciclado de concreto para utilizarlo nuevamente en diferentes componentes debido a las instalaciones de la planta.
- Las aguas grises son recicladas para futuras mezclas.

- El concreto endurecido es reciclado (entre el 5% al 20% del agregado se puede reciclar para concreto prefabricado).
- Las formaletas de acero y de otros materiales se pueden reutilizar ayudando al medio ambiente.
- Menos desperdicio directo e indirecto es creado en el sitio de construcción debido al uso de componentes prefabricados que son despachados sin dejar restos de encofrados y elementos de fijación asociados.
- Se tiene menos acarreo y menor tiempo de construcción debido a que los componentes son hechos en planta. Esto beneficia las áreas urbanas donde la reducción del tráfico es crítica.
- Los niveles de ruido disminuyen en una edificación prefabricada.

En general las construcciones prefabricadas contribuyen con el diseño sostenible y la obtención de créditos por protección ambiental. El planteamiento de componentes prefabricados y pretensados en los proyectos optimiza materiales, reduce secciones transversales, optimiza espacios, lo que se resume en estructuras más livianas que minimizan cargas y cantidades de materiales que no son renovables.

**LEED Sustainable Sites Credit 5.1 on Site Development, Protect, or Restore Habitat.** *The intent of this credit is to encourage the conservation of natural areas on the site and restore damaged areas. The requirements are met by limiting site disturbance to prescribed distances. Tuck-under parking, such as precast concrete parking structures, can be used to help obtain this credit worth 1 point. Parking garages located within a building helps maintain existing natural areas that would otherwise be consumed by surface parking. Also precast concrete requires minimal site disturbance for erection of components.*

**LEED Sustainable Sites Credit 5.2 on Site Development, Maximize Open Space.** *The intent of this credit is to provide a high ratio of open space to development footprint. The requirements are met by limiting the size of the development footprint; specifically, by exceeding the local zoning's open space requirement for the site by 25%. Tuck-under parking, such as precast concrete parking structures on the lower floors of a building, can be used to help reduce the footprint of a site development. This credit is worth 1 point.*

La construcción de sótanos para parqueaderos promueve la acreditación *LEED* en la medida en que se obtiene más área libre de uso natural. El concreto prefabricado en este tipo de estructuras es idóneo por la optimización de espacios.

#### **6.5.4 Créditos por reciclado de materiales**

El concreto es el material de construcción más utilizado en todos los países del mundo debido a la facilidad de consecución de sus materiales constituyentes. La obtención de agregados (85% del concreto), arenas y roca es relativamente sencilla para el proceso de manufactura. Sin embargo, con el fin de promover la minimización del impacto en la obtención de agregados no renovables, *LEED* incentiva el reciclado de materiales en la industria de la construcción.

Por una parte el concreto estructural colabora con el medio ambiente sostenible debido a que sus recursos abundan y no son escasos en comparación con aquellos que sí lo son. Las canteras de extracción de materiales cuando cumplen su vida útil se pueden reutilizar para agricultura o recreación. Sin embargo esto está sujeto a regulaciones ambientales las cuales deberán ser tenidas en cuenta para cada país.

Los atributos medioambientales del concreto pueden ser mejorados usando agregados traídos de desperdicios de la industria o concreto reciclado. La escoria de alto horno es un agregado liviano con una extensa utilización en la industria que contribuye en minimizar la cantidad de material cementante de la mezcla. Por otra parte, el concreto reciclado puede ser utilizado como agregado en nuevos concretos, particularmente la porción gruesa. Cuando se utilice concreto reciclado como agregado se deben tener las siguientes consideraciones:

- El concreto reciclado como agregado típicamente tendrá mayor absorción y menor gravedad específica que el agregado natural y producirá un concreto ligeramente de mayor retracción por secado y flujo plástico. Estas diferencias pueden ser grandes cuando se aumenta la cantidad de agregados reciclados.

- Demasiada cantidad de material fino reciclado puede producir una mezcla dura y difícil de trabajar. Se han realizado investigaciones utilizando el 100% de material grueso reciclado, pero solo del 10% al 20% de los finos reciclados funciona bien<sup>12</sup>. El remanente de porcentaje es arena natural.
- Cuando el concreto es triturado se hace difícil el control del tamaño de partículas y su distribución, por lo que este agregado no alcanzará los tamaños de clasificación exigidos en la norma ASTM C33<sup>13</sup>.
- Hay que tener en cuenta con el contenido de cloruros de los agregados reciclados si el material a utilizar es concreto reforzado.
- El contenido de Alcalino es desconocido con riesgo de tener reacciones *alkali-silice*.

**LEED Materials Credit 4 on Recycled Content.** *The requirements of this credit state, "Use materials with recycled content such that post-consumer recycled content plus one-half of the pre-consumer content constitutes at least 10% (based on cost) of the total value of the materials in the project." The percentage is determined by multiplying the price of an item by the percent of recycled materials—on a mass basis—that make up that item. To earn this credit, the project must meet the threshold percentages based on the total of all permanently installed building materials used on the project. Supplementary cementitious materials, such as fly ash, silica fume, and slag cement, are considered preconsumer. Since the cementitious content of concrete is about 15%, these pozzolans typically account for only 2% to 5% of the overall concrete material in buildings. For this reason, LEED 2009-NC allows the recycled content of concrete to be based on the recycled content of the cementitious materials. Using recycled concrete or slag as aggregate instead of extracted aggregates qualifies as postconsumer. Although most reinforcing bars are manufactured from recycled steel, in LEED, reinforcement is not considered part of concrete. Reinforcing material should be considered as a separate item. This credit is worth 1 point for the quantities quoted above and 2 points for double the amount.*

---

<sup>12</sup> PCA. 2002. *Design and Control of Concrete Mixes, Chapter 5, EB001, Skokie, IL.*

<sup>13</sup> ASTM Subcommittee C09.20. 2008. *Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM C33/C33M-08. ASTM International, West Conshohocken, PA.*

**LEED Innovation Credit on Reducing Cement Content.** LEED has an innovation credit that allows 1 point for a 40% reduction of cement content compared to common practice. This can be met by using at least 40% less portland cement or replacing at least 40% of the cement in concrete with fly ash, slag cement, silica fume, or a combination of the three. Slag cement is commonly used at replacement levels up to 60%. However, fly ash replacement levels for portland cement greater than 35% are not common, as the fly ash and portland cement need to be chemically and physically compatible to ensure durable quality concrete that sets properly. For quality concrete, mixtures with fly ash at replacement levels greater than 35% should not be used without proven field experience or laboratory testing. Certain aesthetic (color) and stripping-time restrictions will apply when using supplementary cementitious materials.

### 6.5.5 Créditos por usar materiales regionales

En el caso de ganar créditos por la utilización de materiales regionales, Colombia es un país con una riqueza extensa en recursos naturales. Recursos que se deben proteger desde el concepto de sostenibilidad. El sistema *LEED* otorga créditos por utilizar del 10% al 20% de concretos o productos de concreto realizados en planta con materiales provenientes dentro de un radio de 800 kilómetros. En el caso de la ciudad de Bogotá existe una planta de prefabricación cuyos materiales cumplen con este requisito.

**LEED Materials Credit 5 on Regional Materials.** The requirements of this credit state, "Use building materials or products that have been extracted, harvested, or recovered, as well as manufactured, within 500 miles (800 km) of the project site for a minimum of 10% or 20% based on cost of the total materials value." This means that a pre-cast concrete plant within 500 mi of the building would qualify if the materials to make the concrete were extracted within 500 mi. Calculations can also include concrete either manufactured or extracted locally.

Precast concrete will usually qualify because precast concrete plants are generally within 200 mi to 500 mi (300 km to 800 km) of a project. Precast concrete plants generally use aggregates that are extracted within 50 mi (80 km) of the plant and within 200 mi to 500 mi of the project. Cement and supplementary cementitious materials used for buildings are also primarily manufactured within 500 mi of a project. Reinforcing steel is also usually manufactured within 500 mi of a project and is typically made from recycled materials from the same region.

Using materials that are extracted or manufactured locally supports the regional economy. In addition, reducing shipping distances for material and products to the project minimizes fuel requirements for transportation and handling. This credit is worth 1 point for regional material quantities of 10% based on cost of the total materials value and 2 points for double the amount, or 20% of the materials.

### 6.5.6 Créditos por calidad de los ambientes interiores

El concreto posee bajos componentes volátiles orgánicos que degraden el ambiente de los espacios interiores. Existen otros materiales con mayores componentes volátiles en la industria de la construcción que pueden generar irritaciones y afectar a los usuarios.

También es necesario que las edificaciones posean espacios amplios iluminados para obtener ambientes interiores más confortables. Los paneles de concreto prefabricado de piso a techo proporcionan alturas de piso con buena iluminación y con requisitos acústicos que mejoran la calidad de vida.

La siguiente tabla muestra los contenidos volátiles que poseen algunos materiales utilizados donde el concreto y en general el concreto prefabricado posee las menores concentraciones.

**Tabla 5. Relaciones de concentración y Emisión de VOCs para materiales comunes**

Building Material	VOC Concentration, mg/m <sup>3</sup>	VOC Emission Rate, mg/m <sup>2</sup> h
Concrete with water-based form-release agent	0.018	0.003
Acryl latex paint	2.00	0.43
Epoxy, clear floor varnish	5.45	1.3
Felt carpet	1.95	0.080
Gypsum board	N/A	0.026
Linoleum	5.19	0.22
Particle board	N/A	2.0
Plastic silicone sealer	77.9	26.0
Plywood paneling	N/A	1.0
Putty strips	1.38	0.34
PVA <sup>1</sup> glue cement	57.8	10.2
Sheet vinyl flooring	54.8	2.3
Silicone caulk	N/A	< 2.0
Water-based EVA <sup>1</sup> wall and floor glue	1410.0	271.0

**Fuente: Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI)**

La intención de estos créditos es proveer a los ocupantes de la edificación una conexión entre los espacios interiores y los exteriores tratando de maximizar la cantidad de luz natural. A través de un diseño bioclimático de la edificación y la utilización de componentes prefabricados es posible cumplir con este requisito. Primero la posición de la edificación con respecto a la salida del sol mantendrá un confort para los usuarios, y

por otro lado, la utilización de componentes prefabricados que promuevan mayores distancias entre columnas logrará que el espacio habitable o de servicio sea mayor. Con estas condiciones se obtiene un crédito si al menos el 75% del espacio disponible posee adecuada luz natural. Se adquiere otro crédito adicional si el 90% del espacio habitable posee visión hacia el exterior.

En el caso de las edificaciones para colegios o centros educativos, si el 75% del espacio de los salones de clase posee luz natural tendrá un punto, y dos puntos si se llega al 90%.

**LEED Indoor Environmental Quality Credits 8.1 and 8.2 for Daylight and Views.** *The intent of these credits is to provide for the building occupants a connection between indoor spaces and the outdoors through the introduction of daylight and views into the regularly occupied areas of the building. The strategy is to design the building to maximize interior daylighting and views to the outdoors through building orientation, shallow floor plates, and increased building perimeter. Precast/prestressed concrete floor systems can span large distances with shallow floor plates and column-free spaces to help achieve these credits. You can also use exposed concrete ceilings to reflect light deep into interior spaces. Precast concrete with integral horizontal or vertical planes projecting out in front of or above a window can be designed to block the summer sun, allow most of the winter sun, and provide a view for occupants. This credit is worth 1 point if 75% of the regularly occupied space has daylight (Credit 8.1) and 1 additional point if 90% of the space has views to the outdoors. For Schools, if 75% of the classroom spaces have daylight, this is worth 1 point and if 90% of the classroom spaces have daylight, this is worth 2 points.*

En el caso de mejorar la calidad del sonido interior de las edificaciones y mantener ambientes más propicios de estudio aislados del ruido exterior, los prefabricados de concreto son excelentes aislantes del ruido. Esto aplica tanto para fachadas arquitectónicas que se realicen en concreto prefabricados, como para muros interiores en el caso de salones de clase, mejorando la calidad del ambiente interior.

Otro aspecto de los concretos prefabricados se encuentra en su naturaleza resistente a la aparición de moho. La resistencia a la humedad y a la condensación de vapor en componentes de concreto también proporciona créditos.

**LEED Indoor Environmental Quality Credit 9 for Enhanced Acoustical Performance.** *The purpose of this credit for schools is to provide classrooms that facilitate better teacher-to-student and student-to-student communications through effective acoustical design. This credit can be obtained with precast concrete walls, floors, or ceilings, which usually do not need additional treatments because of mass, in order to provide adequate sound insulation. If desired, greater sound insulation can be obtained by using a resiliently attached layer(s) of gypsum board or other building material. This is worth 1 point for Schools. See Designer's Notebook (DN-18), Acoustics.<sup>22</sup>*

**LEED Indoor Environmental Quality Credit 10 for Mold Prevention.** *The purpose of this credit is to reduce the potential presence of mold in schools through preventive design and construction measures. Precast concrete is resistant to moisture buildup and is mold resistant as it is not organic. For a complete discussion on condensation control and air and vapor retarders in precast concrete systems, see Designer's Notebook (DN-15), Energy Conservation and Condensation Control, and also DN-1, Avoidance of Mold.<sup>16,17</sup>*

### **6.5.7 Créditos por reducción de desperdicios**

Como ya se mencionó anteriormente, los componentes de concreto prefabricado pueden ser reutilizados cuando se necesitan ampliaciones o remodelaciones. El uso del concreto prefabricado también minimiza el desperdicio generado en la construcción tradicional con menos polvo y materiales desechos.

Esta cualidad es valorada para la obtención de edificaciones con la certificación LEED, la cual ya se ha implementado en el país para diferentes proyectos. Es de gran interés para el constructor lograr una reducción de materiales y desperdicios cuando se trata de alcanzar una construcción verde que sea amigable con el medio ambiente.

En la utilización de entresijos prefabricados en Colombia se ha podido evidenciar la minimización considerable del uso de casetones (aligeramientos), ya sea de guadua o de poliestireno expandido, reduciendo de esta manera un material que al final de su vida útil termina como desecho si este no es reciclado. Reciclar el poliestireno expandido es costoso y la expectativa de duración de este material es de más de 60 años aproximadamente. Por lo tanto en la medida en que se ahorren casetones, se contribuye con la reducción de desperdicios nocivos para el medio ambiente.

La producción de casetones en poliestireno expandido utiliza recursos no renovables, ya que el mismo es un derivado del petróleo. En Latinoamérica tan solo es posible reciclar un



1.74% de la producción total de poliestireno expandido debido al alto costo que esto requiere<sup>14</sup>. En Colombia no existe hasta el momento una clara regulación sobre el reciclaje de este material y por ser un material nocivo para el medio ambiente requiere que sea tratado adecuadamente.

La implementación de sistemas de entepiso prefabricados en general colabora y está alineada con el concepto de minimizar el impacto ambiental, logrando reducir significativamente el uso de casetones, ya sea de poliestireno, guadua o madera.

**LEED Materials Credit 2 on Construction Waste Management.** *This credit is extended for diverting construction and demolition debris and land clearing waste from landfill disposal. It is awarded based on diverting at least 50% by weight or volume of the previously listed materials. Since precast concrete is a relatively heavy construction material and is frequently crushed and recycled into aggregate for road bases or construction fill, this credit should be obtainable when concrete buildings are demolished. This credit is worth 1 point if 50% of the construction and demolition debris and land clearing waste are recycled or salvaged and 2 points for 75%.*

### 6.5.8 Créditos por innovación

Se obtienen créditos para la certificación LEED cuando se utilizan métodos y técnicas que son innovadoras tanto en diseño como en construcción. Es importante aclarar que una vez se hayan dado créditos por este avance, no necesariamente se repetirá para proyectos futuros. Una vez que una práctica innovadora se ha utilizado para varios proyectos, el consejo para edificaciones verdes de los Estados Unidos (USGBC) hará que se convierta en práctica estándar. El equipo de diseño de un proyecto en particular deberá trabajar muy duro para obtener créditos bajo este punto de vista.

---

<sup>14</sup> Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana / Unión Temporal Construcción Sostenible S.A y Fundación FIDHAP (Consultor). – Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012. 200 p. ISBN: 978-958-8491-58-5.

**LEED Innovation in Design Process Credit 1.** *This credit is available for projects that demonstrate exceptional performance above the requirements in LEED or innovative strategies not specifically addressed in LEED. For example, close collaboration with engineers on a given project to develop innovative systems that are more resource efficient or use less energy may earn a project an additional point. The maximum number of points available in this credit category is 5, and points can come from either compliance path.*

*To earn credits (up to 4 for Schools, and up to 5 for NC and CS) through PATH 1-Innovation in Design, the user must submit the intent of the proposed credit, the proposed requirement for compliance, submittals to demonstrate that compliance, and the design approach used to meet the requirement.*

*To earn credits (up to 3 for Schools) through PATH 2-Exemplary Performance, the user must "double the credit requirement or achieve the next incremental percentage threshold" of prerequisite or credits that allow exemplary performance.*

*For example, if 30% of a project's materials were extracted, processed, and manufactured regionally, then the project could receive an extra point in going significantly beyond the requirements of Materials and Resources Credit 5.2. Another potential innovation is to use exposed concrete for walls, floors, and ceiling. This strategy would eliminate a significant quantity of wall and floor coverings along with ceiling materials, all of which are common sources of volatile organic compounds (VOCs) that can degrade indoor air. This strategy could significantly improve indoor air quality.*

Los proyectos que se realicen por encima de los requerimientos mínimos *LEED*, que promuevan el ahorro en consumo energético ganarán créditos. Un ejemplo es que si se posee hasta el 30% de los materiales extraídos, procesados y manufacturados regionalmente se pueden obtener créditos adicionales.

**LEED Innovation in Design Process Credit 2.** *One point is also given if a principal participant of the project team is a LEED Accredited Professional. The concrete industry has LEED-experienced professionals available to assist teams with concrete applications and help maximize points for concrete.*

Como conclusión, las prácticas sostenibles contribuyen al ahorro de material, energía y la reducción de los efectos negativos de agentes contaminantes. El uso del concreto prefabricado contribuye a estas prácticas incorporando el diseño integrado, usando los materiales eficientemente, reduciendo los desperdicios en construcción, reduciendo la afectación del sitio de la obra y minimizando el ruido.

El concreto prefabricado por sus innumerables ventajas contribuye enormemente en la adquisición de créditos de la categoría de evaluación *LEED* para edificaciones existentes y nuevas.

## **7. CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO SÍSMICO DE SISTEMAS DE ENTREPISO PREFABRICADOS**

### **7.1 INTEGRIDAD ESTRUCTURAL**

La implementación de edificaciones prefabricadas en zonas de actividad sísmica considerable es generalmente limitada, con excepción de algunos países como Estados Unidos, Japón y Nueva Zelanda entre otros, donde la investigación en el comportamiento sísmico de estructuras prefabricadas aplicado a edificaciones se extiende desde mediados del siglo XX. Las recomendaciones de diseño y requisitos mínimos de construcción han sido consignadas en sus códigos de construcción mediante una actualización continua a lo largo de los años.

En Colombia la construcción de edificaciones con sus componentes estructurales totalmente prefabricados es ciertamente limitada aún cuando la investigación a nivel global en sistemas prefabricados de resistencia a cargas verticales y laterales prefabricados ha avanzado considerablemente. Sin embargo, se han realizado estudios de tipo estructural para ciertos componentes de manera puntual, siendo necesario extender la investigación y la validación de conexiones entre componentes prefabricados como complemento al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10<sup>15</sup> y sus siguientes versiones.

Desde un punto de vista académico, en el país se hace necesario profundizar sobre la prefabricación aplicada a edificaciones, ya que esta industria posee un grandísimo potencial debido a la demanda de vivienda y obtención de construcciones de calidad.

Para lograr esto, la ingeniería colombiana deberá promover la investigación sobre el comportamiento sísmico de estructuras prefabricadas en concreto y los diferentes criterios de análisis y diseño de sistemas prefabricados de entrepiso. Dada la gran mayoría de sus ciudades principales ubicadas en zonas de actividad sísmica considerable, la aplicación

---

<sup>15</sup> Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10.

de la investigación es de alcance nacional. Nuestro reglamento de construcción en sus capítulos C.16 y C.21 se apoya en la experiencia, investigación y avances tecnológicos realizados en sistemas estructurales y componentes prefabricados por instituciones internacionales como el *American Concrete Institute (ACI)*<sup>16</sup> y el *Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI)*<sup>17</sup>, para aportar requisitos mínimos de diseño y construcción sismo resistente.

La integridad estructural tiene como objetivo proporcionar la seguridad global de la edificación ante una falla local sin permitir que el daño se expanda o se genere progresivamente. Las edificaciones de concreto prefabricado también se basan en esta filosofía, donde el arreglo de los componentes aportan estabilidad general a la estructura. Es importante que el arreglo estructural este proyectado de manera que tanto las columnas o muros prefabricados puedan dar estabilidad, ductilidad y capacidad de absorción de energía cuando la edificación es sometida a fuerzas laterales.

La integridad involucra a todos los componentes prefabricados, los cuales trabajan como un sistema en función de la calidad de conexión de unos con otros. Esta es la razón principal y más importante para poseer un conocimiento completo de las propiedades y bondades de cada componente prefabricado, así como su papel dentro del sistema de resistencia y de su trayectoria de cargas a lo largo de la edificación.

Las consideraciones o provisiones sísmicas que se deben tener en cuenta al momento de diseñar y construir una estructura prefabricada de concreto están consignadas tanto en el código ACI-318<sup>18</sup> capítulo 21, como en el manual de diseño del PCI<sup>19</sup>. Los sistemas estructurales deben ser capaces de soportar oscilaciones en el rango inelástico sin tener una degradación crítica de su resistencia. Las disposiciones del capítulo C.21 del

---

<sup>16</sup> *ACI-318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute. Farmington Hills, MI 2008*

<sup>17</sup> *PCI Design Handbook 6th edition. Precast/Prestressed Concrete Institute.*

<sup>18</sup> *ACI-318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute. Farmington Hills, MI 2008*

<sup>19</sup> *PCI Design Handbook 6th edition. Precast/Prestressed Concrete Institute.*

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10<sup>20</sup> relacionan el detallado de refuerzo requerido con el tipo de sistema estructural y la capacidad de disipación de energía.

El sistema lateral de resistencia sísmica debe ser determinado del análisis preliminar de cada estructura y deberán definirse cuales componentes serán prefabricados y cuáles no, para lograr un acoplamiento adecuado, diseñando las conexiones dependiendo de la amenaza sísmica a la cual estarán sujetas. El diafragma de piso juega un papel determinante al momento de la distribución de las fuerzas laterales, aportando ductilidad y resistencia a la estructura global.

Un tema importante para tener en cuenta en el diseño son los efectos de flujo plástico, retracción y cambios de temperatura que los componentes prefabricados estructurales y no estructurales hechos de concreto poseen, también conocidos como cambios volumétricos. La mayoría de las estructuras que se diseñan nunca alcanzan las fuerzas o solicitaciones para las que fueron proyectadas, pero si se verán afectadas a cambios de volumen o temperatura a lo largo de su vida. El diseño debe prever estas situaciones para que no se presenten problemas de fisuras a futuro.

Por muchos años en países desarrollados alrededor del mundo, las estructuras prefabricadas de concreto se han construido en zonas de alta sismicidad. El requerimiento esencial de conexión entre componentes prefabricados es que estos se desempeñen como una unidad, como si hubiesen sido fundidos monolíticamente. Como el código ACI<sup>21</sup> lo prescribe, la integridad estructural global puede ser substancialmente mejorada implementando pequeños cambios en el detallado de refuerzo de sus elementos. No se permiten detalles de conexión que se basen solo en la fricción producida por la gravedad. Los componentes (prefabricados o no) deben y deberán siempre conectarse de alguna manera con otros elementos estructurales, o a las columnas directamente pero siempre manteniendo una trayectoria adecuada de cargas.

---

<sup>20</sup> Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10.

<sup>21</sup> *ACI-318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute. Farmington Hills, MI 2008*

Sin importar en que zona de amenaza sísmica se encuentre la estructura, el comportamiento de la misma dependerá del desempeño que tengan las conexiones ante la sollicitación sísmica. Las conexiones en toda edificación deberán estar diseñadas y alineadas con requerimientos como:

- Resistencia y durabilidad
- Desempeño Sísmico
- Manufactura
- Transporte
- Montaje

Las siguientes consideraciones para integridad estructural del capítulo C.16 del reglamento NSR-10 satisfacen los requerimientos contenidos en los documentos de referencia anteriormente mencionados.

1. Todos los componentes deben estar conectados a un sistema de resistencia lateral y a sus soportes de manera adecuada. Los elementos de amarre deberán ser provistos en todas las direcciones, vertical, transversal y longitudinal a lo largo del perímetro de la estructura.
2. El sistema lateral de resistencia sísmica debe ser continuo hasta la fundación.
3. Los elementos que componen el diafragma de piso deben estar debidamente amarrados y conectados para garantizar que este trabaje como un elemento rígido y distribuya las fuerzas a los elementos de soporte del sistema de resistencia

sísmica. El reglamento NSR-10<sup>22</sup> menciona que cuando los elementos prefabricados formen diafragmas de cubierta o piso, las conexiones entre diafragma y aquellos elementos que son soportados lateralmente deben tener una resistencia nominal a la tracción no menor de 4,4 kN/m.

4. Todas las conexiones en columnas tanto en la base como en uniones horizontales, deberán ser diseñadas para soportar y transmitir todas las fuerzas de diseño. El requisito mínimo especificado en el reglamento NSR-10 indica que todas las columnas prefabricadas deben tener una resistencia nominal a tracción no menor a  $1.4A_g$ . A su vez, en columnas con sección transversal mayor a la requerida por condiciones de carga se permite la reducción del área ( $A_g$ ) en una efectiva, pero no menor a la mitad del área total.
5. Cuando se utilicen paneles de muros prefabricados, estos deberán tener como mínimo dos conexiones por panel. Cada conexión tendrá una resistencia mínima a la tracción de 44 kN. Cuando no se generen fuerzas de tracción en la base, las conexiones de muros se pueden realizar directamente sobre una losa de piso debidamente reforzada.
6. Se deben considerar conexiones transversales y longitudinales en sistemas de piso y cubierta que ofrezcan una resistencia nominal mínima de 22 kN por metro de ancho o largo. Los amarres deben colocarse sobre los apoyos de los muros interiores y entre los elementos, así como para los muros exteriores. Los amarres deben estar ubicados en o dentro de los 600 mm del plano del sistema de piso o cubierta. Deben a su vez proporcionarse amarres verticales de tracción en todos los muros, y estos deben ser continuos en toda la altura de la edificación. Los amarres pueden ser empalmados, soldados, conectados mecánicamente o embebidos en las juntas con mortero de inyección.

---

<sup>22</sup> Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10.

7. Los efectos de flujo plástico, retracción y cambios de temperatura deben tenerse en cuenta al momento del cálculo y el detallado de las conexiones de componentes prefabricados.
8. Los detalles de conexión que solo dependan de la fricción causada por las cargas gravitacionales están prohibidos al estar ubicados en un país de elevada sismicidad.

Además de resistir cargas gravitacionales, los sistemas de resistencia a fuerzas laterales que utilizan componentes prefabricados se describen a continuación:

- Sistema de columnas en voladizo o paneles de muros (Fuera del plano): En estos sistemas se logra una conexión a momento entre la cimentación y la losa de piso, o conectando la columna o el muro a la fundación mediante anclajes y platinas soldadas.
- Sistema de muros de cortante
- Sistema de arriostramientos en “X” en concreto prefabricado
- Pórticos resistentes a momento

Como se mencionó anteriormente, la utilización de sistemas o componentes prefabricados en el país presenta un incremento, y existen varios proyectos importantes de grandes superficies que han implementado componentes de piso como losas alveolares prefabricadas y pretensadas dentro de sistemas tradicionales estructurales fundidos en sitio, típicos del medio colombiano.

Desafortunadamente en el país aún no existe la cultura de proyectar las estructuras pensando en una industrialización de sus elementos constituyentes, motivo por el cual el presente estudio sobre la prefabricación pretende mostrar la importancia de conocer y aplicar las ventajas inherentes de los prefabricados en la construcción colombiana.



Reconocidas constructoras del país ya han implementado el uso de la losa alveolar en la construcción de entresijos para oficinas, hoteles, bodegas y almacenes de grandes superficies con excelente comportamiento. La utilización de la losa alveolar en la construcción de estas edificaciones ha contribuido de manera positiva en las diferentes actividades de obra, influenciando su manera de planear y construir nuevos proyectos enfocados en componentes prefabricados.

Como se mencionaba anteriormente, dentro de los estudios de investigación realizados en Colombia para componentes prefabricados, se encuentran validaciones para la losa alveolar como componente estructural para diferentes aplicaciones en edificaciones. Instituciones como Colciencias y La Universidad de Los Andes realizaron el proyecto<sup>23</sup>: “Validación Técnico científica de paneles alveolares pretensados para aplicaciones diversas en la industria de la construcción” realizado en el año 2009. Este proyecto estudió el panel alveolar prefabricado y su implementación como sistema de entresijo y como muro estructural, analizando teorías y realizando una serie de ensayos comprobados en laboratorio con resultados satisfactorios. Además se analizó el comportamiento de sus conexiones bajo diferentes tipos de carga.

Con respecto a las consideraciones de este estudio sobre el comportamiento de la losa alveolar se destacan las siguientes:

1. Comportamiento a flexión y corte de componentes de losa alveolar individuales. Análisis de la rigidez a flexión, deflexiones admisibles y estudio de vibraciones para cargas ambientales, de tráfico peatonal y vehicular.
2. Comportamiento desde el punto de vista como diafragma. Evaluación de las juntas longitudinales entre losas alveolares ante cargas verticales y horizontales. Validación de las teorías analíticas propuestas para su análisis.

---

<sup>23</sup> Validación Técnico científica de paneles alveolares pretensados para aplicaciones diversas en la industria de la construcción. Código 1204-403-20646. Universidad de Los Andes. Centro de Investigación en materiales y obras civiles CIMOC. Informe final definitivo. 2009

3. Comportamiento de paneles alveolares como elementos de fachada o muros divisorios.
4. Estudio ante cargas perpendiculares a su plano. Paneles trabajando ante cargas gravitacionales (Viva y muerta) y ante cargas laterales (Viento y Sismo).
5. Estudio de los anclajes en paneles como muros de cortante.
6. Estudio de la longitud de desarrollo para barras de refuerzo convencional dentro de los alveolos rellenos de mortero.
7. Estudio del sistema estructural integral sometido a cargas dinámicas mediante ensayos a escala real en mesa vibratoria, junto con el estudio de los demás elementos típicos de la estructura incluyendo diafragmas de piso, elementos de conexión de los diafragmas y conexiones entre diferentes elementos.

Como resultado, se pudo obtener un manual de diseño que corrobora la utilización de los paneles alveolares como componentes estructurales confiables y que a su vez promueva la implementación de los mismos tanto en arquitectos, ingenieros como constructores.

Como parte final de este estudio sobre paneles alveolares y su utilización como sistema de losa de piso se tienen las siguientes observaciones y conclusiones:

- “Se cuantifico y observó que el comportamiento bajo cargas verticales con el mismo espesor, cuantía de acero y luz de diseño fue similar en el rango elástico y con algunas diferencias en el rango inelástico, ratificando las ventajas del proceso de fabricación industrializado, el cual garantiza variaciones mínimas en las propiedades mecánicas del producto final”.
- “La reducción de la luz de diseño,  $L$ , aumenta la rigidez elástica en una proporción entre  $1/L^4$  y  $1/L^3$  y es independiente de la capa de compresión. Estas proporciones corresponden a datos teóricos de rigideces para cargas distribuidas y puntuales, lo cual es consistente con la carga muerta (distribuida) y la carga de ensayo (puntual)”.

- “El cambio en la cuantía de acero de pretensado es directamente proporcional al cambio en el momento máximo resistente. No se observó ninguna influencia aparente en la capacidad a flexión de las losas producida por los diferentes diámetros de acero de pretensado usado en las losas ensayadas”.
- La adición de la capa de compresión incrementa la rigidez inicial de las losas. Parte de este aumento de rigidez está dado por el cambio en la inercia de la losa, pero también se debe al efecto de arco y de la carga axial producido por el pretensado. La capa de compresión incrementa el momento resistente, debido al aumento de la distancia desde el centroide de acero de pretensado a la fibra extrema en compresión.”
- “Los resultados del aumento de rigidez así como el aumento en el momento máximo resistente, deben interpretarse dentro del contexto de resistencia última únicamente, ya que las deformaciones a largo plazo son fundamentales para definir la capacidad de servicio de estas losas en especial cuando tienen capa de compresión”.
- “La capacidad a flexión de las losas alveolares, obtenida por medio de ensayos experimentales coincidió aceptablemente con la capacidad teórica calculada. Adicionalmente, la capacidad a cortante teórica, resultó en la mayoría de los casos conservadora, dado que no se observó ningún tipo de falla súbita, para los casos en los cuales la capacidad teórica estaba cerca o por debajo de la capacidad a flexión”.
- “Los límites teóricos de deflexiones de servicio establecidos en el reglamento NSR-10 en la tabla C.9-5b y C.9-2 en NSR-98 en su momento, estuvieron en la mayoría de los casos, dentro del rango elástico o cerca de este para el límite de deflexiones de  $L/480$  (sin grietas o casi imperceptibles). Por lo anterior se puede establecer que este límite, de deflexiones máximas, es el adecuado cuando las losas soportan elementos no estructurales susceptibles a daño por deflexiones. El límite de deflexiones máximas estimadas  $L/240$ , definido para elementos no estructurales que no pueden ser dañados por deflexiones, se encontró por fuera del rango elástico lo cual requiere

considerar secciones fisuradas para el análisis de losas alveolares (cálculo de deflexiones y capacidades)”.

En el caso del comportamiento ante vibraciones en paneles alveolares utilizados como losa, se encontraron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- “Los sistemas de losas alveolares, dadas sus características de resistencia y rigidez, son en general susceptibles de altos niveles de vibraciones debidos a fuentes como: Tránsito de personas, tránsito vehicular, maquinaria y equipos cercanos, hincado de pilotes, voladuras, sismos y vibraciones ambientales por fuente desconocida en suelos blandos”.
- “Estos sistemas de piso presentan en general grandes luces en relación con su espesor obteniéndose con ello relaciones  $L/e$  que están por lo general entre 20 y 40. Por otro lado las losas se diseñan normalmente para que desde el punto de vista de rigidez ante cargas verticales, estas no excedan una deflexión vertical para cargas vivas de diseño del orden de  $L/360$ . Estas características generales impuestas en el diseño llevan a sistemas de entrepiso que tienen frecuencias de vibración natural en el orden de 143,1 a 937,6 Hertz”.
- “La relación longitud espesor ( $L/e$ ), es una variable que permite controlar hasta cierto punto el nivel de vibraciones a esperar en sistemas de entrepiso con losas alveolares. Se proponen los siguientes valores limites, los cuales pueden excederse en función del nivel de sensibilidad deseado a las vibraciones.

**Tabla 6. Valores límites Luz/espesor para limitar vibraciones (U. Andes)**

<b>TIPO DE USO</b>	<b>VALOR LÍMITE L/e RECOMENDADO</b>
Cualquier aplicación general	25
Oficinas, residencias, restaurantes	30
Centros comerciales, salones de baile y reunión	35
Actividades rítmicas, puentes peatonales	40

**Fuente: Universidad de los Andes**

- “Las vibraciones debidas a tránsito peatonal pueden resultar criticas para altas relaciones L/e (del orden de 40), cuando no hay participación a lo ancho de varios paneles en forma simultánea, o cuando no se coloca capa de compresión en condiciones especiales”.

En general tanto para cargas peatonales como para cargas vehiculares las vibraciones se ven afectadas de acuerdo al número de losas a lo ancho que participan, la presencia de la losa (capa) de compresión y la relación luz/espesor.

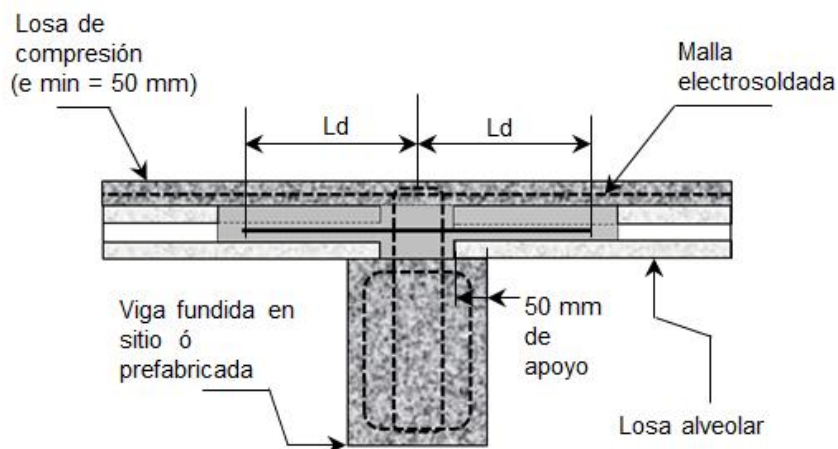
## 7.2 TIPOS DE CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ENTREPISO

### 7.2.1 Construcción compuesta

Como en la construcción tradicional, en los entrepisos que utilizan componentes prefabricados se permite el uso como diafragma de una losa fundida en sitio sobre los mismos garantizando un completo amarre y proporcionando más capacidad de carga (momentos negativos). La superficie del componente antes de vaciar el concreto debe estar rugosa, limpia y húmeda con el fin de lograr la completa adherencia entre las partes. Esta situación se encuentra claramente estipulada en el reglamento colombiano NSR-10 en el capítulo (C21.11.4), donde el diafragma de piso deberá ser reforzado y diseñado para tal fin. Generalmente para este refuerzo se utiliza malla de alambre electrosoldado, adicional a los refuerzos transversales y longitudinales entre componentes. El espesor de esta losa (afinado de piso) debe ser el suficiente para que el refuerzo quede posicionado debidamente.

Este tipo de construcción se utiliza en zonas de actividad sísmica alta. De acuerdo al Reglamento colombiano NSR-10 (C.21.11.6), el espesor mínimo de la losa superior que actúa en conjunto (Acción compuesta) con los componentes prefabricados debe ser de 50 mm. Para las losas superiores que no proporcionen la acción compuesta, el espesor mínimo considerado es de 65 mm.

Figura 48 Construcción compuesta en entrepisos con losa alveolar (Colector)



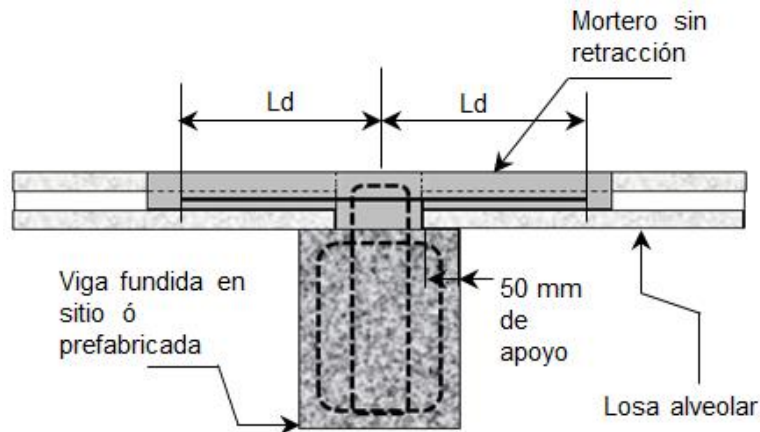
### 7.2.2 Construcción no compuesta

Se le conoce como construcción no compuesta a los sistemas de entrepiso que utilizan componentes prefabricados sin ningún tipo de losa superior fundida en sitio, debido a que estos poseen cierto peralte que les proporciona la suficiente resistencia a flexión.

El reglamento colombiano NSR-10 (C21.11.5) permite un afinado de piso no compuesto construido en sitio sobre componentes prefabricados, pero no existe ninguna acción compuesta entre el afinado y el componente. La función como diafragma la deben proporcionar los componentes prefabricados y sus conexiones estar diseñadas para resistir las fuerzas sísmicas de diseño.

Esta construcción se utiliza en zonas de actividad sísmica baja o moderada, donde la integridad estructural se logra mediante conexiones entre los mismos componentes y los elementos principales de resistencia a cargas gravitacionales y laterales.

Figura 49 Construcción no compuesta en entrepisos con losa alveolar (colector)



Para cualquier tipo de construcción sea compuesta o no, el refuerzo usado deberá en todo momento resistir las fuerzas de corte o tracción en el diafragma y desarrollar  $F_y$ .

### **7.3 ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO DE ENTREPISOS PREFABRICADOS**

Para los sistemas estructurales resistentes a cargas laterales que se han proyectado con componentes prefabricados, es de vital importancia conectar vigas, columnas o muros con la suficiente resistencia y rigidez para aportar ductilidad y estabilidad a toda la estructura. La función del entrepiso será actuar como un diafragma para transferir las fuerzas inerciales del piso a los elementos del sistema de carga lateral.

Los países con asociaciones dedicadas al desarrollo del prefabricado y el estudio del comportamiento sísmico de entrepisos, han logrado emular las conexiones entre componentes como si fueran fundidas en sitio con gran éxito. El análisis estructural de una edificación con entrepisos prefabricados será el mismo utilizado para las convencionales dada la acción de diafragma que garantiza la transferencia de fuerzas a los elementos principales de resistencia sísmica.

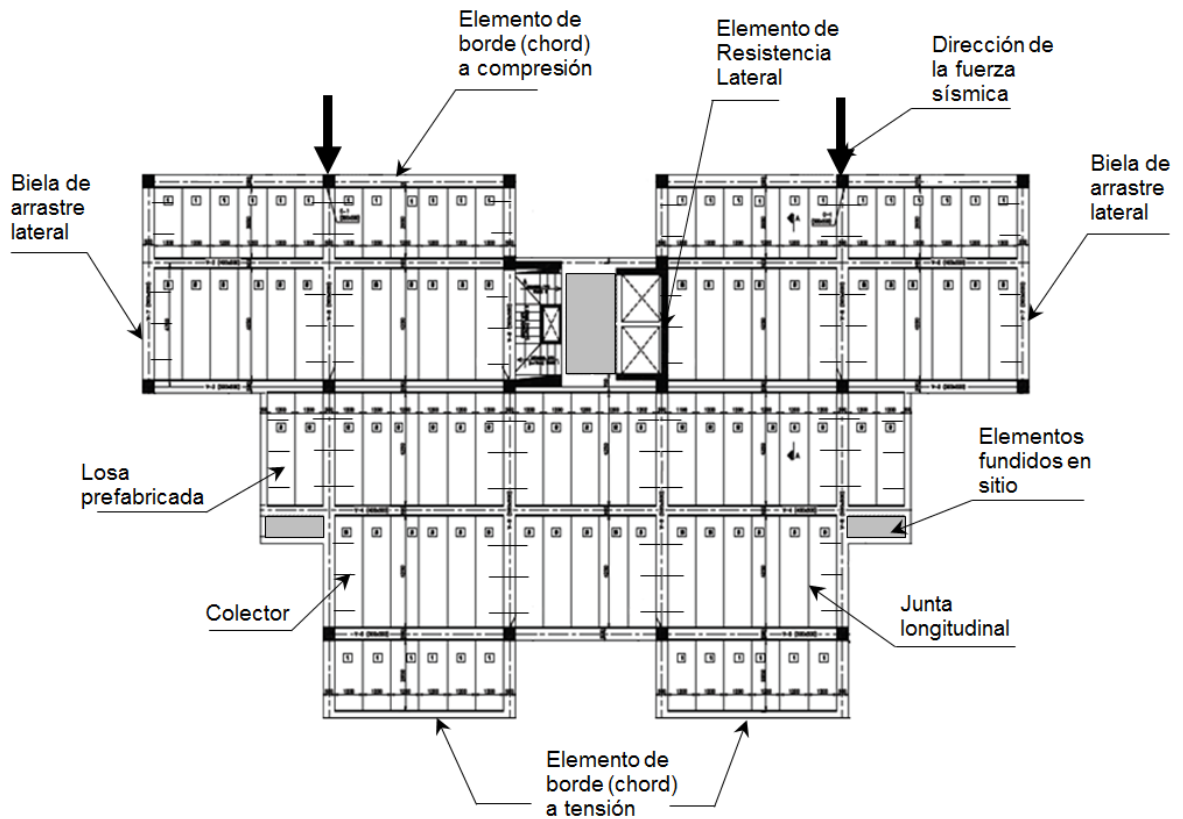
Varios tipos de conexiones entre los componentes del diafragma, han sido desarrolladas con el fin de emular el comportamiento monolítico de los mismos fundidos en sitio. Las conexiones han mostrado comportamientos satisfactorios ante cargas gravitacionales y laterales como los realizados experimentalmente en Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia.

En el caso de diseño de un diafragma con componentes de losa alveolar se utilizan conectores para transmitir las cargas inerciales y garantizar la integridad estructural (NSR-10 C16.5). Estas conexiones deberán obedecer a un diseño propio del análisis de las fuerzas de diseño para el diafragma de acuerdo a la zona sísmica y las características del entrepiso.



### 7.3.1 Elementos constituyentes del diafragma

Figura 50 Elementos constituyentes en diafragma con losas alveolares



Fuente: Ing. Alejandro Carreño

Es posible obtener configuraciones en planta con componentes prefabricados siempre y cuando se posea en el proyecto la adecuada y suficiente planeación, manteniendo desde el principio las condiciones para que la opción de prefabricar un entrepiso sean las adecuadas, como se ha mencionado anteriormente.

No siempre dependiendo del tipo de proyecto, todas las partes del entrepiso podrán ser prefabricadas y se tendrá que fundir en sitio aquellas zonas que por facilidad constructiva lo requieran. Esto se puede presentar en espacios de entrepiso pequeños o zonas con bastantes aberturas en la losa.

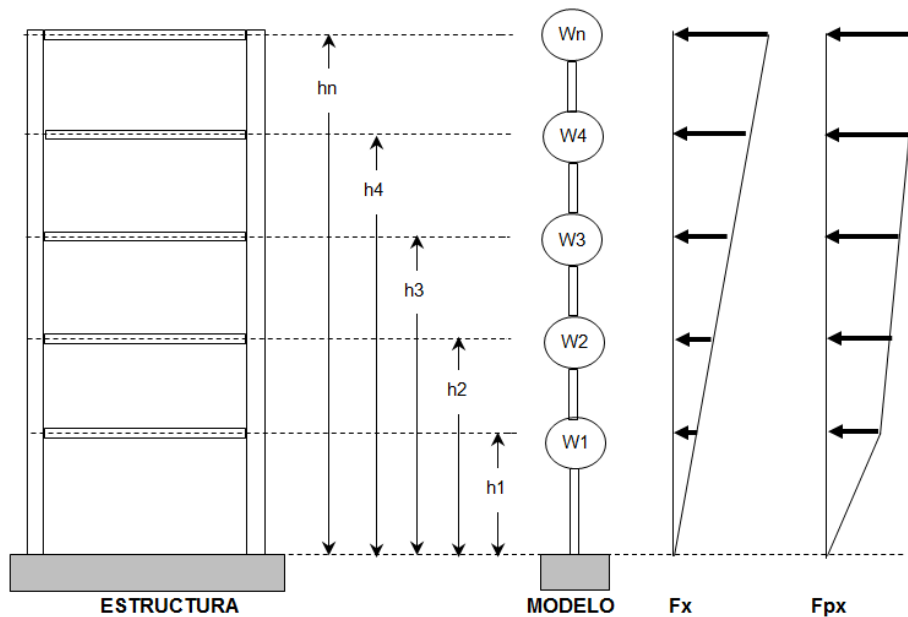
Dentro de los elementos que componen el diafragma de piso se encuentran los siguientes:

- Losa: Elemento que puede ser prefabricado o fundido en sitio. Puede trabajar en una o dos direcciones de acuerdo a sus características y geometría. La losa es la encargada de transmitir las cargas gravitacionales muertas y vivas.
- Colector: Su función es transferir el cortante del diafragma al sistema de carga lateral. Proveer la integridad general mediante una conexión diseñada para tal fin.
- Elemento de Borde (*Chord*): Su función es resistir fuerzas de tensión y compresión provenientes del esfuerzo por flexión en el diafragma. Permite que el diafragma se comporte como una viga horizontal de gran peralte.
- Biela de arrastre (*Drag Strut*): Su función es transferir el cortante que recibe de los conectores a los elementos resistentes a carga lateral de la estructura.
- Junta Longitudinal: Junta orientada paralela a la luz del elemento prefabricado de losa.
- Junta Transversal: Junta orientada perpendicular a la luz del elemento prefabricado de losa

### 7.3.2 Obtención de las fuerzas para diseño de entresijos prefabricados

En el título A del reglamento NSR-10 se consideran los requisitos puntuales para la obtención de las fuerzas de diseño sísmico para los entresijos de edificaciones del medio colombiano, los cuales varían dependiendo de la capacidad de disipación sísmica del sistema estructural.

Figura 51 Fuerzas de piso  $F_x$  y fuerzas amplificadas para diseño de diafragma  $F_{px}$



El diafragma se considera con cierta rigidez en su plano, el cual se asume como rígido o flexible dependiendo de las consideraciones y condiciones geométricas para el entresijo. La irregularidad en planta que presenta cada entresijo de la edificación influye en el análisis del entresijo como diafragma y la obtención de sus fuerzas de diseño.

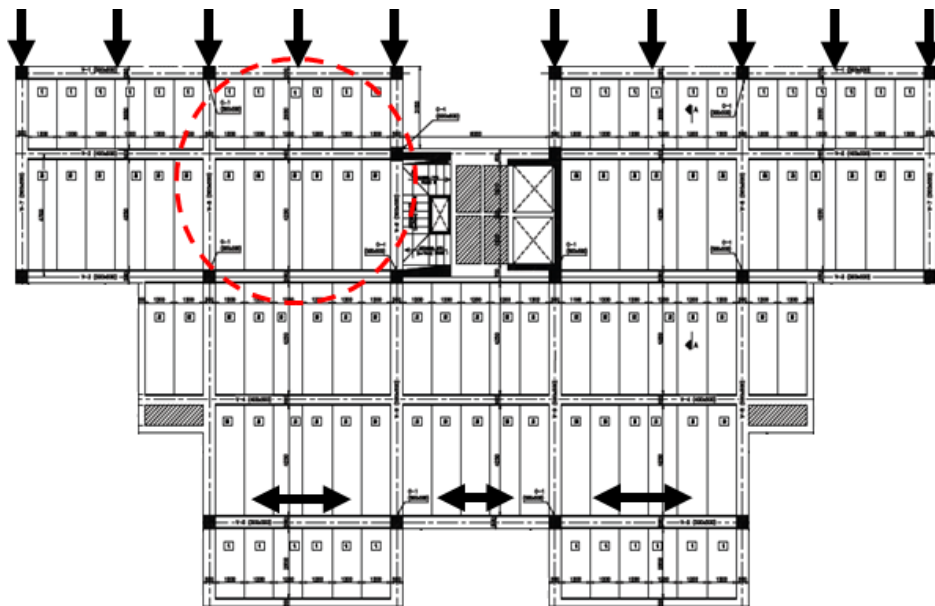
Cada nivel de entresijo de la edificación estará sometido a una aceleración y por lo tanto a una fuerza, en función de la gravedad según los principios de la dinámica estructural. Los requisitos consignados en A.3.6.8 del reglamento NSR-10 y en general del título A, permiten evaluar dichas fuerzas, junto con una amplificación de las mismas para diafragmas estructurales en el medio colombiano; ya sea por métodos como la fuerza

horizontal equivalente o por un análisis de tipo dinámico de la estructura. Con estas fuerzas y las combinaciones de carga vigentes, se diseña el diafragma para las solicitaciones de cortante y momento.

En general todos los diafragmas de piso deben cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Apoyar todos los elementos propios del entrepiso que no hacen parte del sistema de resistencia manteniendo su integridad bajo los movimientos laterales.
- b) Resistir las fuerzas gravitacionales
- c) Transferir las fuerzas laterales desde su punto de aplicación a los elementos o componentes verticales de resistencia sísmica.
- d) Interconectar todos los componentes (prefabricados o no) del sistema con adecuada resistencia, rigidez y tenacidad para que exista integridad estructural.

**Figura 52 Transferencia de fuerzas horizontales en diafragma con losas alveolares**



Fuente: Ing. Alejandro Carreño

La acción de diafragma, en el caso de entrepisos prefabricados se puede lograr de muchas maneras y por lo tanto existen diferentes tipos de conexiones. Todo componente prefabricado para ser utilizado como parte del entrepiso, deberá garantizar la capacidad a fuerzas de flexión, fuerzas de corte, transferencia de esfuerzos, control de fisuración, control de deflexiones y capacidad tanto de carga muerta como carga viva.

Los detalles y tipo de conexiones deben ser considerados en la etapa de planeación entre el equipo de diseño del proyecto y el fabricante de los componentes prefabricados. Además se deben utilizar conexiones que sean avaladas por ensayos con materiales nacionales e instituciones reconocidas del medio, garantizando un comportamiento de tipo monolítico igual o mejor al de las estructuras fundidas en sitio.

Reglamentos y documentos americanos<sup>24</sup> condicionan la utilización de la fuerza horizontal equivalente para calcular la fuerza de diseño sísmica de los diafragmas. Las fuerzas  $F_{px}$  (diafragma) son derivadas por una distribución basada en las fuerzas laterales  $F_i$  (piso). Esta fuerza se incrementa con la altura de la edificación y están limitadas a valores máximos o mínimos dependiendo del peso del entrepiso.

### **7.3.3 Obtención de las fuerzas internas del diafragma**

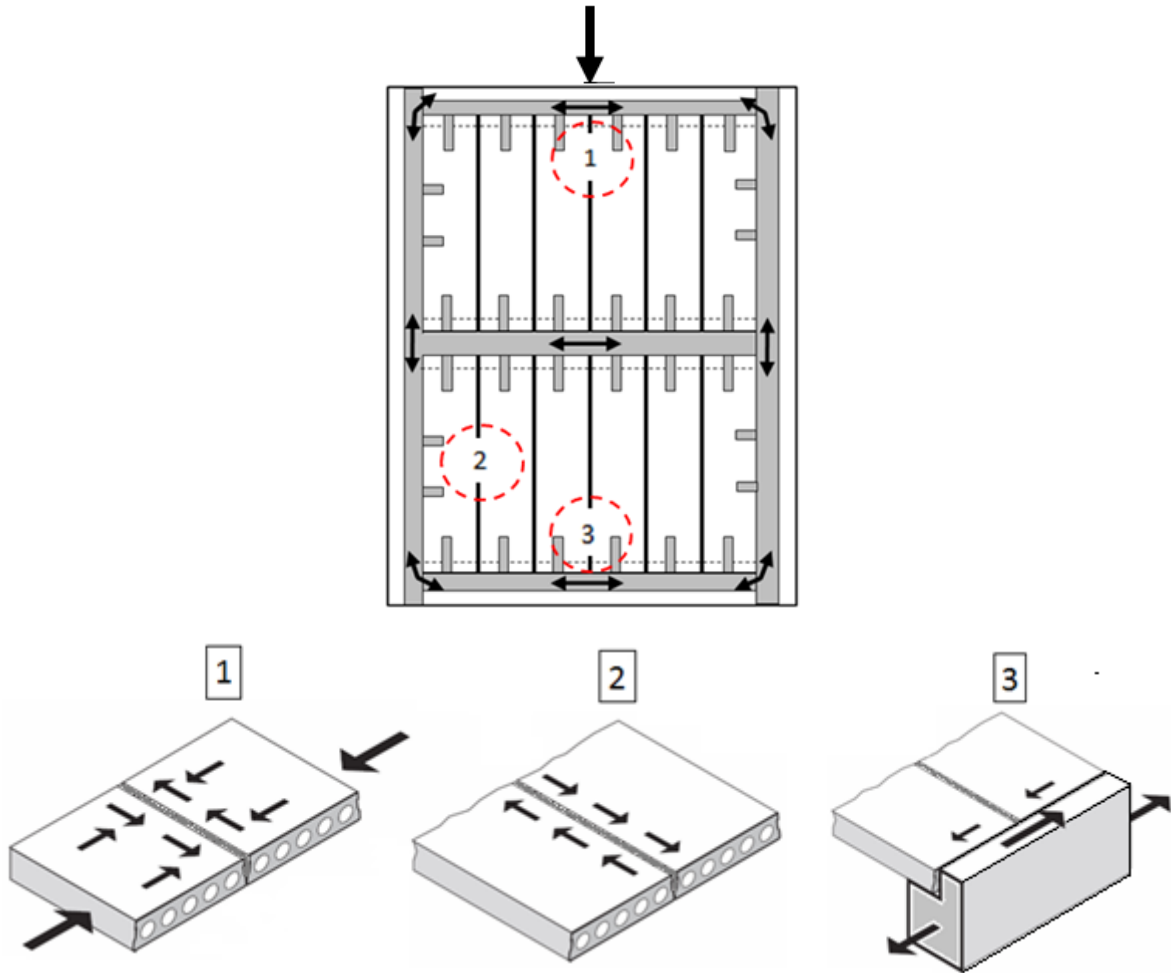
Una vez se calculan las fuerzas correspondientes a cada entrepiso, las mismas se distribuyen a lo largo del diafragma, transformándose en fuerzas de tensión o compresión sobre cada uno de los elementos constituyentes del mismo.

De acuerdo al estado del arte sobre la obtención de fuerzas internas en diafragmas (prefabricados o no), existen ciertas metodologías que son aplicables de acuerdo con las características propias del entrepiso. En la literatura se encuentran formas de evaluación de diafragmas que dependen en gran medida de la irregularidad del entrepiso y que también han evolucionado con el avance tecnológico.

---

<sup>24</sup> *Seismic Design of cast-in place concrete diaphragms, chords, and collectors. A guide for practicing engineers. NEHRP Seismic Design technical Brief No.3. NIST GCR 10-917-4. U.S Department of Commerce.*

**Figura 53 Tensiones y compresiones para diseño de amarres internos por integridad estructural**



**Fuente: Ing. Alejandro Carreño**

Como en la figura anterior, cada zona del entrepiso prefabricado estará sometida a tensiones (horizontales o transversales) y compresiones, las cuales dependerán de la magnitud de las fuerzas de diseño para el entrepiso y de acuerdo con las condiciones mínimas que generen una integridad total del sistema, alineadas al reglamento de construcción.

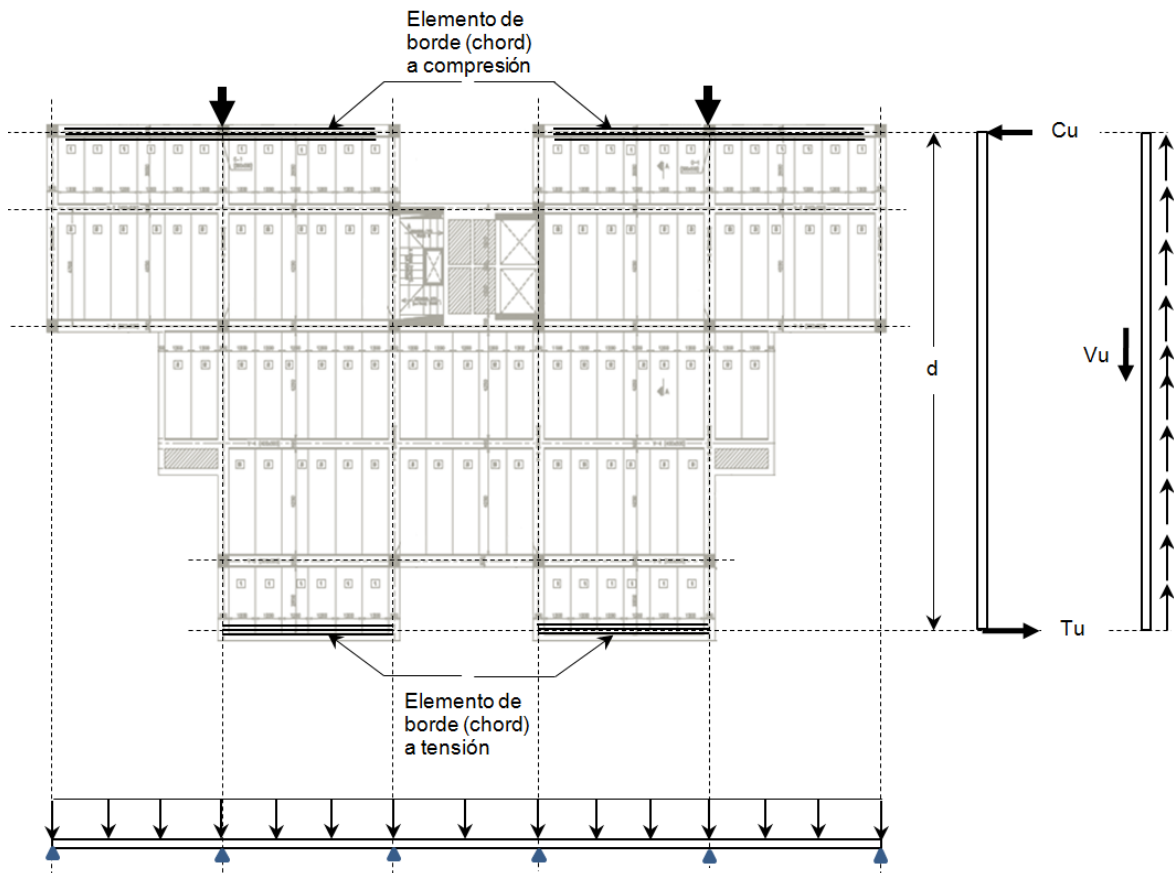
El análisis de fuerzas internas sobre los componentes internos y circundantes para el diafragma se debe realizar para las dos direcciones principales, X y Y dada la incertidumbre de la acción sísmica.

### 7.3.3.1.1 *Método de la viga simple*

En este método, el diafragma puede ser idealizado como una viga simple con zonas de compresión y tensión actuando en los bordes respectivamente. Si el momento actuante en el diafragma es resistido por los bordes, el equilibrio del sistema requiere que el cortante sea distribuido uniformemente a lo largo del diafragma.

Los colectores, como su nombre lo indica, son los encargados de transmitir dicha fuerza de corte a través de la profundidad del diafragma sobre los elementos laterales y finalmente hacia los elementos del sistema de resistencia sísmica de la estructura.

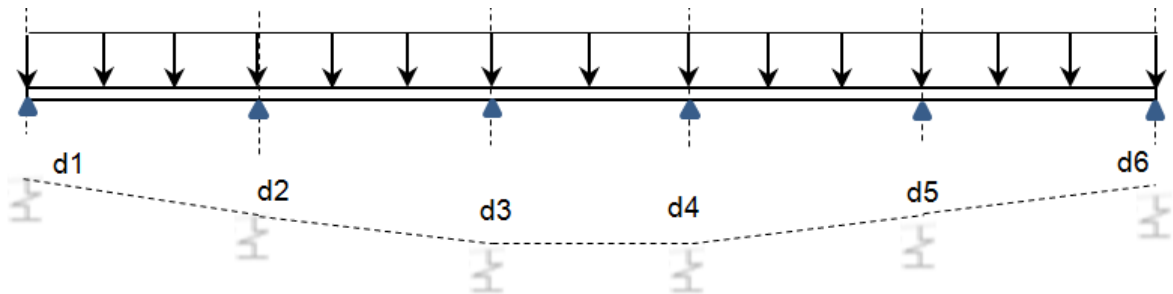
Figura 54 Idealización de viga simple en diafragma de piso



Fuente: Ing. Alejandro Carreño

La idealización de la viga simple es usada generalmente en diafragmas con características y geometrías regulares. Un caso es cuando se idealiza la rigidez de los apoyos en el modelo de viga con resortes, de acuerdo al número de apoyos (columnas o muros) presentes en el eje estructural. Dependiendo de dicha rigidez variará el diagrama de fuerzas internas para flexión y corte del modelo de viga.

De acuerdo al reglamento NSR-10. El diafragma puede suponerse flexible cuando la máxima deflexión horizontal debido a las fuerzas sísmicas es mayor de dos veces el promedio de la deflexión horizontal en cada uno de los elementos verticales



**Ejemplo:**

$\Delta$  máxima = d3 o d4

$\Delta$  promedio = promedio (d1, d2, d3, d4, d5, d6)

Chequeo: Si  $\Delta$  máxima > 2 x ( $\Delta$  promedio), el diafragma se considera flexible, de lo contrario se considera rígido.

**7.3.3.1.2 Método del puntal tensor**

Para geometrías de entrepiso con características irregulares, o con elementos de resistencia sísmica de diferentes rigideces, la transferencia de fuerza a través del diafragma podrá variar significativamente requiriendo de un modelo de análisis diferente al de la viga simple. En estos casos, de acuerdo con códigos americanos como NERRP<sup>25</sup>, si en el diafragma existen discontinuidades representativas se pueden hacer aproximaciones más complejas como el modelo puntal tensor.

---

<sup>25</sup> *Seismic Design of cast-in place concrete diaphragms, chords, and collectors. A guide for practicing engineers. NEHRP Seismic Design technical Brief No.3. NIST GCR 10-917-4. U.S Department of Commerce.*

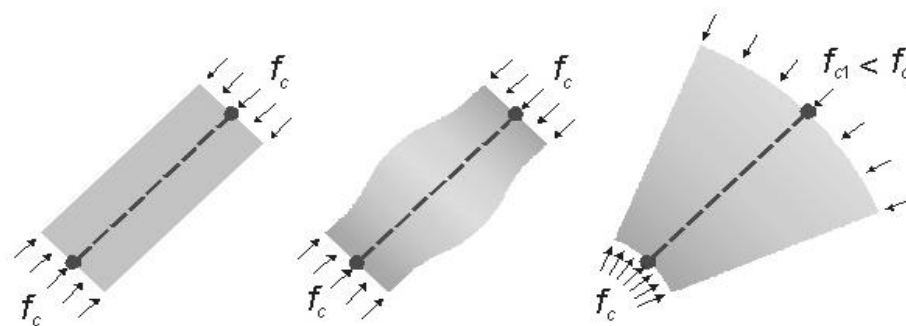


Este modelo es práctico para determinar el flujo de fuerzas a través del diafragma y las demandas de refuerzo sobre las discontinuidades del mismo. Se recomienda un área de refuerzo mínima en los casos en que se utiliza losa de compresión de  $0.0025A_g$ , para aquellos puntos que presenten discontinuidades en el diafragma.

Códigos constructivos de países como Nueva Zelanda (NZS 3101<sup>26</sup>), prescriben el uso del método del puntal tensor como análisis del diafragma y el detallado para las fuerzas internas generadas en geometrías irregulares. Todas las fuerzas de compresión a lo largo y ancho del diafragma se representan por puntales, mientras que las fuerzas de tracción son representadas por elementos tirantes o también llamados tensores, realizando la misma analogía de las vigas de gran peralte.

Los puntales representan zonas de compresión propias para ser resistidas por el concreto, mientras que los tensores representan zonas propias de refuerzo, ya sea por acero convencional o de pretensado. En los casos de diafragmas de componentes prefabricados con losa de compresión, se hace la suposición del agrietamiento del concreto de la losa para que el tirante sea únicamente resistido por el acero de refuerzo.

**Figura 55 Esquema para análisis de esfuerzos en el concreto – modelo puntal-tensor**

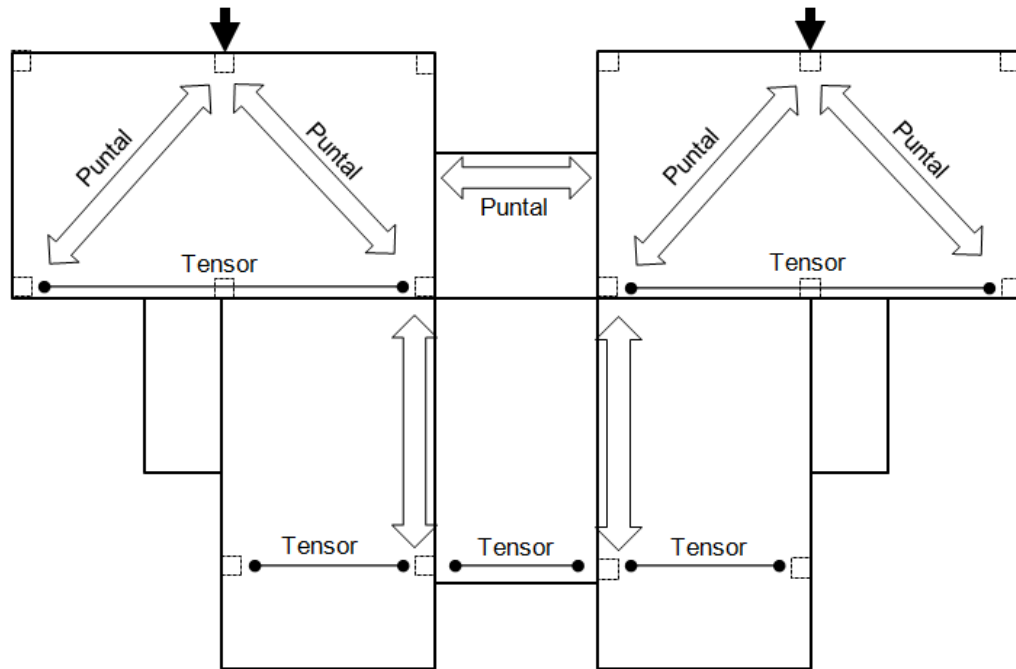


Fuente: PCI

---

<sup>26</sup> Concrete Structures Standard NZS 3101 Standards council 2006. ISBN 1-86975-043-8

Figura 56 Idealización de puntal- tensor en diafragma de piso



### 7.3.3.1.3 *Método de elementos finitos*

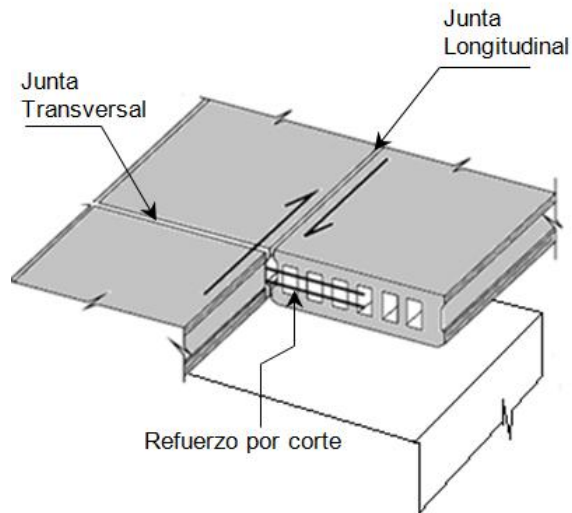
Con esta metodología de análisis del diafragma se pueden obtener las trayectorias de esfuerzos principales en las dos direcciones del entrepiso. En los diagramas de esfuerzos generados, es posible identificar las zonas de compresión y tensión propias de la acción sísmica sobre el diafragma para complementar o corroborar los resultados por el método del puntal-tensor y comprobar el ancho efectivo tanto de puntal como de tensor.

Este método es muy práctico para realizarlo con programas que manejan elementos finitos como el SAP2000 que permiten modelar elementos prismáticos regulares e irregulares tipo membrana.

## 7.3.4 Cálculo del refuerzo por acción de fuerzas internas

### 7.3.4.1.1 Refuerzo por corte

Figura 57 Acción de corte en diafragma con losas alveolares



Fuente: PCI

1. El cortante longitudinal entre componentes prefabricados es transmitido a través de la llave de corte

$$\phi V_n = \phi 0.08 h_n * l \text{ [psi]}$$

$$\phi V_n = \phi 0,55 h_n * l \text{ [MPa]}$$

Dónde:

L = Longitud de la junta bajo consideración

h<sub>n</sub> = Altura neta de la llave de corte

Ø = 0,75

2. Si  $V_u > \phi V_n$ , entonces;

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi f_y \mu}$$

Dónde:

$\mu = 1,00$  para cortante paralelo a la junta longitudinal

$\mu = 1,40$  para cortante paralelo a la junta transversal

3. El cortante horizontal puede ser calculado como:

$$V_h = \frac{Mu}{jd}$$

#### **7.3.4.1.2 Refuerzo por tensión**

1. El refuerzo de la biela es calculado como:

$$A_s = \frac{T_u}{\phi f_y}$$

2. El refuerzo por tensión en el cordón es calculado como:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi 0.8 h f_y}$$

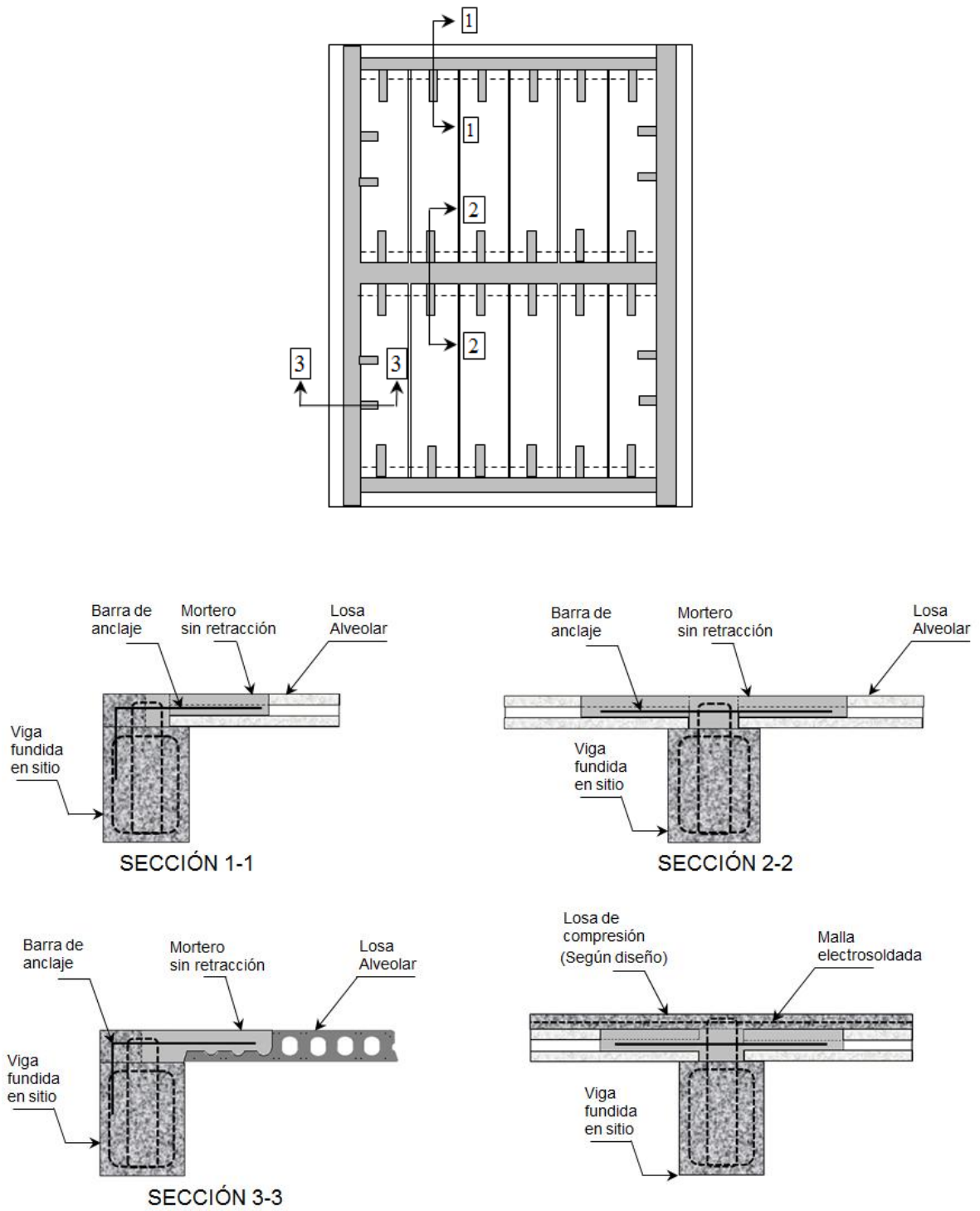
Dónde:

$h$  = profundidad del diafragma en la dirección bajo consideración

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero

$\phi = 0,90$

**Figura 58 Propuesta de refuerzo en entrepiso alveolar con vigas fundidas en sitio utilizadas en Colombia**



**Fuente: Ing. Alejandro Carreño**

## 8. COMPARACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE ENTREPISO

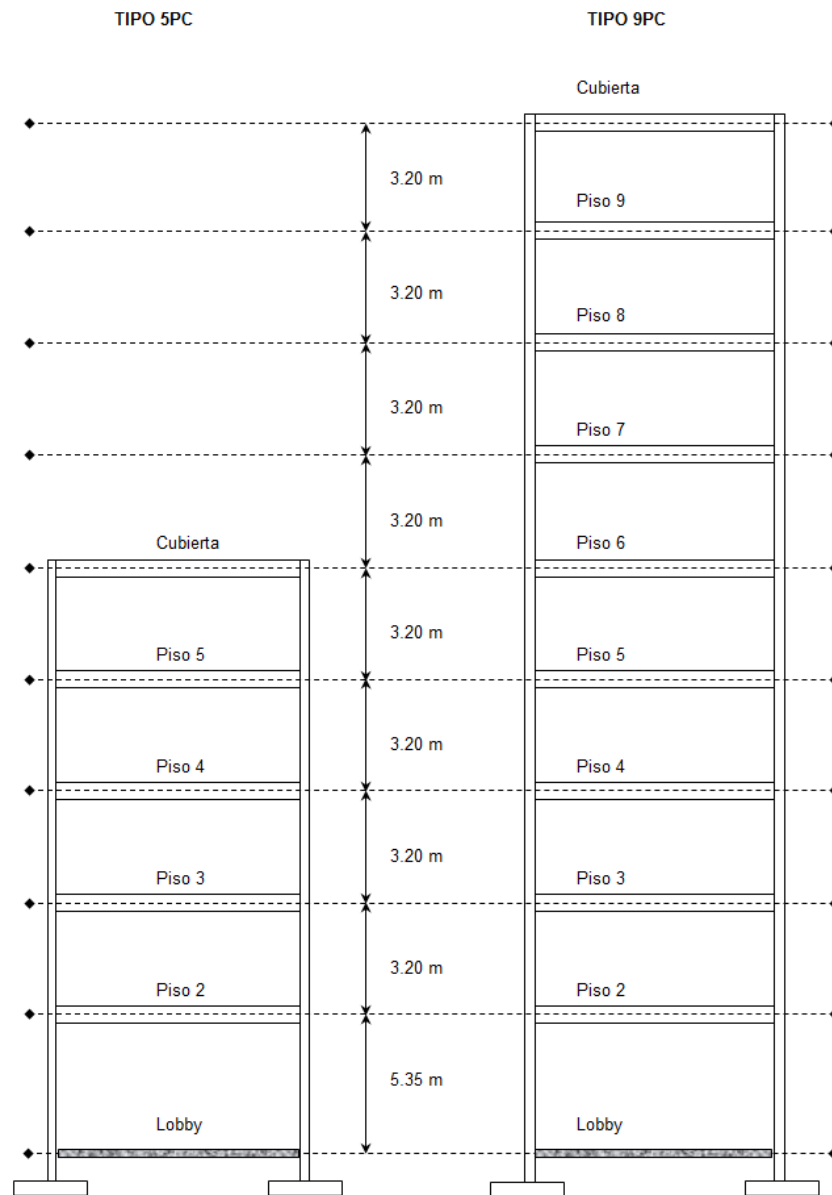
Con el objetivo de tener una visión más clara sobre la influencia de los prefabricados en la práctica de la construcción colombiana, fue necesario comparar el elemento prefabricado representativo del mercado consultando a través de varias firmas constructoras. Se evidenció que el componente prefabricado de uso representativo en el medio colombiano corresponde a las losas alveolares.

Dicho componente se ha utilizado como sistema de entrepiso para edificaciones tradicionales con sistema de resistencia lateral tipo pórticos o sistema dual de concreto reforzado. Lo anterior se ha llevado a la práctica en edificaciones de grandes superficies donde se han percibido las bondades de este componente, pero se hace necesario compararlas frente a otros sistemas de entrepiso tradicionales como los compuestos de losa maciza con vigas descolgadas y los de losa nervada fundidos en sitio.

El sistema de entrepiso de losa maciza con vigas descolgadas junto con el sistema de losa maciza y viguetas, llamado también de losa nervada son dos de los entrepisos más comunes en la práctica de la construcción colombiana utilizados para vivienda u oficinas. Estos sistemas poseen grandes avances en la tecnología de la construcción y la mano de obra, que por su cuenta han mejorado notablemente sus prácticas. Sin embargo, existen ciertos factores cuando se proyectan sistemas de entrepiso prefabricados con losa alveolar con respecto a los tradicionales, que pueden marcar la diferencia al momento de construir, como lo son: la calidad, la eficiencia y el tiempo de construcción de la estructura en un periodo más corto.

Para mostrar la influencia positiva que poseen los componentes prefabricados en la construcción, se planteó una comparación entre la tipología de entrepiso prefabricado con losas alveolares (**E1**) y los entrepisos tradicionales (**E2** y **E3**) mencionados anteriormente. En este sentido y con el fin de abarcar la aplicación de los entrepisos mencionados a diferentes tipologías de edificaciones representativas del país, se definen dos tipos de edificios de la siguiente manera:

**Figura 59 Tipologías de edificaciones para estudio (5PC y 9PC)**



El primer tipo de edificación corresponde a una estructura de 5 entrepisos, que para efectos del trabajo de investigación será llamada **5PC**. El segundo tipo de edificación corresponde a una estructura de 9 entrepisos llamada **9PC** respectivamente. Se ha definido para las dos tipologías de edificación, una altura libre de 2,70 metros y una altura de entrepiso de 0,50 m, de acuerdo a las distancias entre columnas. Lo anterior

corresponde a alturas entre ejes de entresijos de 3,20 metros para el modelamiento estructural.

**Figura 60 Esquema de comparaciones para entresijos con tipologías de edificación**



Los tipos de entresijo **E1**, **E2** y **E3** se describen a continuación desde el punto de vista constructivo.

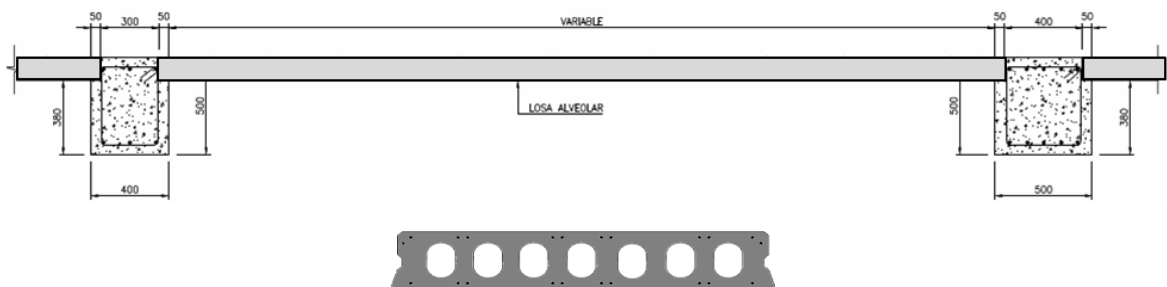


## 8.1 SISTEMA DE ENTREPISO ALVEOLAR (E1)

Este sistema consiste en tener un arreglo de losas pretensadas prefabricadas con superficie plana trabajando en una dirección sin losa de compresión. Las losas alveolares se proyectan del mismo espesor, obedeciendo a un arreglo arquitectónico de los espacios y a un diseño estructural de acuerdo a la luz entre apoyos, el peso propio, las cargas muertas y vivas estipuladas en el reglamento de construcción. Independientemente del arreglo o disposición que se haga de estas losas en el entrepiso, se garantiza en obra hermeticidad, resistencia y rigidez aportando integridad a la conformación del diafragma de piso.

Este componente es autoportante y por lo tanto no requiere de encofrado. En el mercado colombiano se consiguen losas desde 0,08 m a 0,25 m de espesor. Las losas alveolares se pueden apoyar simplemente sobre muros o vigas sin ningún tipo de apuntalamiento abarcando gran cantidad de área y proporcionando espacios de trabajo útiles para el operario. Para nuestro caso de estudio las losas alveolares se apoyarán sobre vigas fundidas en sitio las cuales se diseñan para tal fin.

**Figura 61 Sección transversal del sistema de entrepiso alveolar (E1)**



Una característica importante de las vigas para este sistema de entrepiso se encuentra en sus recubrimientos, los cuales se deberán estipular desde el diseño de 0,05 m para proveer un adecuado apoyo al componente alveolar y por lo tanto modificando el ancho del estribo en su diseño. La característica principal de este sistema de losas prefabricadas y vigas fundidas en sitio obedece a sus etapas para fundir el concreto.

Como primera medida se efectúa un armado tradicional de las vigas que componen el entrepiso de la edificación, hasta que las mismas, en la primera etapa de fundida alcanzan la resistencia necesaria para apoyar las losas prefabricadas. Una vez que las losas se encuentran debidamente posicionadas de acuerdo a los planos estructurales, se colocan los refuerzos adicionales (colectores) propios del diseño, con el fin de lograr amarre y una acción de diafragma. Posteriormente se vierte el concreto de segunda etapa logrando una superficie plana y uniforme. Dependiendo del diseño y del grado de disipación de energía de la edificación, se utiliza una losa superior sobre las losas alveolares denominada capa de compresión o “*topping*”. Para el caso, en zona sísmica intermedia se concibe el entrepiso sin esta losa.

De esta manera el único vaciado de concreto propio de este arreglo corresponde a las vigas de apoyo y el llenado de juntas entre componentes alveolares. El tipo de conexión híbrida de losas alveolares pretensadas prefabricadas sobre vigas fundidas en sitio, ha funcionado con bastante éxito en el medio colombiano logrando una aplicación considerable de la misma en importantes proyectos de edificación. La fabricación de estas losas de gran calidad ya se encuentra industrializada.

**Figura 62 Armado del sistema de entrepiso alveolar apoyado sobre vigas fundidas en sitio**



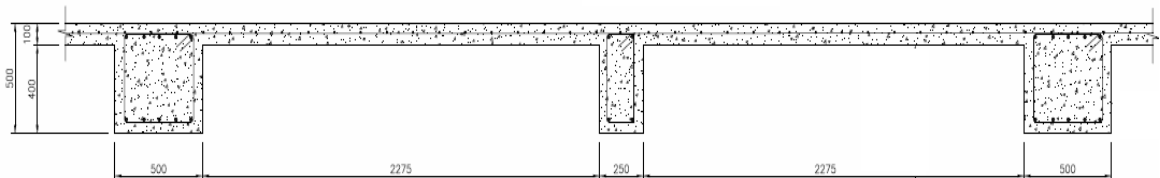
**Fuente: Manufacturas de cemento. TITAN**

## 8.2 SISTEMA DE ENTREPISO LOSA MACIZA CON VIGAS DESCOLGADAS (E2)

Este sistema se compone de una losa maciza fundida en sitio la cual trabaja en una dirección apoyada directamente sobre las vigas que conforman el entrepiso de la edificación. En función de la luz y las cargas (muerta y viva) se define un espesor de losa, el cual puede variar dependiendo del diseño estructural. En general la losa maciza lleva un refuerzo en malla de alambre electrosoldado el cual se funde como un todo junto con las vigas de apoyo.

El sistema se caracteriza por el uso de formaletas para la conformación de las vigas y casetones de aligeramiento para apoyar la losa maciza. Se debe garantizar la hermeticidad de la formaleta para impedir el escape de finos del concreto. El vaciado de la losa debe ser continuo, sin que se formen juntas horizontales entre las vigas y la losa. Así mismo su curado debe ser continuo y constante.

**Figura 63 Sección transversal del sistema de entrepiso losa maciza y vigas descolgadas (E2)**



**Figura 64 Entrepisos de losa maciza con vigas descolgadas**



**Fuente: Ing. Alejandro Carreño**

**Figura 65 Formaletas y casetones en entrepisos de losa maciza y vigas descolgadas**



**Fuente: Ing. Alejandro Carreño**

La logística de armado de este tipo de entrepiso obedece a las siguientes actividades:

1. Colocación de la “camilla” o superficie de trabajo: En la construcción tradicional colombiana, el uso de la camilla obedece a una serie de tablones de madera o

sintéticos sobre los cuales se conforma toda la superficie de trabajo de los obreros. Esta superficie se apoya sobre parales metálicos o de madera, espaciados de acuerdo al ancho del tablón.

2. Colocación de formaleta para las vigas perimetrales: Esta actividad consume un tiempo considerable, ya que la formaleta debe quedar hermética, limpia y libre de polvo para fundir el concreto. A su vez se conforman los llamados “testeros”, que consisten en apoyos laterales, para darle rigidez a la formaleta y evitar que se desplace o colapse cuando se vierte el concreto.
3. Armado del refuerzo de vigas principales y secundarias: En la construcción tradicional el armado del acero de refuerzo se realiza en varios frentes de trabajo y de acuerdo a los planos estructurales.
4. Colocación de casetones: Dependiendo de los cuidados que se tengan en obra, la vida útil de los casetones se puede extender utilizándolos en la conformación de hasta tres o más entresijos. Las dimensiones de los casetones son variables, dependiendo del espaciamiento entre vigas secundarias y generalmente mayores a 1,20 metros. Un uso muy común en el medio colombiano, es el del casetón en poliestireno expandido como material aligerante debido a su versatilidad, bajo peso, baja conductividad térmica y baja absorción de agua.
5. Colocación de la malla de alambre electrosoldado: Se realiza de acuerdo a planos estructurales. Generalmente esta malla proporciona el área de refuerzo necesaria por diseño de la losa maciza. Sus paneles de alambres (grafiles) vienen estandarizados en dimensiones de 2,35 x 6,00 metros, y por lo tanto se deben traslapar unos a otros o cortarlos si es necesario. En algunos casos se coloca malla en la parte superior e inferior de la losa dependiendo de las solicitudes de la misma.

6. Fundida del entrepiso: Esta actividad se pueden realizar solamente si el entrepiso inferior o de apoyo ya adquirió la resistencia necesaria para tal fin. El vibrado de la losa y en general de los componentes de concreto juega un papel fundamental donde se debe asegurar que se conserven los recubrimientos estipulados en los planos constructivos.

**Figura 66 Camillas y casetones de poliestireno expandido comúnmente utilizados en el medio**



**Fuente: Ing. Alejandro Carreño**

### **8.3 SISTEMA DE ENTREPISO DE LOSA NERVADA (E3)**

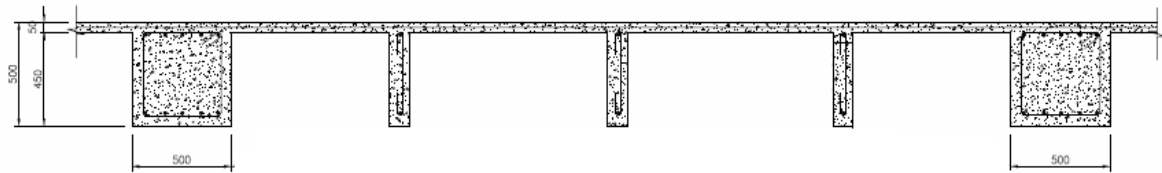
Este sistema se compone de una losa maciza apoyada sobre una serie de nervios o viguetas que se encuentran espaciadas a una distancia no mayor a 1,20 metros y fundidas in situ. Generalmente y durante un periodo de tiempo considerable, en el país se realizaban construcciones con este sistema de entrepiso con dos losas, una superior y una inferior. En la mayoría de los casos, la losa superior puede tener dimensiones hasta de 0,05 metros de espesor para separaciones entre viguetas de 1,20 metros. La losa

inferior conocida como “loseta” inferior, se estipulaba de 0,03 metros de espesor y era utilizada en la mayoría de edificaciones hasta la aparición del cielorraso.

En la actualidad son muy pocas las construcciones con entrepisos aligerados que utilizan esta loseta inferior, pero en general la aplicación de entrepisos con losa nervada es extensa en el país, con diferentes tipos de materiales para el aligeramiento que van desde ladrillos prefabricados hasta casetones de acero, madera, guadua o poliestireno expandido dependiendo del tipo de proyecto.

Para efectos de nuestro entrepiso en estudio utilizaremos un sistema de losa nervada con separaciones máximas de viguetas de 1,20 m fundidas in situ, teniendo como aligeramiento casetones en poliestireno expandido. Este casetón se considera recuperable siendo el más utilizado porque no se pandea y bajo cuidado no permite filtraciones o roturas.

**Figura 67 Sección transversal del sistema de entrepiso con losa nervada (E3)**



**Figura 68 Armado de entepiso de losa nervada con casetón recuperable**



**Fuente: Internet**

**Figura 69 Edificación con entepiso de losa nervada con casetón no recuperable.**



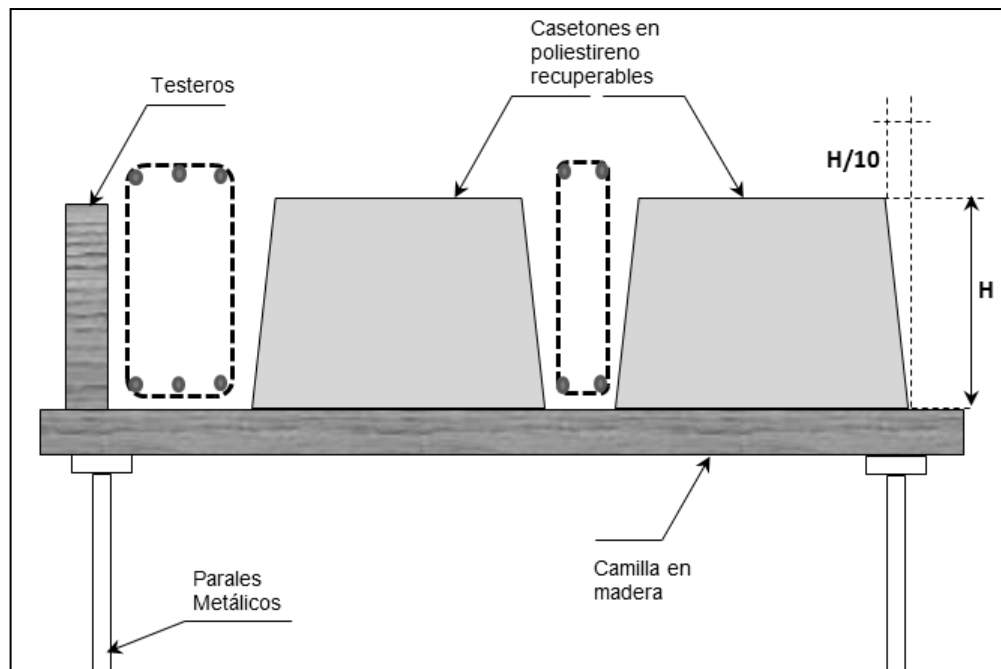
**Fuente: Internet**



Tanto para el sistema de entepiso **E2** como para el sistema de entepiso **E3**, el uso de casetones en poliestireno expandido es una de las prácticas más comunes en nuestro medio para considerar aligeramiento; ya que su fabricación se encuentra industrializada, son de fácil adquisición y poseen gran versatilidad y flexibilidad a la hora de adaptarse a cualquier proyecto de edificación.

El uso de casetones en la obra implica intrínsecamente procesos de mano de obra asociados a su colocación, extracción y limpieza. Se debe forrar el casetón con polietileno (plástico) antes de ser colocado para evitar la adherencia con el concreto. Así mismo, para su recuperación se inyecta aire comprimido con el fin de desprenderlo fácilmente. La forma del casetón debe ser trapezoidal con una pendiente del 8% al 10% de su altura.

**Figura 70 Esquemas de construcción tradicional con casetones en poliestireno expandido comunes del medio.**



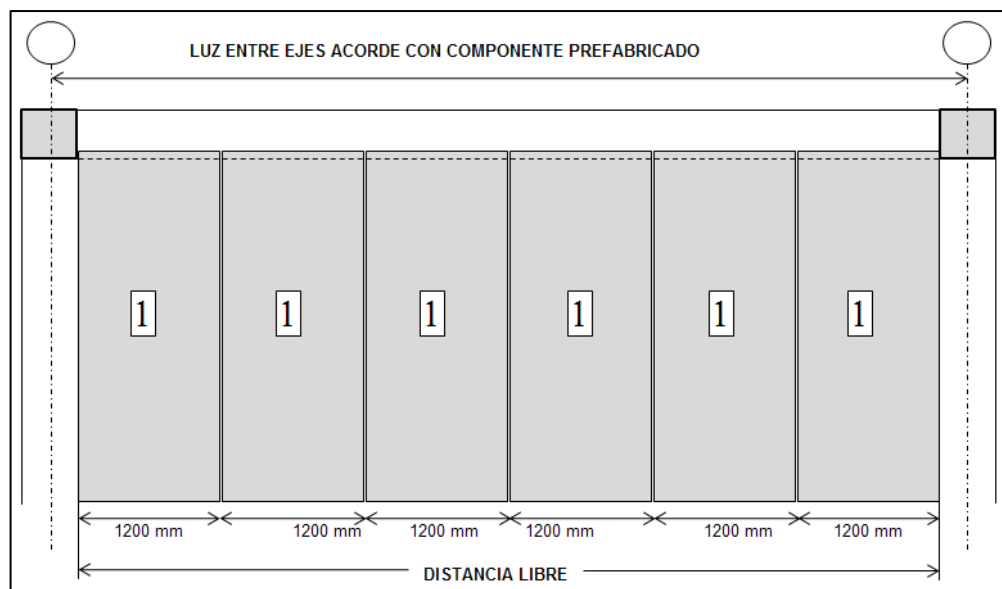
Fuente: Ing. Alejandro Carreño

#### 8.4 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES (5PC Y 9PC)

El análisis de los modelos estructurales y en general de las edificaciones comienza por una definición de la planta típica junto con la modulación arquitectónica de la misma, basándose en el componente prefabricado de losa alveolar de 1,20 metros de ancho.

El proceso implicó una interacción entre arquitectura y estructura con el fin de conseguir la mejor eficiencia, repetición de componentes y ortogonalidad en el trazado de los ejes estructurales. La idea central de este primer análisis de la configuración en planta, es poder obtener una distribución de losas alveolares exacta de principio a fin en sentido transversal y con el mismo ancho estándar. En la mayoría de las edificaciones en el territorio nacional se manejan distancias entre ejes de columnas de más de 7,50 metros de acuerdo al espaciamiento entre parqueaderos en la zona de sótanos. Generalmente y de acuerdo a la arquitectura, se deja el espacio para tres vehículos, lo que implica distancias libres entre ejes mínimas de 7,20 metros. Para el componente prefabricado de losa alveolar que se fabrica en el país cuya dimensión transversal es de 1.20 m, la cantidad de losas es de 6 unidades como mínimo.

Figura 71 Distribución en planta de losas alveolares del mismo ancho entre ejes

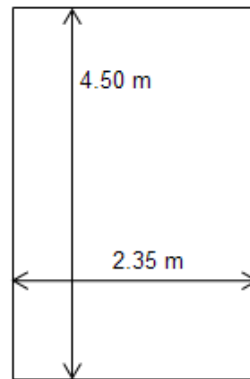


Fuente: Ing. Alejandro Carreño

Realizando un ejercicio de espaciado según el número de losas alveolares a colocar, se pueden definir los espacios para parqueaderos y por consiguiente las distancias entre ejes estructurales siguiendo los lineamientos arquitectónicos anteriormente descritos.

**Figura 72 Dimensiones arquitectónicas para espacio de vehículo en parqueaderos**

**Parqueadero Típico  
(Arquitectura)**



**Fuente: Ing. Alejandro Carreño**

Tabla 7. Valoración de distancias libre y entre ejes con losas alveolares

<b>6 Losas Alveolares</b>			
<b>Dimensión Columna</b>	<b>Distancia Libre</b>	<b>Distancia entre Ejes</b>	<b>No. de Parqueaderos</b>
0.35 m	7.20 m	7.55 m	3
0.40 m	7.20 m	7.60 m	3
0.45 m	7.20 m	7.65 m	3
0.50 m	7.20 m	7.70 m	3
0.55 m	7.20 m	7.75 m	3
0.60 m	7.20 m	7.80 m	3
0.65 m	7.20 m	7.85 m	3
0.70 m	7.20 m	7.90 m	3
0.75 m	7.20 m	7.95 m	3

<b>7 Losas Alveolares</b>			
<b>Dimensión Columna</b>	<b>Distancia Libre</b>	<b>Distancia entre Ejes</b>	<b>No. de Parqueaderos</b>
0.35 m	8.40 m	8.75 m	3.6
0.40 m	8.40 m	8.80 m	3.6
0.45 m	8.40 m	8.85 m	3.6
0.50 m	8.40 m	8.90 m	3.6
0.55 m	8.40 m	8.95 m	3.6
0.60 m	8.40 m	9.00 m	3.6
0.65 m	8.40 m	9.05 m	3.6
0.70 m	8.40 m	9.10 m	3.6

<b>8 Losas Alveolares</b>			
<b>Dimensión Columna</b>	<b>Distancia Libre</b>	<b>Distancia entre Ejes</b>	<b>No. de Parqueaderos</b>
0.35 m	9.60 m	9.95 m	4
0.40 m	9.60 m	10.00 m	4
0.45 m	9.60 m	10.05 m	4
0.50 m	9.60 m	10.10 m	4
0.55 m	9.60 m	10.15 m	4
0.60 m	9.60 m	10.20 m	4
0.65 m	9.60 m	10.25 m	4
0.70 m	9.60 m	10.30 m	4

Se concluye que para luces desde 7,50 hasta 8,00 metros se pueden obtener perfectamente 3 espacios de parqueaderos colocando 6 losas alveolares. Entre 8,75 y 9,10 metros se obtienen también 3 espacios para parqueaderos pero con un espacio adicional que puede ser utilizado como depósito colocando 7 losas alveolares. Solamente se obtiene el espacio para 4 parqueaderos entre luces de 9,95 a 10,30 metros colocando 8 losas alveolares.

Una vez obtenida la planta estructural con las distancias entre ejes definidas basadas en el entrepiso con losas alveolares **E1**, se logró definir el borde del entrepiso que servirá como base para realizar la configuración de planta en las otras dos tipologías **E2** y **E3**, losa maciza de espesor 0,10 m con vigas descolgadas y losa maciza de espesor 0,05 m con viguetas descolgadas respectivamente.

De esta manera se obtuvieron tres configuraciones en planta con igual área de borde pero con sistemas constructivos de entrepiso diferentes que son comparables. El área de borde para las alternativas en estudio es de 588,51 m<sup>2</sup>.

Las tres alternativas de entrepiso con la misma área, aplicadas en las edificaciones tipo **5PC** y **9PC**, se compararon por metro cuadrado y por metro cúbico con el fin de visualizar la influencia del prefabricado en la concepción y construcción de edificios con distancias arquitectónica y estructuralmente viables que son representativas del sector constructivo nacional.

Como base para realizar la comparación de las edificaciones, se definieron unos parámetros comunes a las tres alternativas de entrepiso y a los 6 modelos de edificación derivados. Los modelos de edificación están ubicados en la misma zona sísmica y tienen el mismo sistema de resistencia tanto para cargas gravitacionales como para cargas laterales. A su vez los materiales constituyentes de elementos estructurales como vigas, columnas y pantallas es el mismo.

#### 8.4.1 Parámetros para análisis sísmico

Las edificaciones propuestas de esta investigación se ubicaron en la ciudad de Bogotá, en la zona Lacustre-200 de acuerdo al mapa de microzonificación sísmica de la ciudad, con un uso para oficinas. Al considerar la carga viva de oficinas, intrínsecamente se contempla la carga viva para vivienda. A continuación se definen los parámetros sísmicos para el espectro de diseño de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Tabla 8. Parámetros para análisis sísmico de las edificaciones en estudio

PARÁMETROS PARA ANÁLISIS SÍSMICO	
Ciudad:	Bogotá D.C
Zona de Microzonificación Sísmica:	Lacustre-200
Aa:	0,15
Av:	0,20
Fa:	1,20
Fv:	3,50
Grupo de Uso:	I
Coefficiente de importancia (I):	1,0
TC (seg):	1,87
TL (Seg):	4,00
Sa:	0,45

Fuente: Microzonificación Sísmica para Bogotá

#### 8.4.2 Materiales

Tanto para las vigas como para las columnas y pantallas en las edificaciones, se estableció una resistencia a la compresión del concreto de 35 MPa. Esta resistencia se basa en la premisa de que una estructura debe ser durable, considerando todos los

posibles factores de degradación o deterioro que se deben tener presentes en cada una de las etapas de diseño, ejecución, mantenimiento y servicio de la misma.

Las losas alveolares como componentes pretensados y prefabricados, se consiguen fácilmente en el mercado nacional con resistencias a la compresión de 60 MPa. Esta elevada resistencia del componente prefabricado aporta a los entresijos en estudio y en general a la obra una durabilidad excepcional, incluyendo todas las ventajas inherentes de los prefabricados mencionadas anteriormente. Su refuerzo, como se describió en capítulos anteriores está constituido por cables con altas resistencias a tracción.

**Tabla 9. Materiales utilizados en las edificaciones en estudio**

<b>MATERIALES</b>	
Concreto Columnas:	$f'c = 35 \text{ MPa}$
Concreto Pantallas:	$f'c = 35 \text{ MPa}$
Concreto Vigas o Viguetas:	$f'c = 35 \text{ MPa}$
Concreto Losa Alveolar (Componente Pretensado):	$f'c = 60 \text{ MPa}$
Acero de refuerzo:	$f_y = 420 \text{ MPa}$

### 8.4.3 Cargas

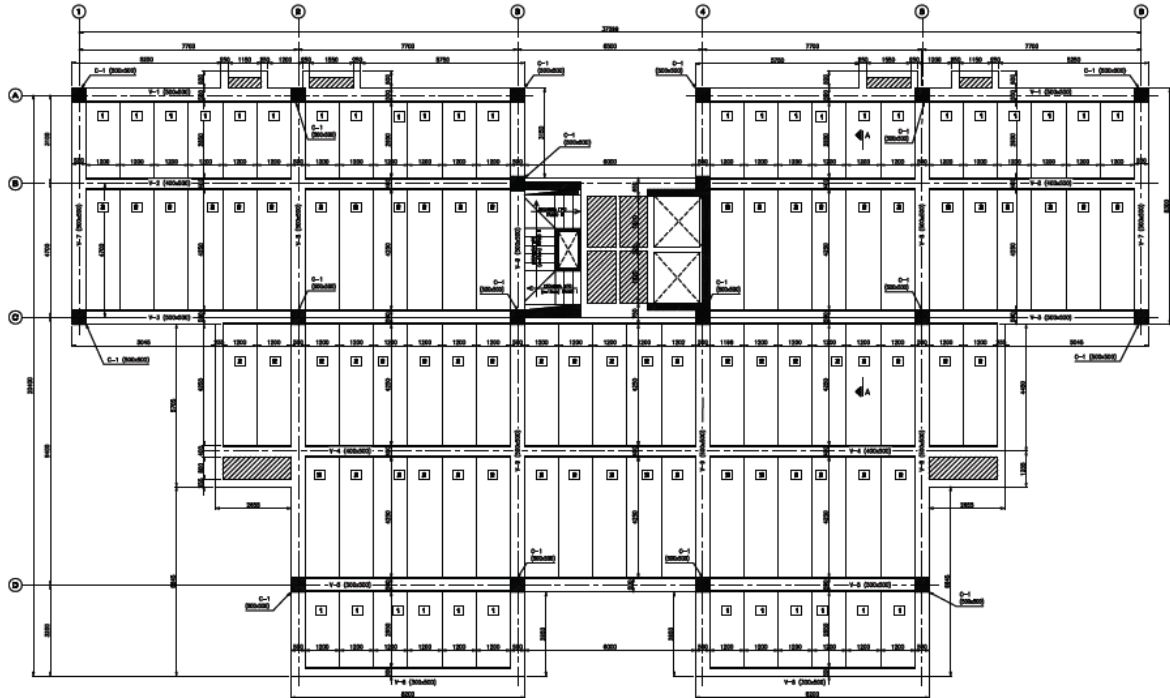
Se estableció carga viva propia de oficinas para las tres alternativas de entresijo. Como carga muerta sobre impuesta, se establecieron cargas para acabados, así como la carga mínima de muros divisorios estipulada en el reglamento NSR-10 en su título B. Los modelos estructurales contemplan y cuantifican de acuerdo a la densidad del material el peso propio de los componentes de acuerdo a la geometría de los mismos.

**Tabla 10. Cargas vivas y muertas utilizadas en las edificaciones en estudio**

<b>CARGAS EN ENTREPISO</b>	
Carga Viva (L): (Uso Oficinas):	2,0 kN/m <sup>2</sup>
Carga Acabados:	1,0 kN/m <sup>2</sup>
Carga Muros divisorios:	3,0 kN/m <sup>2</sup>

#### 8.4.4 Entrepiso (E1): Losa alveolar e = 0,12 m

Figura 73 Planta Tipo – Entrepiso Alveolar (E1)



Como se ha mencionado anteriormente, la concepción del entrepiso **E1** con componentes de losa alveolar surgió de la interacción entre arquitecto y diseñador estructural basada en el componente prefabricado. El espesor de la losa alveolar de 0,12 m (e equivalente = 0,075 m) se obtuvo de un análisis de esfuerzos en el concreto por transferencia de carga del preesfuerzo, verificaciones ante cargas de servicio, verificaciones ante cargas últimas, la distancia de apoyo de la losa y la luz entre vigas de apoyo.

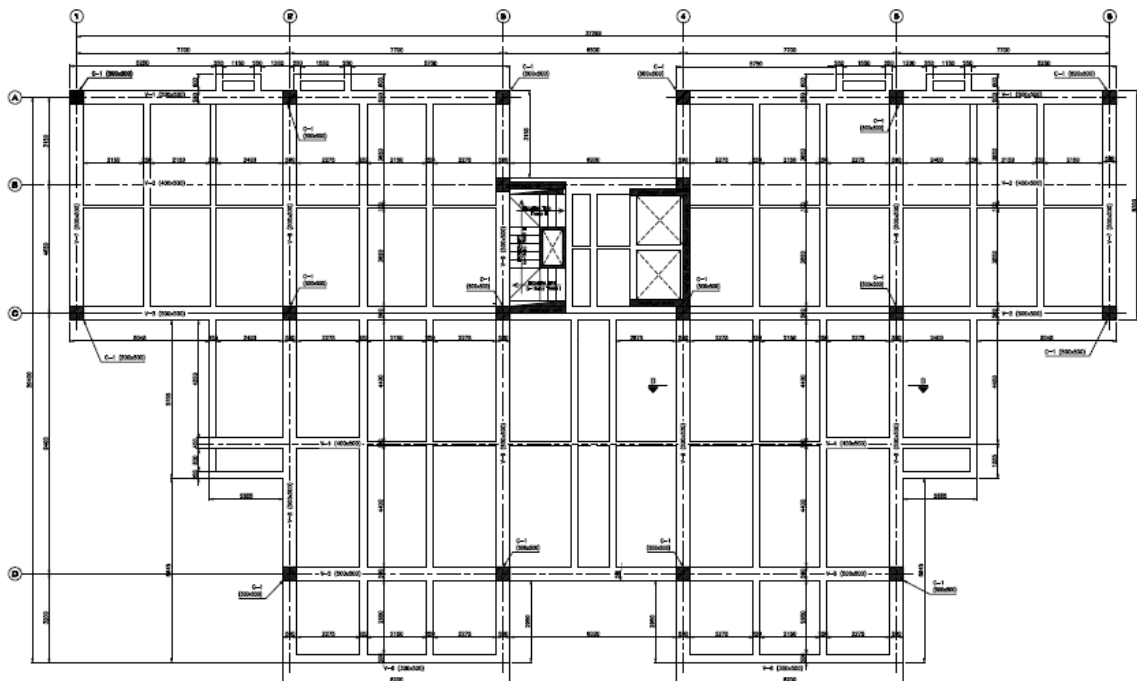
El entrepiso posee 6 ejes en sentido X con distancias entre los mismos de 7,70 metros para ubicar 6 losas alveolares de ancho estándar 1,20 metros. En el centro del entrepiso en dirección X existe una distancia entre ejes de 6,50 metros para disposición de 5 losas. En el sentido Y, se tienen 4 ejes con distancias de 3,10, 4,70 y 9,40 metros respectivamente. El entrepiso termina en un voladizo a una distancia de 3,20 metros



desde el eje. De acuerdo al trazado de vigas de apoyo de las losas alveolares que trabajan en sentido Y, se proyectaron dos tipos de longitud de losa alveolar los cuales son típicos para todo el entreciso. Sus longitudes son de 2,75 metros para la tipo 1 y de 4,35 metros para la tipo 2; con 36 y 62 unidades respectivamente.

#### 8.4.5 Entreciso tradicional (E2): Losa $e = 0,10$ m y vigas descolgadas

Figura 74 Planta Tipo – Entreciso tradicional losa  $e = 0,10$  m (E2)



Para el entreciso **E2** se proyectó una losa maciza de 0,10 m de espesor de acuerdo a un diseño estructural de la misma, basado en las cargas vivas y muertas descritas anteriormente. Esta losa se apoya sobre vigas de espesor 0,25 m salvando una luz máxima de 2,40 metros. La losa trabaja en una dirección en sentido X.

Como es conocido en la práctica nacional, para este tipo de construcción tradicional se considera un elemento tipo viga que no lleva carga llamada riostra, la cual funciona como amarre del sistema de losa maciza y vigas descolgadas en el sentido ortogonal a ellas.



Con las plantas estructurales definidas y los respectivos análisis y diseños realizados se lograron obtener diferencias entre los entrepisos y finalmente diferencias entre las edificaciones, en cuanto a cantidades de materiales (concreto y acero); y una reducción considerable en los tiempos de ejecución de obra. El análisis y diseño estructural se basó en los lineamientos y requerimientos mínimos consignados en el Reglamento de construcción NSR-10.

Desde el punto de vista estructural y considerando los tres tipos de entrepiso, el estudio contempló la realización de tres modelos computacionales en el programa ETABS, con el fin de evaluar aspectos que demuestren cuantitativamente las diferencias entre un edificio con entrepiso de losa alveolar y los edificios con entrepisos tradicionales del medio colombiano.

**Tabla 11. Definición de los modelos computacionales en el programa ETABS**

<b>MODELO</b>	<b>ENTREPISO</b>	<b>EDIFICACIÓN</b>	
ME1	E1: ALVEOLAR e = 0,12 m	5PC	9PC
ME2	E2: TRADICIONAL LOSA e=0,10 m	5PC	9PC
ME3	E3: TRADICIONAL LOSA e=0,05 m	5PC	9PC

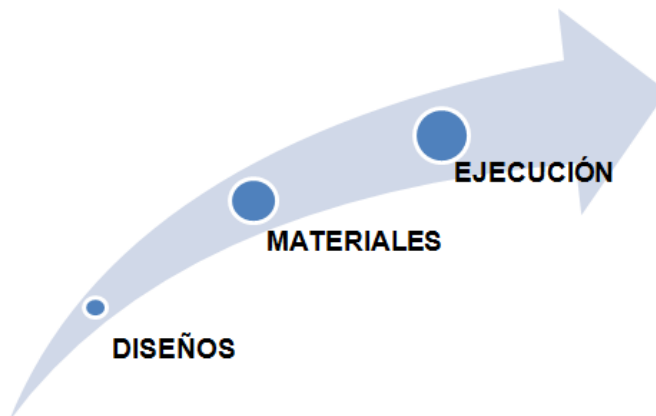
Las alturas de las edificaciones y a su vez de los modelos computacionales, se basaron en la práctica constructiva de la ciudad de Bogotá para edificaciones con sistema de resistencia sísmica tipo dual.

## 9. COMPARACIÓN DEL PREFABRICADO A TRAVÉS DE LAS ETAPAS DE LA CONSTRUCCIÓN

Si bien se ha mencionado en este trabajo de investigación, las etapas a nivel global en la construcción son independientes del sistema estructural y del sistema de entrepiso utilizado en las edificaciones. Estas etapas del proceso constructivo constituyen una cadena de valor que al final determinan si un proyecto genera un impacto positivo tanto para el dueño del mismo como para todos los involucrados. Existe una etapa inicial cuando la idea del proyecto se desarrolla y los requerimientos del cliente son definidos con el fin de empezar a materializarlos. Es en esta etapa, donde se definen los alcances del proyecto y se realizan proyecciones sobre el retorno de la inversión con su construcción. Finalmente todo proyecto de construcción prestará un servicio que de una u otra manera beneficia tanto a inversionistas, constructores y usuarios generando una cadena de valor.

Una vez los lineamientos principales del cliente han sido definidos, se procede de lleno a materializar estas ideas en una serie de pasos, los cuales se pueden clasificar en tres etapas generales:

1. Etapa de diseños
2. Etapa de consecución de materiales, equipos y personal
3. Etapa de ejecución de la obra



## 9.1 INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN LA ETAPA DE DISEÑOS

Debido a las características propias de los prefabricados y puntualmente del componente de losa alveolar, se realizó un análisis de su influencia en etapas clave del diseño estructural de acuerdo a los modelos estructurales de edificaciones **ME1**, **ME2** y **ME3** descritos anteriormente.

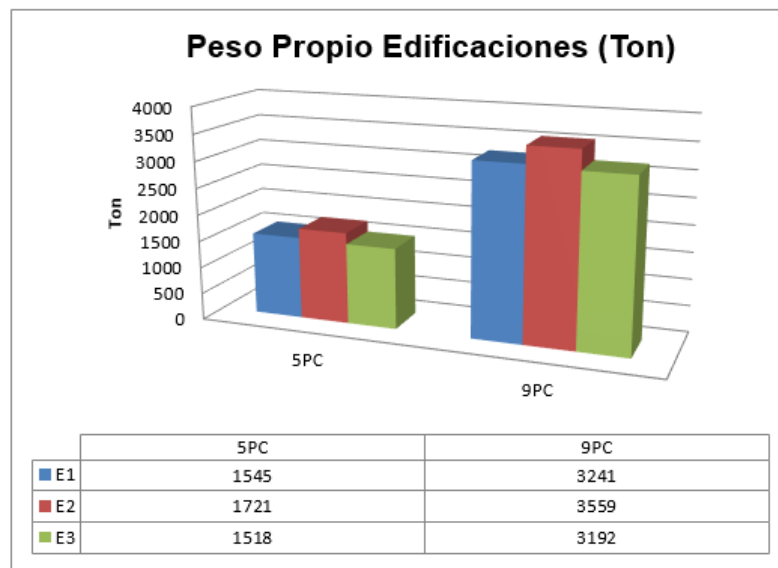
La influencia en la utilización del componente prefabricado para el entrepiso **E1** se comparó ante las edificaciones con entrepisos tipo **E2** y **E3** para los siguientes aspectos:

1. Reducción del peso propio de la estructura
2. Avalúo de cargas totales a cimentación
3. Avalúo del cortante basal

### 9.1.1 Reducción del peso propio de la estructura

El peso propio total de la estructura cuenta con los pesos individuales del sistema de losa, peso de vigas, peso de columnas y el peso de pantallas.

Figura 76 Comparación del peso propio de las edificaciones en función del tipo de entrepiso



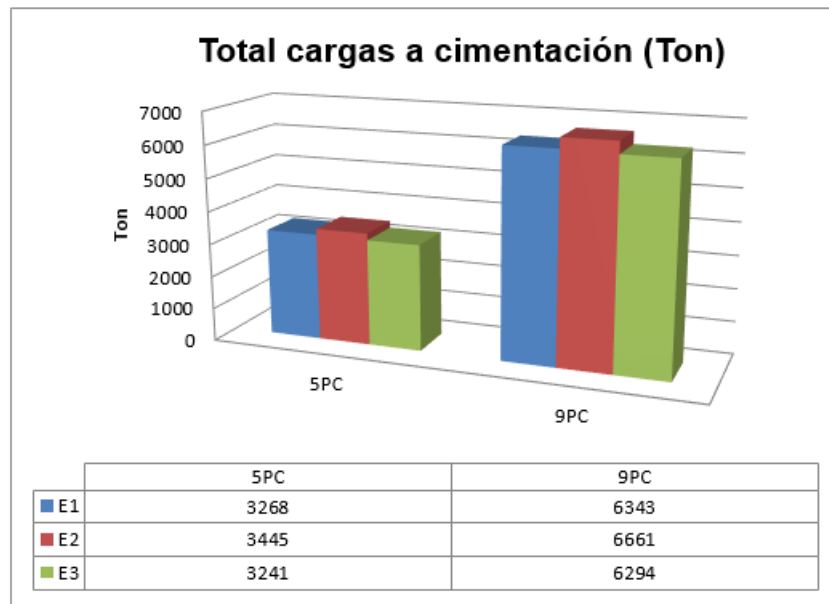
Para las edificaciones 5PC, el peso propio de la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 10% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa un aumento del 1.8%.

De la misma manera, para las edificaciones 9PC, el peso propio de la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 9% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa un aumento del 1.5%.

### 9.1.2 Avalúo de cargas totales a cimentación

Las cargas totales que llegan a nivel de cimentación se evaluaron para la etapa de servicio de las edificaciones, es decir los avalúos totales del peso propio junto con la carga muerta y la carga viva (PP+CM+CV).

**Figura 77 Comparación de las cargas totales a cimentación de las edificaciones en función del tipo de entrepiso**



Para las edificaciones 5PC, la carga total a cimentación de la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducida en un 5% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa un aumento del 0,8%.

De la misma manera, para las edificaciones 9PC, la carga total a cimentación de la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducida en un 5% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa un aumento del 0,8%.

### 9.1.3 Avalúo de la cantidad de pilotes en la columna más solicitada

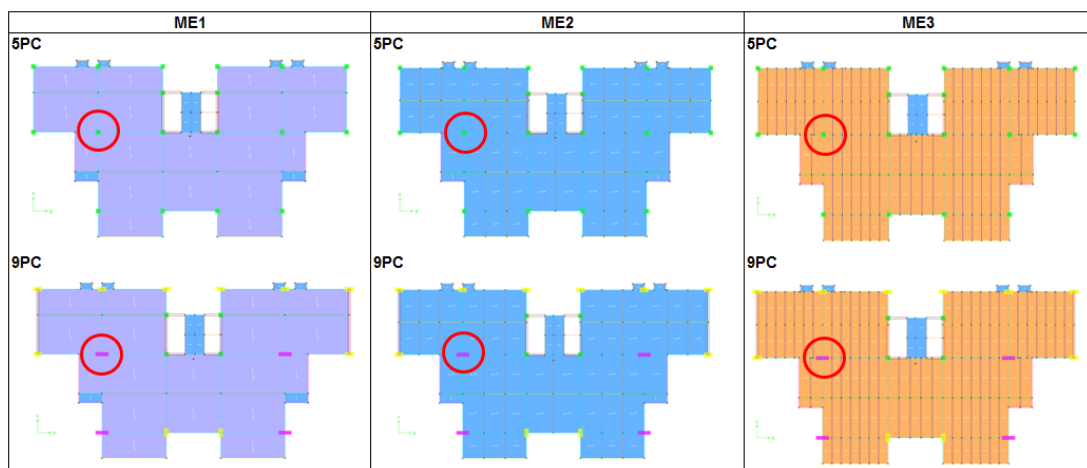
Se realizó una comparación de la cantidad de pilotes de diámetro  $\varnothing=0.60$  m con una capacidad de carga admisible de 60 Ton (600 kN). Cada columna fue analizada con las combinaciones de servicio C1 y C2 que involucran el sismo en las dos direcciones.

$$C1 = 1.0 PP + 1.0 CM + 1.0 CV + 0.70 * \frac{F_{ajuste} * S_x}{R}$$

$$C2 = 1.0 PP + 1.0 CM + 1.0 CV + 0.70 * \frac{F_{ajuste} * S_y}{R}$$

Las cargas en la columna más solicitada para cada edificación se muestran a continuación:

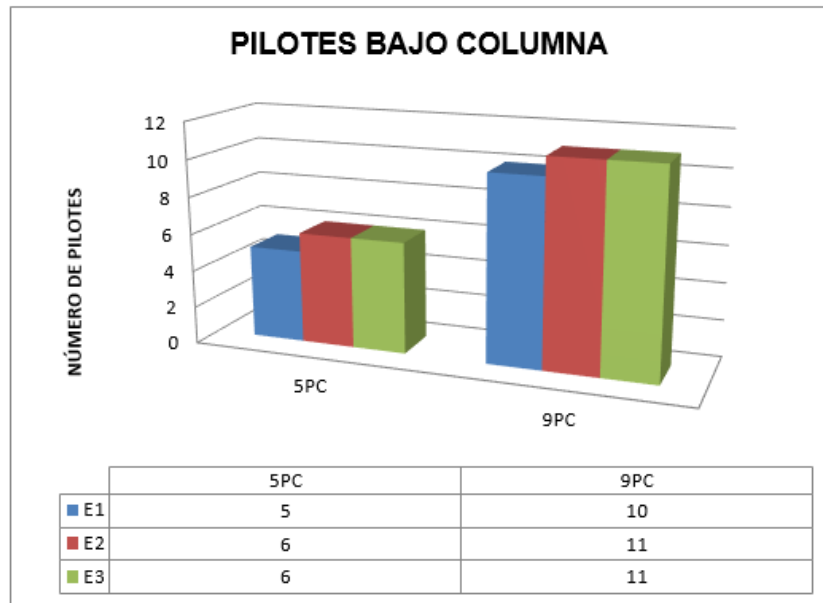
**Figura 78 Columna más solicitada en modelos estructurales según tipo de entrepiso**



**Tabla 12. Cargas en columna por cada combinación y para cada tipo de edificación**

EDIFICACIÓN	CARGA COLUMNA [kN] Comb (C1)			CARGA COLUMNA [kN] Comb (C2)			NÚMERO DE PILOTES	
	Fz [kN]	Mx [kN-m]	My [kN-m]	Fz [kN]	Mx [kN-m]	My [kN-m]	CIM-01	CIM-02
ME1-5PC	2977.81	46.48	30.76	2970.60	34.44	4.35	5.00	5.00
ME2-5PC	3469.64	52.77	43.50	3467.76	36.64	15.80	6.00	6.00
ME3-5PC	3186.73	51.97	36.48	3182.28	34.46	9.37	6.00	6.00
ME1-9PC	5472.11	17.75	656.72	5524.47	33.67	11.69	10.00	10.00
ME2-9PC	6431.35	13.31	732.98	6517.70	31.47	27.64	11.00	11.00
ME3-9PC	5944.98	13.31	670.23	6007.67	30.21	18.60	10.00	11.00

**Figura 79 Comparación del número de pilotes  $\varnothing=0.60$  m por columna más solicitada para las edificaciones en función del tipo de entrepiso**



Para las edificaciones 5PC, el número de pilotes en la columna más cargada para la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 17% con respecto a la edificación de entrepiso E2 y E3.

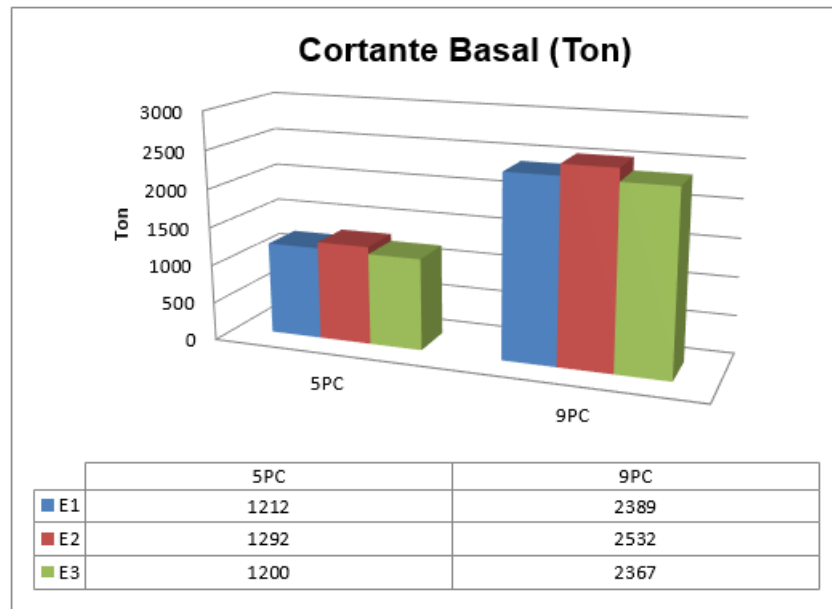
De la misma manera, para las edificaciones 9PC, el número de pilotes en la columna más cargada para la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 9% con respecto a la edificación de entrepiso E2 y E3 respectivamente.



### 9.1.4 Avalúo del cortante basal de la estructura

El cortante basal para las estructuras corresponde a cuantificar el peso sísmicamente involucrado multiplicado por la aceleración espectral determinada de acuerdo al periodo fundamental de la edificación. La aceleración ( $S_a$ ) para todas las edificaciones corresponde a 0.45.

Figura 80 Comparación del cortante basal de las edificaciones en función del tipo de entrepiso



Para las edificaciones 5PC, el cortante basal de la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 6% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa un aumento del 1%.

De la misma manera, para las edificaciones 9PC, el cortante basal de la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 6% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa un aumento del 0,9%.

## 9.2 INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN LAS CANTIDADES DE MATERIALES

Una clara prueba de la influencia del prefabricado de losa alveolar, componente constituyente del entrepiso **E1**, es su reducción en peso propio por unidad de área debido a los aligeramientos propios y la cantidad de concreto que esto representa. Como se ha mencionado anteriormente, al ser un componente hueco (alvéolos), el espesor equivalente siempre será menor que el equivalente macizo. A su vez, la misma proyección del entrepiso alveolar logró una distribución de las vigas de apoyo del sistema mucho más óptima respecto a la distribución de las mismas en los entrepisos tradicionales. Esto se ve reflejado en la cuantificación del concreto de vigas y losa como componentes constituyentes principales del entrepiso.

Así mismo, no se ha utilizado ninguna losa superior fundida en sitio debido a que la acción de diafragma queda garantizada mediante las disposiciones del diseño estructural y los amarres de integridad, lo que permite una entrega del entrepiso con acabado de calidad superior y con las condiciones óptimas para el cliente.

Para el entrepiso en estudio, la losa alveolar de 0,12 m posee un espesor equivalente de 0,078 metros y representa el 77% del área de losa total del entrepiso, teniendo en cuenta que se plantearon zonas fundidas en sitio. Con respecto al área de borde total del entrepiso planteado, las losas alveolares corresponden a un 75.18%.

Área de borde entrepiso (Todas las edificaciones) = 588,51 m<sup>2</sup>

Área de vacíos = 14,05 m<sup>2</sup>

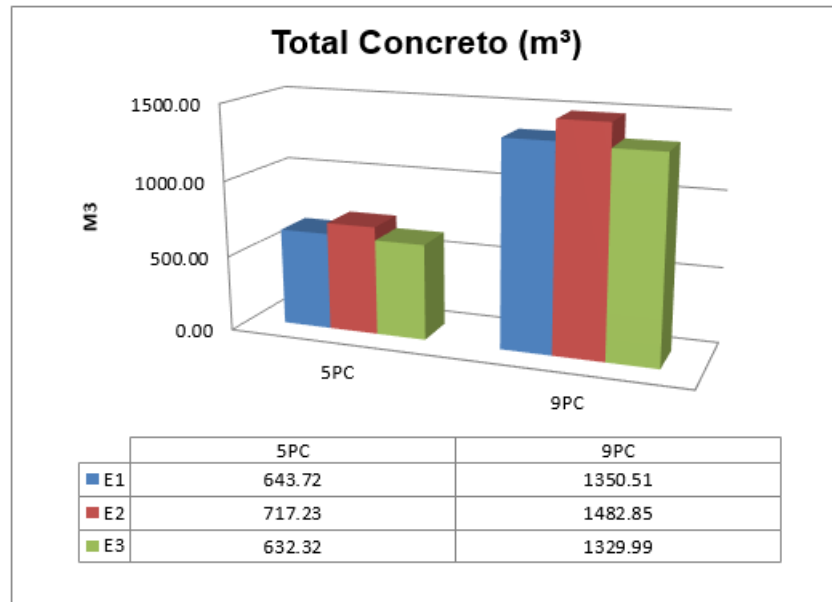
Área losa (Área de borde – Área de vacíos) = 574,46 m<sup>2</sup>

Área de losas alveolares = 442,44 m<sup>2</sup>

Tabla 13. Tipos de losa alveolar utilizados en el entrespiso E1

ENTRESPISO E1	DIMENSIONES			ÁREAS Y CANTIDAD		
LOSA ALVEOLAR	A (mm)	B (mm)	e (mm)	Área (m <sup>2</sup> )	Cantidad	Área total (m <sup>2</sup> )
Tipo 1	2750	1200	120	3,300	36	118,8
Tipo 2	4350	1200	120	5,220	62	323,64
					98	442,44

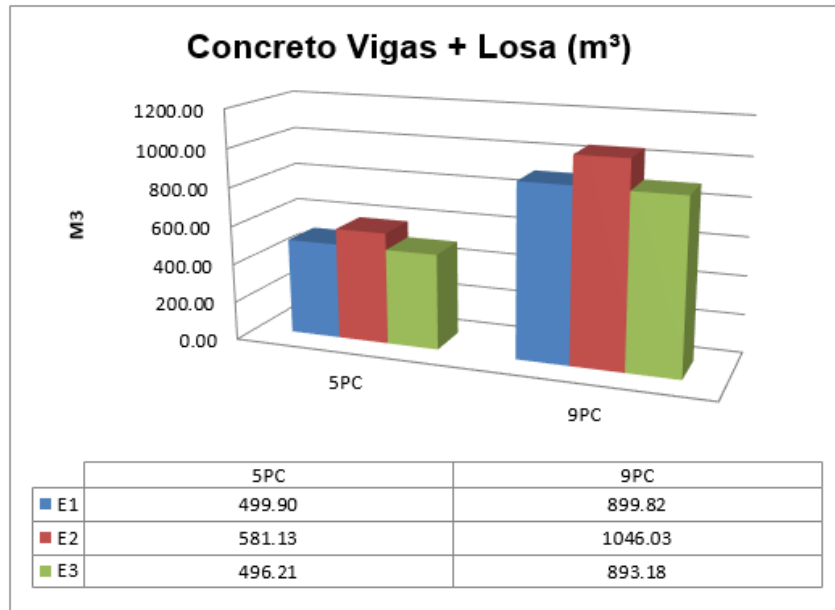
Figura 81 Comparación del volumen de concreto total de las edificaciones en función del tipo de entrespiso



Para las edificaciones 5PC, la cantidad total de concreto utilizada en la edificación con entrespiso alveolar E1 se ve reducida en un 10% con respecto a la edificación de entrespiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrespiso E3 se observa un pequeño aumento del 1,8%.

De la misma manera, para las edificaciones 9PC, la cantidad total de concreto utilizada en la edificación con entrespiso alveolar E1 se ve reducida en un 9% con respecto a la edificación de entrespiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrespiso E3 se observa un aumento del 1,5%.

**Figura 82 Comparación del volumen de concreto de vigas y losa de las edificaciones en función del tipo de entrepiso**



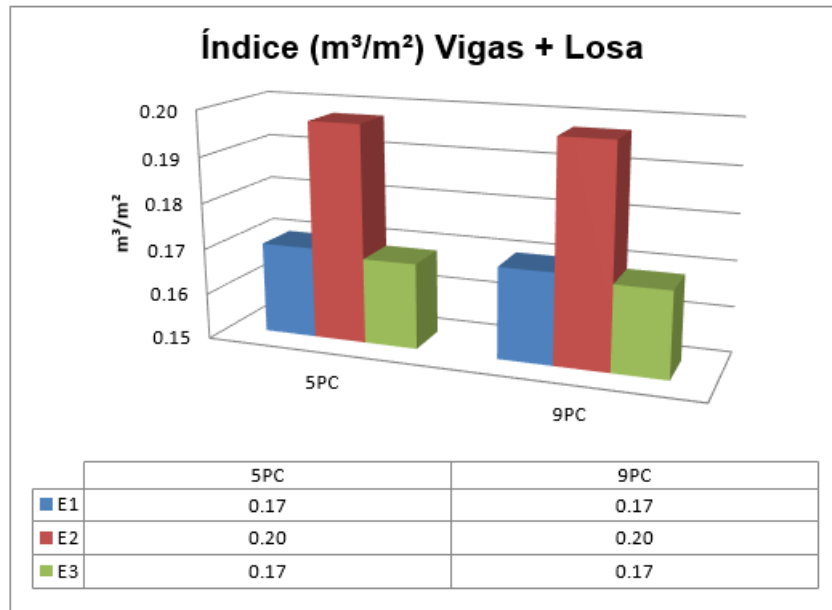
La cantidad de concreto se ve influenciada de acuerdo al número de vigas y espesores de losas planteados para los diferentes entrepisos. La influencia del componente alveolar se refleja desde el mismo momento en que se plantea la configuración en planta del entrepiso E1, logrando minimizar la densidad de vigas por área con respecto a los entrepisos E2 y E3.

**Tabla 14. Densidad de vigas de acuerdo al tipo de entrepiso utilizado**

ENTREPISO	DENSIDAD DE VIGAS (Ton/m <sup>2</sup> )
E1	0,274
E2	0,307
E3	0,327

Lo anterior se ve reflejado para las edificaciones 5PC y 9PC conjuntamente, donde la cantidad de concreto utilizada en vigas y losa utilizada en la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducida en un 14% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa un aumento tan solo del 0,7%.

**Figura 83 Comparación del índice de concreto por unidad de área en función del tipo de entrepiso**

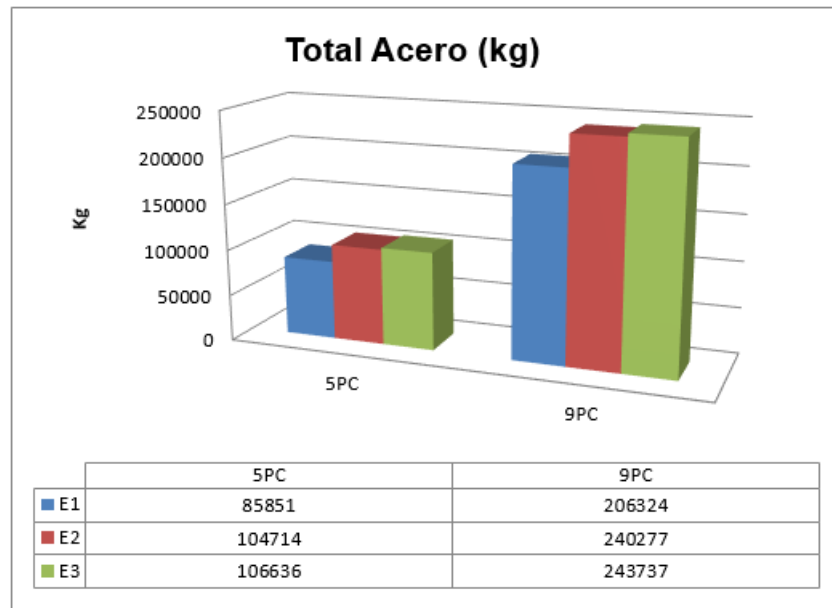


Este índice refleja el consumo de concreto como espesor equivalente de losa en el entrepiso. Para corroborar la influencia de la utilización del entrepiso alveolar, se observan reducciones o aumentos en estos índices de la siguiente manera:

Para las edificaciones 5PC y 9PC conjuntamente, el índice del total de concreto utilizado por metro cuadrado en el entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 14% con respecto al entrepiso E2; mientras que con respecto al entrepiso E3 se observa un aumento del 0,7%.

Es importante anotar, que aunque existe una mayor densidad de vigas de los entrepisos E2 y E3 con respecto al entrepiso E1, el volumen final se ve influenciado por el espesor de la losa maciza haciendo muy similares los índices de concreto por unidad de área para los entrepisos E1 y E3 que poseen una diferencia menor al 1%.

**Figura 84 Comparación de la cantidad total de acero de refuerzo de las edificaciones en función del tipo de entrepiso**

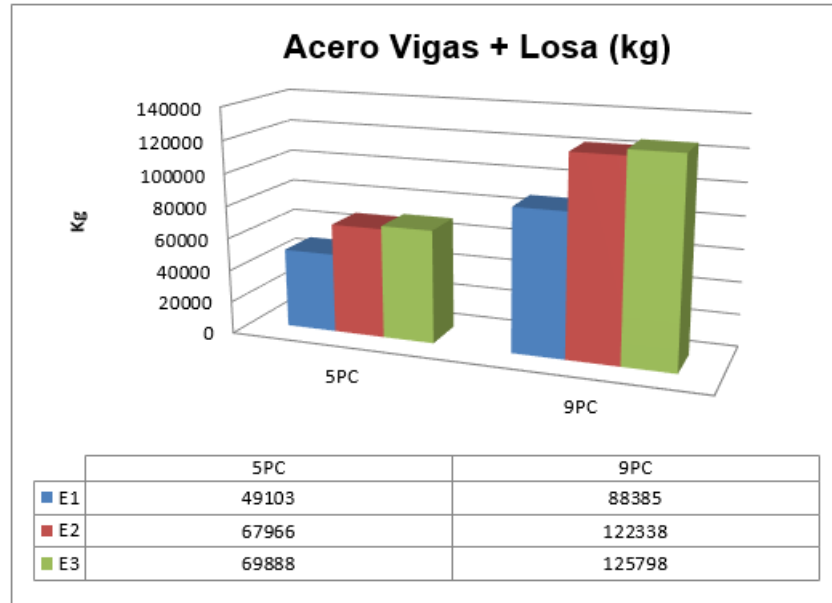


La cantidad de acero para las edificaciones fue calculada de acuerdo al diseño propio basado en los requerimientos mínimos descritos en el Reglamento Colombiano de Construcción NSR-10. De acuerdo a la disminución en la densidad de vigas del entrepiso E1, se tuvo por consiguiente un ahorro en las cuantías de acero de estos componentes. A su vez, la no utilización de losa superior permite ahorrar acero en malla de alambre electrosoldado, lo que redunda en un ahorro considerable de materiales.

Para las edificaciones 5PC, la cantidad total de acero de refuerzo utilizada en la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducida en un 18% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa una reducción del 19%.

De la misma manera, para las edificaciones 9PC, la cantidad total de acero de refuerzo utilizada en la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducida en un 14% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa una reducción del 15%.

**Figura 85 Comparación de la cantidad de acero de refuerzo en vigas y losa de las edificaciones en función del tipo de entrepiso**

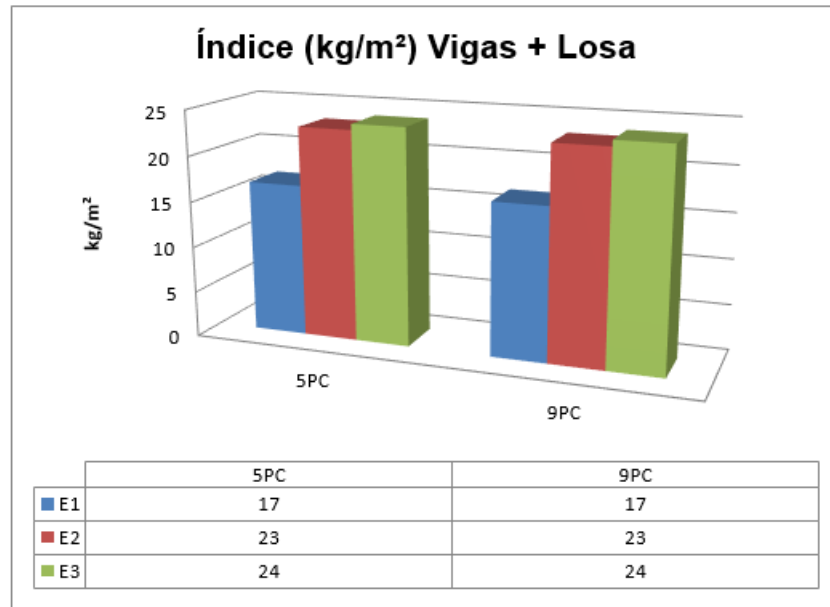


De las reducciones más importantes que se obtuvieron utilizando un entrepiso alveolar con respecto a los planteados en sistema tradicional, el ahorro en acero de refuerzo en las vigas y la supresión de la losa superior constituye una influencia importante a considerar por parte del constructor de la estructura.

Para las edificaciones tipo 5PC, la cantidad de acero de refuerzo en el entrepiso alveolar E1 se ve reducida en un 28% con respecto a la cantidad para la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa una reducción del 30%.

De igual manera, para las edificaciones tipo 5PC, la cantidad de acero de refuerzo en el entrepiso alveolar E1 se ve reducida en un 28% con respecto a la cantidad para la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa una reducción del 30%.

**Figura 86 Comparación del índice de acero por unidad de área de las edificaciones en función del tipo de entrepiso**



Una vez obtenidas las cantidades de acero de los componentes que conforman el entrepiso (vigas y losa), fue posible obtener los índices del acero por unidad de área que consume cada tipo de entrepiso planteado en cada tipología de edificación.

Para las edificaciones tipo 5PC, el índice de acero de refuerzo por unidad de área utilizada en el entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 28% con respecto al entrepiso tradicional E2; mientras que con respecto al entrepiso tradicional E3 se observa una reducción del 30%.

De igual manera, para las edificaciones tipo 9PC, el índice de acero de refuerzo por unidad de área utilizada en el entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 28% con respecto al entrepiso tradicional E2; mientras que con respecto al entrepiso tradicional E3 se observa una reducción del 30%.

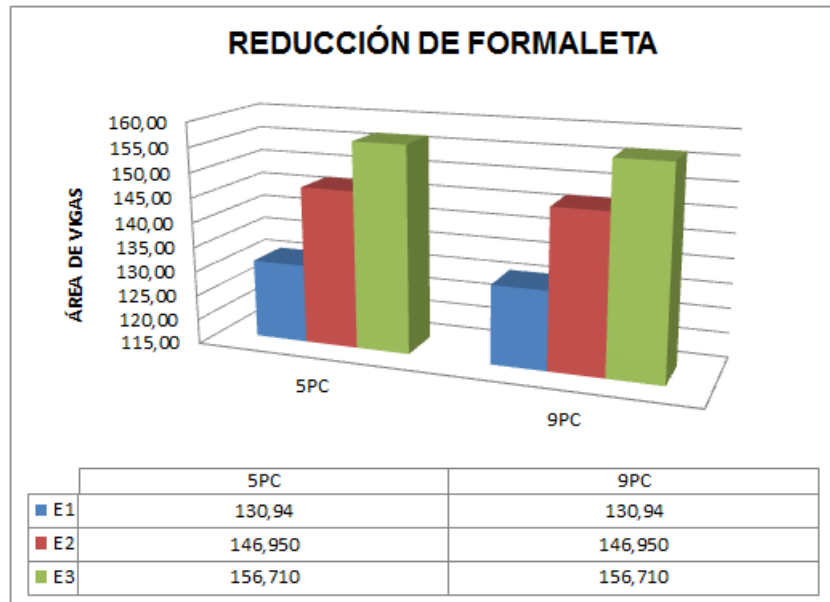


### 9.3 INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN LA REDUCCIÓN DEL DESPERDICIO

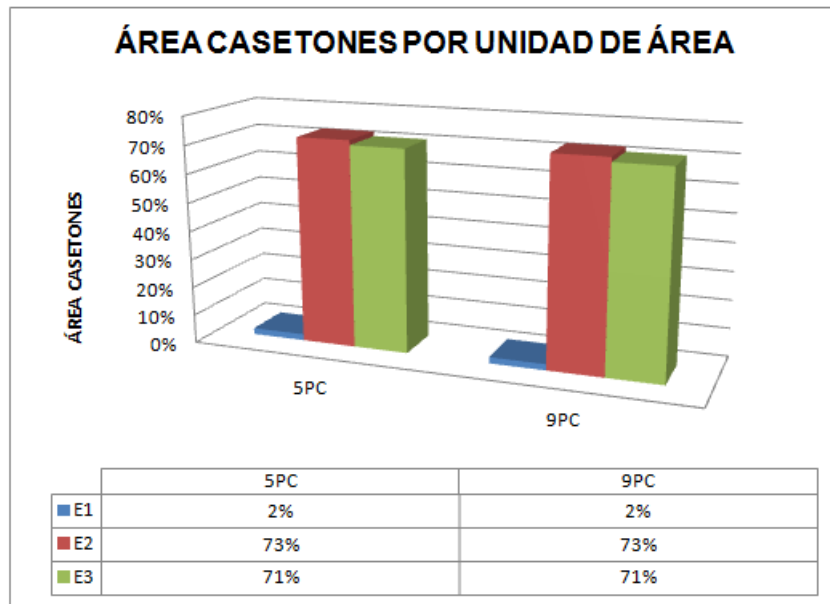
Como se mencionó en el capítulo 6 sobre la sostenibilidad en edificaciones, la utilización de componentes prefabricados como la losa alveolar promueve la minimización de trabajos propios de limpieza de andamios, camillas y testers; pero sobre todo promueve un ahorro considerable de aligeramientos como los casetones de poliestireno expandido los cuales son nocivos para el medio ambiente.

Se observó en el transcurso de la investigación que siempre existirán zonas del entrepiso donde es mejor fundir la losa en sitio, principalmente en zonas con irregularidades considerables o que requieren de su uso antes de empezar el montaje de losas. Para el entrepiso alveolar tipo E1 cuya área potencial destinada a casetones es de 443,52 m<sup>2</sup>, solamente se fundió en sitio un equivalente en área del 3%, mientras que el 97% restante perteneció al área ocupada por el componente prefabricado. Lo anterior sin duda obedeció a la planeación de la configuración de la planta definida en capítulos anteriores.

Figura 87 Comparación del área de formaleta proporcional al área de vigas en función del tipo de entrepiso



**Figura 88 Comparación del área destinada para casetones por unidad de área para cada tipo de entrepiso**



De acuerdo a las gráficas mostradas anteriormente, se puede observar que es posible obtener un ahorro en los trabajos asociados a la formaleta en función de la reducción del área de vigas a realizar utilizando el entrepiso tipo E1.

Como una aproximación sobre los trabajos asociados a la formaleta (conformación de andamios, camillas, testers) y su respectiva limpieza en obra, se puede decir que cuando se utiliza el entrepiso alveolar tipo E1 se obtiene una reducción del 11% con respecto al entrepiso E2, y del 16% con respecto al entrepiso E3 para edificaciones tipo 5PC y 9PC respectivamente.

Con respecto a la utilización de casetones de poliestireno expandido, la implementación de la losa alveolar en el entrepiso E1 influye en una reducción del 97% con respecto de los entrepisos tradicionales E2 y E3 para las tipologías de edificación 5PC y 9PC.

## **9.4 INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN LA EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

### **9.4.1 Rendimientos por entrepiso**

Desde el punto de vista del constructor de la estructura, resulta muy apropiado cumplir con los cronogramas de obra establecidos con el fin de hacer entrega de la edificación y ponerla en servicio. Si bien se ha dicho que el tiempo tiene su equivalente en dinero desde el punto de vista de las ventas, esto se cumple cuando se decide utilizar componentes prefabricados en la construcción.

La ejecución a tiempo de la obra resulta en la sumatoria de los tiempos utilizados adecuadamente en las diferentes actividades propias de la estructura; es decir, si los rendimientos fueron los esperados de acuerdo a los planteados inicialmente (teóricos). Fue muy importante conocer el rendimiento del componente prefabricado representativo del mercado nacional, así como los rendimientos para edificaciones con entrepisos tradicionales.

#### **9.4.1.1.1 Rendimiento para entrepiso tipo E1**

El ciclo para el trabajo de colocación de las losas alveolares correspondió a la evaluación del tiempo de agarre, tiempo de amarre, el tiempo de izaje y finalmente el tiempo de posicionamiento o montaje sobre el entrepiso.

El rendimiento de colocación para las losas alveolares es función del área que abarcan las mismas dentro del entrepiso. Por ejemplo, para las losas Tipo 1 del entrepiso E1 las cuales tienen un área unitaria de 3,30 m<sup>2</sup>, con 36 unidades alrededor del entrepiso, estas abarcan un total de 118,8 m<sup>2</sup>; y para la losa Tipo 2, con área unitaria de 5,22 m<sup>2</sup> y 62 unidades, abarcando un área de 323,64 m<sup>2</sup>, los rendimientos de colocación variaron por el área que cada una abarcó, más no por el tiempo utilizado en su ciclo de colocación que es el mismo.

Para una jornada laboral de 8 horas y basándose en un tiempo de colocación de 4,5 minutos/losa, se pudo obtener el tiempo total en completar la instalación del entrepiso E1 de la siguiente manera:

**Tabla 15. Rendimiento del ciclo de instalación de la losa alveolar para entrepiso E1**

<b>ENTREPISO E1</b>	<b>RENDIMIENTO CICLO DE INSTALACIÓN DE LOSA ALVEOLAR</b>								
LOSA ALVEOLAR	Min/Losa	Min	Horas	días	Semana	Mes	m <sup>2</sup> /Hora	m <sup>2</sup> /día	m <sup>2</sup> /Semana
Tipo 1	4,5	162	2,70	0,34	0,06	0,01	44,0	352,0	2112
Tipo 2	4,5	279	4,65	0,58	0,10	0,02	69,6	556,8	3341
			7,35	0,92	0,15	0,04			

De acuerdo con la tabla anterior, se observó que cada tipo de losa utilizada dentro del entrepiso tuvo su propio rendimiento de acuerdo al área que abarcan. El rendimiento por día para la losa Tipo 1 fue de 352 m<sup>2</sup>, mientras que para la losa Tipo 2 fue de 556,8 m<sup>2</sup>. El rendimiento por semana del entrepiso E1 se encontró muy superior de acuerdo a la práctica del mercado, la cual se encuentra en un promedio de 900 m<sup>2</sup> por semana. El valor de 900 m<sup>2</sup> está claramente influenciado cuando se presentan demasiados tipos de componentes de losa a instalar. En proyectos estudiados del mercado nacional con losa alveolar, se encontró que al tener configuraciones en planta que no se basaron en el componente prefabricado, se obligó a tener muchos tipos de losas prefabricadas, incluso con geometrías irregulares que complicaron y demoraron el montaje retrasando los cronogramas. Los dos tipos de losa alveolar del entrepiso en estudio completan su instalación en 7,35 horas utilizando una grúa para su izaje, o en otras palabras, al completar el 92% de la jornada laboral ya se tiene instalado todo el entrepiso. De acuerdo con la investigación de campo realizada, del 100% del tiempo de utilización de las grúas, el 75% corresponde al izaje, mientras que el 25% del tiempo restante permanecen quietas cuando se realizan los trabajos de adaptación del entrepiso.

Es importante aclarar que siguiendo una adecuada planeación de entregas por parte de la empresa fabricante de los componentes de losa alveolar, la instalación será eficiente cumpliendo con los tiempos establecidos en el cronograma de actividades.

Existe un tiempo previsto para la colocación de formaletas de vigas y una camilla como plataforma de seguridad que obligó a que el tiempo en completar la instalación del entrepiso se extendiera a 4 días; tiempo que incluye un día de solo montaje de los componentes alveolares y 3 días para el armado de vigas y colocación de camillas de seguridad.

#### **9.4.1.1.2 Rendimiento para entrepiso tipo E2**

La construcción tradicional que incluye actividades de tipo artesanal, requiere de mayores tiempos de ejecución debido a imprevistos y por menores relacionados con la mano de obra y con la flexibilidad de tiempo en la llegada del concreto a la obra.

Adicionalmente al tiempo variable de llegada de *mixers* con concreto, se contempló el tiempo para vaciado de la losa, el cual de acuerdo a la investigación de campo realizada fue mucho mayor que el rendimiento teórico encontrado para el ciclo de colocación de las losas alveolares.

En general, del estudio de campo realizado se contempló la ejecución del entrepiso tipo E2 con un rendimiento de 550 m<sup>2</sup>/semana, dependiendo de la complejidad de la planta estructural. Un factor muy importante es el tiempo utilizado en el armado mismo de vigas y la colocación de la malla de alambre electrosoldado, ya que a mayor densidad de vigas, mayor consumo de tiempo en mano de obra para el armado del acero de refuerzo.

Para los entrepisos planteados en la investigación, la densidad de vigas del entrepiso E1 es aproximadamente un 11% menor que la que se observa en el entrepiso tradicional E2. De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta el rendimiento por semana investigado, se estipuló el tiempo de ejecución del entrepiso tipo E2 en 7 días hábiles.

#### **9.4.1.1.3 Rendimiento para entrepiso tipo E3**

De la misma manera que para el entrepiso tradicional E2, el entrepiso tradicional E3 contempla las mismas actividades de tipo artesanal y las mismas incertidumbres en los tiempos de llegada del concreto al sitio de la obra.

La densidad de vigas del entrepiso E1 es aproximadamente un 16% menor de la que se observa para el entrepiso tradicional E3. A su vez, el entrepiso E2 posee una densidad aproximadamente 6% menor de vigas que la obtenida para el entrepiso E3. De acuerdo a lo anterior y comprobando tiempos con constructoras del medio colombiano, el tiempo estipulado en la ejecución del entrepiso tipo E3 fue de 10 días hábiles.

#### **9.4.2 Cronogramas de construcción de las edificaciones**

Siguiendo los lineamientos y rendimientos anteriormente descritos, se realizaron los cronogramas para la ejecución total de las estructuras 5PC y 9PC construidas con vigas y columnas fundidas en sitio y componente prefabricado alveolar para el caso E1 y con losa maciza fundida en sitio como es el caso de los entrepisos E2 y E3 respectivamente.

En el caso particular de tener entrepisos híbridos con elementos fundidos en sitio y otros prefabricados, el tiempo de la actividad constructiva para el entrepiso tipo E1 se ve afectado, sin dejar de ser competitivo frente a las edificaciones con entrepisos tradicionales de losa fundida en sitio.

##### **9.4.2.1.1 Cronogramas de construcción 5PC**

De manera general para los cronogramas de construcción, el tiempo utilizado en las actividades preliminares, como preparación del terreno, la excavación, y la propia construcción de la cimentación ha sido estipulado en un tiempo de 60 días para todas las edificaciones 5PC con el fin de que este tiempo sea constante y no influya en la sumatoria final de tiempos de acuerdo al tipo de entrepiso. A su vez, el tiempo consumido en la ejecución de las columnas de un nivel al otro se estipuló en 3 días, ya que esta actividad es igual para todas las edificaciones 5PC, por tener la misma altura libre y la misma geometría en planta.

La siguiente tabla muestra las actividades de construcción propias de los entrepisos tipo E1, E2 y E3, donde se observa la sumatoria total del tiempo para los días calendario que consume toda la actividad constructiva de las estructuras 5PC, dando como resultado un tiempo total de 15, 18 y 21 semanas para E1, E2 y E3 respectivamente.

**Tabla 16. Actividades de construcción estructuras 5PC con entrepiso E1, E2 y E3**

<b>ESTRUCTURA 5PC CON ENTREPISO ALVEOLAR E1</b>				
	<b>E</b>	<b>DIAS</b>	<b>D. HABIL</b>	<b>D. CALE</b>
<b>ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN</b>				
1. PRELIMINARES - EXCAVACIÓN - CIMENTACION		60	60	60
2. COLUMNAS CIMENTACION A NIVEL 2		3	63	63
3. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 2	<b>E1</b>	4	67	69
4. COLUMNAS NIVEL 2-3		3	70	74
5. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 3	<b>E1</b>	4	74	80
6. COLUMNAS NIVEL 3-4		3	77	85
7. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 4	<b>E1</b>	4	81	91
8. COLUMNAS NIVEL 4-5		3	84	94
9. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 5	<b>E1</b>	4	88	100
10. COLUMNAS NIVEL 5-CUBIERTA		3	91	104
11. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL CUBIERTA	<b>E1</b>	4	95	110

<b>ESTRUCTURA 5PC CON ENTREPISO E2</b>				
	<b>E</b>	<b>DIAS</b>	<b>D. HABIL</b>	<b>D. CALE</b>
<b>ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN</b>				
1. PRELIMINARES - EXCAVACIÓN - CIMENTACION		60	60	60
2. COLUMNAS CIMENTACION A NIVEL 2		3	63	63
3. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 2	<b>E2</b>	7	70	74
4. COLUMNAS NIVEL 2-3		3	73	77
5. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 3	<b>E2</b>	7	80	88
6. COLUMNAS NIVEL 3-4		3	83	86
7. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 4	<b>E2</b>	7	90	97
8. COLUMNAS NIVEL 4-5		3	93	100
9. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 5	<b>E2</b>	7	100	111
10. COLUMNAS NIVEL 5-CUBIERTA		3	103	115
11. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL CUBIERTA	<b>E2</b>	7	110	127

<b>ESTRUCTURA 5PC CON ENTREPISO E3</b>				
	<b>E</b>	<b>DIAS</b>	<b>D. HABIL</b>	<b>D. CALE</b>
<b>ACTIVIDADES</b>				
1. PRELIMINARES - EXCAVACIÓN - CIMENTACION		60	60	60
2. COLUMNAS CIMENTACION A NIVEL 2		3	63	63
3. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 2	<b>E3</b>	10	73	77
4. COLUMNAS NIVEL 2-3		3	76	82
5. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 3	<b>E3</b>	10	86	96
6. COLUMNAS NIVEL 3-4		3	89	92
7. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 4	<b>E3</b>	10	99	106
8. COLUMNAS NIVEL 4-5		3	102	111
9. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 5	<b>E3</b>	10	112	125
10. COLUMNAS NIVEL 5-CUBIERTA		3	115	130
11. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL CUBIERTA	<b>E3</b>	10	125	144





#### 9.4.2.1.2 Cronogramas de construcción 9PC

De la misma forma que los cronogramas de las edificaciones 5PC, el tiempo utilizado en las actividades preliminares, preparación del terreno, la excavación, y la construcción de la cimentación ha sido estipulado también en 60 días para todas las edificaciones 9PC con el fin de que este tiempo permanezca constante y no influya en la sumatoria final de tiempos de acuerdo al tipo de entrepiso.

De igual manera, el tiempo consumido en la ejecución de las columnas de un nivel al otro se estipuló en 3 días, ya que esta actividad es igual para todas las edificaciones 9PC, al tener la misma altura libre y la misma geometría en planta. La siguiente tabla muestra las actividades de construcción propias de los entrepisos tipo E1, E2 y E3 mostrando la sumatoria total del tiempo para los días calendario que consume toda la actividad constructiva de las estructuras 9PC, dando como resultado un tiempo total de 21, 26 y 32 semanas para E1, E2 y E3 respectivamente.

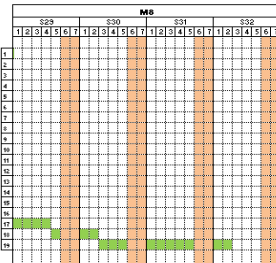
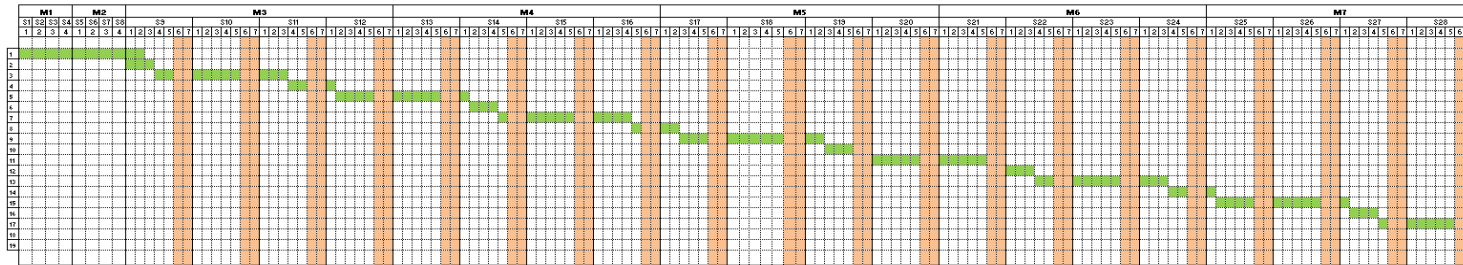
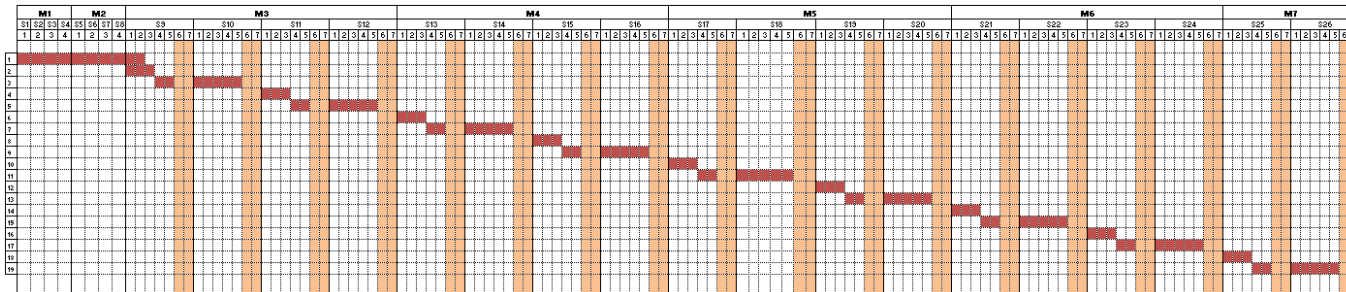
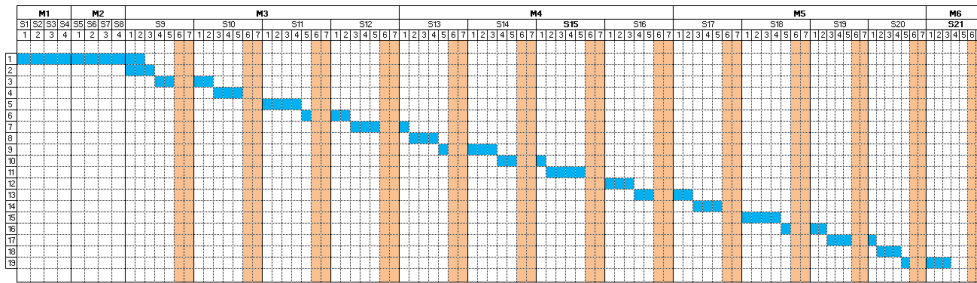
Tabla 17. Actividades de construcción estructuras 9PC con entrepiso E1, E2 y E3

ESTRUCTURA 9PC CON ENTREPISO ALVEOLAR E1	E	DIAS	D. HABIL	D. CALE
<b>ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN</b>				
1. PRELIMINARES - EXCAVACIÓN - CIMENTACIÓN		60	60	60
2. COLUMNAS CIMENTACION A NIVEL 2		3	63	63
3. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 2	E1	4	67	69
4. COLUMNAS NIVEL 2-3		3	70	74
5. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 3	E1	4	74	80
6. COLUMNAS NIVEL 3-4		3	77	85
7. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 4	E1	4	81	91
8. COLUMNAS NIVEL 4-5		3	84	94
9. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 5	E1	4	88	100
10. COLUMNAS NIVEL 5-6		3	91	104
11. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 6	E1	4	95	110
12. COLUMNAS NIVEL 6-7		3	98	113
13. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 7	E1	4	102	119
14. COLUMNAS NIVEL 7-8		3	105	124
15. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 8	E1	4	109	128
16. COLUMNAS NIVEL 8-9		3	112	133
17. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL 9	E1	4	116	139
18. COLUMNAS NIVEL 9-CUBIERTA		3	119	142
19. ENTREPISO ALVEOLAR NIVEL CUBIERTA	E1	4	123	148

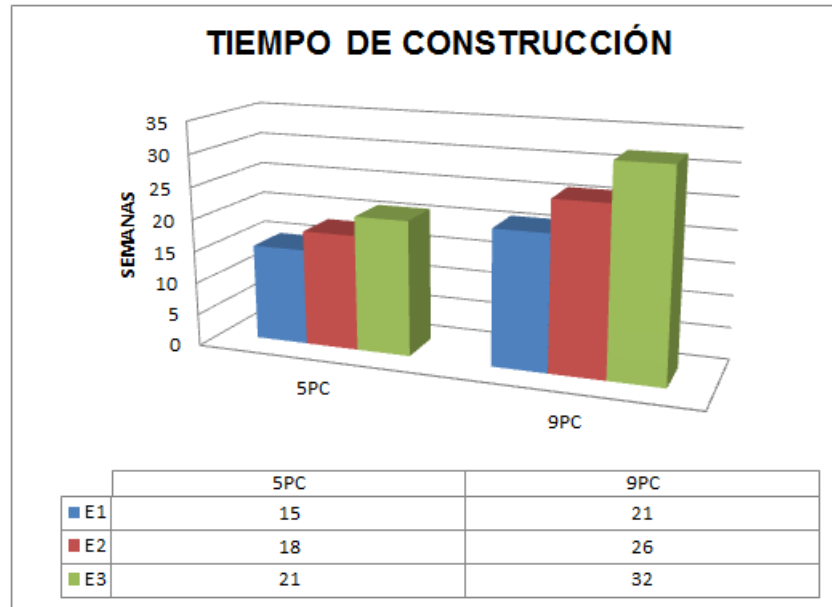
<b>ESTRUCTURA 9PC CON ENTREPISO E2</b>		<b>E</b>	<b>DIAS</b>	<b>D. HABIL</b>	<b>D. CALE</b>
<b>ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN</b>					
1. PRELIMINARES - EXCAVACIÓN - CIMENTACIÓN			60	60	60
2. COLUMNAS CIMENTACION A NIVEL 2			3	63	63
3. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 2	<b>E2</b>		7	70	74
4. COLUMNAS NIVEL 2-3			3	73	77
5. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 3	<b>E2</b>		7	80	88
6. COLUMNAS NIVEL 3-4			3	83	91
7. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 4	<b>E2</b>		7	90	102
8. COLUMNAS NIVEL 4-5			3	93	105
9. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 5	<b>E2</b>		7	100	116
10. COLUMNAS NIVEL 5-6			3	103	119
11. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 6	<b>E2</b>		7	110	130
12. COLUMNAS NIVEL 6-7			3	113	133
13. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 7	<b>E2</b>		7	120	144
14. COLUMNAS NIVEL 7-8			3	123	147
15. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 8	<b>E2</b>		7	130	158
16. COLUMNAS NIVEL 8-9			3	133	161
17. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 9	<b>E2</b>		7	140	172
18. COLUMNAS NIVEL 9-CUBIERTA			3	143	175
19. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL CUBIERTA	<b>E2</b>		7	150	186

<b>ESTRUCTURA TRAD. ALIGERADA</b>		<b>E</b>	<b>DIAS</b>	<b>D. HABIL</b>	<b>D. CALE</b>
<b>ACTIVIDADES</b>					
1. PRELIMINARES - EXCAVACIÓN - CIMENTACIÓN			60	60	60
2. COLUMNAS CIMENTACION A NIVEL 2			3	63	63
3. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 2	<b>E3</b>		10	73	77
4. COLUMNAS NIVEL 2-3			3	76	82
5. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 3	<b>E3</b>		10	86	96
6. COLUMNAS NIVEL 3-4			3	89	99
7. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 4	<b>E3</b>		10	99	113
8. COLUMNAS NIVEL 4-5			3	102	118
9. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 5	<b>E3</b>		10	112	132
10. COLUMNAS NIVEL 5-6			3	115	137
11. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 6	<b>E3</b>		10	125	151
12. COLUMNAS NIVEL 6-7			3	128	154
13. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 7	<b>E3</b>		10	138	168
14. COLUMNAS NIVEL 7-8			3	141	173
15. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 8	<b>E3</b>		10	151	187
16. COLUMNAS NIVEL 8-9			3	154	190
17. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL 9	<b>E3</b>		10	164	204
18. COLUMNAS NIVEL 9-CUBIERTA			3	167	209
19. ENTREPISO TRADICIONAL NIVEL CUBIERTA	<b>E3</b>		10	177	223

Figura 90 Cronogramas de actividades de construcción estructuras 9PC con entrepiso tipo E1, E2 y E3



**Figura 91 Comparación del tiempo de construcción de la estructura de las edificaciones en función del tipo de entrepiso**



De acuerdo a los cronogramas establecidos para las edificaciones 5PC, el tiempo de construcción consumido en la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 17% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa una reducción del 29%.

De igual manera, para las edificaciones 9PC, el tiempo de construcción consumido en la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducido en un 19% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa una reducción del 34%.

Es importante resaltar que, aunque la construcción del entrepiso E1 involucra vigas fundidas en sitio, prevalece el ahorro de tiempo en las actividades con respecto a los entrepisos tradicionales, mostrando de esta manera que la utilización del prefabricado en la obra otorga beneficios para entregar a tiempo la estructura, o incluso antes de lo usualmente conocido en el medio colombiano.

## **9.5 INFLUENCIA DEL COMPONENTE DE LOSA ALVEOLAR EN EL RETORNO DE LA INVERSIÓN**

Luego de evaluar todas las condiciones técnicas de los entresijos estructurales, concluyendo que se pueden obtener grandes beneficios al implementar el sistema de losas alveolares prefabricadas con materiales de alta resistencia, se hace necesario definir numéricamente estas ventajas con el fin de tener un soporte de tipo financiero en la toma de decisiones frente al uso e implementación de este sistema.

En la evaluación de proyectos, el análisis de inversión, el análisis de los costos y la evaluación financiera son determinantes para la toma de decisiones en donde varias alternativas son evaluadas escogiendo de ellas la que obtenga mayores beneficios y menores riesgos de inversión.

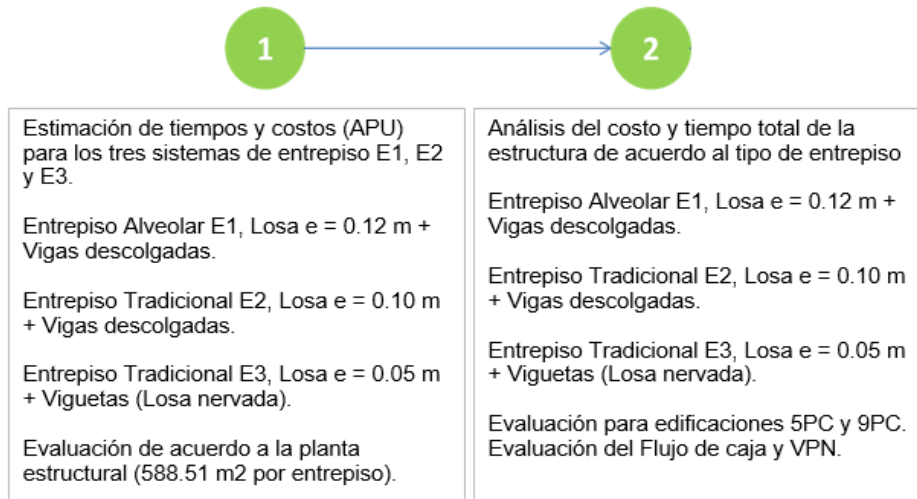
El objetivo principal para esta parte de la investigación fue realizar un análisis y una evaluación financiera sobre los costos asociados al sistema estructural de entresijo compuesto de losa alveolar E1, comparado con los sistemas de entresijo tradicionales más utilizados del mercado, siendo aplicado a la construcción de un edificio de 5 pisos y cubierta (5PC) y 9 pisos y cubierta (9PC), que son representativos de la infraestructura de vivienda colombiana, con el fin de determinar si la selección del sistema de entresijo alveolar E1 financieramente genera mayor beneficio y valor para los constructores.

Dentro de este análisis y evaluación financiera solo se detallaron los costos y tiempos asociados a la construcción de la estructura de acuerdo al tipo de sistema de entresijo evaluado. Las demás variables fueron tomadas del mercado y de actividades promedio de la construcción cotidiana. Partiendo de las bases del estimado en tiempo y costo para los sistemas de entresijo se realizó toda la evaluación de costos y análisis financiero.

En la metodología de evaluación financiera se emplearon varias etapas con el fin de determinar y analizar paso a paso los costos y sus estimaciones, que finalmente harán parte del costo total de un proyecto de una edificación promedio del medio colombiano. A continuación se presenta un esquema de la metodología:

## 9.5.1 Etapas de evaluación

Figura 92 Metodología de evaluación financiera por etapas



### 9.5.1.1.1 Etapa 1

Con base en los tiempos y costos del mercado se determinó de manera independiente para cada sistema de entrepiso, el análisis del precio unitario correspondiente con el fin de identificar los recursos aproximados que se requieren para construir cada sistema. Los rendimientos y costos fueron verificados con los precios del mercado colombiano y conforme a los rendimientos que se ofrecen comercialmente, seleccionando los que tienen mayor ocurrencia dentro de la práctica colombiana.

El análisis de precio unitario (APU) de cada sistema de entrepiso será evaluado frente a la configuración estructural planteada en los numerales anteriores, en donde cada entrepiso consta de **588,51 m<sup>2</sup>** de área de borde y la geometría y características de columnas y pantallas se mantendrá constante para cada tipo de edificación analizada.

Finalmente en esta etapa se obtuvieron tres precios unitarios, en donde podrán detallarse los recursos que se emplean regularmente para llevar a cabo estas actividades y poder ofrecer las respectivas conclusiones sobre su variación, tomando siempre como referencia el sistema de entrepiso Alveolar E1.

#### **9.5.1.1.2 Etapa 2**

Basándose en la información determinada en la etapa 1 (APU's), se calculó de manera simple el costo total de la estructura para una edificación de 5 y 9 pisos con cubierta para los tres sistemas de entrepiso evaluados. En esta etapa se determinó el comportamiento en su ejecución e inversión mediante el uso de la curva S y su respectiva comparación, nuevamente tomando como referencia el sistema de entrepiso alveolar tipo E1.

Para la construcción del cronograma de ejecución y flujo de inversión del costo, se usaron los rendimientos que ofrece el mercado para los sistemas tradicionales, al igual que los rendimientos que por medio de la investigación se encontraron para el sistema de entrepiso como las losas alveolares. Es importante aclarar que se adoptaron jornadas laborales de 8 horas y semanas de trabajo de acuerdo al código colombiano del trabajo.

Para la construcción de los Flujos se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- Costo de Capital
- Inversión Inicial y Valor Presente
- Flujos financieros
- Métodos de evaluación
  - Periodo de recuperación
  - VPN: Valor Presente Neto. (Si el remanente es positivo, entonces el VPN es positivo. Aquí se está agregando valor y el proyecto debe aceptarse. Si el remanente es negativo, entonces el VPN, es negativo. Aquí el proyecto está destruyendo valor y el proyecto debe rechazarse. Cuando se tengan proyectos con VPN, positivos, entonces se debe escoger el que tenga mayor VPN. Este proyecto es el que crea mayor valor al inversionista o constructor).

Conforme a los resultados obtenidos se ofrecen las respectivas recomendaciones y conclusiones con el fin de determinar si la selección en el sistema de entrepiso alveolar E1 financieramente genera mayor beneficio y valor para los constructores.

## 9.5.2 Desarrollo y análisis de evaluación financiera

### 9.5.2.1.1 Desarrollo Etapa 1

Esta primera parte se considera fundamental, teniendo en cuenta que las siguientes etapas dependen directa y únicamente del costo unitario de cada sistema, esto con el fin de determinar un costo general que conlleve a esquematizar el costo total de cada estructura por tipo de edificación y sistema de entrepiso. Se aclara nuevamente que el sistema de resistencia sísmica para todos los casos es el mismo. En estos análisis de precios unitarios se evaluaron de manera detallada todos los recursos que se requieren para cada sistema y se seleccionaron y estimaron rendimientos y precios que hacen parte del mercado general. A continuación se presenta el cálculo y rendimientos de cada sistema de entrepiso, con el fin de determinar de manera aproximada un tiempo y costo promedio que conduzca posteriormente (Etapas 2 y 3) a establecer un cronograma para cada uno, de acuerdo a las condiciones del mercado y de manera específica para las características técnicas establecidas, es decir área de entrepiso y número de pisos.

**Tabla 18. Cálculo de precios unitarios entrepiso alveolar tipo E1**

DESCRIPCION				
Entrepiso con losas alveolares de concreto pretensado 60 MPa, de espesor 12 cm, apoyada directamente; relleno de juntas entre losa y zonas de enlace con apoyos de concreto armado, realizados con concreto $f_c=350$ kg/cm <sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta, y vertido con balde de pluma grúa, y acero Grado 60 ( $f_y=4200$ kg/cm <sup>2</sup> ), cuantía 12 kg/m <sup>2</sup> , altura libre de planta de hasta 3 m, con apuntalamiento y desapuntalamiento de la losa. Sin incluir repercusión de apoyos ni columnas.				
DESCRIPCION	UNIDAD	ANALISIS PRECIOS UNITARIOS (M2 LOSA)		
		VR. UNIT	REND.	VR. TOTAL
Losa alveolar prefabricada de concreto pretensado de 0,12 m de espesor y 1,20 m de anchura, con junta lateral abierta superiormente. 60 Mpa. Espesor equivalente de 0,078 m	m <sup>2</sup>	\$ 66,755	0.80	\$ 53,404
Tablón de madera de pino, dimensiones 20x7,2 cm.	m <sup>3</sup>	\$ 647,137	0.030	\$ 19,414
Puntal metálico telescópico, para 3 m de altura y 50 usos.	Ud	\$ 552	1.50	\$ 827
Clavos de acero.	kg	\$ 2,440	0.03	\$ 73
Acero en barras corrugadas, Grado 60 ( $f_y=4200$ kg/cm <sup>2</sup> ), elaborado en fabrica y colocado en obra, diámetros varios, según NTC 2289 y ASTM A 706.	kg	\$ 2,785	17	\$ 47,351
Concreto $f_c=350$ kg/cm <sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta, según NSR-10 y ACI 318-08.	m <sup>3</sup>	\$ 365,000	0.17	\$ 62,050
Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t y 27 m de altura máxima de trabajo.	h	\$ 133,261	0.151	\$ 20,122
Herramienta menor y vibrador eléctrico	h	\$ 36,500	0.040	\$ 1,460
Cuadrilla instalacion Acero de Refuerzo	h	\$ 27,240	0.250	\$ 6,810
Cuadrilla Mano de Obra Armado y vaciado de concreto	h	\$ 40,603	0.370	\$ 15,023
Oficial 1º montador de estructura prefabricada de concreto.	h	\$ 13,363	0.283	\$ 3,782
Ayudante montador de estructura prefabricada de concreto.	h	\$ 9,080	0.250	\$ 2,270
<b>TOTAL APU - COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 279,104</b>



**Tabla 19. Cálculo de precios unitarios entrepiso tradicional tipo E2**

**DESCRIPCION**

Losa maciza con vigas descolgadas de concreto armado, horizontal, altura 0,50 m, realizado con concreto  $f_c=350$  kg/cm<sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta, y vertido con balde de pluma grúa, y acero Grado 60 ( $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>), sobre sistema de encofrado continuo de madera; nervios "in situ" 12 cm, casetón recuperable de poliestireno expandido; malla electrosoldada tipo D 50, en capa de compresión; altura libre de planta de hasta 3 m. Sin incluir repercusión de columnas.

DESCRIPCION	UNIDAD	ANALISIS PRECIOS UNITARIOS (M2 PLACA)		
		VR. UNIT	REND.	VR. TOTAL
Sistema de encofrado continuo para losa aligerada de concreto armado, con casetón perdido, hasta 3 m de altura libre de planta, compuesto de: puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles.	m <sup>2</sup>	\$ 37,301	1.10	\$ 41,031
Casetón de poliestireno expandido, para losa aligerada, incluso parte proporcional de piezas especiales.	Ud	\$ 16,620	1.148	\$ 19,079
Molde de poliestireno expandido para cornisa.	m	\$ 18,692	0.10	\$ 1,869
Separador homologado para losas aligeradas.	Ud	\$ 144	1.20	\$ 173
Acero en barras corrugadas, Grado 60 ( $f_y=4200$ kg/cm <sup>2</sup> ), elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios, según NTC 2289 y ASTM A 706.	kg	\$ 2,785	23	\$ 64,063
Malla electrosoldada tipo Ø 6.5 mm/@150mm, según NTC 2310 y ASTM A 497.	m <sup>2</sup>	\$ 2,852	1.10	\$ 3,137
Concreto $f_c=350$ kg/cm <sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta, según NSR-10 y ACI 318-08.	m <sup>3</sup>	\$ 365,000	0.20	\$ 73,000
Herramienta menor y vibrador eléctrico	h	\$ 36,500	0.040	\$ 1,460
Cuadrilla instalacion Acero de Refuerzo	h	\$ 27,240	0.250	\$ 6,810
Cuadrilla Mano de Obra Armado y vaciado de concreto	h	\$ 40,603	0.550	\$ 22,332
Oficial 1ª obra negra.	h	\$ 13,363	0.325	\$ 4,343
Ayudante de obra negra.	h	\$ 9,080	0.325	\$ 2,951
<b>TOTAL APU - COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 288,297</b>

**TOTAL ENTREPISO E2** **\$ 169,665,534**

**Tabla 20. Cálculo de precios unitarios entrepiso tradicional tipo E3**

**DESCRIPCION**

Losa nervada de concreto armado, altura de 0,50 m, realizado con concreto  $f_c=350$  kg/cm<sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta, y vertido con balde de pluma grúa, acero Grado 60 ( $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>), sobre sistema de encofrado continuo de madera; nervios "in situ" 12 cm, intereje 120 cm; casetón de poliestireno expandido, malla electrosoldada tipo, en capa de compresión; altura libre de planta de hasta 3 m. Sin incluir repercusión de columnas.

DESCRIPCION	UNIDAD	ANALISIS PRECIOS UNITARIOS (M2 PLACA)		
		VR. UNIT	REND.	VR. TOTAL
Sistema de encofrado continuo para losa aligerada de concreto armado, con <b>casetón recuperable</b> , hasta 3 m de altura libre de planta, compuesto de: puntales, sopandas metálicas y superficie encofrante de madera tratada reforzada con varillas y perfiles	m <sup>2</sup>	\$ 35,179	1.10	\$ 38,697
Casetón de poliestireno expandido, para 25 usos, incluso parte proporcional de piezas especiales.	Ud	\$ 11,853	0.979	\$ 11,604
Molde de poliestireno expandido para cornisa.	m	\$ 18,692	0.10	\$ 1,869
Separador homologado para losas aligeradas.	Ud	\$ 144	1.20	\$ 173
Acero en barras corrugadas, Grado 60 ( $f_y=4200$ kg/cm <sup>2</sup> ), elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios, según NTC 2289 y ASTM A 706.	kg	\$ 2,785	24	\$ 66,848
Malla electrosoldada tipo y Ø 7,0mm/@150 mm, según NTC 2310 y ASTM A 497.	m <sup>2</sup>	\$ 2,852	1.10	\$ 3,137
Concreto $f_c=350$ kg/cm <sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta, según NSR-10 y ACI 318-08.	m <sup>3</sup>	\$ 365,000	0.17	\$ 62,050
Herramienta menor y vibrador eléctrico	h	\$ 36,500	0.060	\$ 2,190
Cuadrilla instalacion Acero de Refuerzo	h	\$ 27,240	0.250	\$ 6,810
Cuadrilla Mano de Obra Armado y vaciado de concreto	h	\$ 40,603	0.450	\$ 18,271
Oficial 1ª obra negra.	h	\$ 13,363	0.325	\$ 4,343
Ayudante de obra negra.	h	\$ 9,080	0.325	\$ 2,951
<b>TOTAL APU - COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 262,732</b>

**TOTAL ENTREPISO E3** **\$ 154,620,308**

Con el fin de tener un panorama del total de la estructura se calculó el APU para las columnas.

**Tabla 21. Cálculo de precios unitarios para columna**

**DESCRIPCION**

Columna rectangular o cuadrada de concreto reforzado, realizado con concreto f'c=350 kg/cm<sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta, y vertido con bomba, y acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm<sup>2</sup>), cuantía 120 kg/m<sup>3</sup>; montaje y desmontaje del encofrado desechable de MDF y poliestireno expandido (concreto visto), hasta 3 m de altura libre.

DESCRIPCION	UNIDAD	ANALISIS PRECIOS UNITARIOS (M3 COL)		
		VR. UNIT	REND.	VR. TOTAL
Separador homologado para columnas.	Ud	\$ 144	12	\$ 1,729
Acero en barras corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm <sup>2</sup> ), elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios, según NTC 2289 y ASTM A 706.	kg	\$ 2,485	270	\$ 671,042
Encofrado desechable de MDF y poliestireno expandido para columnas de concreto armado de sección rectangular o cuadrada, de hasta 3 m de altura y 50x50 cm de sección media, para acabado visto del concreto.	m	\$ 155,739	3.00	\$ 467,217
Concreto f'c=350 kg/cm <sup>2</sup> (35 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad blanda, fabricado en planta, según NSR-10 y ACI 318-08.	m <sup>3</sup>	\$ 365,000	1.03	\$ 375,950
Camión bomba estacionado en obra, para bombeo de concreto. Incluso parte proporcional de desplazamiento.	h	\$ 338,390	0.04	\$ 13,536
Oficial 1ª obra negra.	h	\$ 13,363	5.50	\$ 73,498
Ayudante de obra negra.	h	\$ 9,080	4.00	\$ 36,320
<b>TOTAL APU - COSTO DIRECTO</b>		<b>COSTO POR M3</b>		<b>\$ 1,639,290</b>

El sistema de entrepiso alveolar E1 presenta una variación en el costo directo frente a los otros sistemas tradicionales, su precio sigue siendo competitivo teniendo en cuenta su diferencia promedio (+4,7%) frente a sus ventajas constructivas y de logística dentro un proyecto, las cuales ya han sido mencionadas en capítulos anteriores.

**Conclusiones sobre costo Directo - Diferencia entre Tradicionales y Alveolar - 5PC**

	S. Alveolar E1	S. Trad. 10 cm E2	S. Trad. 5 cm E3	Diferencia con E2	Diferencia con E3
<b>Precio m2</b>	\$ 279,104	\$ 288,297	\$ 262,732	\$ 9,192 3.2%	\$ (16,372) -6.2%
<b>Tiempo Semanas</b>	15	18	21	3 16.7%	6 28.6%
<b>Costo Total Estructura</b>	\$ 1,086,930,458	\$ 1,113,979,769	\$ 1,038,753,641	\$ 27,049,311 2.4%	\$ (48,176,818) -4.6%

### **9.5.2.1.2                    Desarrollo Etapa 2**

De acuerdo a los costos unitarios directos calculados para cada sistema de entrepiso, se determinó el costo total de la estructura para las dos condiciones de mercado más frecuentes (Edificio 5PC y 9PC) y se calculó un flujo de costos específico para el capítulo de estructura de acuerdo al tiempo de ejecución de cada sistema estructural.

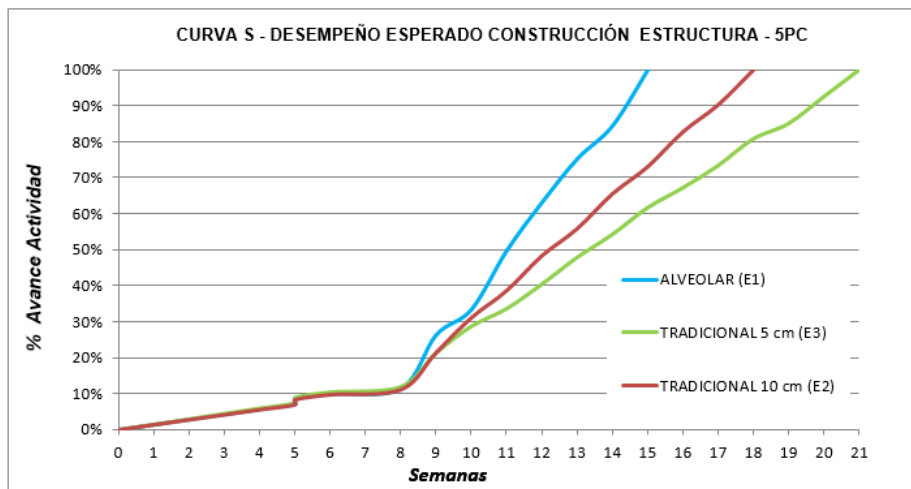
Conforme a los rendimientos encontrados en el mercado, cada sistema estructural presenta variaciones en tiempo que pueden observarse en los cronogramas (Sección 9.4.2) mostrados de acuerdo a cada edificación, además de ello, se calcularon los costos directos totales por mes con el fin de construir un flujo de costos para determinar el valor presente neto para la construcción de cada edificación y bajo los sistemas de entrepiso mencionados.

Figura 93 Flujo de caja – Costos edificaciones 5PC



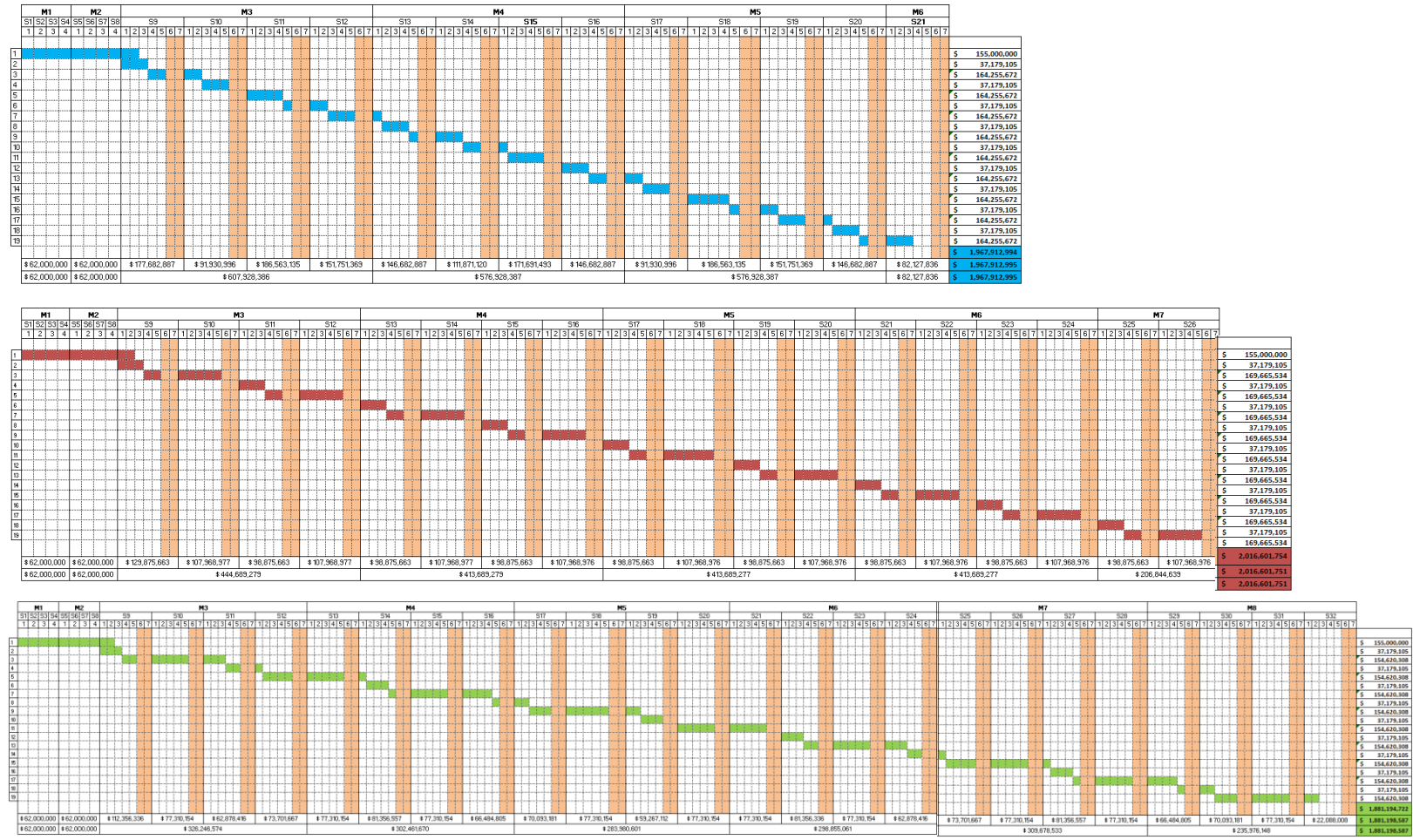
**Figura 94 Comparación del desempeño esperado de construcción de edificaciones 5PC en función del tipo de entrespiso**

		EDIFICACIONES 5PC					
		ALVEOLAR (E1) 100%		TRADICIONAL 10 cm (E2) 100%		TRADICIONAL 5 cm (E3) 100%	
Semanas		\$ 1,086,930,458		\$ 1,113,979,769		\$ 1,038,753,641	
M0	0	0%		0%		0%	
M1	1	1.43%	1.43%	1.39%	1.39%	1.49%	1.49%
	2	1.43%	2.85%	1.39%	2.78%	1.49%	2.98%
	3	1.43%	4.28%	1.39%	4.17%	1.49%	4.48%
	4	1.43%	5.70%	1.39%	5.57%	1.49%	5.97%
M2	5	1.43%	7.13%	1.39%	6.96%	1.49%	7.46%
	5	1.43%	8.56%	1.39%	8.35%	1.49%	8.95%
	6	1.43%	9.98%	1.39%	9.74%	1.49%	10.45%
	8	1.43%	11.41%	1.39%	11.13%	1.49%	11.94%
M3	9	14.96%	26.37%	10.31%	21.44%	9.37%	21.31%
	10	7.07%	33.44%	9.69%	31.13%	7.44%	28.75%
	11	16.33%	49.78%	7.52%	38.66%	4.89%	33.64%
	12	13.41%	63.19%	9.69%	48.35%	6.81%	40.45%
M4	13	12.11%	75.30%	7.53%	55.87%	7.44%	47.89%
	14	9.18%	84.48%	9.69%	65.57%	6.38%	54.27%
	15	15.52%	100.00%	7.52%	73.09%	7.44%	61.72%
	16			9.69%	82.78%	5.53%	67.25%
M5	17			7.52%	90.31%	6.17%	73.42%
	18			9.69%	100.00%	7.44%	80.86%
	19					4.26%	85.12%
	20					7.44%	92.56%
M6	21					7.44%	100.00%
	22						



Se aclara que la curva no presenta una pendiente suavizada al final, debido a que se requiere un flujo de caja constante para terminar la actividad total de ESTRUCTURA.

Figura 95 Flujo de caja – Costos edificaciones 9PC



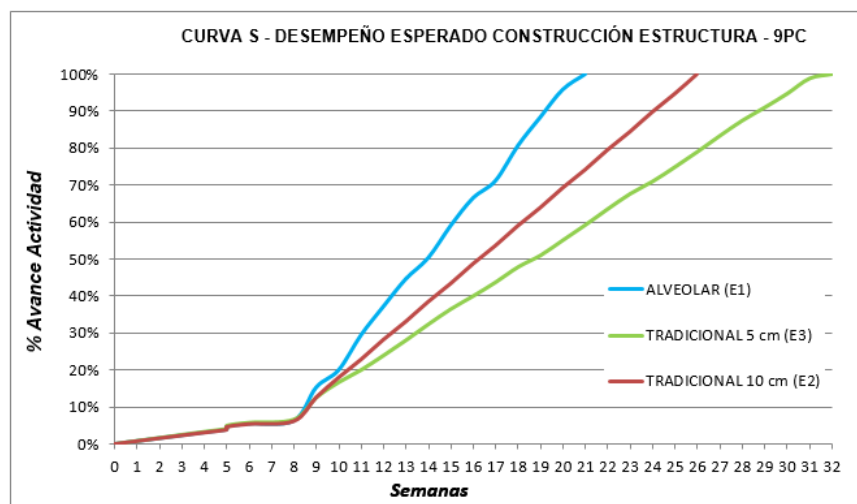
De igual manera para las edificaciones 9PC el sistema de entepiso alveolar E1 presenta una variación en el costo directo frente a los otros sistemas tradicionales, su precio sigue también sigue siendo competitivo teniendo en cuenta su diferencia promedio (+4,7%) frente a sus ventajas constructivas y de logística dentro un proyecto, las cuales ya han sido mencionadas en capítulos anteriores.

**Conclusiones sobre costo Directo - Diferencia entre Tradicionales y Alveolar - 9PC**

	S. Alveolar E1	S. Trad. 10 cm E2	S. Trad. 5 cm E3	Diferencia con E2	Diferencia con E3
<b>Precio m2</b>	\$ 279,104	\$ 288,297	\$ 262,732	\$ 9,192 3.2%	\$ (16,372) -6.2%
<b>Tiempo Semanas</b>	21	26	32	5 19%	11 34%
<b>Costo Total Estructura</b>	\$ 1,967,912,994	\$ 2,016,601,754	\$ 1,881,194,722	\$ 48,688,760 2.4%	\$ (86,718,272) -4.6%

**Figura 96 Comparación del desempeño esperado de construcción de edificaciones 9PC en función del tipo de entropiso**

		EDIFICACIONES 9PC					
		ALVEOLAR (E1) 100%		TRADICIONAL 10 cm (E2) 100%		TRADICIONAL 5 cm (E3) 100%	
Semanas		\$ 1,967,912,994		\$ 2,016,601,754		\$ 1,881,194,722	
M0	0	0%		0%		0%	
M1	1	0.79%	0.79%	0.77%	0.77%	0.82%	0.82%
	2	0.79%	1.58%	0.77%	1.54%	0.82%	1.65%
	3	0.79%	2.36%	0.77%	2.31%	0.82%	2.47%
	4	0.79%	3.15%	0.77%	3.07%	0.82%	3.30%
M2	5	0.79%	3.94%	0.77%	3.84%	0.82%	4.12%
	5	0.79%	4.73%	0.77%	4.61%	0.82%	4.94%
	6	0.79%	5.51%	0.77%	5.38%	0.82%	5.77%
M3	8	0.79%	6.30%	0.77%	6.15%	0.82%	6.59%
	9	9.03%	15.33%	6.44%	12.59%	5.97%	12.56%
	10	4.67%	20.00%	5.35%	17.94%	4.11%	16.67%
	11	9.48%	29.48%	4.90%	22.85%	3.34%	20.02%
M4	12	7.71%	37.19%	5.35%	28.20%	3.92%	23.93%
	13	7.45%	44.65%	4.90%	33.10%	4.11%	28.04%
	14	5.68%	50.33%	5.35%	38.46%	4.32%	32.37%
	15	8.72%	59.06%	4.90%	43.36%	4.11%	36.48%
M5	16	7.45%	66.51%	5.35%	48.71%	3.53%	40.01%
	17	4.67%	71.18%	4.90%	53.62%	3.73%	43.74%
	18	9.48%	80.66%	5.35%	58.97%	4.11%	47.85%
	19	7.71%	88.37%	4.90%	63.87%	3.15%	51.00%
M6	20	7.45%	95.83%	5.35%	69.23%	4.11%	55.11%
	21	4.17%	100.00%	4.90%	74.13%	4.11%	59.22%
	22			5.35%	79.49%	4.32%	63.54%
	23			4.90%	84.39%	4.11%	67.65%
M7	24			5.35%	89.74%	3.34%	70.99%
	25			4.90%	94.65%	3.92%	74.91%
	26			5.35%	100.00%	4.11%	79.02%
	27					4.32%	83.35%
M8	28					4.11%	87.46%
	29					3.53%	90.99%
	30					3.73%	94.72%
	31					4.11%	98.83%
	32					1.17%	100.00%



Se aclara que la curva no presenta una pendiente suavizada al final, debido a que se requiere un flujo de caja constante para terminar la actividad total de ESTRUCTURA.



### 9.5.2.1.3

## Valor presente neto – costo de estructura 5PC y 9PC

Tasa de Oportunidad (inversionista)

Tasa Op:	25%	Anual
Tasa Op:	1.88%	Mensual

CALCULO VPN COSTOS ESTRUCTURA 5PC			
	S. ALVEOLAR E1 100%	S. TRADICIONAL E2 100%	S. TRADICIONAL E3 100%
<b>Mes</b>	\$ 1,086,930,458	\$ 1,113,979,769	\$ 1,038,753,641
M0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
M1	(\$ 62,000,000)	(\$ 62,000,000)	(\$ 62,000,000)
M2	(\$ 62,000,000)	(\$ 62,000,000)	(\$ 62,000,000)
M3	(\$ 562,782,330)	(\$ 414,591,908)	(\$ 296,149,203)
M4	(\$ 400,148,129)	(\$ 383,591,908)	(\$ 278,383,773)
M5	\$ 0	(\$ 191,795,953)	(\$ 262,912,442)
M6	\$ 0	\$ 0	(\$ 77,310,154)
<b>VPN</b>	<b>(\$ 1,024,306,411)</b>	<b>(\$ 1,043,554,568)</b>	<b>(\$ 967,822,507)</b>
DIF	0%	2%	-6%
AHORRO O INGRESO	\$ 62,624,047	\$ 70,425,202	\$ 70,931,134
MESES	EN 4 MESES	EN 5 MESES	EN 6 MESES
SEMANAS	15	18	21

Tasa de Oportunidad (inversionista)

Tasa Op:	25%	Anual
Tasa Op:	1.88%	Mensual

CALCULO VPN COSTOS ESTRUCTURA 9PC			
	S. ALVEOLAR E1 100%	S. TRADICIONAL E2 100%	S. TRADICIONAL E3 100%
<b>Mes</b>	\$ 1,967,912,994	\$ 2,016,601,754	\$ 1,881,194,722
M0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
M1	(\$ 62,000,000)	(\$ 62,000,000)	(\$ 62,000,000)
M2	(\$ 62,000,000)	(\$ 62,000,000)	(\$ 62,000,000)
M3	(\$ 607,928,386)	(\$ 444,689,279)	(\$ 326,246,574)
M4	(\$ 576,928,387)	(\$ 413,689,279)	(\$ 302,461,670)
M5	(\$ 576,928,387)	(\$ 413,689,277)	(\$ 283,980,601)
M6	(\$ 82,127,836)	(\$ 413,689,277)	(\$ 298,855,061)
M7	\$ 0	(\$ 206,844,639)	(\$ 309,678,533)
M8	\$ 0	\$ 0	(\$ 235,976,148)
<b>VPN</b>	<b>(\$ 1,830,275,302)</b>	<b>(\$ 1,853,766,489)</b>	<b>(\$ 1,711,233,447)</b>
DIF	0%	1%	-7%
AHORRO O INGRESO	\$ 137,637,692	\$ 162,835,265	\$ 169,961,275
MESES	EN 6 MESES	EN 7 MESES	EN 8 MESES
SEMANAS	21	26	32

- Para los cumplir con los tiempos que se requieren para terminar la actividad de estructura prevista se obtuvieron reducciones del tiempo del orden del 17% al 29% (promedio 23%) frente a los sistemas tradicionales en la edificación de 5 pisos y cubierta, al igual que una reducción del 19% a un 34% (promedio 26.5%) frente a los sistemas tradicionales en una edificación de 9 pisos y cubierta.
- Basado en lo anterior podrían obtenerse reducciones en tiempo promedio de 2.5% por cada piso construido, es decir por cada 10 pisos obtengo 25% de reducción aproximada utilizando el entrepiso alveolar.
- En la curva S se puede evidenciar la terminación anticipada de esta actividad (Entrepiso Alveolar) frente a los sistemas de entrepiso tradicionales. Esto es directamente proporcional al rendimiento de colocación de las losas alveolares en obra.
- El sistema de entrepiso Alveolar puede tener menores costos reflejados en el costo de la estructura total con respecto al entrepiso tradicional E2, del orden del 3%. Con respecto al entrepiso tradicional E3 se observó un aumento aproximado del 6%, los cuales pueden ser compensados con la terminación anticipada de la estructura y los beneficios que de manera global se evaluarían al terminar proyectos de manera anticipada bajo costos similares.
- De acuerdo al cálculo del VPN para la estructura y la tasa de oportunidad estimada, se observa que los tres sistemas obtienen rentabilidad o ahorros, siendo el sistema de entrepiso alveolar el que los obtiene más anticipadamente.
- El sistema de entrepiso Alveolar traerá más beneficios al contratista o inversionista que emplee este sistema en estructura de 5 pisos en adelante o sea utilizado en vivienda multifamiliar como torres o conjuntos cerrados que manejen un alto grado de repetitividad del entrepiso.

- En todos los sistemas de entepiso van aumentando los rendimientos de obra durante el transcurso del proyecto y más cuando se hacen repetitivos, pero los rendimientos del sistema alveolar siempre serán más óptimos que los de sistemas tradicionales.

## 10. CONCLUSIONES

El presente estudio sobre la prefabricación en Colombia encontró que existe un panorama positivo frente a la concepción de proyectos que involucren componentes prefabricados en edificaciones típicas del medio. La prefabricación posee un gran potencial pues representa una industria que es sinónimo de eficiencia y calidad en comparación con las construcciones tradicionales que han predominado durante los últimos 60 años y que presentan atrasos o demoras dentro de sus cronogramas de construcción. La demanda de construcciones de calidad y la necesidad de entrega oportuna de proyectos que aporten satisfacción tanto a inversionistas como constructores hace que la prefabricación posea un amplio campo de acción dentro del gremio de la construcción y la consultoría colombiana y en general de cualquier país que la adopte.

En Colombia ya es posible contar con edificaciones de entresijos prefabricados con excelente calidad y con experiencias positivas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Componentes prefabricados como la losa alveolar se han convertido en una alternativa de entresijo viable, desempeñándose de manera óptima frente a cargas dinámicas, cargas de flexión, corte y vibraciones, ofreciendo ventajas desde el punto de resistencia y durabilidad en la obra.

En este estudio se encontró que es posible obtener proyectos viables de construcción con componentes prefabricados siempre y cuando se cumplan los principales requisitos para utilizarlos en edificaciones, es decir, donde exista estandarización, repetición y gran volumen de componentes prefabricados. Para que se diera la estandarización de componentes, fue y será siempre necesaria la proyección de las edificaciones en estudio con las siguientes características:

- Ortogonalidad de los ejes en la medida de lo posible basándose en una estricta interacción de la arquitectura y el diseñador estructural del proyecto.

- Concepción de la planta arquitectónica y estructural en función del componente prefabricado. El ajuste de los ejes y luces para apoyo de piezas prefabricadas.

Las ventajas de la prefabricación aparecen desde la misma planeación estructural y arquitectónica que se logra realizar en las etapas iniciales del proyecto. Es necesaria una coordinación integral con todas las disciplinas involucradas, como:

- Fabricante de componentes prefabricados: Encargado de garantizar la calidad y la resistencia del producto, así como su despacho oportuno.
- Estudios arquitectónicos, estructurales, hidrosanitarios, eléctricos, mecánicos y demás requeridos para lograr una conceptualización del proyecto en función del prefabricado garantizando las ventajas y eficiencias del mismo.
- Constructor del proyecto, que debe conocer la eficiencia del uso del prefabricado como solución técnica, económica y ambiental.

Se encontró además, que la forma de construir con componentes prefabricados requiere de una reestructuración del proceso de construcción tradicional en donde se entrelazan el diseño y la producción de piezas con el fin de garantizar más velocidad en la ejecución de un proyecto. Una premisa clave en el diseño arquitectónico y estructural con componentes prefabricados es considerar una configuración regular tanto en planta como en altura. Aunque la configuración en planta mostrada en el presente trabajo de investigación es irregular para las edificaciones 5PC y 9PC se encontraron reducciones y ventajas que pueden llegar a ser mayores cuando exista total simetría en las dos direcciones con una configuración regular.

Como se mencionó en el **capítulo 2** de materiales, Colombia posee amplios recursos naturales para la consecución de concretos con excelentes características que benefician

la producción y masificación de componentes prefabricados a lo largo y ancho del país. El concreto pretensado de alto desempeño es una solución cuando se trata de abarcar grandes luces sin comprometer grandes espesores de elementos promoviendo el ahorro de materiales y recursos. El prefabricado de concreto pretensado conocido como losa alveolar aplicado como entrepiso en edificaciones representativas del país ha tenido bastante éxito al punto que varias reconocidas constructoras ya lo tienen en cuenta en sus proyectos.

Se encontró durante el transcurso de la investigación que dada la gran variedad de componentes prefabricados que se pueden obtener en la construcción, el conocimiento de sus propiedades y aplicaciones es vital en el desarrollo de un proyecto. Como se evidenció en el **capítulo 3**, tanto los espacios como la misma estructura han de proyectarse desde adentro hacia afuera basándose en el componente prefabricado principal y predominante con el fin de evitar procesos de reajuste y finalmente afectaciones en la logística de montaje que redundarán en una extensión de los cronogramas de construcción previstos. Se puede decir que existe una buena planeación del entrepiso cuando al menos el 80% del área disponible de losa es ocupado por un componente prefabricado, ya que siempre existirán zonas que tengan que fundirse en sitio.

Desde que exista la integración arquitectónica y estructural (**Capítulo 4**), los proyectos que involucren prefabricados logran desarrollar las ventajas inherentes a los mismos como lo son de manera general: Gran versatilidad, estructuras durables, proyectos con mejores y más eficientes diseños, máxima calidad en producción y construcción. Todo lo anterior resulta ser atractivo para inversionistas y de valor agregado por encima de los proyectos de construcción tradicional. Hoy existe una necesidad de atender y responder una demanda de construcciones en plazos más cortos, por lo que es necesario que en el país se fortalezca el gremio de consultores, constructores y fabricantes de piezas prefabricadas, lo que sin duda consolidará nuevas empresas y generará nuevas fuentes de empleo.

Si fue posible lograr los beneficios y ventajas inherentes utilizando componentes prefabricados en los entrepisos de las edificaciones en estudio. Como se mencionó en el **capítulo 5**, además de la seguridad, la resistencia al fuego, la manera de construir y la calidad en general que se obtiene en la obra, se observaron reducciones para uso de formaleta y reducciones en la utilización de casetones, factores que son competitivos al momento de tomar decisiones en la proyección de un entrepiso.

Dada la importancia actual en que las edificaciones existentes y futuras tengan el menor impacto sobre los recursos naturales del medio ambiente, como se menciona en el **capítulo 6** sobre la sostenibilidad, la utilización de prefabricados en sistemas de entrepiso para el medio colombiano aportan su grano de arena al lograr una reducción en el uso de formaleta y la utilización de casetones de poliestireno expandido. Se encontró que con el entrepiso alveolar E1 pueden existir ahorros de hasta un 11% en formaletas para vigas con respecto al entrepiso tipo E2, y del 16% de ahorro con respecto a entrepisos tipo E3. De la misma manera el ahorro de casetones por unidad de área fue significativo, ya que se logró una reducción del 97% de casetones utilizando un entrepiso alveolar tipo E1 con respecto a los dos entrepisos tradicionales E2 y E3 respectivamente. Lo anterior sin duda deja muy claro que la sostenibilidad se puede lograr cuando se implementan entrepisos con componentes prefabricados en concreto que minimicen desperdicios y promuevan el ahorro de materiales que son nocivos para el medio ambiente.

En el presente estudio de la prefabricación en Colombia se evidenció claramente que los prefabricados pueden aportar la suficiente integridad estructural a una edificación siempre y cuando todos los componentes funcionen como una unidad y estén diseñados para tal fin (**capítulo 7**). Existen hoy varias metodologías de análisis de entrepisos que simulan la acción de diafragma y evalúan las fuerzas internas generadas. Si bien estas metodologías podrán variar con el tiempo, lo importante siempre será garantizar que la acción de diafragma exista y por lo tanto se transmitan las fuerzas laterales del sismo a lo largo y ancho del entrepiso con el fin de validar el análisis estructural propuesto en el reglamento colombiano NSR-10. El diseño estructural del diafragma con componentes prefabricados

es un requisito esencial en proyectos que deberá satisfacer los requerimientos del reglamento NSR-10, junto con las normativas internacionales que hacen parte de sus referencias.

El presente trabajo de investigación confirma que la prefabricación si puede ser aplicada a edificaciones que requieren calidad en sus acabados sin comprometer en ningún momento la integridad estructural. Los sistemas de entrepiso prefabricados en el país son una realidad con un futuro prometedor, ya que se ha corroborado que influyen positivamente la cadena logística de construcción. Tanto consultores como constructores pueden estar seguros que el prefabricado en entresijos y en cualquier parte de la edificación aportará ventajas puntuales y generales que no encontrarán cuando se construye de manera tradicional. Las edificaciones en estudio junto con los entresijos E1, E2, y E3 descritas en el **capítulo 8** prueban que es viable proyectar de manera eficiente una configuración estructural que al final tendrá repercusiones positivas tanto en diseño como en construcción.

El uso de sistemas de losas pretensadas prefabricadas integradas a sistemas tradicionales estructurales típicos de nuestro medio funciona satisfactoriamente desde el punto de vista técnico, económico y ambiental por las siguientes razones y de acuerdo a lo descrito en el **capítulo 9**:

#### **Reducciones en la etapa de diseños:**

Desde la etapa del diseño estructural, la implementación de la losa alveolar en el entrepiso de las edificaciones tipo 5PC y 9PC se vio reflejada en reducciones del peso propio de la estructura, reducción de cargas totales a cimentación y reducción del cortante basal. Es importante resaltar que aunque la densidad de vigas es menor para el entrepiso E1, el volumen de concreto, el peso propio y las correspondientes cargas a cimentación, así como el cortante basal se logran parecer mucho a las del entrepiso E3, el cual compensa su extensa densidad de vigas con menores espesores de losa, haciendo que



las variaciones no superen el 2%. Con respecto al entrepiso E2, el entrepiso E1 siempre obtuvo reducciones que son considerables como se describe a continuación:

El peso propio obtuvo una reducción apreciable ya que el mismo componente alveolar posee sus propios aligeramientos. Sin embargo, esta no fue la única ventaja, ya que la integración en el diseño permitió que la densidad de vigas para el entrepiso E1 fuera menor en comparación con los entrepisos E2 y E3 respectivamente. Como se mencionó a lo largo del trabajo de investigación esto se logra únicamente cuando la proyección del entrepiso se hace basándose en el componente prefabricado. La reducción del peso propio con un entrepiso alveolar E1 puede alcanzar un 10% comparándola con el entrepiso E2, pero un aumento máximo de tan solo 1,8% con respecto a entrepisos tipo E3 en edificaciones tipo 5PC y 9PC respectivamente.

En consecuencia, a parte de la reducción del peso propio se observó una reducción de las cargas que llegan a cimentación debido a la reducción del peso de vigas encontrada en el entrepiso E1. Junto con la carga viva y la carga muerta, las cargas en cimentación presentan una reducción máxima del 5% con respecto a los entrepisos tipo E2 y un aumento de menos del 1% con respecto a los entrepisos tipo E3.

El cortante basal se ve reducido haciendo más eficiente el diseño. Dicho cortante presenta una reducción máxima del 6% con respecto al entrepiso E2 y un aumento máximo del 1% con respecto al entrepiso E3. En conclusión se puede decir que la fuerza sísmica resultante tiene una menor ponderación cuando se utilizan estructuras con entrepisos prefabricados en su magnitud. Esto conlleva a menores solicitaciones sísmicas en los elementos y componentes estructurales.

#### **Reducciones en la etapa de cantidades de materiales:**

Las cantidades de concreto y acero son un tema que siempre tendrá relevancia cuando de construir se trata. La investigación encontró que se obtiene una reducción en la cantidad total del concreto del 10% cuando se implementan entrepisos alveolares

comparada con los entrepisos tipo E2, mientras que se llega a un aumento máximo del 2% comparada con entrepisos tipo E3. Esta tendencia parte de las cantidades propias del entrepiso constituido por vigas y losa donde la densidad de vigas es menor para entrepisos prefabricados tipo E1. Se observó una reducción del 14% en cantidad de concreto de vigas y losa en el entrepiso E1 con respecto de los entrepisos tipo E2. Así mismo, se observó un aumento de tan solo el 0,7% con respecto al entrepiso tipo E3.

De la misma manera que el concreto también se presentó una influencia importante en las cuantías de acero de refuerzo. Al consumir menos concreto se obtienen cantidades menores de refuerzo. La no utilización de la malla de alambre electrosoldado en entrepisos tipo E1 conlleva a obtener ahorros significativos de alrededor del 18% con respecto a los tradicionales E2 y cercana al 20%% con respecto a los tradicionales E3 para edificaciones tipo 5PC. Para edificaciones tipo 9PC conlleva a obtener ahorros significativos de alrededor del 14% con respecto a los tradicionales E2 y del 15%% con respecto a los tradicionales E3.

Cuando se tiene solamente en cuenta el acero de vigas y losa para las edificaciones 5PC y 9PC, la cantidad de acero de refuerzo por entrepiso utilizada en la edificación con entrepiso alveolar E1 se ve reducida en un 28% con respecto a la edificación de entrepiso E2; mientras que con respecto a la edificación de entrepiso E3 se observa una reducción del 30%.

Al tener una perspectiva de la reducción de materiales los índices nos dan un orden de magnitud del tipo de proyecto que se realiza. El estudio concluye que cuando se utiliza un entrepiso prefabricado E1 el índice general de acero por unidad de área en edificaciones de 5 pisos con cubierta 5PC y 9 pisos con cubierta 9PC se obtuvieron reducciones del 28% con respecto al entrepiso E2; mientras que con respecto al entrepiso E3 se observó una reducción del 30%.

### **Reducción de desperdicio e impacto ambiental:**

Es muy importante resaltar que durante la investigación de campo con empresas del sector que utilizaron componentes prefabricados en sus entrepisos, se observó intrínsecamente una reducción de las labores de limpieza de andamios y formaletas, así como un ahorro de aligeramientos como el caso de casetones de poliestireno expandido. Si bien determinar exactamente en qué porcentaje se reduce la limpieza es una tarea muy extensa, si se realizó una aproximación de la reducción de trabajos en formaleta para vigas de manera proporcional al área de las mismas en cada entrepiso. De esta manera se puede concluir que entre menor mano de obra en la tarea de armar vigas menor será el uso de formaleta y los trabajos de limpieza asociados. Se observó que utilizando el entrepiso E1 se puede tener un menor impacto ambiental mínimo del 10% con respecto a los entrepisos tradicionales.

Para el caso del ahorro en casetones, la reducción encontrada es considerable si se tiene en cuenta que con respecto al área total de la planta estructural apenas un 2% se utilizó con casetones y el resto fue ocupado por el componente prefabricado para el entrepiso E1. En la configuración en planta del entrepiso E2 y E3 un poco más del 70% del área es utilizada por casetones debido a la naturaleza constructiva de fundir en sitio. Como conclusión, la reducción del 97% mencionada anteriormente para casetones es favorable y a la vez atractivo para cualquier inversionista que pretenda que el proyecto de edificación obtenga créditos de la calificación LEED.

### **Reducción de los cronogramas de obra:**

Como se observó en el **capítulo 9** la construcción de los cronogramas para la ejecución de actividades propias de las estructuras 5PC y 9PC evidenció menores tiempos para el entrepiso alveolar tipo E1. El ahorro en tiempo de actividades de construcción significa ahorro en dinero por parte del constructor y del inversionista. Se puede concluir que en promedio con el entrepiso E1 se puede llegar por encima del 30% en agilización de los cronogramas de obra, beneficiando financieramente los proyectos.

Cuando se realicen análisis financieros por parte de las constructoras o por parte de los mismos inversionistas, se encontrará que las edificaciones planteadas con componentes prefabricados consumen menores tiempos que las construidas tradicionalmente, y por lo tanto su valor financiero es más elevado, aportando valor traído a tiempo presente.

De acuerdo a todos los criterios de comparación obtenidos a lo largo de la investigación es evidente que la utilización y masificación de componentes prefabricados en entresijos de edificaciones en el país es un valor agregado para los constructores, los consultores y en general para el gremio de la construcción colombiana.

## BIBLIOGRAFÍA

ACI Committee 318, *“Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02, and “Commentary”*. ACI 318R-02, *American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002.*

ANDECE. Asociación Nacional de Prefabricados y Derivados del Cemento. Adaptado del libro: *“The Little Book of Concrete”*. *British Precast Federation.*

*ASTM Subcommittee C09.20. 2008. Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM C33/C33M-08. ASTM International, West Conshohocken, PA.*

CAICEDO, Hernando, LOPEZ, Andrés. *“Historia de la prefabricación en concreto en Colombia: Notas para registrar un aprendizaje”*. Departamento de arquitectura. Universidad de los Andes, 2010.

*Concrete Structures Standard NZS 3101 Standards council 2006. ISBN 1-86975-043-8*

*Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana / Unión Temporal Construcción Sostenible S.A y Fundación FIDHAP (Consultor). – Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012. 200 p. ISBN: 978-958-8491-58-5.*

*PCA. Design and Control of Concrete Mixes, Chapter 5, EB001, Skokie, IL. 2002.*

*PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, 6<sup>th</sup> Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2004.*

*Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI). 2006. Energy Conservation and Condensation Control. Designers Notebook (DN) 15. PCI, Chicago, IL.*

Reglamento colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá D.C, Colombia.

*Seismic Design of cast-in place concrete diaphragms, chords, and collectors. A guide for practicing engineers. NEHRP Seismic Design technical Brief No.3. National Institute of Standards and Technology. U.S Department of Commerce. NIST GCR 10-917-4.*

*U.S. Green Building Council (USGBC). 2005. "An Introduction to the U.S. Green Building Council and the LEED Green Building Rating System," PowerPoint presentation on the USGBC website, USGBC, Washington, DC.*

Validación Técnico científica de paneles alveolares pretensados para aplicaciones diversas en la industria de la construcción. Código 1204-403-20646. Universidad de Los Andes. Centro de Investigación en materiales y obras civiles CIMOC. Informe final definitivo. 2009

*World Commission on Environment and Development. 1987. "Report on Our Common Future," Oxford University Press, New, York, NY.*

## ANEXOS

### Datos de análisis modelo estructural ME1-5PC

#### AVALUO DE CARGAS

#### CUBIERTA

Losa Alveolar e=0.12 m



Losa Alveolar (e equiv)	<b>0.078</b>	x	2.40 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.187 Ton/m <sup>2</sup>	(modelo)
Acabados	0.05	x	2.00 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.100 Ton/m <sup>2</sup>	1.00 kN/m <sup>2</sup>
Muros no estructurales				=	0.150 Ton/m <sup>2</sup>	1.50 kN/m <sup>2</sup>
Casetones				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
Cubierta verde liviana				=	0.150 Ton/m <sup>2</sup>	
					0.400 Ton/m <sup>2</sup>	4.00 kN/m <sup>2</sup>
			(Carga Viva - Oficina)		C.V.= 0.200 Ton/m <sup>2</sup>	2.00 kN/m <sup>2</sup>

$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2$$

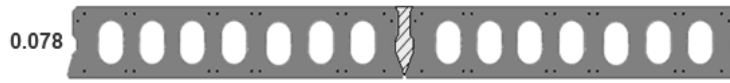
(Carga Ultima)

El peso propio de los elementos lo considera el programa ETABS

**AVALUO DE CARGAS**

(PISO TIPO)

Losa Alveolar e=0.12 m



**ENTREPISO ALVEOLAR**

Losa Alveolar (e equiv)	<b>0.078</b>	x	<b>2.40 Ton/m<sup>3</sup></b>	=	<b>0.187 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>(modelo)</b>
Acabados	<b>0.05</b>	x	<b>2.00 Ton/m<sup>3</sup></b>	=	<b>0.100 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>1.00 kN/m<sup>2</sup></b>
Muros no estructurales				=	<b>0.300 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>3.00 kN/m<sup>2</sup></b>
Casetones				=	<b>0.000 Ton/m<sup>2</sup></b>	
Otros				=	<b>0.000 Ton/m<sup>2</sup></b>	
					<hr/>	
				C.M.=	<b>0.400 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>4.00 kN/m<sup>2</sup></b>
		(Carga Viva - Oficina)		C.V.=	<b>0.200 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>2.00 kN/m<sup>2</sup></b>

$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Carga Ultima})$$

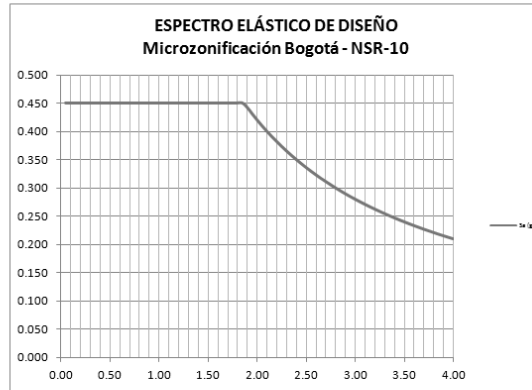
El peso propio de los elementos lo considera el programa ETABS



ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO (Según Decreto 523 del 16-Dic-2010)

Zona: LACUSTRE-200      Nombre del Archivo: 10LAC200  
 Aa: 0.15  
 Av: 0.20  
 Fa: 1.20  
 Fv: 3.50  
 Grupo de Uso: I  
 Coeficiente de importancia (I): 1.00  
 T<sub>c</sub> (seg): 1.87  
 T<sub>L</sub> (seg): 4.00

T (seg)	Sa (g)
0.00	0.450
0.05	0.450
0.10	0.450
0.15	0.450
0.20	0.450
0.25	0.450
0.30	0.450
0.35	0.450
0.40	0.450
0.45	0.450
0.50	0.450
0.55	0.450
0.60	0.450
0.65	0.450
0.70	0.450
0.75	0.450
0.80	0.450
0.85	0.450
0.90	0.450
0.95	0.450
1.00	0.450
1.05	0.450
1.10	0.450
1.15	0.450
1.20	0.450
1.25	0.450
1.30	0.450
1.35	0.450



**PROYECTO :** 5PC EDIFICIO ALVEOLAR

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño (según la microzonificación sísmica de Bogotá D.C.) construido con los siguientes parámetros:

ZONA : LACUSTRE-200      Grupo de Uso : I  
 Aa = 0.15      Fa = 1.20      T<sub>C</sub> = 1.87      A<sub>0</sub> = 0.18  
 Av = 0.20      Fv = 3.50      T<sub>L</sub> = 4.00      I = 1.00

El espectro se encuentra en el archivo: **10LAC200**

Zona de Amenaza Sísmica : **Intermedia**

Sistema Estructural: **Pórticos de concreto - DMO**

Datos para el Análisis Sísmico:	Area [m <sup>2</sup> ]	Alt.Piso [m]	Elevación h[m]	W [kN]	W / A [kN/m <sup>2</sup> ]	Masa [kN-s/m]
CUBIERTA	574.46	3.20	18.15	5067.9	8.82	516.60
PISO5	574.46	3.20	14.95	5410.9	9.42	551.57
PISO4	574.46	3.20	11.75	5410.9	9.42	551.57
PISO3	574.46	3.20	8.55	5410.9	9.42	551.57
PISO2	574.46	5.35	5.35	5641.3	9.82	575.06
				<b>Σ</b>	<b>26941.7</b>	

**Análisis Sísmico por Fuerza Horizontal Equivalente:**

Análisis por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente para ajustar el valor del cortante dinámico en la base ( según A.5.4.5 -- NSR - 10)

$$\begin{array}{lll} A_a = 0.15 & F_a = 1.20 & I = 1.00 \\ A_v = 0.20 & F_v = 3.50 & \end{array}$$

Periodo fundamental aproximado (según A.4.2.2 -- NSR - 10)

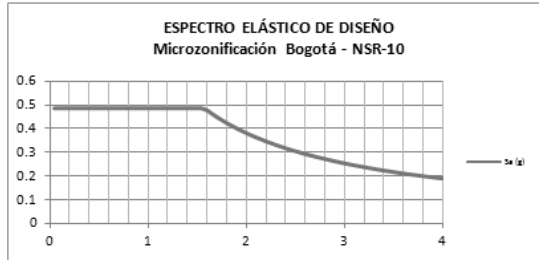
$$\begin{array}{ll} C_u = 1.2 & C_u = 1.75 - 1.2A_vF_v \\ C_t = 0.047 & \text{Pórticos de concreto - DMO} \\ \alpha = 0.90 & \end{array}$$

$T_a = C_t h^\alpha$	=	0.64	seg
$C_u^4 T_a$	=	0.77	seg

$$\begin{array}{lll} T_x = 0.51 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \\ T_y = 0.40 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} T_x = 0.51 & \text{seg ( definitivo )} \\ T_y = 0.40 & \text{seg ( definitivo )} \end{array}$$

$S_a = 1.2 A_v F_v I / T$	$S_a = 2.5 A_a F_a I$	$S_a = 1.2 A_v F_v T I / T^2$	$S_{ax} = 0.45$ (Definitivo)
$S_{ax} = 1.66$	$S_a = 0.45$	$S_{ax} = 13.05$	$S_{ay} = 0.45$ (Definitivo)
$S_{ay} = 2.12$		$S_{ay} = 21.47$	$V_{sx} = 12123.8$ kN
			$V_{sy} = 12123.8$ kN



Cortantes Dinámicos en la Base. (  $V_{tj}$  ) :

$$\begin{array}{llll} V_{tx} = 899.4 & \text{ton} & 8993.7 & \text{kN} \\ V_{ty} = 993.5 & \text{ton} & 9935.2 & \text{kN} \end{array} \quad (\text{Ver página siguiente})$$

Regularidad de la Estructura: 2 ( 1: Regular, 2: Irregular)

- Si la estructura es regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente (  $V_s$  ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

- Si la estructura es irregular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 90 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente (  $V_s$  ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

**Factores de Ajuste :**

$$\begin{array}{llll} F_x = 10911.4 & / & 8993.7 & = & 1.21 \\ F_y = 10911.4 & / & 9935.2 & = & 1.10 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} F_x = 1.21 & \text{( Definitivo )} \\ F_y = 1.10 & \text{( Definitivo )} \end{array}$$

SPC EDIFICIO ALVEOLAR  
 ARCHIVO ETABS: ME1-SPC.EDB  
 ANALISIS SISMICO

Modelo en kN-m

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER Mode	Period	TRASLATION						ROTATION					
		% MASS UX	% MASS UY	% MASS UZ	< % SUM> SumUX	< % SUM> SumUY	< % SUM> SumUZ	% MASS RX	% MASS RY	% MASS RZ	< % SUM> SumRX	< % SUM> SumRY	< % SUM> SumRZ
1	0.780229	11.6818	0.0063	0	11.6818	0.0063	0	0.008	13.6385	75.6254	0.008	13.6385	75.6254
2	0.507373	71.7211	0.0031	0	83.4029	0.0094	0	0.0038	86.0232	11.2384	0.0118	99.6617	86.8638
3	0.395593	0.0003	80.0512	0	83.4032	80.0606	0	99.1307	0.0006	0.0127	99.1425	99.6623	86.8765
4	0.229189	1.3801	0.0029	0	84.7832	80.0635	0	0.0022	0.0004	9.4276	99.1447	99.6627	96.3041
5	0.136466	10.6233	0.0001	0	95.4065	80.0636	0	0	0.0882	1.7338	99.1448	99.7509	98.0378
6	0.116941	0.5883	0.0021	0	95.9949	80.0657	0	0.0001	0.0266	1.2321	99.1449	99.7775	99.27
7	0.09814	0.0001	17.2486	0	95.995	97.3143	0	0.7752	0	0	99.92	99.7775	99.27
8	0.077168	0.018	0	0	96.013	97.3143	0	0	0.0001	0.3297	99.92	99.7776	99.5996
9	0.062286	2.9595	0	0	98.9726	97.3143	0	0	0.1979	0.272	99.92	99.9755	99.8716
10	0.059041	0.0176	0	0	98.9902	97.3143	0	0	0.0009	0.0415	99.92	99.9764	99.9131

SPC EDIFICIO ALVEOLAR  
 ARCHIVO ETABS: ME1-SPC.EDB  
 ANALISIS SISMICO

DYNAMIC RESPONSE SPECTRUM BASE SHEARS REACTIONS

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
SX	1	U1	1416.27	32.99	0	-461.485	19067.735	-11845.296
SX	2	U1	8695.31	-56.97	0	793.466	118656.967	-77545.389
SX	3	U1	0.04	19.54	0	-270.876	0.67	364.059
SX	4	U1	167.32	7.66	0	-83.752	34.677	-1363.357
SX	5	U1	1287.95	-4.11	0	25.188	1462.594	-11660.252
SX	6	U1	71.33	-4.22	0	11.222	188.95	-711.876
SX	7	U1	0.02	5.82	0	-15.38	0.046	108.451
SX	8	U1	2.19	-0.06	0	-0.271	-2.019	-22.631
SX	9	U1	358.8	-0.86	0	2.035	1156.066	-3181.99
SX	10	U1	2.14	0.07	0	-0.14	6.083	-17.546
SX	All	All	8993.73	66.09	0	912.929	121128.753	80023.007
SY	1	U2	32.99	0.77	0	-10.748	444.09	-275.878
SY	2	U2	-56.97	0.37	0	-5.198	-777.373	508.033
SY	3	U2	19.54	9705.23	0	-134570.509	333.034	180863.685
SY	4	U2	7.66	0.35	0	-3.833	1.587	-62.392
SY	5	U2	-4.11	0.01	0	-0.08	-4.666	37.196
SY	6	U2	-4.22	0.25	0	-0.664	-11.172	42.091
SY	7	U2	5.82	2091.18	0	-5523.832	16.619	38952.105
SY	8	U2	-0.06	0	0	0.008	0.059	0.659
SY	9	U2	-0.86	0	0	-0.005	-2.756	7.586
SY	10	U2	0.07	0	0	-0.005	0.206	-0.593
SY	All	All	66.09	9935.19	0	134704.128	901.849	185208.724

/-----D1-----/ /-----D2-----/  
 DIRECTION-X DIRECTION-Y DIRECTION-X DIRECTION-Y  
 CQC            **8993.7**            **66.1**            **66.1**            **9935.2**

Vtx=    **899.4 Ton**                            **8993.7 kN**  
 Vty=    **993.5 Ton**                            **9935.2 kN**

Modelo en kN-m

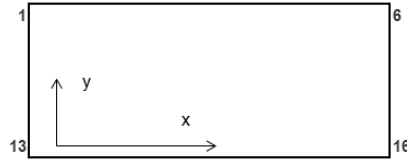
RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS & TOTAL MODAL DAMPING

Spec	Mode	Period	DampRatio	SpecFactor	SPEC-ACC U1	SPEC-ACC U2	SPEC-ACC U3	Sa
SX	1	0.780229	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	2	0.507373	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	3	0.395593	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	4	0.229189	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	5	0.136466	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	6	0.116941	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	7	0.09814	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	8	0.077168	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	9	0.062286	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	10	0.059041	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SY	1	0.780229	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	2	0.507373	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	3	0.395593	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	4	0.229189	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	5	0.136466	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	6	0.116941	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	7	0.09814	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	8	0.077168	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	9	0.062286	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	10	0.059041	0.05	1	0	4.4145	0	0.450

COORDINATES OF CENTERS OF CUMULATIVE MASS & CENTERS OF RIGIDITY

STORY LEVEL	DIAPHRAGM NUMBER	MASS		/---CENTER OF MASS---/ ORDINATE-X ORDINATE-Y		/--CENTER OF RIGIDITY--/ ORDINATE-X ORDINATE-Y					
		MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
CUBIERTA	D5	516.60	516.60	18.654	8.683	516.60	516.60	18.654	8.683	18.557	11.179
PISO5	D4	551.57	551.57	18.653	8.835	551.57	551.57	18.653	8.835	18.571	11.267
PISO4	D3	551.57	551.57	18.653	8.835	551.57	551.57	18.653	8.835	18.586	11.362
PISO3	D2	551.57	551.57	18.653	8.835	551.57	551.57	18.653	8.835	18.607	11.465
PISO2	D1	575.06	575.06	18.652	8.927	575.06	575.06	18.652	8.927	18.633	11.616

**Esquema Estructural - Identificación de Nudos Para Revision de la Irregularidad Torsional**



**REVISION DE LA IRREGULARIDAD TORSIONAL**

Δ = Deriva del análisis.

SISMO EN X Caso de Carga: 3

Columna Eje Vertical:

	1	13				
	Δ1 (cm)	Δ2 (cm)	$\frac{1.2*(\Delta1 + \Delta2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta1 + \Delta2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.26	0.87	1.28	1.49	NO	NO
PISO5	1.64	1.15	1.67	1.95	NO	NO
PISO4	1.90	1.35	1.95	2.28	NO	NO
PISO3	2.00	1.42	2.05	2.39	NO	NO
PISO2	2.51	1.79	2.58	3.01	NO	NO

	6	16				
	Δ1 (cm)	Δ2 (cm)	$\frac{1.2*(\Delta1 + \Delta2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta1 + \Delta2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.28	0.87	1.29	1.51	NO	NO
PISO5	1.65	1.16	1.68	1.96	NO	NO
PISO4	1.92	1.36	1.97	2.30	NO	NO
PISO3	2.01	1.43	2.07	2.41	NO	NO
PISO2	2.52	1.80	2.59	3.02	NO	NO

SISMO EN Y Caso de Carga: 5

Columna Eje Vertical:

	1	6				
	Δ1 (cm)	Δ2 (cm)	$\frac{1.2*(\Delta1 + \Delta2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta1 + \Delta2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.78	0.80	0.95	1.10	NO	NO
PISO5	0.93	0.94	1.12	1.31	NO	NO
PISO4	1.00	0.99	1.20	1.40	NO	NO
PISO3	0.99	0.98	1.18	1.37	NO	NO
PISO2	1.23	1.18	1.45	1.69	NO	NO

	13	16				
	Δ1 (cm)	Δ2 (cm)	$\frac{1.2*(\Delta1 + \Delta2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta1 + \Delta2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.64	0.66	0.78	0.91	NO	NO
PISO5	0.75	0.75	0.90	1.05	NO	NO
PISO4	0.80	0.80	0.96	1.13	NO	NO
PISO3	0.78	0.78	0.93	1.09	NO	NO
PISO2	0.97	0.94	1.14	1.33	NO	NO

IRREGULARIDADES EN PLANTA - (Ver tabla A.3-6 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Irregularidad Torsional	1aP		x
Irregularidad Torsional Extrema	1bP		x
Retrocesos excesivos en las Esquinas	2P	x	
Discontinuidades en el Diafragma	3P		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4P		x
Sistemas no Paralelos	5P		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.8
0.9

$\epsilon_p = 0.9$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\epsilon_p$ )

- En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la revisión de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP, 1bP, 3P y 4P (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP y 1bP (Ver A.3.3.6 NSR-10)

IRREGULARIDADES EN ALTURA - (Ver tabla A.3-7 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Piso Flexible (Irregularidad en Rigidez)	1aA		x
Piso Flexible (Irregularidad extrema en Rigidez)	1bA		x
Distribución de Masas	2A		x
Geométrica	3A		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4A		x
Piso Débil (Discontinuidad en la resistencia)	5aA		x
Piso Débil (Discontinuidad extrema en la resistencia)	5bA		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9
0.8

$\epsilon_a = 1.0$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\epsilon_a$ )

- Cuando la deriva de cualquier piso es menor a 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A ó 3A (Ver A.3.3.5.1 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica intermedia y para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I la evaluación de la irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 5aA y 5bA (Ver A.3.3.6 NSR-10)

AUSENCIA DE REDUNDANCIA - (Ver A.3.3.8 - NSR-10)

PARAMETRO	Si	No
Ausencia de redundancia en el sistema sismo-resistente		x

Factor de Reducción
0.75

$\epsilon_r = 1.00$

Factores - Resultado       $F_x = 1.21$   
 Análisis Sísmico           $F_y = 1.10$

Combinaciones de Carga:

1.0. CHEQUEO DE LA DERIVA

DER1	1.40 C.M.		
DER2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
DER3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.21 S.X.
DER4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.21 S.X.
DER5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.10 S.Y.
DER6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.10 S.Y.
DER7	0.90 C.M.		+ 1.21 S.X.
DER8	0.90 C.M.		- 1.21 S.X.
DER9	0.90 C.M.		+ 1.10 S.Y.
DER10	0.90 C.M.		- 1.10 S.Y.

C.M. = Carga Muerta  
 C.V. = Carga Viva  
 S.X. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en X  
 S.Y. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en Y

$R_o = 5.00$       Pórticos de concreto - DMO  
 $\Omega_o = 3.00$

$\phi_a = 1.00$   
 $\phi_p = 0.90$   
 $\phi_r = 1.00$

$R_x = 4.50$   
 $R_y = 4.50$

$R_{c x} = 4.50$   
 $R_{c y} = 4.50$

2.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (FLEXIÓN)

D1	1.40 C.M.		
D2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
D3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.27 S.X.      + 0.07 S.Y.
D4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.27 S.X.      - 0.07 S.Y.
D5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.27 S.X.      + 0.07 S.Y.
D6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.27 S.X.      - 0.07 S.Y.
D7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.08 S.X.      + 0.24 S.Y.
D8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.08 S.X.      + 0.24 S.Y.
D9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.08 S.X.      - 0.24 S.Y.
D10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.08 S.X.      - 0.24 S.Y.
D11	0.90 C.M.		+ 0.27 S.X.      + 0.07 S.Y.
D12	0.90 C.M.		+ 0.27 S.X.      - 0.07 S.Y.
D13	0.90 C.M.		- 0.27 S.X.      + 0.07 S.Y.
D14	0.90 C.M.		- 0.27 S.X.      - 0.07 S.Y.
D15	0.90 C.M.		+ 0.08 S.X.      + 0.24 S.Y.
D16	0.90 C.M.		- 0.08 S.X.      + 0.24 S.Y.
D17	0.90 C.M.		+ 0.08 S.X.      - 0.24 S.Y.
D18	0.90 C.M.		- 0.08 S.X.      - 0.24 S.Y.

3.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (CORTANTE) -- Según literal C.21.3.3 (NSR-10)

COLUMNAS		$\Omega_0^*(S.X.)$	$\Omega_0^*(S.Y.)$	VIGAS		$2^*(S.X.)$	$2^*(S.Y.)$
DC1	1.40 C.M.			DV1	1.40 C.M.		
DC2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.			DV2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
DC3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.81 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.54 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.81 S.X.	-0.22 S.Y.	DV4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.54 S.X.	-0.15 S.Y.
DC5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.81 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.54 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.81 S.X.	-0.22 S.Y.	DV6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.54 S.X.	-0.15 S.Y.
DC7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.24 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.16 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.24 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.16 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.24 S.X.	-0.73 S.Y.	DV9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.16 S.X.	-0.49 S.Y.
DC10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.24 S.X.	-0.73 S.Y.	DV10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.16 S.X.	-0.49 S.Y.
DC11	0.90 C.M.	+ 0.81 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV11	0.90 C.M.	+ 0.54 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC12	0.90 C.M.	+ 0.81 S.X.	-0.22 S.Y.	DV12	0.90 C.M.	+ 0.54 S.X.	-0.15 S.Y.
DC13	0.90 C.M.	-0.81 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV13	0.90 C.M.	-0.54 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC14	0.90 C.M.	-0.81 S.X.	-0.22 S.Y.	DV14	0.90 C.M.	-0.54 S.X.	-0.15 S.Y.
DC15	0.90 C.M.	+ 0.24 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV15	0.90 C.M.	+ 0.16 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC16	0.90 C.M.	-0.24 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV16	0.90 C.M.	-0.16 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC17	0.90 C.M.	+ 0.24 S.X.	-0.73 S.Y.	DV17	0.90 C.M.	+ 0.16 S.X.	-0.49 S.Y.
DC18	0.90 C.M.	-0.24 S.X.	-0.73 S.Y.	DV18	0.90 C.M.	-0.16 S.X.	-0.49 S.Y.

4.0. CARGAS A CIMENTACION

C1	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		
C2	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.19 S.X.	
C3	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	-0.19 S.X.	
C4	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		+ 0.17 S.Y.
C5	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		-0.17 S.Y.

5.0 DISEÑO DE MUROS

M1	1.40 C.M.		
M2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
M3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.27 S.X.	
M4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.27 S.X.	
M5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.		+ 0.24 S.Y.
M6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.		-0.24 S.Y.
M7	0.90 C.M.	+ 0.27 S.X.	
M8	0.90 C.M.	-0.27 S.X.	
M9	0.90 C.M.		+ 0.24 S.Y.
M10	0.90 C.M.		-0.24 S.Y.

**CHEQUEO DE LA DERIVA DE PISO**

$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta\alpha$  = Deriva del análisis.

$\Delta\rho$  = Deriva permitida.  
(0.01 h)

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0568	0.0735	1.26	3.20	OK	0.39
PISO5	3.20	0.0482	0.0643	1.64	3.20	OK	0.51
PISO4	3.20	0.0376	0.0518	1.90	3.20	OK	0.59
PISO3	3.20	0.0255	0.0371	2.00	3.20	OK	0.62
PISO2	5.35	0.0130	0.0215	2.51	5.35	OK	0.47
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0084	0.0486	0.78	3.20	OK	0.24
PISO5	3.20	0.0072	0.0409	0.93	3.20	OK	0.29
PISO4	3.20	0.0058	0.0317	1.00	3.20	OK	0.31
PISO3	3.20	0.0041	0.0218	0.99	3.20	OK	0.31
PISO2	5.35	0.0023	0.0121	1.23	5.35	OK	0.23
<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0568	0.0744	1.28	3.20	OK	0.40
PISO5	3.20	0.0482	0.0649	1.65	3.20	OK	0.51
PISO4	3.20	0.0376	0.0523	1.92	3.20	OK	0.60
PISO3	3.20	0.0255	0.0374	2.01	3.20	OK	0.63
PISO2	5.35	0.0130	0.0216	2.52	5.35	OK	0.47
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0084	0.0482	0.80	3.20	OK	0.25
PISO5	3.20	0.0072	0.0403	0.94	3.20	OK	0.29
PISO4	3.20	0.0058	0.0310	0.99	3.20	OK	0.31
PISO3	3.20	0.0041	0.0212	0.98	3.20	OK	0.31
PISO2	5.35	0.0023	0.0116	1.18	5.35	OK	0.22

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
% Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$



$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta\alpha$  = Deriva del análisis.

$\Delta\rho$  = Deriva permitida.  
(0.01 h)

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:	<b>13</b>				
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
	CUBIERTA	3.20	0.0547	0.0365	0.87	3.20	OK 0.27
	PISO5	3.20	0.0472	0.0320	1.15	3.20	OK 0.36
	PISO4	3.20	0.0375	0.0259	1.35	3.20	OK 0.42
	PISO3	3.20	0.0261	0.0186	1.42	3.20	OK 0.44
	PISO2	5.35	0.0142	0.0109	1.79	5.35	OK 0.33

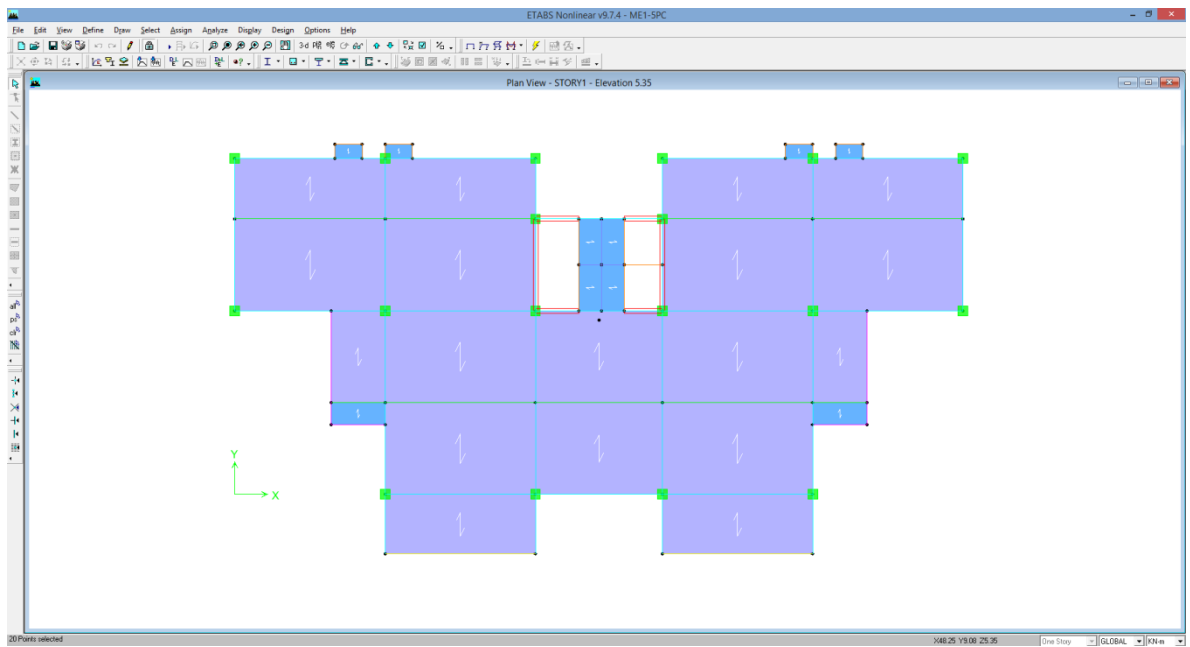
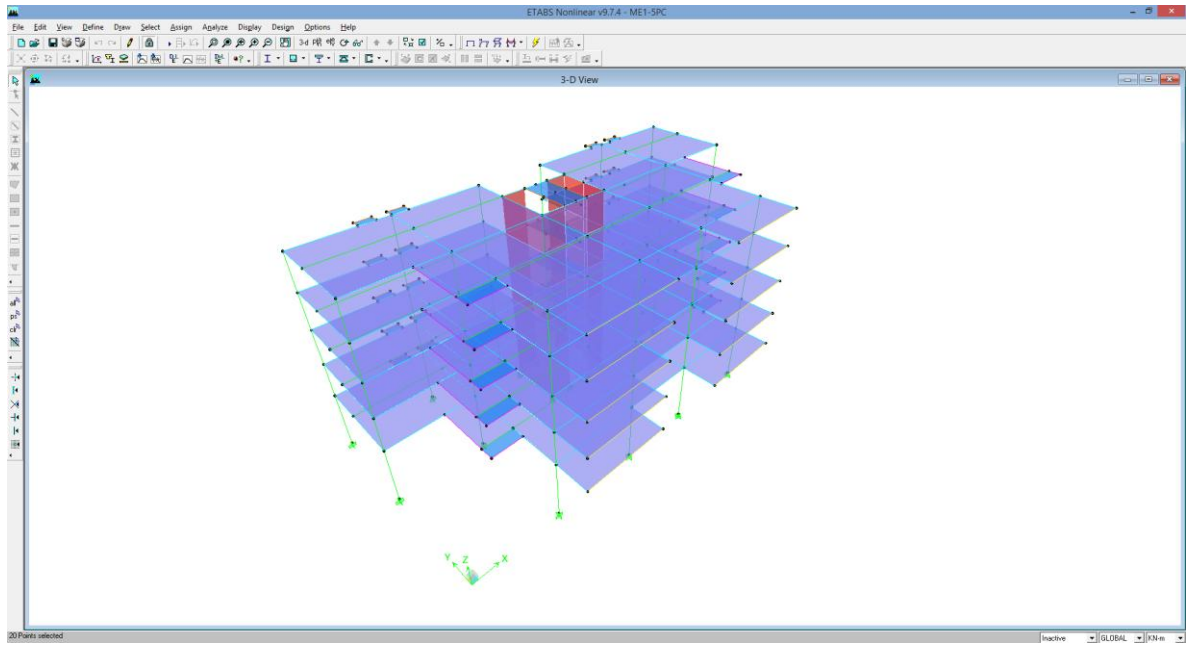
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:	<b>13</b>				
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
	CUBIERTA	3.20	0.0149	0.0364	0.64	3.20	OK 0.20
	PISO5	3.20	0.0130	0.0303	0.75	3.20	OK 0.24
	PISO4	3.20	0.0105	0.0232	0.80	3.20	OK 0.25
	PISO3	3.20	0.0076	0.0157	0.78	3.20	OK 0.24
	PISO2	5.35	0.0044	0.0086	0.97	5.35	OK 0.18

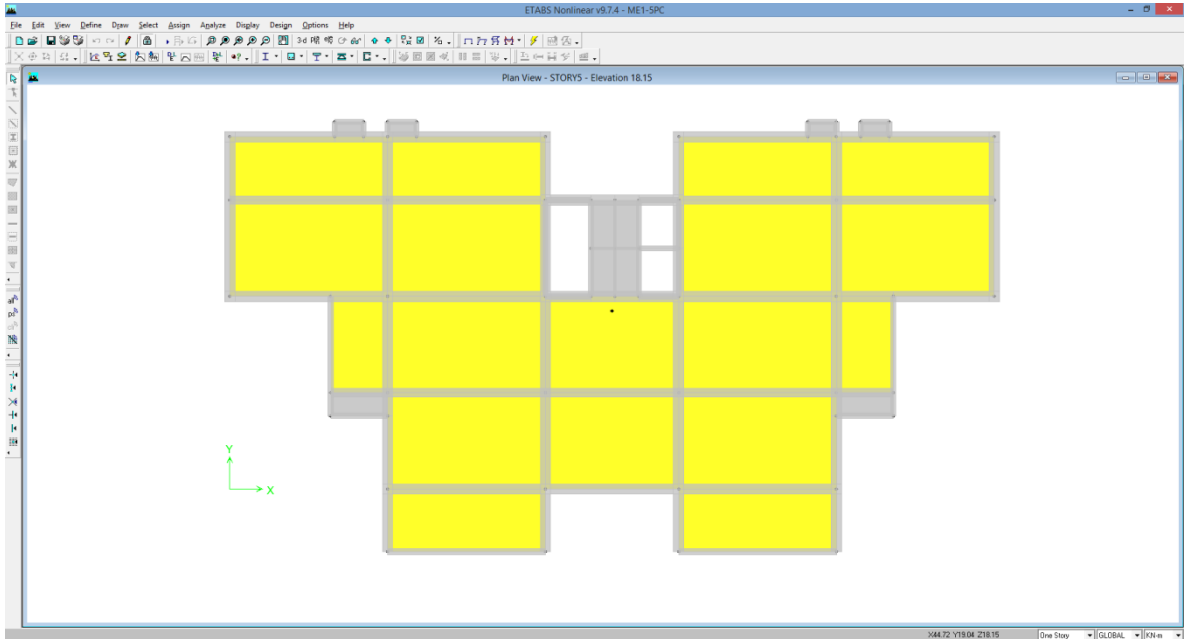
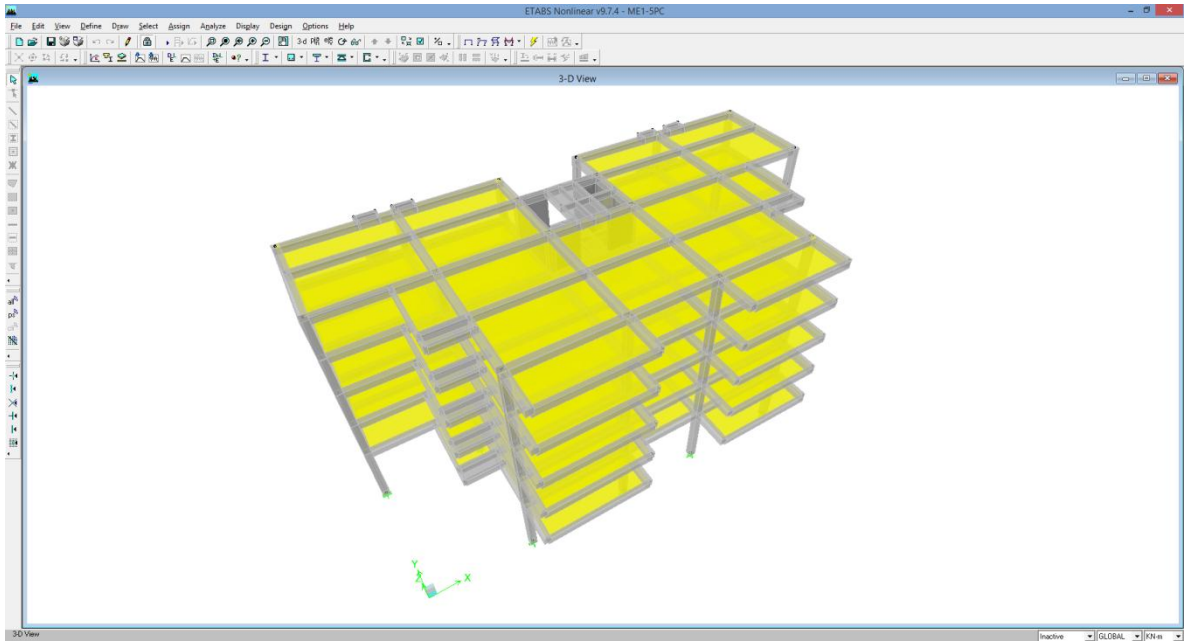
<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:	<b>16</b>				
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
	CUBIERTA	3.20	0.0547	0.0372	0.87	3.20	OK 0.27
	PISO5	3.20	0.0472	0.0327	1.16	3.20	OK 0.36
	PISO4	3.20	0.0375	0.0264	1.36	3.20	OK 0.43
	PISO3	3.20	0.0261	0.0189	1.43	3.20	OK 0.45
	PISO2	5.35	0.0142	0.0110	1.80	5.35	OK 0.34

<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:	<b>16</b>				
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
	CUBIERTA	3.20	0.0149	0.0363	0.66	3.20	OK 0.21
	PISO5	3.20	0.0130	0.0300	0.75	3.20	OK 0.24
	PISO4	3.20	0.0105	0.0229	0.80	3.20	OK 0.25
	PISO3	3.20	0.0076	0.0154	0.78	3.20	OK 0.24
	PISO2	5.35	0.0044	0.0083	0.94	5.35	OK 0.18

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
% Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$

			<u>Max en X</u>	0.63				
			<u>Max en Y</u>	0.31				
Max en x=	0.62	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">13</td> <td style="padding: 2px;">16</td> </tr> </table>	1	6	13	16	Max en x=	0.63
1	6							
13	16							
Max en y=	0.31		Max en y=	0.31				
Max en x=	0.44		Max en x=	0.45				
Max en y=	0.25		Max en y=	0.25				





## Datos de análisis modelo estructural ME1-9PC

### AVALUO DE CARGAS

#### CUBIERTA

Losa Alveolar e=0.12 m



Losa Alveolar (e equiv)	<b>0.078</b>	x	<b>2.40 Ton/m<sup>3</sup></b>	=	<b>0.187 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>(modelo)</b>
Acabados	<b>0.05</b>	x	<b>2.00 Ton/m<sup>3</sup></b>	=	<b>0.100 Ton/m<sup>2</sup></b>	
Muros no estructurales				=	<b>0.150 Ton/m<sup>2</sup></b>	
Casetones				=	<b>0.000 Ton/m<sup>2</sup></b>	
Cubierta verde liviana				=	<b>0.000 Ton/m<sup>2</sup></b>	
					<hr/>	
				C.M.=	<b>0.250 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>2.50 kN/m<sup>2</sup></b>
		(Carga Viva - Oficina)		C.V.=	<b>0.200 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>2.00 kN/m<sup>2</sup></b>

$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

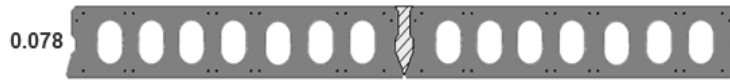
$$C.U. = 0.620 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Carga Ultima})$$

El peso propio de los elementos lo considera el programa ETABS

**AVALUO DE CARGAS**

(PISO TIPO)

Losa Alveolar e=0.12 m



**ENTREPISO ALVEOLAR**

Losa Alveolar (e equiv)	<b>0.078</b>	x	<b>2.40 Ton/m<sup>3</sup></b>	=	<b>0.187 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>(modelo)</b>
Acabados	<b>0.05</b>	x	<b>2.00 Ton/m<sup>3</sup></b>	=	<b>0.100 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>1.00 kN/m<sup>2</sup></b>
Muros no estructurales				=	<b>0.300 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>3.00 kN/m<sup>2</sup></b>
Casetones				=	<b>0.000 Ton/m<sup>2</sup></b>	
Otros				=	<b>0.000 Ton/m<sup>2</sup></b>	
					<hr/>	
				C.M.=	<b>0.400 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>4.00 kN/m<sup>2</sup></b>
			(Carga Viva - Oficina)	C.V.=	<b>0.200 Ton/m<sup>2</sup></b>	<b>2.00 kN/m<sup>2</sup></b>

**C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.**

**C.U. = 0.800 Ton/m<sup>2</sup>** (Carga Ultima)

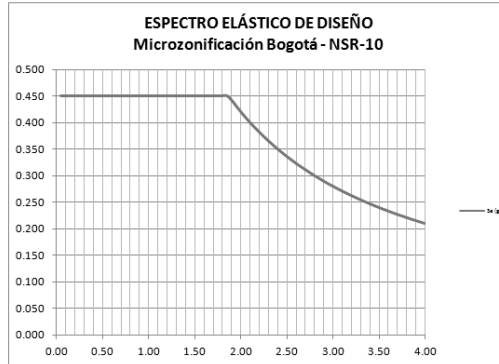
El peso propio de los elementos lo considera el programa ETABS

ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO (Según Decreto 523 del 16-Dic-2010)

Zona: LACUSTRE-200      Nombre del Archivo: 10LAC200  
 Aa: 0.15  
 Av: 0.20  
 Fa: 1.20  
 Fv: 3.50  
 Grupo de Uso: I  
 Coeficiente de importancia (I): 1.00

T<sub>c</sub> (seg): 1.87  
 T<sub>L</sub> (seg): 4.00

T (seg)	Sa (g)
0.00	0.450
0.05	0.450
0.10	0.450
0.15	0.450
0.20	0.450
0.25	0.450
0.30	0.450
0.35	0.450
0.40	0.450
0.45	0.450
0.50	0.450
0.55	0.450
0.60	0.450
0.65	0.450
0.70	0.450
0.75	0.450
0.80	0.450
0.85	0.450
0.90	0.450
0.95	0.450
1.00	0.450
1.05	0.450
1.10	0.450
1.15	0.450
1.20	0.450
1.25	0.450
1.30	0.450
1.35	0.450



**PROYECTO :** 9PC EDIFICIO ALVEOLAR

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño (según la microzonificación sísmica de Bogotá D.C.) construido con los siguientes parámetros:

ZONA : LACUSTRE-200      Grupo de Uso : I  
 Aa = 0.15      Fa = 1.20      T<sub>C</sub> = 1.87      A<sub>0</sub> = 0.18  
 Av = 0.20      Fv = 3.50      T<sub>L</sub> = 4.00      I = 1.00

El espectro se encuentra en el archivo: 10LAC200

Zona de Amenaza Sísmica : **Intermedia**

Sistema Estructural: **Pórticos de concreto - DMO**

Datos para el Análisis Sísmico:	Area [m <sup>2</sup> ]	Alt. Piso [m]	Elevación h[m]	W [kN]	W / A [kN/m <sup>2</sup> ]	Masa [kN-s/m]
CUBIERTA	574.46	3.20	30.95	5330.7	9.28	543.40
PISO9	574.46	3.20	27.75	5973.2	10.40	608.89
PISO8	574.46	3.20	24.55	5973.2	10.40	608.89
PISO7	574.46	3.20	21.35	5973.2	10.40	608.89
PISO6	574.46	3.20	18.15	5973.2	10.40	608.89
PISO5	574.46	3.20	14.95	5973.2	10.40	608.89
PISO4	574.46	3.20	11.75	5973.2	10.40	608.89
PISO3	574.46	3.20	8.55	5973.2	10.40	608.89
PISO2	574.46	5.35	5.35	<u>6404.8</u>	11.15	652.89
				<b>Σ</b>	<b>53547.9</b>	

**Análisis Sísmico por Fuerza Horizontal Equivalente:**

Análisis por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente para ajustar el valor del cortante dinámico en la base ( según A.5.4.5 -- NSR - 10)

$$\begin{array}{lll} A_a = 0.15 & F_a = 1.20 & I = 1.00 \\ A_v = 0.20 & F_v = 3.50 & \end{array}$$

Periodo fundamental aproximado (según A.4.2.2 -- NSR - 10)

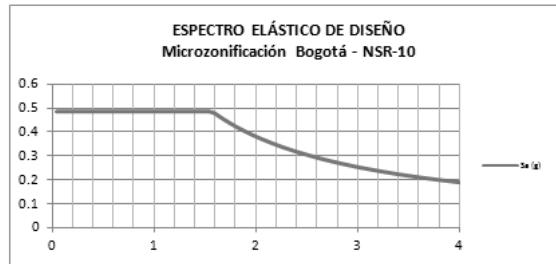
$$\begin{array}{ll} C_u = 1.2 & C_u = 1.75 - 1.2A_vF_v \\ C_t = 0.047 & \text{Pórticos de concreto - DMO} \\ \alpha = 0.90 & \end{array}$$

$T_a = C_t h^\alpha = 1.03 \text{ seg}$
$C_u T_a = 1.24 \text{ seg}$

$$\begin{array}{ll} T_x = 0.99 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \\ T_y = 0.59 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} T_x = 0.99 & \text{seg ( definitivo )} \\ T_y = 0.59 & \text{seg ( definitivo )} \end{array}$$

$S_a = 1.2 A_v F_v I / T$	$S_a = 2.5 A_a F_a I$	$S_a = 1.2 A_v F_v T_L / T^2$	$S_{ax} = 0.45 \text{ (Definitivo)}$
$S_{ax} = 0.85$	$S_a = 0.45$	$S_{ax} = 3.45$	$S_{ay} = 0.45 \text{ (Definitivo)}$
$S_{ay} = 1.41$		$S_{ay} = 9.50$	$V_{sx} = 24096.5 \text{ kN}$
			$V_{sy} = 24096.5 \text{ kN}$



Cortantes Dinámicos en la Base. ( $V_{tj}$ ):

$$\begin{array}{llll} V_{tx} = 1937.3 & \text{ton} & 19373.0 & \text{kN} \quad (\text{Ver página siguiente}) \\ V_{ty} = 1812.6 & \text{ton} & 18125.9 & \text{kN} \end{array}$$

Regularidad de la Estructura: 2 ( 1: Regular, 2: Irregular)

- Si la estructura es regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente ( $V_s$ ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

- Si la estructura es irregular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 90 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente ( $V_s$ ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

**Factores de Ajuste :**

$$\begin{array}{llll} F_x = 21686.9 & / & 19373.0 & = & 1.12 \\ F_y = 21686.9 & / & 18125.9 & = & 1.20 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} F_x = 1.12 & \text{( Definitivo )} \\ F_y = 1.20 & \text{( Definitivo )} \end{array}$$

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER Mode	Period	TRASLATION			< % SUM>			ROTATION			< % SUM>		
		% MASS UX	% MASS UY	% MASS UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	% MASS RX	% MASS RY	% MASS RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.986337	79.1363	0	0	79.1363	0	0	0	99.4916	0.1879	0	99.4916	0.1879
2	0.594735	0	72.028	0	79.1363	72.028	0	98.3118	0	0.0022	98.3118	99.4916	0.1901
3	0.473314	0.2437	0.0022	0	79.38	72.0302	0	0.003	0.1968	71.5764	98.3148	99.6884	71.7664
4	0.281403	12.7836	0	0	92.1636	72.0302	0	0	0.0164	0.1169	98.3148	99.7048	71.8834
5	0.135296	4.3536	0	0	96.5172	72.0303	0	0	0.2503	0.0017	98.3148	99.5552	71.885
6	0.129423	0	20.8487	0	96.5172	92.8789	0	1.5196	0	0.0003	99.8344	99.5552	71.8853
7	0.102798	0.0017	0.0003	0	96.5189	92.8793	0	0	0	21.0872	99.8344	99.5552	92.9726
8	0.080086	1.9579	0	0	98.4768	92.8793	0	0	0.0186	0.0037	99.8344	99.9737	92.9763
9	0.058803	0	4.9115	0	98.4768	97.7908	0	0.1436	0	0.0001	99.978	99.9737	92.9763
10	0.05327	0.8831	0	0	99.3599	97.7908	0	0	0.0194	0.0067	99.978	99.9931	92.9831

9PC EDIFICIO ALVEOLAR  
 ARCHIVO ETABS: ME1-9PC.EDB  
 ANALISIS SISMICO

DYNAMIC RESPONSE SPECTRUM BASE SHEARS REACTIONS

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
SX	1	U1	19069.11	8.34	0	-193.071	421160.304	-172407.419
SX	2	U1	0.01	-14.23	0	327.523	0.233	-265.581
SX	3	U1	58.72	5.63	0	-128.47	1039.546	-429.436
SX	4	U1	3080.39	0.81	0	-9.173	2172.385	-28407.309
SX	5	U1	1049.07	-3.16	0	16.864	4955.223	-9497.504
SX	6	U1	0	2.39	0	-12.699	0.007	44.532
SX	7	U1	0.4	0.18	0	-0.875	0.207	-0.242
SX	8	U1	471.8	0.01	0	-0.021	904.704	-4465.697
SX	9	U1	0	0.03	0	-0.085	0	0.474
SX	10	U1	212.81	-0.11	0	0.229	620.539	-1933.781
SX	All	All	19373	16.59	0	379.628	421232.508	175259.708
SY	1	U2	8.34	0	0	-0.084	184.225	-75.415
SY	2	U2	-14.23	17356.25	0	-399410.879	-284.348	323873.44
SY	3	U2	5.63	0.54	0	-12.31	99.608	-41.148
SY	4	U2	0.81	0	0	-0.002	0.573	-7.493
SY	5	U2	-3.16	0.01	0	-0.051	-14.917	28.591
SY	6	U2	2.39	5023.81	0	-26715.868	14.587	93682.777
SY	7	U2	0.18	0.08	0	-0.397	0.094	-0.11
SY	8	U2	0.01	0	0	0	0.013	-0.063
SY	9	U2	0.03	1183.5	0	-3985.454	-0.021	22075.494
SY	10	U2	-0.11	0	0	0	-0.316	0.984
SY	All	All	16.59	18125.94	0	400403.997	335.594	338213.727

/-----D1-----/ /-----D2-----/  
 DIRECTION-X DIRECTION-Y DIRECTION-X DIRECTION-Y  
 CQC           **19373.0**           **16.6**           **16.6**           **18125.9**

Modelo en kN-m

Vtx= **1937.3 Ton**                   **19373.0 kN**  
 Vty= **1812.6 Ton**                   **18125.9 kN**



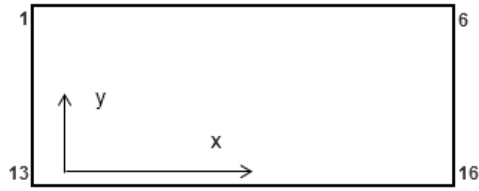
RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS & TOTAL MODAL DAMPING

Spec	Mode	Period	DampRatio	SpecFactor	SPEC-ACC U1	SPEC-ACC U2	SPEC-ACC U3	Sa
SX	1	0.986337	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	2	0.594735	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	3	0.473314	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	4	0.281403	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	5	0.135296	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	6	0.129423	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	7	0.102798	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	8	0.080086	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	9	0.058803	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	10	0.05327	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SY	1	0.986337	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	2	0.594735	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	3	0.473314	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	4	0.281403	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	5	0.135296	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	6	0.129423	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	7	0.102798	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	8	0.080086	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	9	0.058803	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	10	0.05327	0.05	1	0	4.4145	0	0.450

COORDINATES OF CENTERS OF CUMULATIVE MASS & CENTERS OF RIGIDITY

STORY LEVEL	DIAPHRAGM NUMBER	MASS		/---CENTER OF MASS---/ ORDINATE-X ORDINATE-Y						/---CENTER OF RIGIDITY---/ ORDINATE-X ORDINATE-Y	
		MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
CUBIERTA	D9	543.3973	543.3973	18.654	8.832	543.3973	543.3973	18.654	8.832	18.613	10.795
PISO9	D8	608.8875	608.8875	18.653	9.09	608.8875	608.8875	18.653	9.09	18.614	10.806
PISO8	D7	608.8875	608.8875	18.653	9.09	608.8875	608.8875	18.653	9.09	18.614	10.826
PISO7	D6	608.8875	608.8875	18.653	9.09	608.8875	608.8875	18.653	9.09	18.615	10.854
PISO6	D5	608.8875	608.8875	18.653	9.09	608.8875	608.8875	18.653	9.09	18.616	10.887
PISO5	D4	608.8875	608.8875	18.653	9.09	608.8875	608.8875	18.653	9.09	18.619	10.927
PISO4	D3	608.8875	608.8875	18.653	9.09	608.8875	608.8875	18.653	9.09	18.623	10.97
PISO3	D2	608.8875	608.8875	18.653	9.09	608.8875	608.8875	18.653	9.09	18.631	11.014
PISO2	D1	652.8887	652.8887	18.652	9.235	652.8887	652.8887	18.652	9.235	18.642	11.1

Esquema Estructural - Identificación de Nudos Para Revisión de la Irregularidad Torsional



REVISION DE LA IRREGULARIDAD TORSIONAL

$\Delta$  = Deriva del análisis

SISMO EN X \_\_\_\_\_ Caso de Carga: 3

Columna Eje Vertical:

1	13
---	----

	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.18	1.33	1.51	1.76	NO	NO
PISO9	1.41	1.56				
PISO8	1.66	1.82				
PISO7	1.89	2.05				
PISO6	2.09	2.23				
PISO5	2.18	2.33	2.71	3.16	NO	NO
PISO4	2.17	2.29	2.67	3.12	NO	NO
PISO3	1.97	2.07	2.43	2.83	NO	NO
PISO2	1.77	1.87	2.19	2.55	NO	NO

6	16
---	----

	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.18	1.33	1.51	1.76	NO	NO
PISO9	1.41	1.56				
PISO8	1.66	1.82				
PISO7	1.89	2.05				
PISO6	2.09	2.23				
PISO5	2.18	2.33	2.70	3.16	NO	NO
PISO4	2.17	2.29	2.67	3.12	NO	NO
PISO3	1.97	2.07	2.43	2.83	NO	NO
PISO2	1.77	1.87	2.19	2.55	NO	NO

Columna Eje Vertical:

	1                  6					
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.97	0.97	1.17	1.36	NO	NO
PISO9	0.98	1.00				
PISO8	1.00	1.01				
PISO7	0.98	1.00				
PISO6	0.94	0.95				
PISO5	0.86	0.88	1.05	1.22	NO	NO
PISO4	0.76	0.76	0.91	1.07	NO	NO
PISO3	0.60	0.62	0.73	0.86	NO	NO
PISO2	0.54	0.54	0.65	0.76	NO	NO

	13                16					
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.90	0.91	1.09	1.27	NO	NO
PISO9	0.94	0.95				
PISO8	0.93	0.94				
PISO7	0.92	0.93				
PISO6	0.89	0.89				
PISO5	0.81	0.82	0.98	1.15	NO	NO
PISO4	0.71	0.72	0.86	1.01	NO	NO
PISO3	0.57	0.57	0.69	0.80	NO	NO
PISO2	0.50	0.51	0.61	0.71	NO	NO

IRREGULARIDADES EN PLANTA - (Ver tabla A.3-6 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Irregularidad Torsional	1aP		x
Irregularidad Torsional Extrema	1bP		x
Retrosos excesivos en las Esquinas	2P	x	
Discontinuidades en el Diafragma	3P		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4P		x
Sistemas no Paralelos	5P		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9

$\alpha_p = 0.9$

- ( Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\alpha_p$  )  
 - En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la revisión de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP, 1bP, 3P y 4P (Ver A.3.3.7 NSR-10)  
 - En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP y 1bP (Ver A.3.3.6 NSR-10)

IRREGULARIDADES EN ALTURA - (Ver tabla A.3-7 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Piso Flexible (Irregularidad en Rigidez)	1aA		x
Piso Flexible (Irregularidad extrema en Rigidez)	1bA		x
Distribución de Masas	2A		x
Geométrica	3A		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4A		x
Piso Débil (Discontinuidad en la resistencia)	5aA		x
Piso Débil (Discontinuidad extrema en la resistencia)	5bA		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9
0.8

$\alpha_a = 1.0$

- ( Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\alpha_a$  )  
 - Cuando la deriva de cualquier piso es menor a 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A ó 3A (Ver A.3.3.5.1 NSR-10)  
 - En zonas de amenaza sísmica intermedia y para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I la evaluación de la irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Ver A.3.3.7 NSR-10)  
 - En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 5aA y 5bA (Ver A.3.3.6 NSR-10)

AUSENCIA DE REDUNDANCIA - (Ver A.3.3.8 - NSR-10)

PARAMETRO	Si	No
Ausencia de redundancia en el sistema sismo-resistente		x

Factor de Reducción
0.75

$\alpha_r = 1.00$

Factores - Resultado **Fx = 1.12**  
 Análisis Sísmico **Fy = 1.20**

**Combinaciones de Carga:**

**1.0. CHEQUEO DE LA DERIVA**

DER1	1.40 C.M.		
DER2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
DER3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.12 S.X.
DER4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.12 S.X.
DER5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.20 S.Y.
DER6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.20 S.Y.
DER7	0.90 C.M.		+ 1.12 S.X.
DER8	0.90 C.M.		- 1.12 S.X.
DER9	0.90 C.M.		+ 1.20 S.Y.
DER10	0.90 C.M.		- 1.20 S.Y.

C.M. = Carga Muerta  
 C.V. = Carga Viva  
 S.X. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en X  
 S.Y. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en Y

$R_o = 5.00$  Pórticos de concreto - DMO  
 $\Omega_o = 3.00$

$\phi_a = 1.00$   
 $\phi_p = 0.90$   
 $\phi_r = 1.00$

$R_x = 4.50$   
 $R_y = 4.50$

**2.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (FLEXIÓN)**

D1	1.40 C.M.		
D2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
D3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X. + 0.08 S.Y.
D4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X. - 0.08 S.Y.
D5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.25 S.X. + 0.08 S.Y.
D6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.25 S.X. - 0.08 S.Y.
D7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.07 S.X. + 0.27 S.Y.
D8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.07 S.X. + 0.27 S.Y.
D9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.07 S.X. - 0.27 S.Y.
D10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.07 S.X. - 0.27 S.Y.
D11	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X. + 0.08 S.Y.
D12	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X. - 0.08 S.Y.
D13	0.90 C.M.		- 0.25 S.X. + 0.08 S.Y.
D14	0.90 C.M.		- 0.25 S.X. - 0.08 S.Y.
D15	0.90 C.M.		+ 0.07 S.X. + 0.27 S.Y.
D16	0.90 C.M.		- 0.07 S.X. + 0.27 S.Y.
D17	0.90 C.M.		+ 0.07 S.X. - 0.27 S.Y.
D18	0.90 C.M.		- 0.07 S.X. - 0.27 S.Y.

$R_{cx} = 4.50$   
 $R_{cy} = 4.50$

## 2.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (FLEXIÓN)

D1	1.40 C.M.			
D2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.		
D3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	+ 0.08 S.Y.
D4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	-0.08 S.Y.
D5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.25 S.X.	+ 0.08 S.Y.
D6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.25 S.X.	-0.08 S.Y.
D7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.07 S.X.	+ 0.27 S.Y.
D8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.07 S.X.	+ 0.27 S.Y.
D9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.07 S.X.	-0.27 S.Y.
D10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.07 S.X.	-0.27 S.Y.
D11	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X.	+ 0.08 S.Y.
D12	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X.	-0.08 S.Y.
D13	0.90 C.M.		-0.25 S.X.	+ 0.08 S.Y.
D14	0.90 C.M.		-0.25 S.X.	-0.08 S.Y.
D15	0.90 C.M.		+ 0.07 S.X.	+ 0.27 S.Y.
D16	0.90 C.M.		-0.07 S.X.	+ 0.27 S.Y.
D17	0.90 C.M.		+ 0.07 S.X.	-0.27 S.Y.
D18	0.90 C.M.		-0.07 S.X.	-0.27 S.Y.

## 3.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (CORTANTE) -- Según literal C.21.3.3 (NSR-10)

COLUMNAS		$\Omega_0^*(S.X.)$	$\Omega_0^*(S.Y.)$	VIGAS		2*(S.X.)	2*(S.Y.)
DC1	1.40 C.M.			DV1	1.40 C.M.		
DC2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.		DV2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
DC3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.75 S.X.	DV3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.50 S.X.
DC4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.75 S.X.	DV4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.50 S.X.
DC5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.75 S.X.	DV5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.50 S.X.
DC6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.75 S.X.	DV6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.50 S.X.
DC7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.22 S.X.	DV7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.15 S.X.
DC8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.22 S.X.	DV8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.15 S.X.
DC9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.22 S.X.	DV9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.15 S.X.
DC10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.22 S.X.	DV10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.15 S.X.
DC11	0.90 C.M.		+ 0.75 S.X.	DV11	0.90 C.M.		+ 0.50 S.X.
DC12	0.90 C.M.		+ 0.75 S.X.	DV12	0.90 C.M.		+ 0.50 S.X.
DC13	0.90 C.M.		-0.75 S.X.	DV13	0.90 C.M.		-0.50 S.X.
DC14	0.90 C.M.		-0.75 S.X.	DV14	0.90 C.M.		-0.50 S.X.
DC15	0.90 C.M.		+ 0.22 S.X.	DV15	0.90 C.M.		+ 0.15 S.X.
DC16	0.90 C.M.		-0.22 S.X.	DV16	0.90 C.M.		-0.15 S.X.
DC17	0.90 C.M.		+ 0.22 S.X.	DV17	0.90 C.M.		+ 0.15 S.X.
DC18	0.90 C.M.		-0.22 S.X.	DV18	0.90 C.M.		-0.15 S.X.

## 4.0. CARGAS A CIMENTACION

C1	1.00 C.M.	+ 1.00 C.V.		
C2	1.00 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.17 S.X.	
C3	1.00 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.17 S.X.	
C4	1.00 C.M.	+ 1.00 C.V.		+ 0.19 S.Y.
C5	1.00 C.M.	+ 1.00 C.V.		-0.19 S.Y.

## 5.0 DISEÑO DE MUROS

M1	1.40 C.M.			
M2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.		
M3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	
M4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	-0.25 S.X.	
M5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.		+ 0.27 S.Y.
M6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.		-0.27 S.Y.
M7	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X.	
M8	0.90 C.M.		-0.25 S.X.	
M9	0.90 C.M.			+ 0.27 S.Y.
M10	0.90 C.M.			-0.27 S.Y.

**CHEQUEO DE LA DERIVA DE PISO**

$$\Delta_{\alpha} = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta_{\alpha}$  = Deriva del análisis.  
 $\Delta_{\rho}$  = Deriva permitida.  
 ( 0.01 h )

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.1625	0.0148	1.18	3.20	OK	0.37
PISO9	3.20	0.1508	0.0131	1.41	3.20	OK	0.44
PISO8	3.20	0.1368	0.0113	1.66	3.20	OK	0.52
PISO7	3.20	0.1203	0.0095	1.89	3.20	OK	0.59
PISO6	3.20	0.1015	0.0076	2.09	3.20	OK	0.65
PISO5	3.20	0.0807	0.0058	2.18	3.20	OK	0.68
PISO4	3.20	0.0590	0.0040	2.17	3.20	OK	0.68
PISO3	3.20	0.0374	0.0025	1.97	3.20	OK	0.62
PISO2	5.35	0.0177	0.0012	1.77	5.35	OK	0.33

<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0044	0.0763	0.97	3.20	OK	0.30
PISO9	3.20	0.0039	0.0666	0.98	3.20	OK	0.31
PISO8	3.20	0.0033	0.0568	1.00	3.20	OK	0.31
PISO7	3.20	0.0027	0.0468	0.98	3.20	OK	0.31
PISO6	3.20	0.0022	0.0370	0.94	3.20	OK	0.29
PISO5	3.20	0.0016	0.0276	0.86	3.20	OK	0.27
PISO4	3.20	0.0011	0.0190	0.76	3.20	OK	0.24
PISO3	3.20	0.0007	0.0114	0.60	3.20	OK	0.19
PISO2	5.35	0.0003	0.0054	0.54	5.35	OK	0.10

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.1625	0.0149	1.18	3.20	OK	0.37
PISO9	3.20	0.1508	0.0132	1.41	3.20	OK	0.44
PISO8	3.20	0.1368	0.0114	1.66	3.20	OK	0.52
PISO7	3.20	0.1203	0.0096	1.89	3.20	OK	0.59
PISO6	3.20	0.1015	0.0077	2.09	3.20	OK	0.65
PISO5	3.20	0.0807	0.0058	2.18	3.20	OK	0.68
PISO4	3.20	0.0590	0.0041	2.17	3.20	OK	0.68
PISO3	3.20	0.0374	0.0025	1.97	3.20	OK	0.62
PISO2	5.35	0.0177	0.0012	1.77	5.35	OK	0.33

<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0044	0.0773	0.97	3.20	OK	0.30
PISO9	3.20	0.0039	0.0676	1.00	3.20	OK	0.31
PISO8	3.20	0.0033	0.0576	1.01	3.20	OK	0.32
PISO7	3.20	0.0027	0.0475	1.00	3.20	OK	0.31
PISO6	3.20	0.0022	0.0375	0.95	3.20	OK	0.30
PISO5	3.20	0.0016	0.0280	0.88	3.20	OK	0.28
PISO4	3.20	0.0011	0.0192	0.76	3.20	OK	0.24
PISO3	3.20	0.0007	0.0116	0.62	3.20	OK	0.19
PISO2	5.35	0.0003	0.0054	0.54	5.35	OK	0.10

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$

$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta\alpha$  = Deriva del análisis.  
 $\Delta\rho$  = Deriva permitida.  
 ( 0.01 h )

SISMO EN X		Columna Eje Vertical:		13			
		Caso de Carga:		3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.1755	0.0068	1.33	3.20	OK	0.42
PISO9	3.20	0.1622	0.0061	1.56	3.20	OK	0.49
PISO8	3.20	0.1466	0.0053	1.82	3.20	OK	0.57
PISO7	3.20	0.1284	0.0045	2.05	3.20	OK	0.64
PISO6	3.20	0.1079	0.0037	2.23	3.20	OK	0.70
PISO5	3.20	0.0856	0.0028	2.33	3.20	OK	0.73
PISO4	3.20	0.0623	0.0020	2.29	3.20	OK	0.72
PISO3	3.20	0.0394	0.0013	2.07	3.20	OK	0.65
PISO2	5.35	0.0187	0.0006	1.87	5.35	OK	0.35

SISMO EN Y		Columna Eje Vertical:		13			
		Caso de Carga:		5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0072	0.0716	0.90	3.20	OK	0.28
PISO9	3.20	0.0063	0.0626	0.94	3.20	OK	0.29
PISO8	3.20	0.0053	0.0533	0.93	3.20	OK	0.29
PISO7	3.20	0.0044	0.0440	0.92	3.20	OK	0.29
PISO6	3.20	0.0035	0.0348	0.89	3.20	OK	0.28
PISO5	3.20	0.0026	0.0259	0.81	3.20	OK	0.25
PISO4	3.20	0.0018	0.0178	0.71	3.20	OK	0.22
PISO3	3.20	0.0011	0.0107	0.57	3.20	OK	0.18
PISO2	5.35	0.0005	0.0050	0.50	5.35	OK	0.09

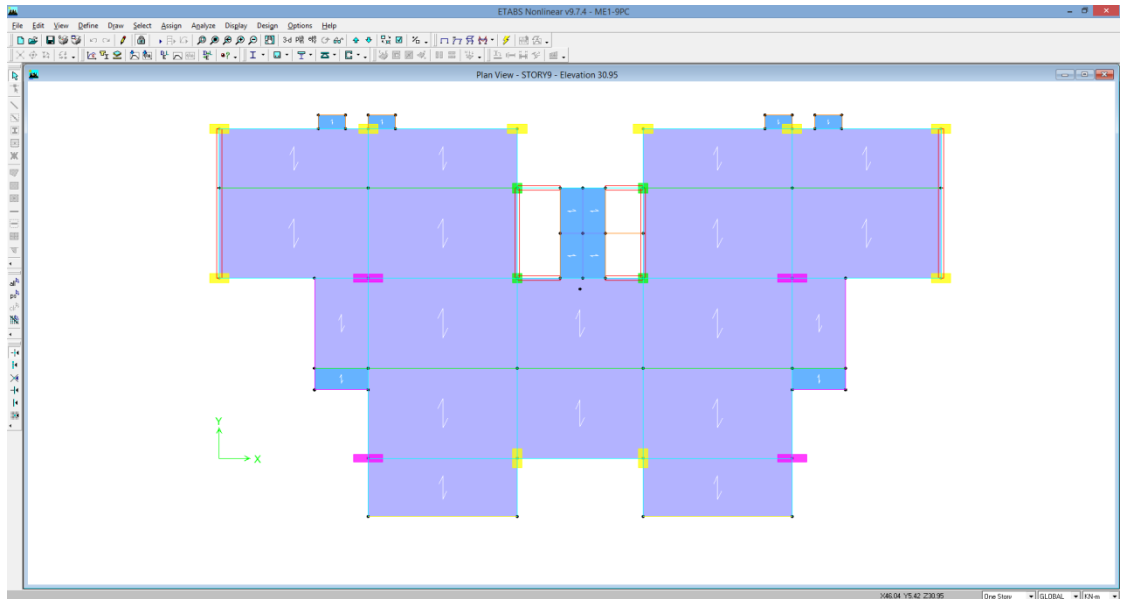
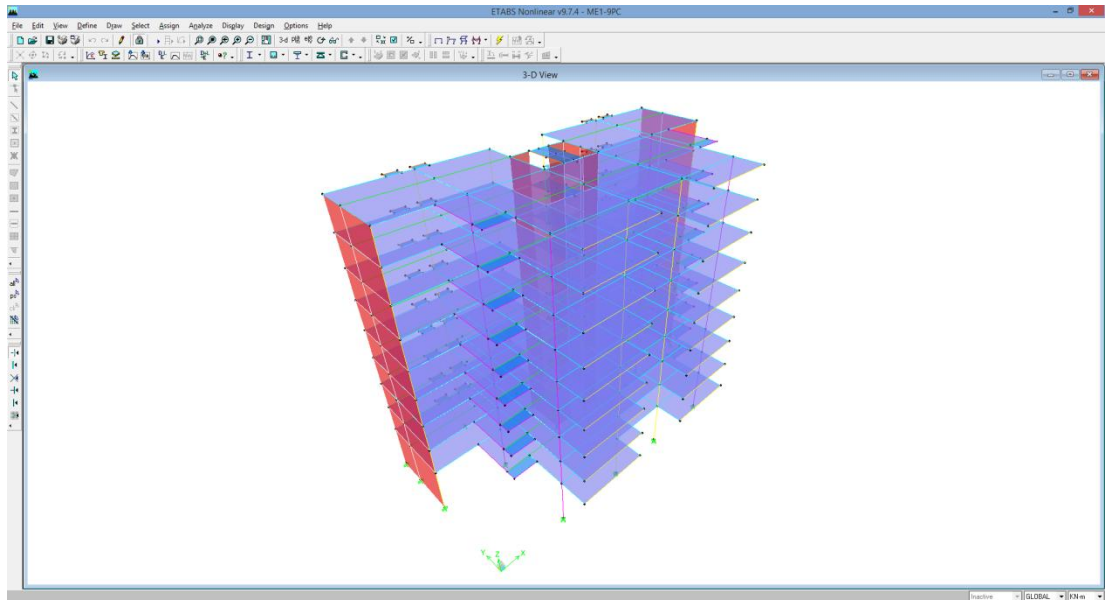
SISMO EN X		Columna Eje Vertical:		16			
		Caso de Carga:		3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.1755	0.0070	1.33	3.20	OK	0.42
PISO9	3.20	0.1622	0.0063	1.56	3.20	OK	0.49
PISO8	3.20	0.1466	0.0055	1.82	3.20	OK	0.57
PISO7	3.20	0.1284	0.0046	2.05	3.20	OK	0.64
PISO6	3.20	0.1079	0.0038	2.23	3.20	OK	0.70
PISO5	3.20	0.0856	0.0029	2.33	3.20	OK	0.73
PISO4	3.20	0.0623	0.0021	2.29	3.20	OK	0.72
PISO3	3.20	0.0394	0.0013	2.07	3.20	OK	0.65
PISO2	5.35	0.0187	0.0007	1.87	5.35	OK	0.35

SISMO EN Y		Columna Eje Vertical:		16			
		Caso de Carga:		5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0072	0.0723	0.91	3.20	OK	0.29
PISO9	3.20	0.0063	0.0632	0.95	3.20	OK	0.30
PISO8	3.20	0.0053	0.0538	0.94	3.20	OK	0.30
PISO7	3.20	0.0044	0.0444	0.93	3.20	OK	0.29
PISO6	3.20	0.0035	0.0351	0.89	3.20	OK	0.28
PISO5	3.20	0.0026	0.0262	0.82	3.20	OK	0.26
PISO4	3.20	0.0018	0.0180	0.72	3.20	OK	0.23
PISO3	3.20	0.0011	0.0108	0.57	3.20	OK	0.18
PISO2	5.35	0.0005	0.0051	0.51	5.35	OK	0.10

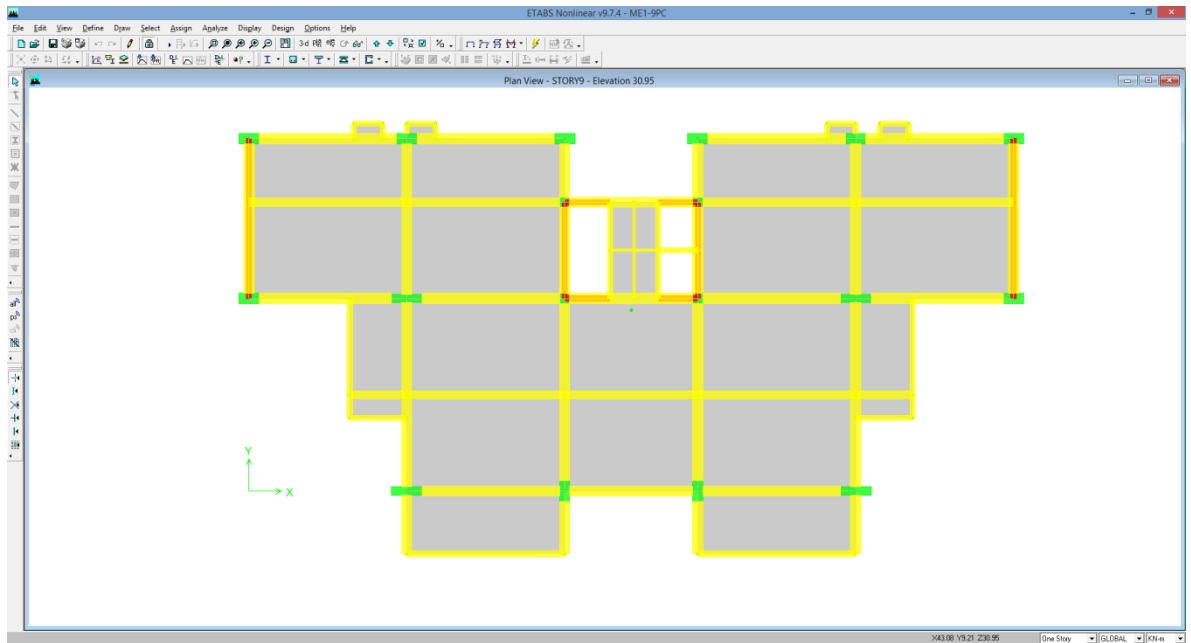
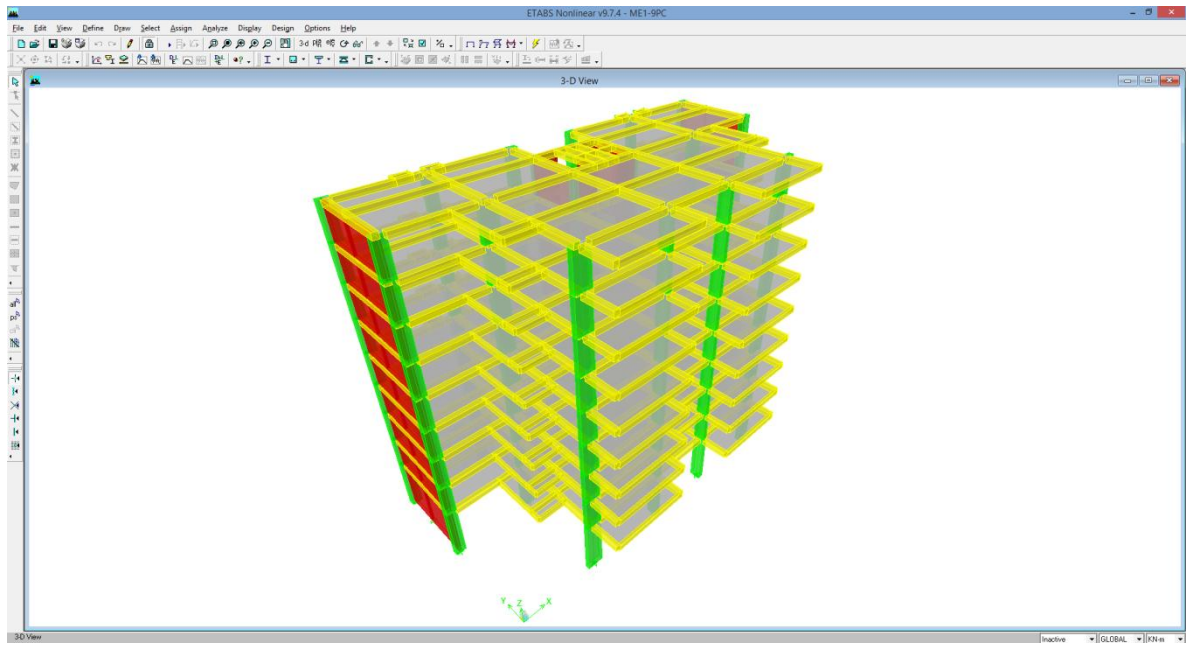
1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta p$

			<b>Max en X</b>	<b>0.73</b>				
			<b>Max en Y</b>	<b>0.32</b>				
Max en x=	0.68	<table border="0" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">1</td> <td style="width: 50%;">6</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>16</td> </tr> </table>	1	6	13	16	Max en x=	0.68
1	6							
13	16							
Max en y=	0.31		Max en y=	0.32				
Max en x=	0.73		Max en x=	0.73				
Max en y=	0.29		Max en y=	0.30				

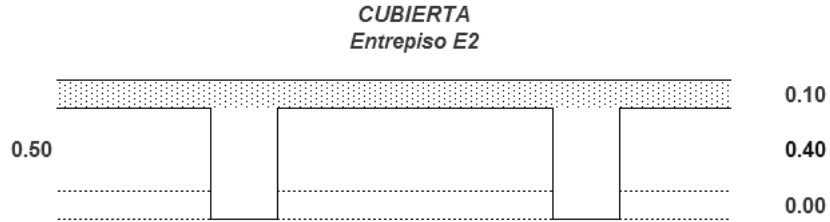






## Datos de análisis modelo estructural ME2-5PC

### AVALUO DE CARGAS



Losa maciza	e = 0.100	x	2.40 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.240 Ton/m <sup>2</sup>	(modelo)
Acabados	0.05	x	2.00 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.100 Ton/m <sup>2</sup>	1.00 kN/m <sup>2</sup>
Muros no estructurales				=	0.150 Ton/m <sup>2</sup>	1.50 kN/m <sup>2</sup>
Casetones				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
Cubierta verde liviana				=	0.150 Ton/m <sup>2</sup>	1.50 kN/m <sup>2</sup>
					<hr/>	
				C.M.=	0.400 Ton/m <sup>2</sup>	4.00 kN/m <sup>2</sup>
			(Carga Viva - Oficinas)	C.V.=	0.200 Ton/m <sup>2</sup>	2.00 kN/m <sup>2</sup>

$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

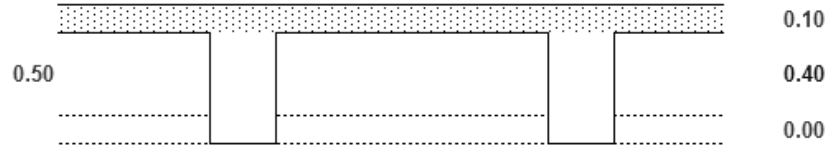
$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2$$

(Carga Ultima)

El peso propio de los elementos lo asigna directamente ETABS

AVALUO DE CARGAS

(PISO TIPO)  
Entrepiso E2



Losa maciza	e = 0.100	x	2.40 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.240 Ton/m <sup>2</sup>	(modelo)
Acabados	0.05	x	2.00 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.100 Ton/m <sup>2</sup>	1.00 kN/m <sup>2</sup>
Muros no estructurales				=	0.300 Ton/m <sup>2</sup>	3.00 kN/m <sup>2</sup>
Casetones				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
Otros				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
					<hr/>	
				C.M.=	0.400 Ton/m <sup>2</sup>	4.00 kN/m <sup>2</sup>
		(Carga Viva - Oficinas)		C.V.=	0.200 Ton/m <sup>2</sup>	2.00 kN/m <sup>2</sup>

$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$

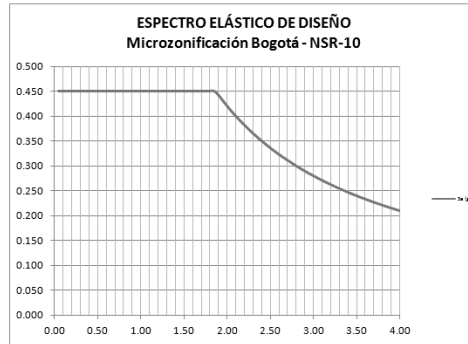
$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2$  (Carga Ultima)

El peso propio de los elementos lo asigna directamente ETABS

ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO (Según Decreto 523 del 16-Dic-2010)

Zona: LACUSTRE-200      Nombre del Archivo: 10LAC200  
 Aa: 0.15  
 Av: 0.20  
 Fa: 1.20  
 Fv: 3.50  
 Grupo de Uso: I  
 Coeficiente de importancia (I): 1.00  
 T<sub>c</sub> (seg): 1.87  
 T<sub>L</sub> (seg): 4.00

T (seg)	Sa (g)
0.00	0.450
0.05	0.450
0.10	0.450
0.15	0.450
0.20	0.450
0.25	0.450
0.30	0.450
0.35	0.450
0.40	0.450
0.45	0.450
0.50	0.450
0.55	0.450
0.60	0.450
0.65	0.450
0.70	0.450
0.75	0.450
0.80	0.450
0.85	0.450
0.90	0.450
0.95	0.450
1.00	0.450
1.05	0.450
1.10	0.450
1.15	0.450
1.20	0.450
1.25	0.450
1.30	0.450
1.35	0.450



**PROYECTO :**    5PC    EDIFICIO TRADICIONAL

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño (según la microzonificación sísmica de Bogotá D.C.) construido con los siguientes parámetros:

ZONA : LACUSTRE-200

Grupo de Uso : I

Aa = 0.15  
 Av = 0.20

Fa = 1.20  
 Fv = 3.50

T<sub>C</sub> = 1.87  
 T<sub>L</sub> = 4.00

A<sub>0</sub> = 0.18  
 I = 1.00

El espectro se encuentra en el archivo: **10LAC200**

Zona de Amenaza Sísmica : **Intermedia**

Sistema Estructural: **Pórticos de concreto - DMO**

Datos para el Análisis Sísmico:	Area [m <sup>2</sup> ]	Alt.Piso [m]	Elevación h[m]	W [kN]	W / A [kN/m <sup>2</sup> ]	Masa [kN-s/m]
CUBIERTA	574.46	3.20	18.15	5537.9	9.64	564.51
PISO5	574.46	3.20	14.95	5880.9	10.24	599.48
PISO4	574.46	3.20	11.75	5880.9	10.24	599.48
PISO3	574.46	3.20	8.55	5880.9	10.24	599.48
PISO2	574.46	5.35	5.35	6111.3	10.64	622.97

Σ 29291.7

**Análisis Sísmico por Fuerza Horizontal Equivalente:**

Análisis por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente para ajustar el valor del cortante dinámico en la base ( según A.5.4.5 -- NSR - 10)

$$\begin{array}{lll} A_a = 0.15 & F_a = 1.20 & I = 1.00 \\ A_v = 0.20 & F_v = 3.50 & \end{array}$$

Periodo fundamental aproximado (según A.4.2.2 -- NSR - 10)

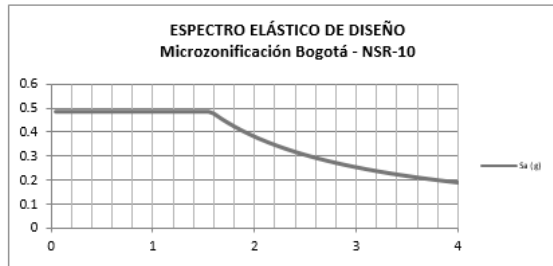
$$\begin{array}{ll} C_u = 1.2 & C_u = 1.75 - 1.2A_vF_v \\ C_t = 0.047 & \text{Pórticos de concreto - DMO} \\ \alpha = 0.90 & \end{array}$$

$T_a = C_t h^\alpha = 0.64 \text{ seg}$
$C_u^* T_a = 0.77 \text{ seg}$

$$\begin{array}{ll} T_x = 0.53 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \\ T_y = 0.41 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} T_x = 0.53 & \text{seg ( definitivo )} \\ T_y = 0.41 & \text{seg ( definitivo )} \end{array}$$

$S_a = 1.2 A_v F_v I / T$	$S_a = 2.5 A_a F_a I$	$S_a = 1.2 A_v F_v T_l I / T^2$	$S_{ax} = 0.45 \text{ (Definitivo)}$
$S_{ax} = 1.58$	$S_a = 0.45$	$S_{ax} = 11.91$	$S_{ay} = 0.45 \text{ (Definitivo)}$
$S_{ay} = 2.05$		$S_{ay} = 20.00$	$V_{sx} = 13181.3 \text{ kN}$
			$V_{sy} = 13181.3 \text{ kN}$



Cortantes Dinámicos en la Base. (  $V_{tj}$  ) :

$$\begin{array}{llll} V_{tx} = & 948.4 & \text{ton} & 9483.5 \text{ kN} \\ V_{ty} = & 1081.7 & \text{ton} & 10816.5 \text{ kN} \end{array} \quad \text{(Ver página siguiente)}$$

Regularidad de la Estructura: 2 ( 1: Regular, 2: Irregular)

- Si la estructura es regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente (  $V_s$  ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

- Si la estructura es irregular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 90 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente (  $V_s$  ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

**Factores de Ajuste :**

$$\begin{array}{llll} F_x = & 11863.1 & / & 9483.5 = 1.25 \\ F_y = & 11863.1 & / & 10816.5 = 1.10 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} F_x = 1.25 & \text{( Definitivo)} \\ F_y = 1.10 & \text{( Definitivo)} \end{array}$$

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	Mode	Period	TRASLATION			< % SUM>			ROTATION			< % SUM>		
			% MASS UX	% MASS UY	% MASS UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	% MASS RX	% MASS RY	% MASS RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1		0.793277	14.5877	0.0064	0	14.5877	0.0064	0	0.0081	17.0354	72.8942	0.0081	17.0354	72.8942
2		0.531146	68.657	0.0034	0	83.2447	0.0098	0	0.0042	82.6115	14.1958	0.0123	99.6469	87.0901
3		0.409852	0.0002	80.1932	0	83.2449	80.203	0	99.159	0.0005	0.0132	99.1713	99.6474	87.1033
4		0.233312	1.7135	0.0027	0	84.9584	80.2058	0	0.0021	0.0025	8.9449	99.1734	99.6499	96.0481
5		0.142391	10.4019	0.0001	0	95.3603	80.2059	0	0	0.0997	2.0424	99.1734	99.7496	98.0906
6		0.119119	0.667	0.0026	0	96.0274	80.2085	0	0.0001	0.0313	1.1398	99.1736	99.7809	99.2304
7		0.102063	0.0002	17.1197	0	96.0275	97.3282	0	0.7471	0	0	99.9207	99.7809	99.2304
8		0.078765	0.0161	0	0	96.0436	97.3282	0	0	0.0002	0.3255	99.9207	99.7811	99.5558
9		0.064732	2.9358	0	0	98.9794	97.3283	0	0	0.1942	0.3051	99.9207	99.9753	99.861
10		0.060414	0.0166	0	0	98.996	97.3283	0	0	0.0008	0.0401	99.9207	99.9761	99.9011

DYNAMIC RESPONSE SPECTRUM BASE SHEARS REACTIONS

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
SX	1	U1	1922.84	40.41	0	-565.357	25913.059	-15955.258
SX	2	U1	9049.87	-63.6	0	885.792	123797.624	-79804.007
SX	3	U1	0.03	17.94	0	-248.766	0.548	334.354
SX	4	U1	225.86	9.05	0	-97.975	108.093	-1837.393
SX	5	U1	1371.11	-4.56	0	28.465	1674.302	-12257.035
SX	6	U1	87.92	-5.52	0	14.474	237.404	-873.55
SX	7	U1	0.02	7.07	0	-18.407	0.066	131.589
SX	8	U1	2.12	-0.06	0	-0.297	-2.752	-21.838
SX	9	U1	386.97	-0.91	0	2.139	1241.112	-3390.207
SX	10	U1	2.19	0.08	0	-0.152	6.164	-17.661
SX	All	All	9483.52	74.89	0	1034.085	127938.09	83354.56
SY	1	U2	40.41	0.85	0	-11.881	544.547	-335.29
SY	2	U2	-63.6	0.45	0	-6.225	-870.025	560.847
SY	3	U2	17.94	10570.49	0	-146583.32	322.845	197015.058
SY	4	U2	9.05	0.36	0	-3.924	4.329	-73.584
SY	5	U2	-4.56	0.02	0	-0.095	-5.57	40.775
SY	6	U2	-5.52	0.35	0	-0.908	-14.892	54.798
SY	7	U2	7.07	2256.59	0	-5878.818	21.107	42026.472
SY	8	U2	-0.06	0	0	0.008	0.076	0.6
SY	9	U2	-0.91	0	0	-0.005	-2.913	7.957
SY	10	U2	0.08	0	0	-0.006	0.223	-0.64
SY	All	All	74.89	10816.53	0	146722.963	1019.81	201658.953

/-----D1-----/      /-----D2-----/  
 DIRECTION-X DIRECTION-Y DIRECTION-X DIRECTION-Y  
 CQC            9483.5            74.9            74.9            10816.5

Vtx= 948.4 Ton            9483.5 kN  
 Vty= 1081.7 Ton            10816.5 kN

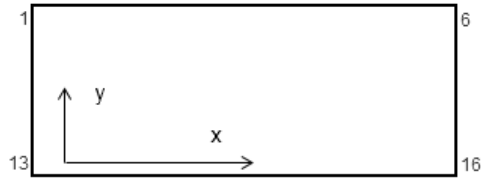
RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS & TOTAL MODAL DAMPING

Spec	Mode	Period	DampRatio	SpecFactor	SPEC-ACC U1	SPEC-ACC U2	SPEC-ACC U3	Sa
SX	1	0.793277	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	2	0.531146	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	3	0.409852	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	4	0.233312	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	5	0.142391	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	6	0.119119	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	7	0.102063	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	8	0.078765	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	9	0.064732	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	10	0.060414	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SY	1	0.793277	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	2	0.531146	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	3	0.409852	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	4	0.233312	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	5	0.142391	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	6	0.119119	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	7	0.102063	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	8	0.078765	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	9	0.064732	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	10	0.060414	0.05	1	0	4.4145	0	0.450

COORDINATES OF CENTERS OF CUMULATIVE MASS & CENTERS OF RIGIDITY

STORY LEVEL	DIAPHRAGM NUMBER	MASS		/---CENTER OF MASS---/ ORDINATE-X ORDINATE-Y						/--CENTER OF RIGIDITY--/ ORDINATE-X ORDINATE-Y	
		MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
CUBIERTA	D5	564.5112	564.5112	18.654	8.579	564.5112	564.5112	18.654	8.579	18.557	11.172
PISO5	D4	599.4753	599.4753	18.652	8.725	599.4753	599.4753	18.652	8.725	18.571	11.263
PISO4	D3	599.4753	599.4753	18.652	8.725	599.4753	599.4753	18.652	8.725	18.586	11.361
PISO3	D2	599.4753	599.4753	18.652	8.725	599.4753	599.4753	18.652	8.725	18.607	11.475
PISO2	D1	622.9668	622.9668	18.652	8.814	622.9668	622.9668	18.652	8.814	18.633	11.616

Esquema Estructural - Identificación de Nudos Para Revisión de la Irregularidad Torsional



REVISIÓN DE LA IRREGULARIDAD TORSIONAL

SISMO EN X

Caso de Carga:

3

$\Delta$  = Deriva del análisis.

Columna Eje Vertical:

	1	13				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2 * (\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4 * (\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.44	1.11	1.53	1.79	NO	NO
PISO5	1.87	1.48	2.01	2.35	NO	NO
PISO4	2.19	1.74	2.36	2.76	NO	NO
PISO3	2.29	1.83	2.47	2.88	NO	NO
PISO2	2.95	2.38	3.20	3.73	NO	NO

	6	16				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2 * (\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4 * (\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.45	1.13	1.55	1.81	NO	NO
PISO5	1.90	1.49	2.03	2.37	NO	NO
PISO4	2.21	1.76	2.38	2.78	NO	NO
PISO3	2.31	1.84	2.49	2.91	NO	NO
PISO2	2.96	2.40	3.22	3.75	NO	NO



Columna Eje Vertical:

	1	6				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.82	0.84	1.00	1.16	NO	NO
PISO5	0.97	0.99	1.18	1.37	NO	NO
PISO4	1.06	1.06	1.27	1.48	NO	NO
PISO3	1.05	1.04	1.25	1.46	NO	NO
PISO2	1.31	1.26	1.55	1.81	NO	NO

	13	16				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.70	0.72	0.85	1.00	NO	NO
PISO5	0.83	0.84	1.00	1.17	NO	NO
PISO4	0.89	0.89	1.07	1.25	NO	NO
PISO3	0.88	0.87	1.05	1.22	NO	NO
PISO2	1.08	1.06	1.29	1.50	NO	NO

IRREGULARIDADES EN PLANTA - (Ver tabla A.3-6 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Irregularidad Torsional	1aP		x
Irregularidad Torsional Extrema	1bP		x
Retrocesos excesivos en las Esquinas	2P	x	
Discontinuidades en el Diafragma	3P		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4P		x
Sistemas no Paralelos	5P		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9

$\phi_p = 0.9$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\phi_p$ )

- En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la revisión de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP, 1bP, 3P y 4P (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP y 1bP (Ver A.3.3.6 NSR-10)

IRREGULARIDADES EN ALTURA - (Ver tabla A.3-7 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Piso Flexible (Irregularidad en Rigidez)	1aA		x
Piso Flexible (Irregularidad extrema en Rigidez)	1bA		x
Distribución de Masas	2A		x
Geométrica	3A		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4A		x
Piso Débil (Discontinuidad en la resistencia)	5aA		x
Piso Débil (Discontinuidad extrema en la resistencia)	5bA		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9
0.8

$\phi_a = 1.0$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\phi_a$ )

- Cuando la deriva de cualquier piso es menor a 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A ó 3A (Ver A.3.3.5.1 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica intermedia y para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I la evaluación de la irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 5aA y 5bA (Ver A.3.3.6 NSR-10)

AUSENCIA DE REDUNDANCIA - (Ver A.3.3.8 - NSR-10)

PARAMETRO	Si	No
Ausencia de redundancia en el sistema sismo-resistente		x

Factor de Reducción
0.75

$\phi_r = 1.00$

Combinaciones de Carga:

1.0. CHEQUEO DE LA DERIVA

DER1	1.40 C.M.		
DER2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
DER3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.25 S.X.
DER4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.25 S.X.
DER5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.10 S.Y.
DER6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.10 S.Y.
DER7	0.90 C.M.		+ 1.25 S.X.
DER8	0.90 C.M.		- 1.25 S.X.
DER9	0.90 C.M.		+ 1.10 S.Y.
DER10	0.90 C.M.		- 1.10 S.Y.

C.M. = Carga Muerta  
 C.V. = Carga Viva  
 S.X. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en X  
 S.Y. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en Y

$R_o = 5.00$  Pórticos de concreto - DMO  
 $\Omega_o = 3.00$

$\phi_a = 1.00$   
 $\phi_p = 0.90$   
 $\phi_r = 1.00$

$R_x = 4.50$   
 $R_y = 4.50$

$R_{cx} = 4.50$   
 $R_{cy} = 4.50$

2.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (FLEXIÓN)

FCV1	1.40 C.M.		
FCV2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
FCV3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.28 S.X.
FCV4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.28 S.X.
FCV5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.28 S.X.
FCV6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.28 S.X.
FCV7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.08 S.X.
FCV8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.08 S.X.
FCV9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.08 S.X.
FCV10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.08 S.X.
FCV11	0.90 C.M.		+ 0.28 S.X.
FCV12	0.90 C.M.		+ 0.28 S.X.
FCV13	0.90 C.M.		- 0.28 S.X.
FCV14	0.90 C.M.		- 0.28 S.X.
FCV15	0.90 C.M.		+ 0.08 S.X.
FCV16	0.90 C.M.		- 0.08 S.X.
FCV17	0.90 C.M.		+ 0.08 S.X.
FCV18	0.90 C.M.		- 0.08 S.X.

3.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (CORTANTE) -- Según literal C.21.3.3 (NSR-10)

COLUMNAS		$\Omega_0^*(S.X.)$	$\Omega_0^*(S.Y.)$	VIGAS		2*(S.X.)	2*(S.Y.)
DC1	1.40 C.M.			DV1	1.40 C.M.		
DC2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.			DV2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
DC3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.83 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.56 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.83 S.X.	-0.22 S.Y.	DV4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.56 S.X.	-0.15 S.Y.
DC5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.83 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.56 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.83 S.X.	-0.22 S.Y.	DV6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.56 S.X.	-0.15 S.Y.
DC7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.17 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.25 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.17 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	-0.73 S.Y.	DV9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.17 S.X.	-0.49 S.Y.
DC10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.25 S.X.	-0.73 S.Y.	DV10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.17 S.X.	-0.49 S.Y.
DC11	0.90 C.M.	+ 0.83 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV11	0.90 C.M.	+ 0.56 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC12	0.90 C.M.	+ 0.83 S.X.	-0.22 S.Y.	DV12	0.90 C.M.	+ 0.56 S.X.	-0.15 S.Y.
DC13	0.90 C.M.	-0.83 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV13	0.90 C.M.	-0.56 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC14	0.90 C.M.	-0.83 S.X.	-0.22 S.Y.	DV14	0.90 C.M.	-0.56 S.X.	-0.15 S.Y.
DC15	0.90 C.M.	+ 0.25 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV15	0.90 C.M.	+ 0.17 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC16	0.90 C.M.	-0.25 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV16	0.90 C.M.	-0.17 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC17	0.90 C.M.	+ 0.25 S.X.	-0.73 S.Y.	DV17	0.90 C.M.	+ 0.17 S.X.	-0.49 S.Y.
DC18	0.90 C.M.	-0.25 S.X.	-0.73 S.Y.	DV18	0.90 C.M.	-0.17 S.X.	-0.49 S.Y.

4.0. CARGAS A CIMENTACION

C1	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		
C2	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.19 S.X.	
C3	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	-0.19 S.X.	
C4	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		+ 0.17 S.Y.
C5	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		-0.17 S.Y.

5.0 DISEÑO DE MUROS

M1	1.40 C.M.		
M2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
M3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.28 S.X.	
M4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.28 S.X.	
M5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.		+ 0.24 S.Y.
M6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.		-0.24 S.Y.
M7	0.90 C.M.	+ 0.28 S.X.	
M8	0.90 C.M.	-0.28 S.X.	
M9	0.90 C.M.		+ 0.24 S.Y.
M10	0.90 C.M.		-0.24 S.Y.

**CHEQUEO DE LA DERIVA DE PISO**

$$\Delta_{\alpha} = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta_{\alpha}$  = Deriva del análisis.  
 $\Delta\rho$  = Deriva permitida.  
 (0.01 h)

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0637	0.0861	1.44	3.20	OK	0.45
PISO5	3.20	0.0541	0.0754	1.87	3.20	OK	0.59
PISO4	3.20	0.0421	0.0610	2.19	3.20	OK	0.69
PISO3	3.20	0.0285	0.0438	2.29	3.20	OK	0.72
PISO2	5.35	0.0146	0.0256	2.95	5.35	OK	0.55
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0090	0.0513	0.82	3.20	OK	0.26
PISO5	3.20	0.0077	0.0432	0.97	3.20	OK	0.30
PISO4	3.20	0.0062	0.0336	1.06	3.20	OK	0.33
PISO3	3.20	0.0044	0.0232	1.05	3.20	OK	0.33
PISO2	5.35	0.0025	0.0129	1.31	5.35	OK	0.25
<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0637	0.0873	1.45	3.20	OK	0.45
PISO5	3.20	0.0541	0.0764	1.90	3.20	OK	0.59
PISO4	3.20	0.0421	0.0617	2.21	3.20	OK	0.69
PISO3	3.20	0.0285	0.0443	2.31	3.20	OK	0.72
PISO2	5.35	0.0146	0.0258	2.96	5.35	OK	0.55
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0090	0.0511	0.84	3.20	OK	0.26
PISO5	3.20	0.0077	0.0428	0.99	3.20	OK	0.31
PISO4	3.20	0.0062	0.0330	1.06	3.20	OK	0.33
PISO3	3.20	0.0044	0.0226	1.04	3.20	OK	0.32
PISO2	5.35	0.0025	0.0124	1.26	5.35	OK	0.24

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$

$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta\alpha$  = Deriva del análisis.

$\Delta\rho$  = Deriva permitida.

(0.01 h)

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		<b>13</b> <b>3</b>			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0701	0.0489	1.11	3.20	OK	0.35
PISO5	3.20	0.0606	0.0431	1.48	3.20	OK	0.46
PISO4	3.20	0.0482	0.0350	1.74	3.20	OK	0.55
PISO3	3.20	0.0337	0.0253	1.83	3.20	OK	0.57
PISO2	5.35	0.0187	0.0148	2.38	5.35	OK	0.45

<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		<b>13</b> <b>5</b>			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0168	0.0404	0.70	3.20	OK	0.22
PISO5	3.20	0.0147	0.0337	0.83	3.20	OK	0.26
PISO4	3.20	0.0119	0.0259	0.89	3.20	OK	0.28
PISO3	3.20	0.0086	0.0176	0.88	3.20	OK	0.27
PISO2	5.35	0.0050	0.0096	1.08	5.35	OK	0.20


<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		<b>16</b> <b>3</b>			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0701	0.0501	1.13	3.20	OK	0.35
PISO5	3.20	0.0606	0.0440	1.49	3.20	OK	0.47
PISO4	3.20	0.0482	0.0357	1.76	3.20	OK	0.55
PISO3	3.20	0.0337	0.0257	1.84	3.20	OK	0.58
PISO2	5.35	0.0187	0.0150	2.40	5.35	OK	0.45

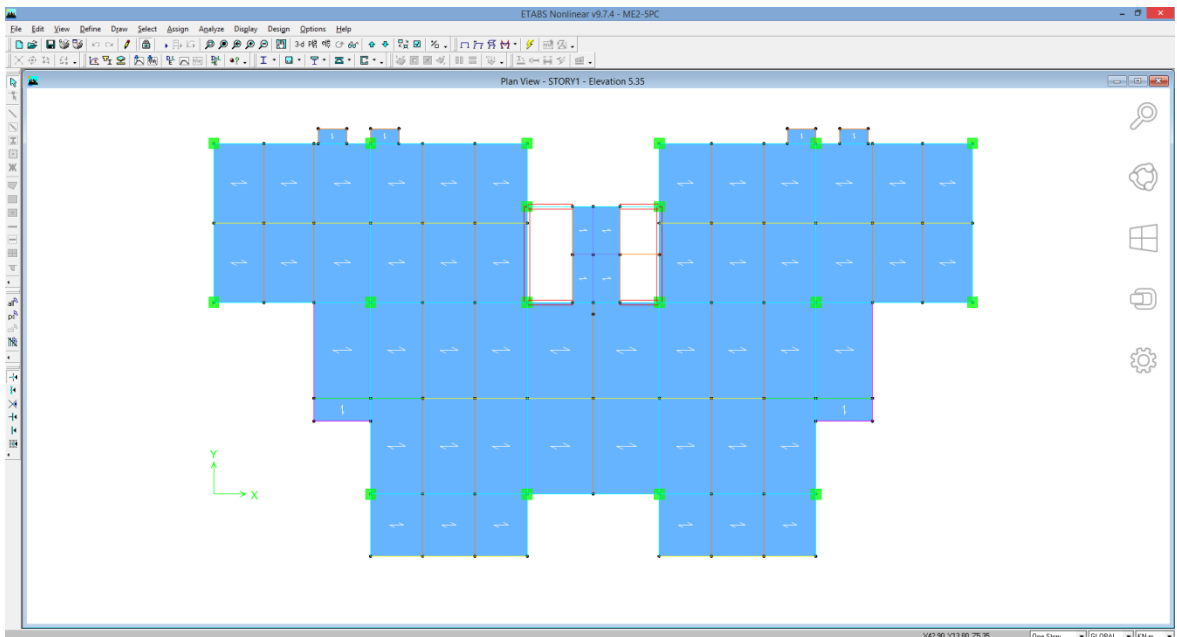
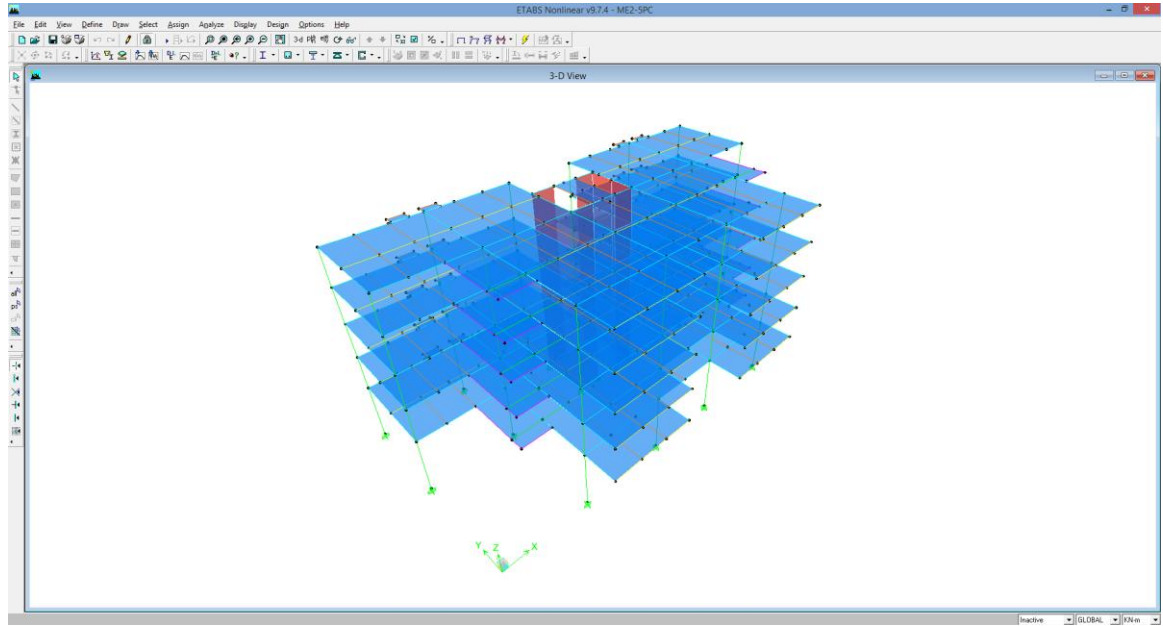
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		<b>16</b> <b>5</b>			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0168	0.0404	0.72	3.20	OK	0.23
PISO5	3.20	0.0147	0.0335	0.84	3.20	OK	0.26
PISO4	3.20	0.0119	0.0256	0.89	3.20	OK	0.28
PISO3	3.20	0.0086	0.0173	0.87	3.20	OK	0.27
PISO2	5.35	0.0050	0.0094	1.06	5.35	OK	0.20

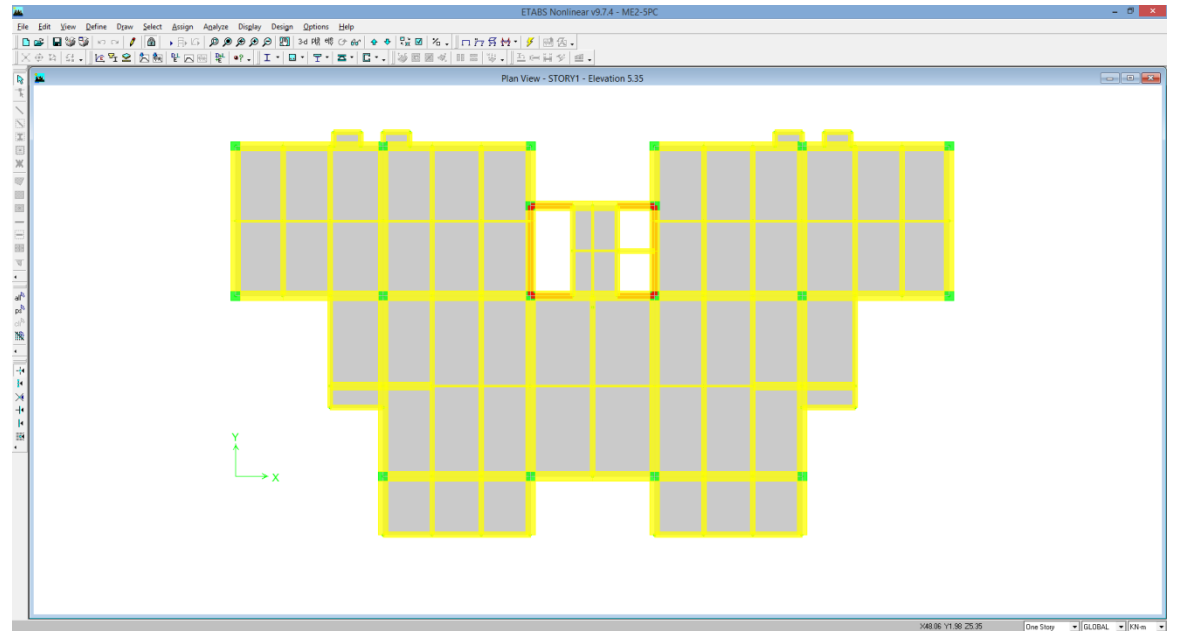
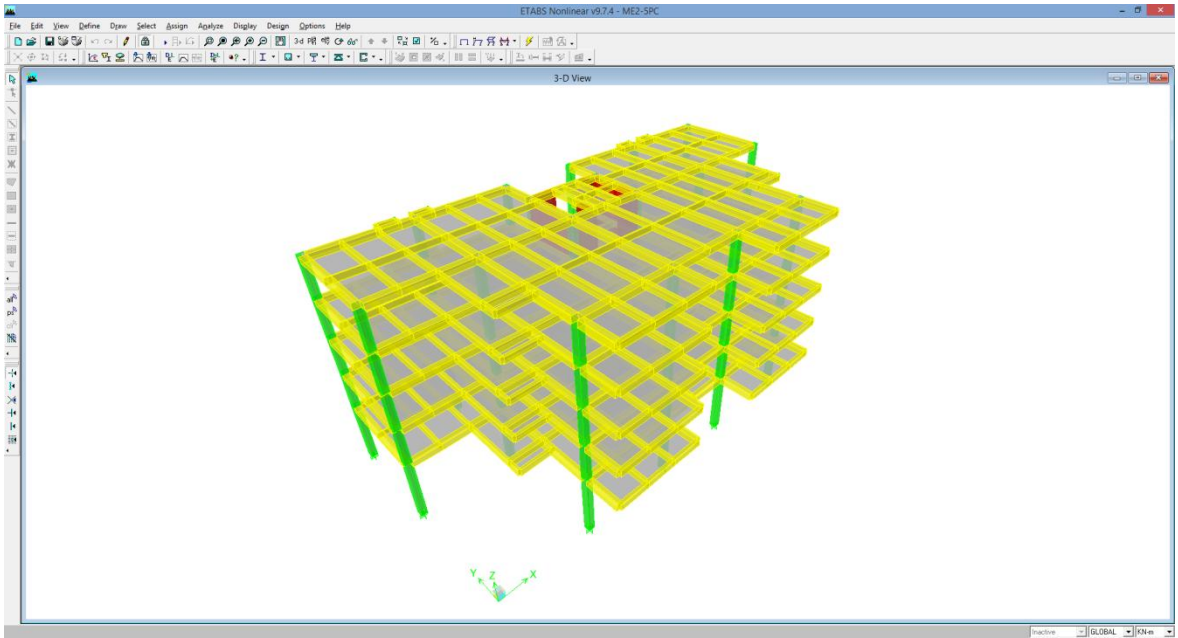
1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.

% Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\beta$

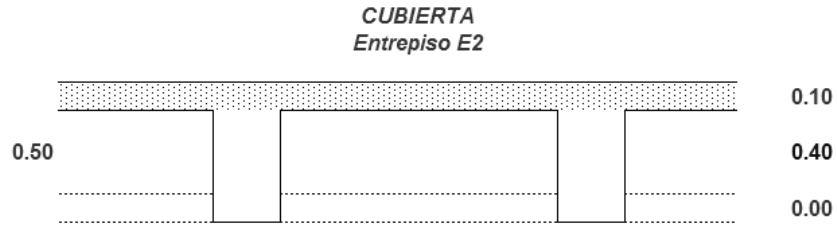
			<u>Max en X</u>	0.72
			<u>Max en Y</u>	0.33
Max en x=	0.72		Max en x=	0.72
Max en y=	0.33		Max en y=	0.33
Max en x=	0.57		Max en x=	0.58
Max en y=	0.28		Max en y=	0.28





## Datos de análisis modelo estructural ME2-9PC

### AVALUO DE CARGAS



Losa maciza	e = 0.100	x	2.40 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.240 Ton/m <sup>2</sup>	(modelo)
Acabados	0.05	x	2.00 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.100 Ton/m <sup>2</sup>	1.00 kN/m <sup>2</sup>
Muros no estructurales				=	0.150 Ton/m <sup>2</sup>	1.50 kN/m <sup>2</sup>
Casetones				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
Cubierta verde liviana				=	0.150 Ton/m <sup>2</sup>	1.50 kN/m <sup>2</sup>
					C.M.= 0.400 Ton/m <sup>2</sup>	4.00 kN/m <sup>2</sup>
			(Carga Viva - Oficinas)		C.V.= 0.200 Ton/m <sup>2</sup>	2.00 kN/m <sup>2</sup>

$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

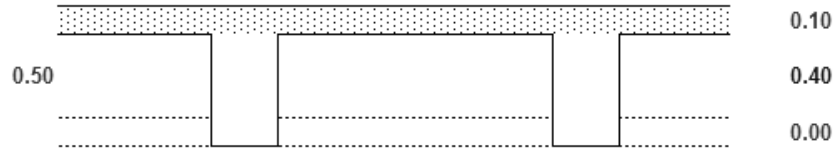
$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Carga Ultima})$$

El peso propio de los elementos lo asigna directamente ETABS



**AVALUO DE CARGAS**

(PISO TIPO)  
Entrepiso E2



Losa maciza	e = 0.100	x	2.40 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.240 Ton/m <sup>2</sup>	(modelo)
Acabados	0.05	x	2.00 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.100 Ton/m <sup>2</sup>	1.00 kN/m <sup>2</sup>
Muros no estructurales				=	0.300 Ton/m <sup>2</sup>	3.00 kN/m <sup>2</sup>
Casetones				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
Otros				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
					<hr/>	
				C.M.=	0.400 Ton/m <sup>2</sup>	4.00 kN/m <sup>2</sup>
		(Carga Viva - Oficinas)		C.V.=	0.200 Ton/m <sup>2</sup>	2.00 kN/m <sup>2</sup>

$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

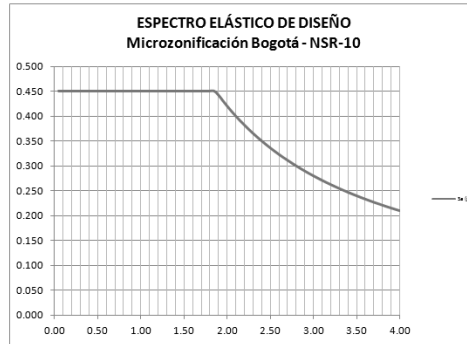
$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Carga Ultima})$$

El peso propio de los elementos lo asigna directamente ETABS

ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO (Según Decreto 523 del 16-Dic-2010)

Zona: LACUSTRE-200      Nombre del Archivo: 10LAC200  
 Aa: 0.15  
 Av: 0.20  
 Fa: 1.20  
 Fv: 3.50  
 Grupo de Uso: I  
 Coeficiente de importancia (I): 1.00  
 T<sub>c</sub> (seg): 1.87  
 T<sub>L</sub> (seg): 4.00

T (seg)	Sa (g)
0.00	0.450
0.05	0.450
0.10	0.450
0.15	0.450
0.20	0.450
0.25	0.450
0.30	0.450
0.35	0.450
0.40	0.450
0.45	0.450
0.50	0.450
0.55	0.450
0.60	0.450
0.65	0.450
0.70	0.450
0.75	0.450
0.80	0.450
0.85	0.450
0.90	0.450
0.95	0.450
1.00	0.450
1.05	0.450
1.10	0.450
1.15	0.450
1.20	0.450
1.25	0.450
1.30	0.450
1.35	0.450



**PROYECTO :** 9PC EDIFICIO TRADICIONAL

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño (según la microzonificación sísmica de Bogotá D.C.) construido con los siguientes parámetros:

ZONA : LACUSTRE-200      Grupo de Uso : I  
 Aa = 0.15      Fa = 1.20      T<sub>C</sub> = 1.87      A<sub>0</sub> = 0.18  
 Av = 0.20      Fv = 3.50      T<sub>L</sub> = 4.00      I = 1.00

El espectro se encuentra en el archivo: **10LAC200**

Zona de Amenaza Sísmica : **Intermedia**

Sistema Estructural: **Pórticos de concreto - DMO**

Datos para el Análisis Sísmico:	Area [m <sup>2</sup> ]	Alt.Piso [m]	Elevación h[m]	W [kN]	W / A [kN/m <sup>2</sup> ]	Masa [kN-s/m]
CUBIERTA	574.46	3.20	30.95	5800.7	10.10	591.31
PISO9	574.46	3.20	27.75	6443.2	11.22	656.80
PISO8	574.46	3.20	24.55	6443.2	11.22	656.80
PISO7	574.46	3.20	21.35	6443.2	11.22	656.80
PISO6	574.46	3.20	18.15	6443.2	11.22	656.80
PISO5	574.46	3.20	14.95	6443.2	11.22	656.80
PISO4	574.46	3.20	11.75	6443.2	11.22	656.80
PISO3	574.46	3.20	8.55	6443.2	11.22	656.80
PISO2	574.46	5.35	5.35	6874.8	11.97	700.80

Σ 57777.8

**Análisis Sísmico por Fuerza Horizontal Equivalente:**

Análisis por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente para ajustar el valor del cortante dinámico en la base ( según A.5.4.5 -- NSR - 10)

$$\begin{aligned} A_a &= 0.15 & F_a &= 1.20 & I &= 1.00 \\ A_v &= 0.20 & F_v &= 3.50 \end{aligned}$$

Periodo fundamental aproximado (según A.4.2.2 -- NSR - 10)

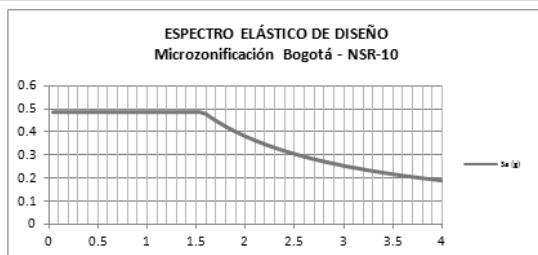
$$\begin{aligned} C_u &= 1.2 & C_u &= 1.75 - 1.2A_vF_v \\ C_t &= 0.047 & & \text{Pórticos de concreto - DMO} \\ \alpha &= 0.90 \end{aligned}$$

$T_a = C_t h^\alpha = 1.03 \text{ seg}$
$C_u T_a = 1.24 \text{ seg}$

$$\begin{aligned} T_x &= 1.05 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \\ T_y &= 0.61 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_x &= 1.05 & \text{seg ( definitivo )} \\ T_y &= 0.61 & \text{seg ( definitivo )} \end{aligned}$$

$S_a = 1.2 A_v F_v I / T$	$S_a = 2.5 A_a F_a I$	$S_a = 1.2 A_v F_v T I / T^2$	$S_{ax} = 0.45 \text{ (Definitivo)}$
$S_{ax} = 0.80$	$S_a = 0.45$	$S_{ax} = 3.06$	$S_{ay} = 0.45 \text{ (Definitivo)}$
$S_{ay} = 1.37$		$S_{ay} = 8.90$	$V_{sx} = 26000.0 \text{ kN}$
			$V_{sy} = 26000.0 \text{ kN}$



Cortantes Dinámicos en la Base. (  $V_{tj}$  ) :

$$\begin{aligned} V_{tx} &= 2085.2 \text{ ton} & 20851.9 \text{ kN} & \text{(Ver página siguiente)} \\ V_{ty} &= 1957.7 \text{ ton} & 19576.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Regularidad de la Estructura: 2 ( 1: Regular, 2: Irregular)

- Si la estructura es regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente (  $V_s$  ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

- Si la estructura es irregular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 90 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente (  $V_s$  ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

**Factores de Ajuste :**

$$\begin{aligned} F_x &= 23400.0 / 20851.9 = 1.12 \\ F_y &= 23400.0 / 19576.9 = 1.20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_x &= 1.12 & \text{( Definitivo )} \\ F_y &= 1.20 & \text{( Definitivo )} \end{aligned}$$

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	Period	TRASLATION			< % SUM>			ROTATION			< % SUM>		
		% MASS UX	% MASS UY	% MASS UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	% MASS RX	% MASS RY	% MASS RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.047389	78.9014	0	0	78.9014	0	0	0	99.5082	0.1633	0	99.5082	0.1633
2	0.614523	0.0001	72.1284	0	78.9014	72.1285	0	98.3352	0.0001	0.0019	98.3353	99.5083	0.1652
3	0.481003	0.2146	0.002	0	79.1161	72.1305	0	0.0027	0.1679	71.6147	98.3379	99.6762	71.7799
4	0.296872	12.9832	0	0	92.0993	72.1305	0	0	0.029	0.1163	98.3379	99.7052	71.8961
5	0.141771	4.3888	0	0	96.488	72.1305	0	0	0.2483	0.0008	98.3379	99.9535	71.8969
6	0.134231	0	20.7712	0	96.488	92.9017	0	1.497	0	0.0003	99.8349	99.9535	71.8972
7	0.104434	0.0016	0.0003	0	96.4896	92.902	0	0	0	21.0773	99.8349	99.9535	92.9745
8	0.083628	1.9725	0	0	98.4622	92.902	0	0	0.0201	0.0055	99.8349	99.9736	92.9799
9	0.061012	0	4.8928	0	98.4622	97.7948	0	0.1432	0	0	99.9782	99.9736	92.98
10	0.055512	0.8906	0	0	99.3528	97.7948	0	0	0.0193	0.005	99.9782	99.9929	92.9849

DYNAMIC RESPONSE SPECTRUM BASE SHEARS REACTIONS

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
SX	1	U1	20514.37	11.15	0	-258.364	454207.432	-183004.803
SX	2	U1	0.02	-17.19	0	395.648	0.314	-320.722
SX	3	U1	55.8	5.38	0	-122.8	973.179	-400.911
SX	4	U1	3375.64	1.43	0	-18.941	3143.584	-30703.583
SX	5	U1	1141.08	-3.18	0	17.156	5350.896	-10193.585
SX	6	U1	0	2.19	0	-11.595	0.006	40.853
SX	7	U1	0.41	0.17	0	-0.827	0.695	-0.427
SX	8	U1	512.86	0.02	0	-0.259	1021.248	-4787.062
SX	9	U1	0	0.02	0	-0.061	0	0.337
SX	10	U1	231.57	-0.11	0	0.257	671.673	-2077.457
SX	All	All	20851.91	20.45	0	468.474	454289.273	186130.009
SY	1	U2	11.15	0.01	0	-0.14	246.945	-99.497
SY	2	U2	-17.19	18753.41	0	-431708.264	-342.227	349952.478
SY	3	U2	5.38	0.52	0	-11.846	93.879	-38.674
SY	4	U2	1.43	0	0	-0.008	1.331	-13.003
SY	5	U2	-3.18	0.01	0	-0.048	-14.924	28.431
SY	6	U2	2.19	5400.52	0	-28583.686	14.538	100709.73
SY	7	U2	0.17	0.07	0	-0.349	0.293	-0.18
SY	8	U2	0.02	0	0	0	0.049	-0.23
SY	9	U2	0.02	1272.14	0	-4291.425	-0.069	23728.412
SY	10	U2	-0.11	0	0	0	-0.317	0.98
SY	All	All	20.45	19576.93	0	432761.371	416.163	365296.338

/-----D1-----/    /-----D2-----/  
 DIRECTION-X    DIRECTION-Y    DIRECTION-X    DIRECTION-Y  
 CQC            20851.9            20.5            20.5            19576.9

Vtx= 2085.2 Ton                    20851.9 kN  
 Vty= 1957.7 Ton                    19576.9 kN

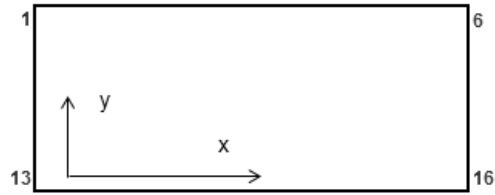
RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS & TOTAL MODAL DAMPING

Spec	Mode	Period	DampRatio	SpecFactor	SPEC-ACC U1	SPEC-ACC U2	SPEC-ACC U3	Sa
SX	1	1.047389	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	2	0.614523	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	3	0.481003	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	4	0.296872	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	5	0.141771	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	6	0.134231	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	7	0.104434	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	8	0.083628	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	9	0.061012	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	10	0.055512	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SY	1	1.047389	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	2	0.614523	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	3	0.481003	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	4	0.296872	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	5	0.141771	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	6	0.134231	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	7	0.104434	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	8	0.083628	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	9	0.061012	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	10	0.055512	0.05	1	0	4.4145	0	0.450

COORDINATES OF CENTERS OF CUMULATIVE MASS & CENTERS OF RIGIDITY

STORY LEVEL	DIAPHRAGM NUMBER	MASS		/---CENTER OF MASS---/ ORDINATE-X ORDINATE-Y						/--CENTER OF RIGIDITY--/ ORDINATE-X ORDINATE-Y	
		MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
CUBIERTA	D9	591.3072	591.3072	18.654	8.721	591.3072	591.3072	18.654	8.721	18.612	10.682
PISO9	D8	656.7973	656.7973	18.652	8.971	656.7973	656.7973	18.652	8.971	18.613	10.698
PISO8	D7	656.7973	656.7973	18.652	8.971	656.7973	656.7973	18.652	8.971	18.613	10.724
PISO7	D6	656.7973	656.7973	18.652	8.971	656.7973	656.7973	18.652	8.971	18.614	10.758
PISO6	D5	656.7973	656.7973	18.652	8.971	656.7973	656.7973	18.652	8.971	18.616	10.801
PISO5	D4	656.7973	656.7973	18.652	8.971	656.7973	656.7973	18.652	8.971	18.618	10.853
PISO4	D3	656.7973	656.7973	18.652	8.971	656.7973	656.7973	18.652	8.971	18.623	10.912
PISO3	D2	656.7973	656.7973	18.652	8.971	656.7973	656.7973	18.652	8.971	18.631	10.975
PISO2	D1	700.7986	700.7986	18.651	9.114	700.7986	700.7986	18.651	9.114	18.642	11.085

Esquema Estructural - Identificación de Nodos Para Revisión de la Irregularidad Torsional



REVISIÓN DE LA IRREGULARIDAD TORSIONAL

SISMO EN X Caso de Carga: 3

$\Delta$  = Deriva del análisis

Columna Eje Vertical:

	1	13				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.38	1.15	1.52	1.77	NO	NO
PISO9	1.62	1.42	1.82	2.13	NO	NO
PISO8	1.91	1.73	2.18	2.55	NO	NO
PISO7	2.16	2.03	2.51	2.93	NO	NO
PISO6	2.36	2.27	2.78	3.24	NO	NO
PISO5	2.46	2.44	2.93	3.42	NO	NO
PISO4	2.43	2.47	2.94	3.43	NO	NO
PISO3	2.19	2.34	2.72	3.18	NO	NO
PISO2	1.96	2.44	2.64	3.08	NO	NO

	6	16				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.38	1.14	1.51	1.77	NO	NO
PISO9	1.62	1.42	1.82	2.13	NO	NO
PISO8	1.91	1.73	2.18	2.54	NO	NO
PISO7	2.16	2.03	2.51	2.93	NO	NO
PISO6	2.36	2.27	2.77	3.24	NO	NO
PISO5	2.46	2.43	2.93	3.42	NO	NO
PISO4	2.44	2.46	2.94	3.43	NO	NO
PISO3	2.19	2.34	2.72	3.17	NO	NO
PISO2	1.96	2.44	2.64	3.08	NO	NO

Columna Eje Vertical:

	1	6				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.00	1.02	1.21	1.42	NO	NO
PISO9	1.04	1.05	1.26	1.47	NO	NO
PISO8	1.04	1.06	1.26	1.47	NO	NO
PISO7	1.04	1.05	1.26	1.47	NO	NO
PISO6	0.98	1.00	1.19	1.39	NO	NO
PISO5	0.92	0.93	1.11	1.30	NO	NO
PISO4	0.80	0.81	0.97	1.13	NO	NO
PISO3	0.64	0.65	0.78	0.90	NO	NO
PISO2	0.57	0.58	0.69	0.81	NO	NO

	13	16				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.99	0.99	1.19	1.38	NO	NO
PISO9	1.23	1.22	1.47	1.71	NO	NO
PISO8	1.49	1.49	1.79	2.09	NO	NO
PISO7	1.76	1.75	2.10	2.46	NO	NO
PISO6	1.96	1.96	2.35	2.74	NO	NO
PISO5	2.10	2.09	2.51	2.93	NO	NO
PISO4	2.13	2.13	2.56	2.99	NO	NO
PISO3	2.03	2.03	2.43	2.84	NO	NO
PISO2	2.11	2.10	2.53	2.95	NO	NO

IRREGULARIDADES EN PLANTA - (Ver tabla A.3-6 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Irregularidad Torsional	1aP		x
Irregularidad Torsional Extrema	1bP		x
Retrocesos excesivos en las Esquinas	2P	x	
Discontinuidades en el Diafragma	3P		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4P		x
Sistemas no Paralelos	5P		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9

$\alpha_p = 0.9$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\alpha_p$ )

- En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la revisión de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP, 1bP, 3P y 4P (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP y 1bP (Ver A.3.3.6 NSR-10)

IRREGULARIDADES EN ALTURA - (Ver tabla A.3-7 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Piso Flexible (Irregularidad en Rigidez)	1aA		x
Piso Flexible (Irregularidad extrema en Rigidez)	1bA		x
Distribución de Masas	2A		x
Geométrica	3A		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4A		x
Piso Débil (Discontinuidad en la resistencia)	5aA		x
Piso Débil (Discontinuidad extrema en la resistencia)	5bA		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9
0.8

$\alpha_a = 1.0$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\alpha_a$ )

- Cuando la deriva de cualquier piso es menor a 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A ó 3A (Ver A.3.3.5.1 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica intermedia y para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I la evaluación de la irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 5aA y 5bA (Ver A.3.3.6 NSR-10)

AUSENCIA DE REDUNDANCIA - (Ver A.3.3.8 - NSR-10)

PARAMETRO	Si	No
Ausencia de redundancia en el sistema sismo-resistente		x

Factor de Reducción
0.75

$\alpha_r = 1.00$

Factores - Resultado       $F_x = 1.12$   
 Análisis Sísmico         $F_y = 1.20$

Combinaciones de Carga:

1.0. CHEQUEO DE LA DERIVA

DER1	1.40 C.M.		
DER2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
DER3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.12 S.X.
DER4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.12 S.X.
DER5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.20 S.Y.
DER6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.20 S.Y.
DER7	0.90 C.M.		+ 1.12 S.X.
DER8	0.90 C.M.		- 1.12 S.X.
DER9	0.90 C.M.		+ 1.20 S.Y.
DER10	0.90 C.M.		- 1.20 S.Y.

C.M. = Carga Muerta  
 C.V. = Carga Viva  
 S.X. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en X  
 S.Y. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en Y

$R_o = 5.00$       Pórticos de concreto - DMO  
 $\Omega_o = 3.00$

$\phi_a = 1.00$   
 $\phi_p = 0.90$   
 $\phi_r = 1.00$

$R_x = 4.50$   
 $R_y = 4.50$

$R_{cx} = 4.50$   
 $R_{cy} = 4.50$

2.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (FLEXIÓN)

D1	1.40 C.M.		
D2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
D3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.      + 0.08 S.Y.
D4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.      - 0.08 S.Y.
D5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.25 S.X.      + 0.08 S.Y.
D6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.25 S.X.      - 0.08 S.Y.
D7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.07 S.X.      + 0.27 S.Y.
D8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.07 S.X.      + 0.27 S.Y.
D9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.07 S.X.      - 0.27 S.Y.
D10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.07 S.X.      - 0.27 S.Y.
D11	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X.      + 0.08 S.Y.
D12	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X.      - 0.08 S.Y.
D13	0.90 C.M.		- 0.25 S.X.      + 0.08 S.Y.
D14	0.90 C.M.		- 0.25 S.X.      - 0.08 S.Y.
D15	0.90 C.M.		+ 0.07 S.X.      + 0.27 S.Y.
D16	0.90 C.M.		- 0.07 S.X.      + 0.27 S.Y.
D17	0.90 C.M.		+ 0.07 S.X.      - 0.27 S.Y.
D18	0.90 C.M.		- 0.07 S.X.      - 0.27 S.Y.



3.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (CORTANTE) -- Según literal C.21.3.3 (NSR-10)

COLUMNAS		$\Omega_0^*(S.X.)$	$\Omega_0^*(S.Y.)$	VIGAS		2*(S.X.)	2*(S.Y.)
DC1	1.40 C.M.			DV1	1.40 C.M.		
DC2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.			DV2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
DC3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.75 S.X.	+ 0.24 S.Y.	DV3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.50 S.X.	+ 0.16 S.Y.
DC4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.75 S.X.	-0.24 S.Y.	DV4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.50 S.X.	-0.16 S.Y.
DC5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.75 S.X.	+ 0.24 S.Y.	DV5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.50 S.X.	+ 0.16 S.Y.
DC6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.75 S.X.	-0.24 S.Y.	DV6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.50 S.X.	-0.16 S.Y.
DC7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.22 S.X.	+ 0.80 S.Y.	DV7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.15 S.X.	+ 0.53 S.Y.
DC8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.22 S.X.	+ 0.80 S.Y.	DV8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.15 S.X.	+ 0.53 S.Y.
DC9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.22 S.X.	-0.80 S.Y.	DV9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.15 S.X.	-0.53 S.Y.
DC10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.22 S.X.	-0.80 S.Y.	DV10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.15 S.X.	-0.53 S.Y.
DC11	0.90 C.M.	+ 0.75 S.X.	+ 0.24 S.Y.	DV11	0.90 C.M.	+ 0.50 S.X.	+ 0.16 S.Y.
DC12	0.90 C.M.	+ 0.75 S.X.	-0.24 S.Y.	DV12	0.90 C.M.	+ 0.50 S.X.	-0.16 S.Y.
DC13	0.90 C.M.	-0.75 S.X.	+ 0.24 S.Y.	DV13	0.90 C.M.	-0.50 S.X.	+ 0.16 S.Y.
DC14	0.90 C.M.	-0.75 S.X.	-0.24 S.Y.	DV14	0.90 C.M.	-0.50 S.X.	-0.16 S.Y.
DC15	0.90 C.M.	+ 0.22 S.X.	+ 0.80 S.Y.	DV15	0.90 C.M.	+ 0.15 S.X.	+ 0.53 S.Y.
DC16	0.90 C.M.	-0.22 S.X.	+ 0.80 S.Y.	DV16	0.90 C.M.	-0.15 S.X.	+ 0.53 S.Y.
DC17	0.90 C.M.	+ 0.22 S.X.	-0.80 S.Y.	DV17	0.90 C.M.	+ 0.15 S.X.	-0.53 S.Y.
DC18	0.90 C.M.	-0.22 S.X.	-0.80 S.Y.	DV18	0.90 C.M.	-0.15 S.X.	-0.53 S.Y.

4.0. CARGAS A CIMENTACION

C1	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		
C2	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.17 S.X.	
C3	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	-0.17 S.X.	
C4	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		+ 0.19 S.Y.
C5	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		-0.19 S.Y.

5.0 DISEÑO DE MUROS

M1	1.40 C.M.		
M2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
M3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	
M4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.25 S.X.	
M5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.		+ 0.27 S.Y.
M6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.		-0.27 S.Y.
M7	0.90 C.M.	+ 0.25 S.X.	
M8	0.90 C.M.	-0.25 S.X.	
M9	0.90 C.M.		+ 0.27 S.Y.
M10	0.90 C.M.		-0.27 S.Y.

**CHEQUEO DE LA DERIVA DE PISO**

$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta\alpha$  = Deriva del análisis.  
 $\Delta\rho$  = Deriva permitida.  
 (0.01 h)

SISMO EN X		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 3			
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1841	0.0145	1.38	3.20	OK	0.43
PISO9	3.20	0.1704	0.0129	1.62	3.20	OK	0.51
PISO8	3.20	0.1543	0.0112	1.91	3.20	OK	0.60
PISO7	3.20	0.1353	0.0094	2.16	3.20	OK	0.67
PISO6	3.20	0.1138	0.0076	2.36	3.20	OK	0.74
PISO5	3.20	0.0903	0.0058	2.46	3.20	OK	0.77
PISO4	3.20	0.0658	0.0041	2.43	3.20	OK	0.76
PISO3	3.20	0.0415	0.0026	2.19	3.20	OK	0.69
PISO2	5.35	0.0196	0.0013	1.96	5.35	OK	0.37

SISMO EN Y		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 5			
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.0050	0.0803	1.00	3.20	OK	0.31
PISO9	3.20	0.0044	0.0703	1.04	3.20	OK	0.33
PISO8	3.20	0.0037	0.0599	1.04	3.20	OK	0.33
PISO7	3.20	0.0031	0.0495	1.04	3.20	OK	0.33
PISO6	3.20	0.0024	0.0391	0.98	3.20	OK	0.31
PISO5	3.20	0.0018	0.0293	0.92	3.20	OK	0.29
PISO4	3.20	0.0013	0.0201	0.80	3.20	OK	0.25
PISO3	3.20	0.0008	0.0121	0.64	3.20	OK	0.20
PISO2	5.35	0.0004	0.0057	0.57	5.35	OK	0.11

SISMO EN X		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 3			
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1841	0.0148	1.38	3.20	OK	0.43
PISO9	3.20	0.1704	0.0131	1.62	3.20	OK	0.51
PISO8	3.20	0.1543	0.0114	1.91	3.20	OK	0.60
PISO7	3.20	0.1353	0.0096	2.16	3.20	OK	0.67
PISO6	3.20	0.1138	0.0077	2.36	3.20	OK	0.74
PISO5	3.20	0.0903	0.0059	2.46	3.20	OK	0.77
PISO4	3.20	0.0658	0.0042	2.44	3.20	OK	0.76
PISO3	3.20	0.0415	0.0026	2.19	3.20	OK	0.69
PISO2	5.35	0.0196	0.0013	1.96	5.35	OK	0.37

SISMO EN Y		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 5			
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.0050	0.0815	1.02	3.20	OK	0.32
PISO9	3.20	0.0044	0.0713	1.05	3.20	OK	0.33
PISO8	3.20	0.0037	0.0608	1.06	3.20	OK	0.33
PISO7	3.20	0.0031	0.0502	1.05	3.20	OK	0.33
PISO6	3.20	0.0024	0.0397	1.00	3.20	OK	0.31
PISO5	3.20	0.0018	0.0297	0.93	3.20	OK	0.29
PISO4	3.20	0.0013	0.0204	0.81	3.20	OK	0.25
PISO3	3.20	0.0008	0.0123	0.65	3.20	OK	0.20
PISO2	5.35	0.0004	0.0058	0.58	5.35	OK	0.11

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$

$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta\alpha$  = Deriva del análisis.  
 $\Delta\rho$  = Deriva permitida.  
 (0.01 h)

SISMO EN X		Columna Eje Vertical:		13			
		Caso de Carga:		3			
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1545	0.0969	1.15	3.20	OK	0.36
PISO9	3.20	0.1439	0.0925	1.42	3.20	OK	0.44
PISO8	3.20	0.1311	0.0863	1.73	3.20	OK	0.54
PISO7	3.20	0.1159	0.0780	2.03	3.20	OK	0.63
PISO6	3.20	0.0984	0.0678	2.27	3.20	OK	0.71
PISO5	3.20	0.0791	0.0558	2.44	3.20	OK	0.76
PISO4	3.20	0.0587	0.0425	2.47	3.20	OK	0.77
PISO3	3.20	0.0383	0.0286	2.34	3.20	OK	0.73
PISO2	5.35	0.0192	0.0150	2.44	5.35	OK	0.46


SISMO EN Y		Columna Eje Vertical:		13			
		Caso de Carga:		5			
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1339	0.0828	0.99	3.20	OK	0.31
PISO9	3.20	0.1247	0.0792	1.23	3.20	OK	0.38
PISO8	3.20	0.1136	0.0740	1.49	3.20	OK	0.47
PISO7	3.20	0.1004	0.0670	1.76	3.20	OK	0.55
PISO6	3.20	0.0852	0.0582	1.96	3.20	OK	0.61
PISO5	3.20	0.0685	0.0480	2.10	3.20	OK	0.66
PISO4	3.20	0.0509	0.0366	2.13	3.20	OK	0.67
PISO3	3.20	0.0332	0.0247	2.03	3.20	OK	0.63
PISO2	5.35	0.0166	0.0130	2.11	5.35	OK	0.39

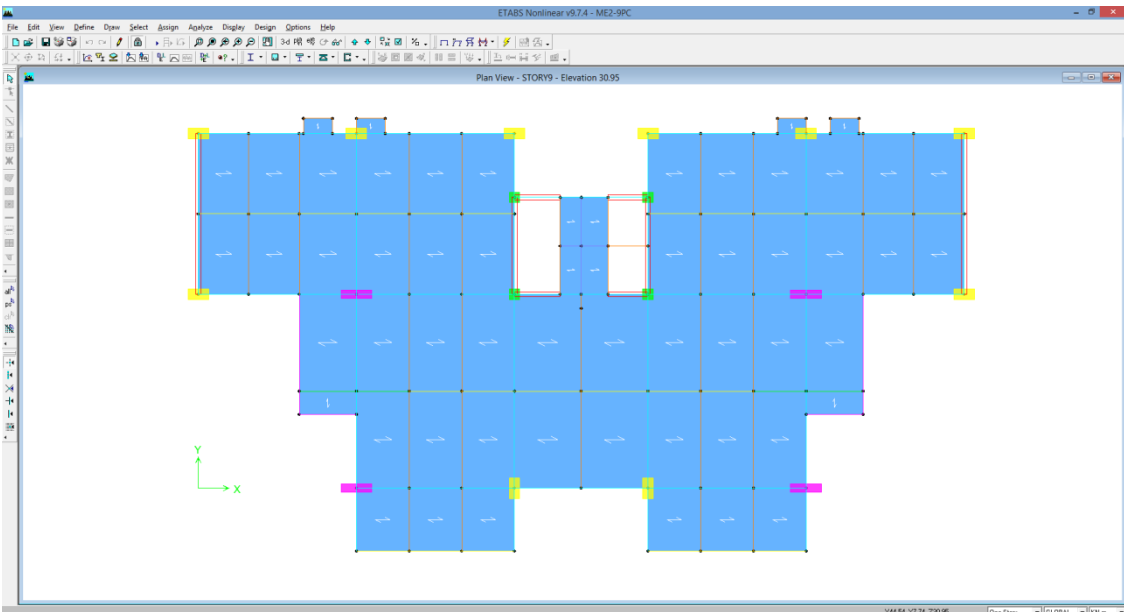
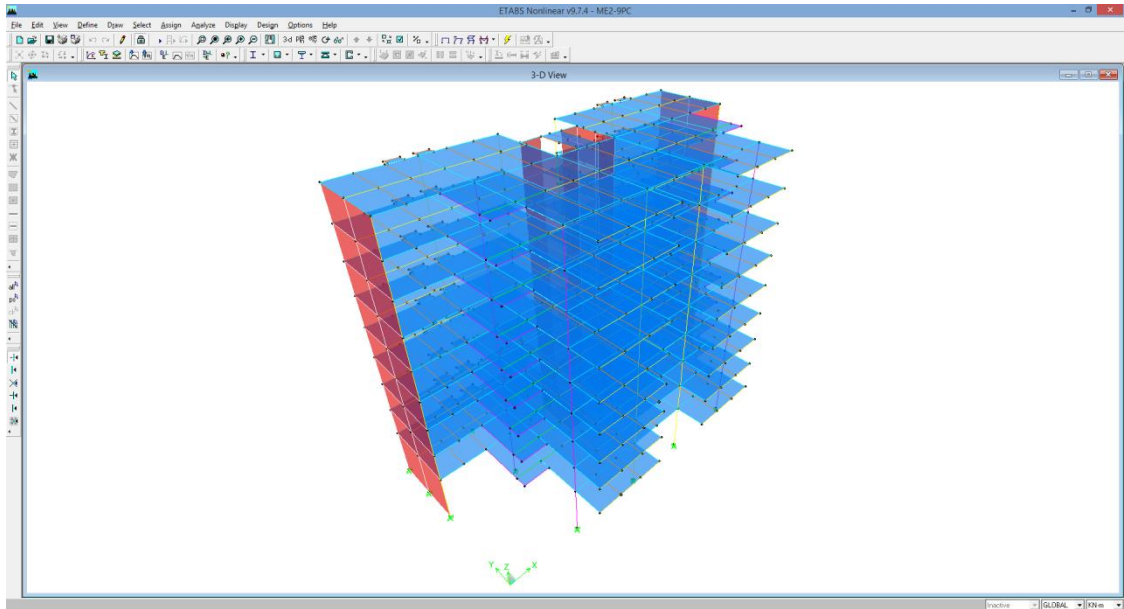
SISMO EN X		Columna Eje Vertical:		16			
		Caso de Carga:		3			
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1545	0.0963	1.14	3.20	OK	0.36
PISO9	3.20	0.1439	0.0920	1.42	3.20	OK	0.44
PISO8	3.20	0.1311	0.0858	1.73	3.20	OK	0.54
PISO7	3.20	0.1159	0.0776	2.03	3.20	OK	0.63
PISO6	3.20	0.0984	0.0674	2.27	3.20	OK	0.71
PISO5	3.20	0.0791	0.0555	2.43	3.20	OK	0.76
PISO4	3.20	0.0587	0.0423	2.46	3.20	OK	0.77
PISO3	3.20	0.0383	0.0285	2.34	3.20	OK	0.73
PISO2	5.35	0.0192	0.0150	2.44	5.35	OK	0.46

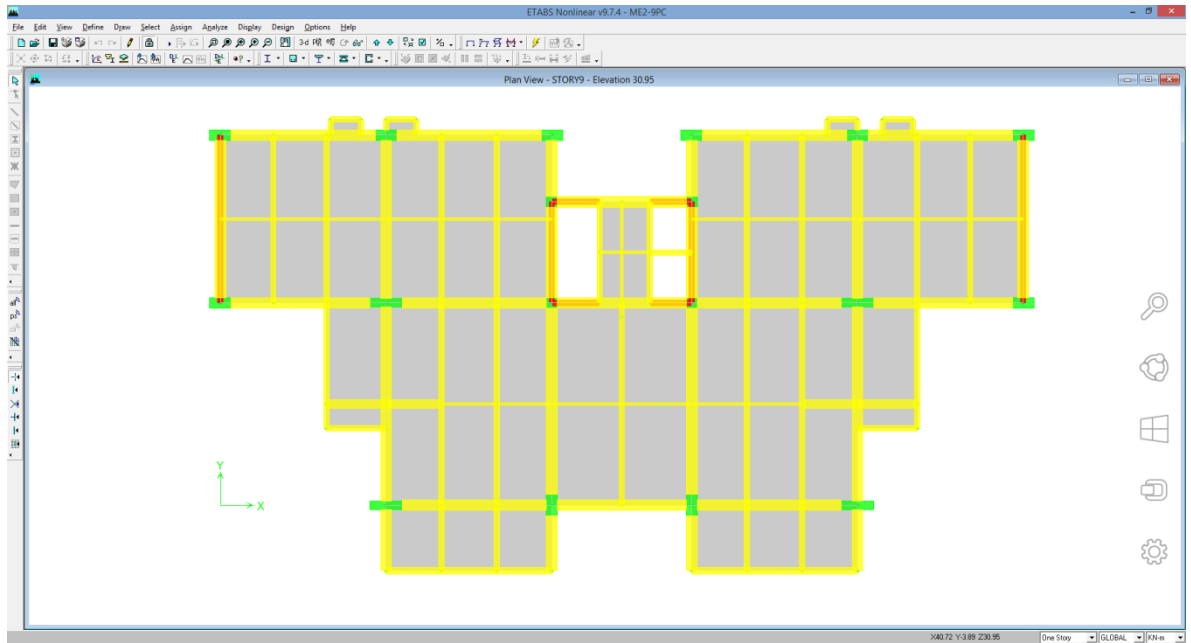
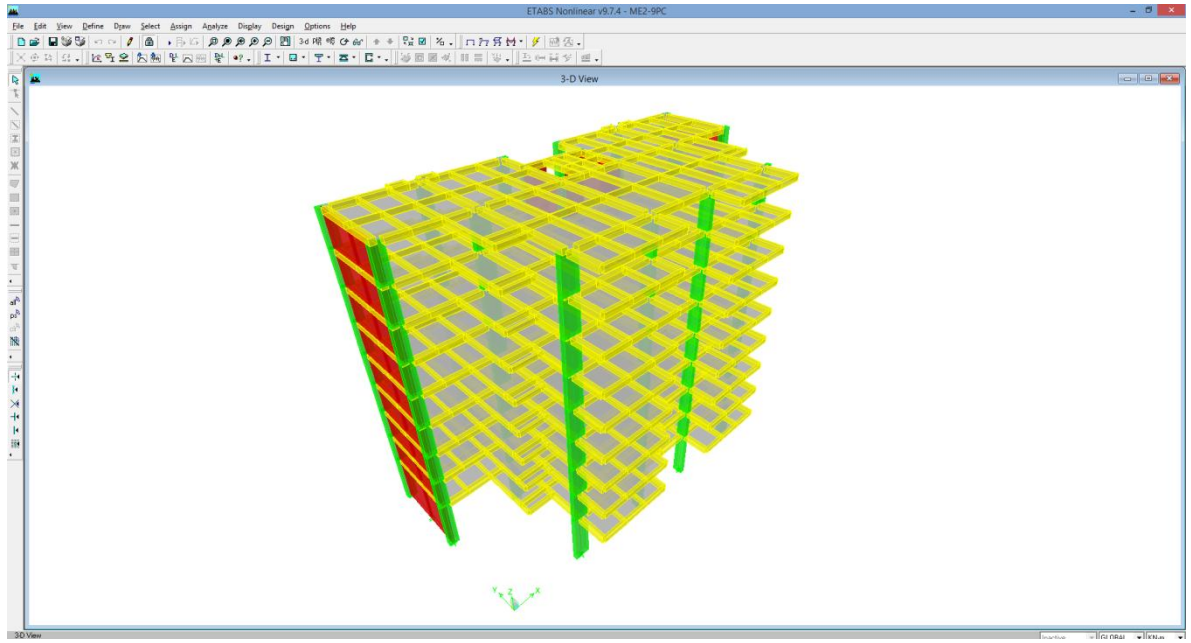
SISMO EN Y		Columna Eje Vertical:		16			
		Caso de Carga:		5			
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1339	0.0823	0.99	3.20	OK	0.31
PISO9	3.20	0.1247	0.0787	1.22	3.20	OK	0.38
PISO8	3.20	0.1136	0.0736	1.49	3.20	OK	0.47
PISO7	3.20	0.1004	0.0666	1.75	3.20	OK	0.55
PISO6	3.20	0.0852	0.0579	1.96	3.20	OK	0.61
PISO5	3.20	0.0685	0.0477	2.09	3.20	OK	0.65
PISO4	3.20	0.0509	0.0364	2.13	3.20	OK	0.67
PISO3	3.20	0.0332	0.0245	2.03	3.20	OK	0.63
PISO2	5.35	0.0166	0.0129	2.10	5.35	OK	0.39

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta p$

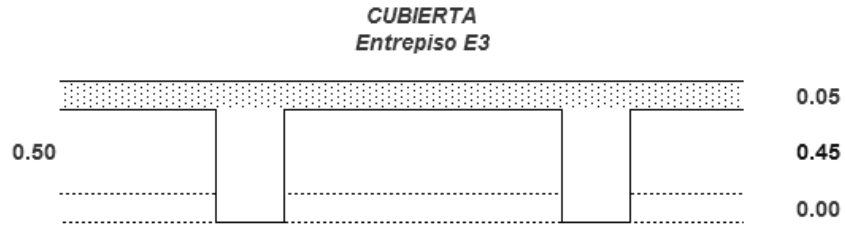
			<u>Max en X</u>	<b>0.77</b>
			<u>Max en Y</u>	<b>0.67</b>
Max en x=	0.77		Max en x=	0.77
Max en y=	0.33		Max en y=	0.33
Max en x=	0.77		Max en x=	0.77
Max en y=	0.67		Max en y=	0.67





## Datos de análisis modelo estructural ME3-5PC

### AVALUO DE CARGAS



Losa maciza	$e = 0.050$	x	$2.40 \text{ Ton/m}^3$	=	$0.120 \text{ Ton/m}^2$	(modelo)
Acabados	$0.05$	x	$2.00 \text{ Ton/m}^3$	=	$0.100 \text{ Ton/m}^2$	$1.00 \text{ kN/m}^2$
Muros no estructurales				=	$0.150 \text{ Ton/m}^2$	$1.50 \text{ kN/m}^2$
Casetones				=	$0.000 \text{ Ton/m}^2$	
Cubierta verde liviana				=	$0.150 \text{ Ton/m}^2$	$1.50 \text{ kN/m}^2$
				C.M.=	$0.400 \text{ Ton/m}^2$	$4.00 \text{ kN/m}^2$
		(Carga Viva - Oficinas)		C.V.=	$0.200 \text{ Ton/m}^2$	$2.00 \text{ kN/m}^2$

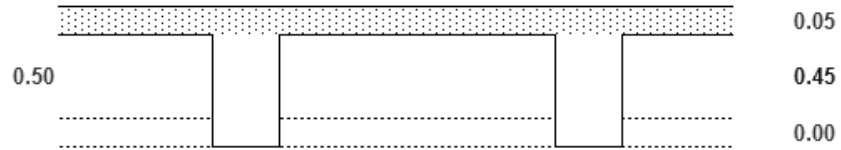
$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Carga Ultima})$$

El peso propio de los elementos lo asigna directamente ETABS

**AVALUO DE CARGAS**

(PISO TIPO)  
Entrepiso E3



Losa maciza	$e = 0.050$	x	2.40 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.120 Ton/m <sup>2</sup>	(modelo)
Acabados	0.05	x	2.00 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.100 Ton/m <sup>2</sup>	1.00 kN/m <sup>2</sup>
Muros no estructurales				=	0.300 Ton/m <sup>2</sup>	3.00 kN/m <sup>2</sup>
Casetones				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
Otros				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
					<hr/>	
				C.M.=	0.400 Ton/m <sup>2</sup>	4.00 kN/m <sup>2</sup>
		(Carga Viva - Oficinas)		C.V.=	0.200 Ton/m <sup>2</sup>	2.00 kN/m <sup>2</sup>

$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

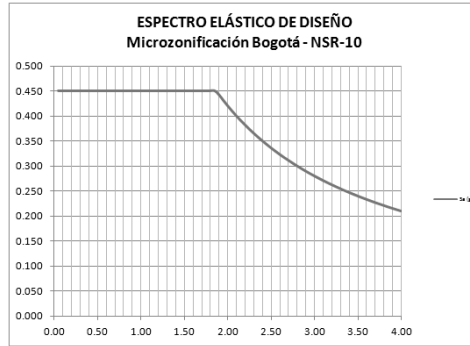
$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Carga Ultima})$$

El peso propio de los elementos lo asigna directamente ETABS

ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO (Según Decreto 523 del 16-Dic-2010)

Zona: LACUSTRE-200      Nombre del Archivo: 10LAC200  
 Aa: 0.15  
 Av: 0.20  
 Fa: 1.20  
 Fv: 3.50  
 Grupo de Uso: I  
 Coeficiente de importancia (I): 1.00  
 T<sub>c</sub> (seg): 1.87  
 T<sub>L</sub> (seg): 4.00

T (seg)	Sa (g)
0.00	0.450
0.05	0.450
0.10	0.450
0.15	0.450
0.20	0.450
0.25	0.450
0.30	0.450
0.35	0.450
0.40	0.450
0.45	0.450
0.50	0.450
0.55	0.450
0.60	0.450
0.65	0.450
0.70	0.450
0.75	0.450
0.80	0.450
0.85	0.450
0.90	0.450
0.95	0.450
1.00	0.450
1.05	0.450
1.10	0.450
1.15	0.450
1.20	0.450
1.25	0.450
1.30	0.450
1.35	0.450



**PROYECTO :** 5PC EDIFICIO TRADICIONAL

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño (según la microzonificación sísmica de Bogotá D.C.) construido con los siguientes parámetros:

ZONA : LACUSTRE-200

Grupo de Uso : I

Aa = 0.15  
 Av = 0.20

Fa = 1.20  
 Fv = 3.50

T<sub>C</sub> = 1.87  
 T<sub>L</sub> = 4.00

A<sub>0</sub> = 0.18  
 I = 1.00

El espectro se encuentra en el archivo: **10LAC200**

Zona de Amenaza Sísmica : **Intermedia**

Sistema Estructural: **Pórticos de concreto - DMO**

Datos para el Análisis Sísmico:	Area [m <sup>2</sup> ]	Alt.Piso [m]	Elevación h[m]	W [kN]	W / A [kN/m <sup>2</sup> ]	Masa [kN-s/m]
CUBIERTA	574.46	3.20	18.15	5079.6	8.84	517.80
PISO5	574.46	3.20	14.95	5422.6	9.44	552.76
PISO4	574.46	3.20	11.75	5422.6	9.44	552.76
PISO3	574.46	3.20	8.55	5422.6	9.44	552.76
PISO2	574.46	5.35	5.35	5653.0	9.84	576.25
				<b>Σ 27000.4</b>		



**Análisis Sísmico por Fuerza Horizontal Equivalente:**

Análisis por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente para ajustar el valor del cortante dinámico en la base ( según A.5.4.5 -- NSR - 10)

$$A_a = 0.15 \quad F_a = 1.20 \quad I = 1.00$$

$$A_v = 0.20 \quad F_v = 3.50$$

Periodo fundamental aproximado (según A.4.2.2 -- NSR - 10)

$$C_u = 1.2 \quad C_u = 1.75 - 1.2A_vF_v$$

$$C_t = 0.047 \quad \text{Pórticos de concreto - DMO}$$

$$\alpha = 0.90$$

$T_a = C_t h^\alpha = 0.64 \text{ seg}$
$C_u * T_a = 0.77 \text{ seg}$

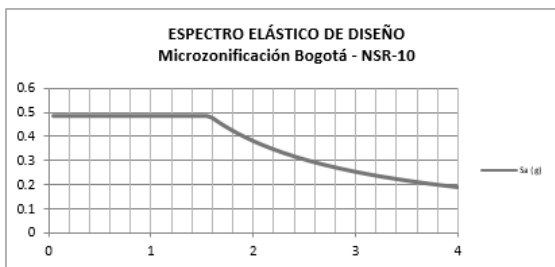
$$T_x = 0.51 \text{ seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)}$$

$$T_y = 0.39 \text{ seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)}$$

$$T_x = 0.51 \text{ seg ( definitivo )}$$

$$T_y = 0.39 \text{ seg ( definitivo )}$$

$S_a = 1.2 A_v F_v I / T$	$S_a = 2.5 A_a F_a I$	$S_a = 1.2 A_v F_v T_L I / T^2$	$S_{ax} = 0.45 \text{ (Definitivo)}$
$S_{ax} = 1.66$	$S_a = 0.45$	$S_{ax} = 13.05$	$S_{ay} = 0.45 \text{ (Definitivo)}$
$S_{ay} = 2.15$		$S_{ay} = 21.95$	$V_{sx} = 12150.2 \text{ kN}$
			$V_{sy} = 12150.2 \text{ kN}$



Cortantes Dinámicos en la Base. ( V<sub>tj</sub> ):

$$V_{tx} = 872.2 \text{ ton} \quad 8721.6 \text{ kN} \quad (\text{Ver página siguiente})$$

$$V_{ty} = 997.7 \text{ ton} \quad 9976.9 \text{ kN}$$

Regularidad de la Estructura: 2 ( 1: Regular, 2: Irregular)

- Si la estructura es regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente ( V<sub>s</sub> ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

- Si la estructura es irregular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 90 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente ( V<sub>s</sub> ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

**Factores de Ajuste :**

$$F_x = 10935.2 / 8721.6 = 1.25$$

$$F_y = 10935.2 / 9976.9 = 1.10$$

$$F_x = 1.25 \text{ ( Definitivo )}$$

$$F_y = 1.10 \text{ ( Definitivo )}$$

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER	Mode	Period	TRASLATION			< % SUM>			ROTATION			< % SUM>		
			% MASS UX	% MASS UY	% MASS UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	% MASS RX	% MASS RY	% MASS RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1		0.749778	14.9342	0.0032	0	14.9342	0.0032	0	0.0041	17.4303	72.7263	0.0041	17.4303	72.7263
2		0.507338	68.3544	0.0015	0	83.2886	0.0047	0	0.0019	82.2222	14.5201	0.006	99.6524	87.2464
3		0.391281	0	80.258	0	83.2887	80.2627	0	99.1835	0.0002	0.0071	99.1895	99.6526	87.2536
4		0.221085	1.7282	0.0016	0	85.0169	80.2643	0	0.0017	0.002	8.8125	99.1912	99.6546	96.0661
5		0.136301	10.3708	0	0	95.3876	80.2643	0	0	0.0955	2.0491	99.1912	99.7501	98.1152
6		0.113119	0.6528	0.0029	0	96.0404	80.2672	0	0.0001	0.0309	1.1223	99.1913	99.781	99.2375
7		0.09781	0.0001	17.0729	0	96.0405	97.3402	0	0.7296	0	0.0001	99.9209	99.781	99.2376
8		0.074914	0.014	0	0	96.0545	97.3402	0	0	0.0003	0.3208	99.9209	99.7813	99.5584
9		0.062085	2.9314	0	0	98.9859	97.3402	0	0	0.1943	0.3035	99.9209	99.9756	99.8619
10		0.057563	0.0155	0	0	99.0014	97.3402	0	0	0.0008	0.0394	99.9209	99.9764	99.9013

DYNAMIC RESPONSE SPECTRUM BASE SHEARS REACTIONS

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
SX	1	U1	1814.54	26.52	0	-375.362	24426.445	-15308.731
SX	2	U1	8305.19	-38.84	0	543.679	113499.681	-73030.387
SX	3	U1	0.01	7.61	0	-105.414	0.133	141.723
SX	4	U1	209.98	6.47	0	-81.464	89.342	-1751.843
SX	5	U1	1260.07	-1.58	0	18.364	1506.795	-11258.149
SX	6	U1	79.31	-5.29	0	13.48	215.042	-795.486
SX	7	U1	0.02	5.59	0	-14.405	0.05	104.051
SX	8	U1	1.7	-0.07	0	-0.238	-2.88	-18.241
SX	9	U1	356.17	-0.39	0	0.932	1142.557	-3119.412
SX	10	U1	1.88	0.06	0	-0.123	5.287	-15.253
SX	All	All	8721.55	46.52	0	645.922	117539.977	76529.873
SY	1	U2	26.52	0.39	0	-5.485	356.956	-223.714
SY	2	U2	-38.84	0.18	0	-2.543	-530.832	341.559
SY	3	U2	7.61	9751.5	0	-135076.807	170.222	181603.451
SY	4	U2	6.47	0.2	0	-2.509	2.752	-53.956
SY	5	U2	-1.58	0	0	-0.023	-1.891	14.129
SY	6	U2	-5.29	0.35	0	-0.899	-14.335	53.028
SY	7	U2	5.59	2074.39	0	-5343.438	18.536	38596.663
SY	8	U2	-0.07	0	0	0.009	0.114	0.72
SY	9	U2	-0.39	0	0	-0.001	-1.249	3.41
SY	10	U2	0.06	0	0	-0.004	0.179	-0.516
SY	All	All	46.52	9976.94	0	135201.877	628.908	185834.218

/-----D1-----/    /-----D2-----/  
 DIRECTION-X DIRECTION-Y DIRECTION-X DIRECTION-Y  
 CQC            8721.6            46.5            46.5            9976.9

Modelo en kN-m

Vtx= 872.2 Ton                    8721.6 kN  
 Vty= 997.7 Ton                    9976.9 kN

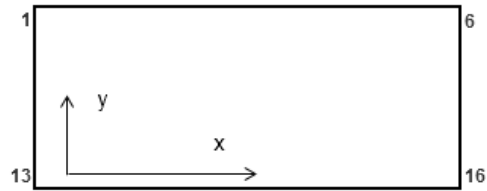
RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS & TOTAL MODAL DAMPING

Spec	Mode	Period	DampRatio	SpecFactor	SPEC-ACC U1	SPEC-ACC U2	SPEC-ACC U3	Sa
SX	1	0.749778	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	2	0.507338	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	3	0.391281	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	4	0.221085	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	5	0.136301	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	6	0.113119	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	7	0.09781	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	8	0.074914	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	9	0.062085	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	10	0.057563	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SY	1	0.749778	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	2	0.507338	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	3	0.391281	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	4	0.221085	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	5	0.136301	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	6	0.113119	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	7	0.09781	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	8	0.074914	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	9	0.062085	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	10	0.057563	0.05	1	0	4.4145	0	0.450

COORDINATES OF CENTERS OF CUMULATIVE MASS & CENTERS OF RIGIDITY

STORY LEVEL	DIAPHRAGM NUMBER	MASS		/---CENTER OF MASS---/ ORDINATE-X ORDINATE-Y						/--CENTER OF RIGIDITY--/ ORDINATE-X ORDINATE-Y	
		MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
Story	Diaphragm										
CUBIERTA	D5	517.7978	517.7978	18.63	8.589	517.7978	517.7978	18.63	8.589	18.559	11.147
PISO5	D4	552.7619	552.7619	18.63	8.747	552.7619	552.7619	18.63	8.747	18.573	11.242
PISO4	D3	552.7619	552.7619	18.63	8.747	552.7619	552.7619	18.63	8.747	18.587	11.345
PISO3	D2	552.7619	552.7619	18.63	8.747	552.7619	552.7619	18.63	8.747	18.608	11.464
PISO2	D1	576.2534	576.2534	18.63	8.843	576.2534	576.2534	18.63	8.843	18.633	11.612

Esquema Estructural - Identificación de Nodos Para Revisión de la Irregularidad Torsional



REVISIÓN DE LA IRREGULARIDAD TORSIONAL

SISMO EN X \_\_\_\_\_ Caso de Carga: 3

$\Delta$  = Deriva del análisis.

Columna Eje Vertical:

	1	13				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.29	0.99	1.37	1.60	NO	NO
PISO5	1.68	1.34	1.81	2.11	NO	NO
PISO4	1.98	1.56	2.12	2.48	NO	NO
PISO3	2.08	1.65	2.24	2.61	NO	NO
PISO2	2.70	2.18	2.93	3.42	NO	NO

	6	16				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.30	1.00	1.38	1.61	NO	NO
PISO5	1.70	1.34	1.82	2.13	NO	NO
PISO4	1.99	1.58	2.14	2.50	NO	NO
PISO3	2.09	1.66	2.25	2.63	NO	NO
PISO2	2.71	2.19	2.94	3.43	NO	NO

Columna Eje Vertical:

	1	6				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.74	0.74	0.88	1.03	NO	NO
PISO5	0.87	0.88	1.05	1.23	NO	NO
PISO4	0.94	0.95	1.14	1.33	NO	NO
PISO3	0.94	0.93	1.13	1.31	NO	NO
PISO2	1.19	1.15	1.41	1.64	NO	NO

	13	16				
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.63	0.64	0.76	0.88	NO	NO
PISO5	0.73	0.75	0.89	1.04	NO	NO
PISO4	0.79	0.79	0.95	1.11	NO	NO
PISO3	0.78	0.78	0.94	1.10	NO	NO
PISO2	0.99	0.96	1.17	1.37	NO	NO

IRREGULARIDADES EN PLANTA - (Ver tabla A.3-6 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Irregularidad Torsional	1aP		x
Irregularidad Torsional Extrema	1bP		x
Retrocesos excesivos en las Esquinas	2P	x	
Discontinuidades en el Diafragma	3P		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4P		x
Sistemas no Paralelos	5P		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9

$\phi_p = 0.9$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\phi_p$ )

- En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la revisión de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP, 1bP, 3P y 4P (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP y 1bP (Ver A.3.3.6 NSR-10)

IRREGULARIDADES EN ALTURA - (Ver tabla A.3-7 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Piso Flexible (Irregularidad en Rigidez)	1aA		x
Piso Flexible (Irregularidad extrema en Rigidez)	1bA		x
Distribución de Masas	2A		x
Geométrica	3A		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4A		x
Piso Débil (Discontinuidad en la resistencia)	5aA		x
Piso Débil (Discontinuidad extrema en la resistencia)	5bA		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9
0.8

$\phi_a = 1.0$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\phi_a$ )

- Cuando la deriva de cualquier piso es menor a 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A ó 3A (Ver A.3.3.5.1 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica intermedia y para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I la evaluación de la irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 5aA y 5bA (Ver A.3.3.6 NSR-10)

AUSENCIA DE REDUNDANCIA - (Ver A.3.3.8 - NSR-10)

PARAMETRO	Si	No
Ausencia de redundancia en el sistema sismo-resistente		x

Factor de Reducción
0.75

$\phi_r = 1.00$

Factores - Resultado  $F_x = 1.25$   
 Análisis Sísmico  $F_y = 1.10$

Combinaciones de Carga:

1.0. CHEQUEO DE LA DERIVA

DER1	1.40 C.M.		
DER2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
DER3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.25 S.X.
DER4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.25 S.X.
DER5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.10 S.Y.
DER6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.10 S.Y.
DER7	0.90 C.M.		+ 1.25 S.X.
DER8	0.90 C.M.		- 1.25 S.X.
DER9	0.90 C.M.		+ 1.10 S.Y.
DER10	0.90 C.M.		- 1.10 S.Y.

C.M. = Carga Muerta  
 C.V. = Carga Viva  
 S.X. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en X  
 S.Y. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en Y

$R_o = 5.00$  Pórticos de concreto - DMO  
 $\Omega_o = 3.00$

$\phi_a = 1.00$   
 $\phi_p = 0.90$   
 $\phi_r = 1.00$

$R_x = 4.50$   
 $R_y = 4.50$

$R_{cx} = 4.50$   
 $R_{cy} = 4.50$

2.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (FLEXIÓN)

FCV1	1.40 C.M.		
FCV2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
FCV3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.28 S.X. + 0.07 S.Y.
FCV4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.28 S.X. - 0.07 S.Y.
FCV5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.28 S.X. + 0.07 S.Y.
FCV6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.28 S.X. - 0.07 S.Y.
FCV7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.08 S.X. + 0.24 S.Y.
FCV8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.08 S.X. + 0.24 S.Y.
FCV9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.08 S.X. - 0.24 S.Y.
FCV10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.08 S.X. - 0.24 S.Y.
FCV11	0.90 C.M.		+ 0.28 S.X. + 0.07 S.Y.
FCV12	0.90 C.M.		+ 0.28 S.X. - 0.07 S.Y.
FCV13	0.90 C.M.		- 0.28 S.X. + 0.07 S.Y.
FCV14	0.90 C.M.		- 0.28 S.X. - 0.07 S.Y.
FCV15	0.90 C.M.		+ 0.08 S.X. + 0.24 S.Y.
FCV16	0.90 C.M.		- 0.08 S.X. + 0.24 S.Y.
FCV17	0.90 C.M.		+ 0.08 S.X. - 0.24 S.Y.
FCV18	0.90 C.M.		- 0.08 S.X. - 0.24 S.Y.

3.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (CORTANTE) -- Según literal C.21.3.3 (NSR-10)

COLUMNAS		$\Omega_0$ *(S.X.)	$\Omega_0$ *(S.Y.)	VIGAS		2*(S.X.)	2*(S.Y.)
DC1	1.40 C.M.			DV1	1.40 C.M.		
DC2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.			DV2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
DC3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.84 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.56 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.84 S.X.	-0.22 S.Y.	DV4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.56 S.X.	-0.15 S.Y.
DC5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.84 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.56 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.84 S.X.	-0.22 S.Y.	DV6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.56 S.X.	-0.15 S.Y.
DC7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.17 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.25 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.17 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	-0.73 S.Y.	DV9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.17 S.X.	-0.49 S.Y.
DC10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.25 S.X.	-0.73 S.Y.	DV10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.17 S.X.	-0.49 S.Y.
DC11	0.90 C.M.	+ 0.84 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV11	0.90 C.M.	+ 0.56 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC12	0.90 C.M.	+ 0.84 S.X.	-0.22 S.Y.	DV12	0.90 C.M.	+ 0.56 S.X.	-0.15 S.Y.
DC13	0.90 C.M.	-0.84 S.X.	+ 0.22 S.Y.	DV13	0.90 C.M.	-0.56 S.X.	+ 0.15 S.Y.
DC14	0.90 C.M.	-0.84 S.X.	-0.22 S.Y.	DV14	0.90 C.M.	-0.56 S.X.	-0.15 S.Y.
DC15	0.90 C.M.	+ 0.25 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV15	0.90 C.M.	+ 0.17 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC16	0.90 C.M.	-0.25 S.X.	+ 0.73 S.Y.	DV16	0.90 C.M.	-0.17 S.X.	+ 0.49 S.Y.
DC17	0.90 C.M.	+ 0.25 S.X.	-0.73 S.Y.	DV17	0.90 C.M.	+ 0.17 S.X.	-0.49 S.Y.
DC18	0.90 C.M.	-0.25 S.X.	-0.73 S.Y.	DV18	0.90 C.M.	-0.17 S.X.	-0.49 S.Y.

4.0. CARGAS A CIMENTACION

C1	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		
C2	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.20 S.X.	
C3	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	-0.20 S.X.	
C4	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		+ 0.17 S.Y.
C5	1.00 C.M. + 1.00 C.V.		-0.17 S.Y.

5.0 DISEÑO DE MUROS

M1	1.40 C.M.		
M2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
M3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.28 S.X.	
M4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.28 S.X.	
M5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.		+ 0.24 S.Y.
M6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.		-0.24 S.Y.
M7	0.90 C.M.	+ 0.28 S.X.	
M8	0.90 C.M.	-0.28 S.X.	
M9	0.90 C.M.		+ 0.24 S.Y.
M10	0.90 C.M.		-0.24 S.Y.

**CHEQUEO DE LA DERIVA DE PISO**

$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta\alpha$  = Deriva del análisis.

$\Delta\rho$  = Deriva permitida.  
( 0.01 h )

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0577	0.0779	1.29	3.20	OK	0.40
PISO5	3.20	0.0490	0.0684	1.68	3.20	OK	0.53
PISO4	3.20	0.0383	0.0554	1.98	3.20	OK	0.62
PISO3	3.20	0.0259	0.0400	2.08	3.20	OK	0.65
PISO2	5.35	0.0133	0.0235	2.70	5.35	OK	0.50
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0079	0.0462	0.74	3.20	OK	0.23
PISO5	3.20	0.0069	0.0389	0.87	3.20	OK	0.27
PISO4	3.20	0.0055	0.0303	0.94	3.20	OK	0.29
PISO3	3.20	0.0039	0.0210	0.94	3.20	OK	0.29
PISO2	5.35	0.0023	0.0117	1.19	5.35	OK	0.22
<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0577	0.0787	1.30	3.20	OK	0.40
PISO5	3.20	0.0490	0.0691	1.70	3.20	OK	0.53
PISO4	3.20	0.0383	0.0559	1.99	3.20	OK	0.62
PISO3	3.20	0.0259	0.0403	2.09	3.20	OK	0.65
PISO2	5.35	0.0133	0.0236	2.71	5.35	OK	0.51
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0079	0.0459	0.74	3.20	OK	0.23
PISO5	3.20	0.0069	0.0386	0.88	3.20	OK	0.28
PISO4	3.20	0.0055	0.0299	0.95	3.20	OK	0.30
PISO3	3.20	0.0039	0.0205	0.93	3.20	OK	0.29
PISO2	5.35	0.0023	0.0113	1.15	5.35	OK	0.22

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
% Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$



$$\Delta_{\alpha} = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta_{\alpha}$  = Deriva del análisis.  
 $\Delta p$  = Deriva permitida.  
 (0.01 h)

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		13 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0634	0.0441	0.99	3.20	OK	0.31
PISO5	3.20	0.0549	0.0390	1.34	3.20	OK	0.42
PISO4	3.20	0.0437	0.0317	1.56	3.20	OK	0.49
PISO3	3.20	0.0307	0.0230	1.65	3.20	OK	0.52
PISO2	5.35	0.0171	0.0136	2.18	5.35	OK	0.41

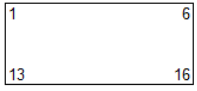
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		13 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0147	0.0363	0.63	3.20	OK	0.20
PISO5	3.20	0.0129	0.0303	0.73	3.20	OK	0.23
PISO4	3.20	0.0105	0.0234	0.79	3.20	OK	0.25
PISO3	3.20	0.0076	0.0160	0.78	3.20	OK	0.24
PISO2	5.35	0.0045	0.0088	0.99	5.35	OK	0.18

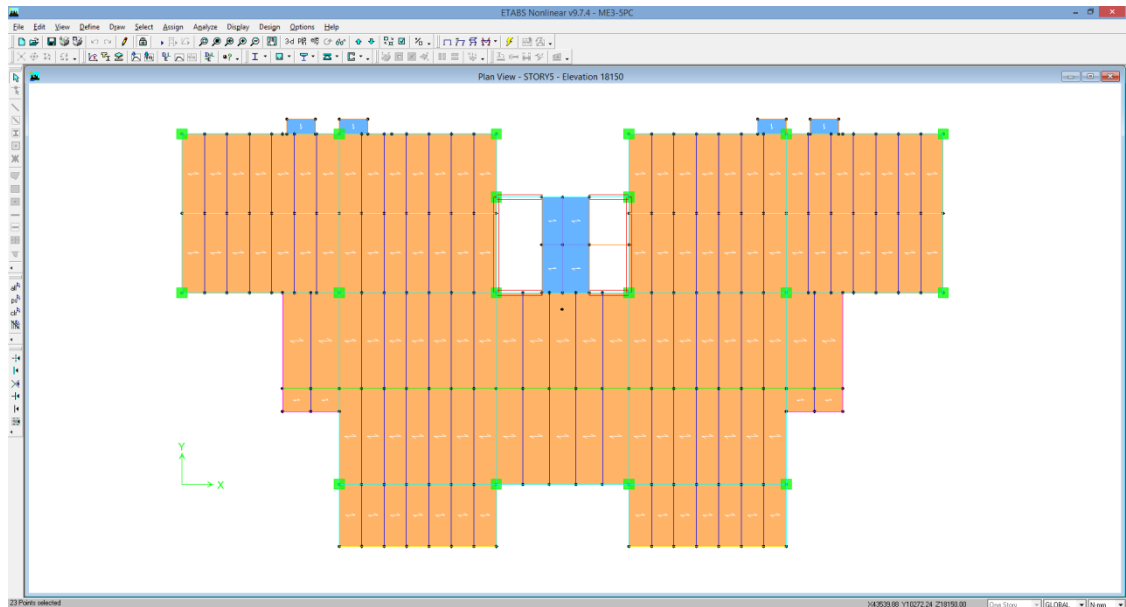
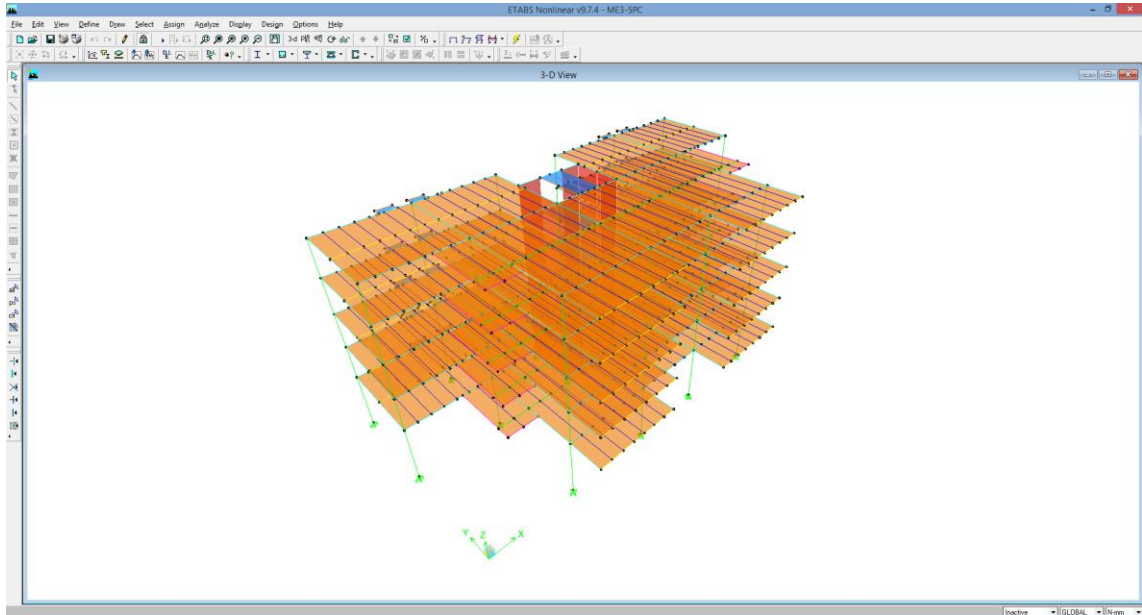
<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		16 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0634	0.0450	1.00	3.20	OK	0.31
PISO5	3.20	0.0549	0.0397	1.34	3.20	OK	0.42
PISO4	3.20	0.0437	0.0323	1.58	3.20	OK	0.49
PISO3	3.20	0.0307	0.0233	1.66	3.20	OK	0.52
PISO2	5.35	0.0171	0.0137	2.19	5.35	OK	0.41

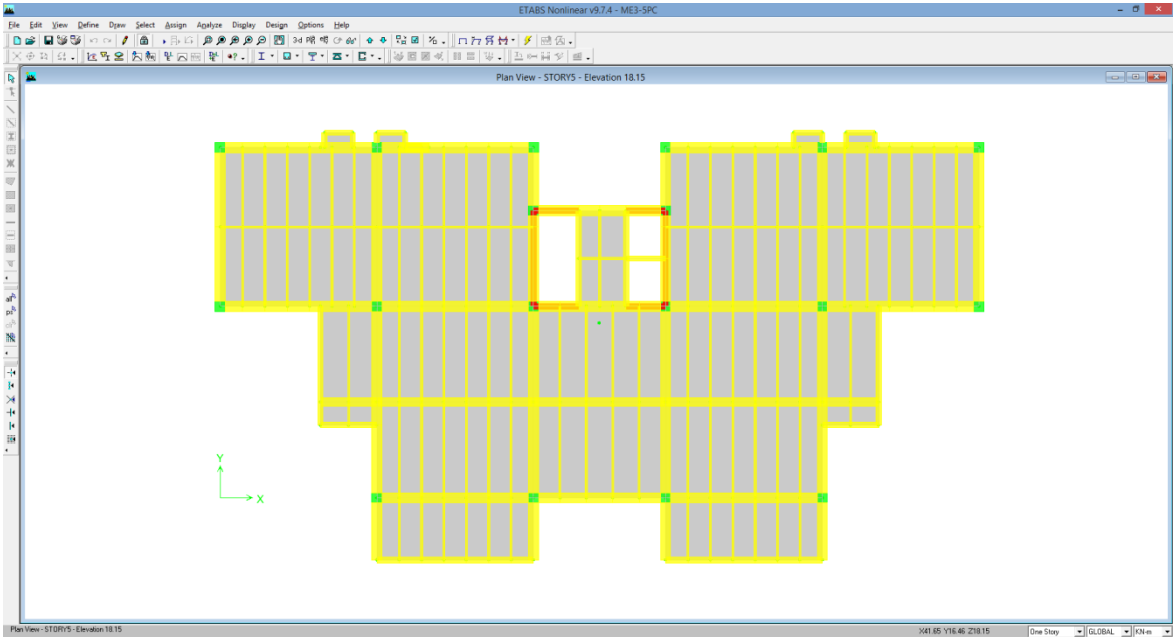
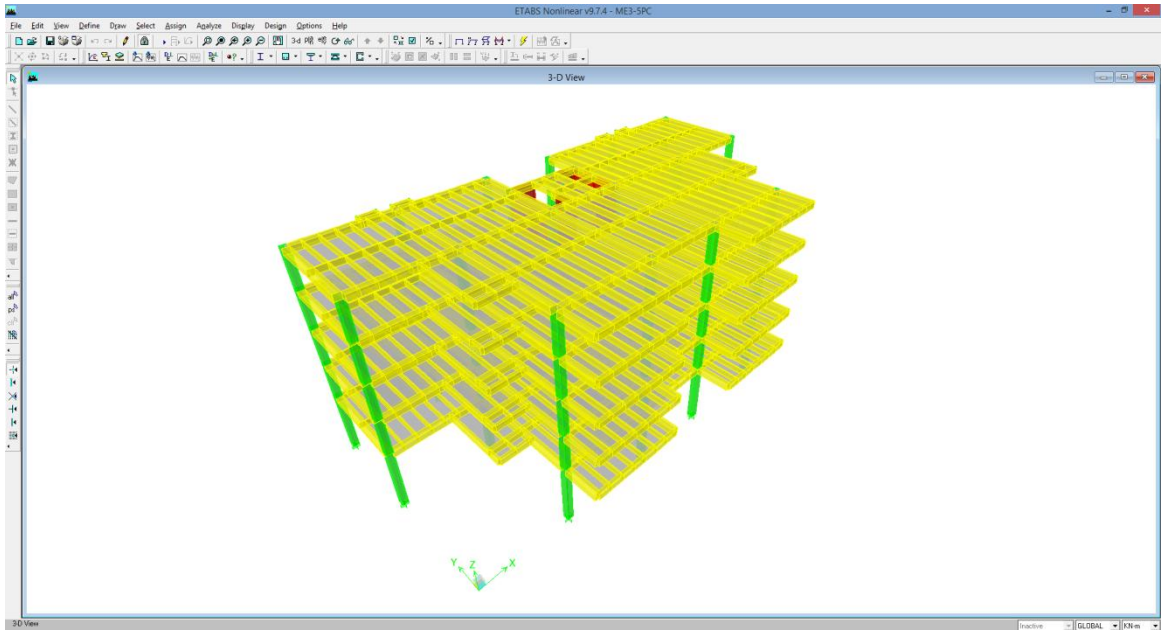
<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		16 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0147	0.0363	0.64	3.20	OK	0.20
PISO5	3.20	0.0129	0.0302	0.75	3.20	OK	0.23
PISO4	3.20	0.0105	0.0231	0.79	3.20	OK	0.25
PISO3	3.20	0.0076	0.0157	0.78	3.20	OK	0.24
PISO2	5.35	0.0045	0.0085	0.96	5.35	OK	0.18

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta p$

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta p$

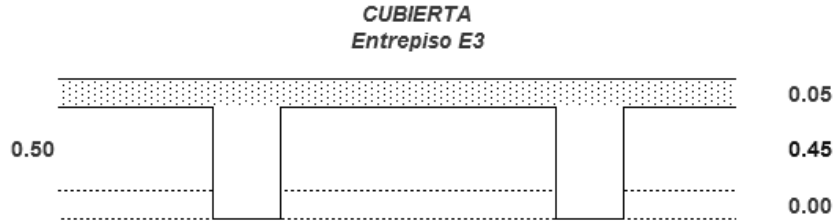
			<u>Max en X</u>	0.65
			<u>Max en Y</u>	0.30
Max en x=	0.65		Max en x=	0.65
Max en y=	0.29		Max en y=	0.30
Max en x=	0.52		Max en x=	0.52
Max en y=	0.25		Max en y=	0.25





## Datos de análisis modelo estructural ME3-9PC

### AVALUO DE CARGAS



Losa maciza	e = 0.050	x	2.40 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.120 Ton/m <sup>2</sup>	(modelo)
Acabados	0.05	x	2.00 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.100 Ton/m <sup>2</sup>	1.00 kN/m <sup>2</sup>
Muros no estructurales				=	0.150 Ton/m <sup>2</sup>	1.50 kN/m <sup>2</sup>
Casetones				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
Cubierta verde liviana				=	0.150 Ton/m <sup>2</sup>	1.50 kN/m <sup>2</sup>
				C.M.=	0.400 Ton/m <sup>2</sup>	4.00 kN/m <sup>2</sup>
		(Carga Viva - Oficinas)		C.V.=	0.200 Ton/m <sup>2</sup>	2.00 kN/m <sup>2</sup>

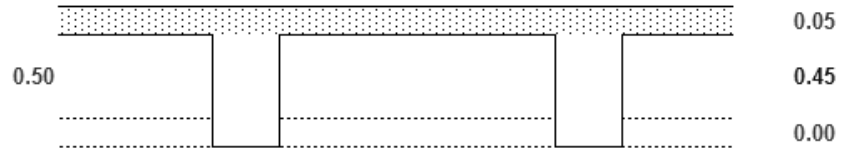
$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Carga Ultima})$$

El peso propio de los elementos lo asigna directamente ETABS

**AVALUO DE CARGAS**

(PISO TIPO)  
Entrepiso E3



Losa maciza	$e = 0.050$	x	2.40 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.120 Ton/m <sup>2</sup>	(modelo)
Acabados	0.05	x	2.00 Ton/m <sup>3</sup>	=	0.100 Ton/m <sup>2</sup>	1.00 kN/m <sup>2</sup>
Muros no estructurales				=	0.300 Ton/m <sup>2</sup>	3.00 kN/m <sup>2</sup>
Casetones				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
Otros				=	0.000 Ton/m <sup>2</sup>	
					<hr/>	
				C.M.=	0.400 Ton/m <sup>2</sup>	4.00 kN/m <sup>2</sup>
		(Carga Viva - Oficinas)		C.V.=	0.200 Ton/m <sup>2</sup>	2.00 kN/m <sup>2</sup>

$$C.U. = 1.2 C.M. + 1.6 C.V.$$

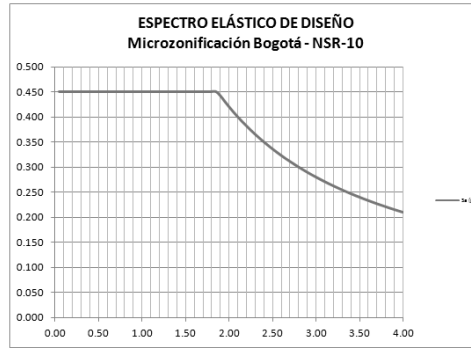
$$C.U. = 0.800 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Carga Ultima})$$

El peso propio de los elementos lo asigna directamente ETABS

ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO (Según Decreto 523 del 16-Dic-2010)

Zona: LACUSTRE-200      Nombre del Archivo: 10LAC200  
 Aa: 0.15  
 Av: 0.20  
 Fa: 1.20  
 Fv: 3.50  
 Grupo de Uso: I  
 Coeficiente de Importancia (I): 1.00  
 T<sub>c</sub> (seg): 1.87  
 T<sub>L</sub> (seg): 4.00

T (seg)	Sa (g)
0.00	0.450
0.05	0.450
0.10	0.450
0.15	0.450
0.20	0.450
0.25	0.450
0.30	0.450
0.35	0.450
0.40	0.450
0.45	0.450
0.50	0.450
0.55	0.450
0.60	0.450
0.65	0.450
0.70	0.450
0.75	0.450
0.80	0.450
0.85	0.450
0.90	0.450
0.95	0.450
1.00	0.450
1.05	0.450
1.10	0.450
1.15	0.450
1.20	0.450
1.25	0.450
1.30	0.450
1.35	0.450



**PROYECTO : 9PC EDIFICIO TRADICIONAL**

El Análisis Sísmico se realizará por el método del Análisis Dinámico.

El programa de análisis estructural ETABS realiza directamente el análisis dinámico utilizando el Espectro Elástico de Diseño (según la microzonificación sísmica de Bogotá D.C.) construido con los siguientes parámetros:

ZONA : LACUSTRE-200

Grupo de Uso : I

Aa = 0.15  
 Av = 0.20

Fa = 1.20  
 Fv = 3.50

T<sub>c</sub> = 1.87  
 T<sub>L</sub> = 4.00

A<sub>0</sub> = 0.18  
 I = 1.00

El espectro se encuentra en el archivo: **10LAC200**

Zona de Amenaza Sísmica : **Intermedia**

Sistema Estructural: **Pórticos de concreto - DMO**

Datos para el Análisis Sísmico:

	Area [m <sup>2</sup> ]	Alt.Piso [m]	Elevación h[m]	W [kN]	W / A [kN/m <sup>2</sup> ]	Masa [kN-s/m]
CUBIERTA	574.46	3.20	30.95	5342.5	9.30	544.59
PISO9	574.46	3.20	27.75	5984.9	10.42	610.08
PISO8	574.46	3.20	24.55	5984.9	10.42	610.08
PISO7	574.46	3.20	21.35	5984.9	10.42	610.08
PISO6	574.46	3.20	18.15	5984.9	10.42	610.08
PISO5	574.46	3.20	14.95	5984.9	10.42	610.08
PISO4	574.46	3.20	11.75	5984.9	10.42	610.08
PISO3	574.46	3.20	8.55	5984.9	10.42	610.08
PISO2	574.46	5.35	5.35	6416.6	11.17	654.09
<b>Σ</b>				<b>53653.5</b>		

**Análisis Sísmico por Fuerza Horizontal Equivalente:**

Análisis por el método de la Fuerza Horizontal Equivalente para ajustar el valor del cortante dinámico en la base ( según A.5.4.5 -- NSR - 10)

$$\begin{aligned} A_a &= 0.15 & F_a &= 1.20 & I &= 1.00 \\ A_v &= 0.20 & F_v &= 3.50 & & \end{aligned}$$

Periodo fundamental aproximado (según A.4.2.2 -- NSR - 10)

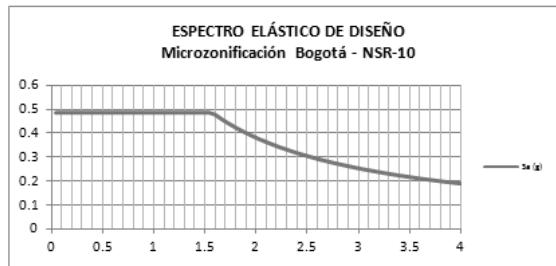
$$\begin{aligned} C_u &= 1.2 & C_u &= 1.75 - 1.2A_vF_v \\ C_t &= 0.047 & & \text{Pórticos de concreto - DMO} \\ \alpha &= 0.90 & & \end{aligned}$$

$T_a = C_t h^\alpha$	=	1.03	seg
$C_u T_a$	=	1.24	seg

$$\begin{aligned} T_x &= 1.00 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \\ T_y &= 0.59 & \text{seg (obtenido del análisis dinámico de la estructura)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_x &= 1.00 & \text{seg ( definitivo )} \\ T_y &= 0.59 & \text{seg ( definitivo )} \end{aligned}$$

$S_a = 1.2 A_v F_v I / T$	$S_a = 2.5 A_a F_a I$	$S_a = 1.2 A_v F_v T_L I / T^2$	$S_{ax} = 0.45$ (Definitivo)
$S_{ax} = 0.84$	$S_a = 0.45$	$S_{ax} = 3.36$	$S_{ay} = 0.45$ (Definitivo)
$S_{ay} = 1.43$		$S_{ay} = 9.69$	$V_{sx} = 24144.1$ kN
			$V_{sy} = 24144.1$ kN



Cortantes Dinámicos en la Base. (  $V_{tj}$  ) :

$$\begin{aligned} V_{tx} &= 1937.9 \text{ ton} & 19379.4 \text{ kN} & \text{(Ver página siguiente)} \\ V_{ty} &= 1818.4 \text{ ton} & 18184.3 \text{ kN} & \end{aligned}$$

Regularidad de la Estructura: 2 ( 1: Regular, 2: Irregular)

- Si la estructura es regular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 80 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente (  $V_s$  ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

- Si la estructura es irregular, el cortante dinámico en la base no puede ser menor que el 90 % del cortante calculado por Fuerza Horizontal Equivalente (  $V_s$  ) - ( según A.5.4.5 -- NSR - 10 )

**Factores de Ajuste :**

$$\begin{aligned} F_x &= 21729.7 / 19379.4 = 1.12 \\ F_y &= 21729.7 / 18184.3 = 1.19 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_x &= 1.12 & \text{( Definitivo )} \\ F_y &= 1.19 & \text{( Definitivo )} \end{aligned}$$

MODAL PARTICIPATING MASS RATIOS

MODE NUMBER Mode	Period	TRASLATION			< % SUM>			ROTATION			< % SUM>		
		% MASS UX	% MASS UY	% MASS UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	% MASS RX	% MASS RY	% MASS RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.000646	78.9781	0	0	78.9781	0	0	0.0001	99.5184	0.1612	0.0001	99.5184	0.1612
2	0.588788	0.0001	72.1565	0	78.9782	72.1566	0	98.3538	0.0001	0.0003	98.3539	99.5184	0.1615
3	0.461564	0.2086	0.0003	0	79.1868	72.1569	0	0.0004	0.1619	71.5956	98.3543	99.6804	71.7571
4	0.284319	12.9273	0	0	92.1141	72.1569	0	0	0.0244	0.1137	98.3543	99.7048	71.8707
5	0.136127	4.3818	0	0	96.496	72.1569	0	0	0.2493	0.001	98.3543	99.954	71.8717
6	0.129098	0	20.7434	0	96.496	92.9003	0	1.4806	0	0	99.8349	99.954	71.8717
7	0.100354	0.0014	0	0	96.4974	92.9003	0	0	0	21.0917	99.8349	99.9541	92.9634
8	0.080426	1.9707	0	0	98.4681	92.9003	0	0	0.0196	0.0059	99.8349	99.9736	92.9693
9	0.058752	0	4.8991	0	98.4681	97.7995	0	0.1434	0	0	99.9784	99.9736	92.9693
10	0.053437	0.889	0	0	99.3571	97.7995	0	0	0.0193	0.0048	99.9784	99.993	92.9742

DYNAMIC RESPONSE SPECTRUM BASE SHEARS REACTIONS

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
SX	1	U1	19068.54	13.14	0	-306.53	421636.471	-170749.006
SX	2	U1	0.02	-17.05	0	392.19	0.324	-317.885
SX	3	U1	50.37	2	0	-45.579	874.086	-417.223
SX	4	U1	3121.18	2.46	0	-44.138	2672.153	-28514.713
SX	5	U1	1057.96	-3.43	0	19.561	4970.475	-9494.361
SX	6	U1	0	2.82	0	-14.857	0.011	52.585
SX	7	U1	0.34	0.04	0	-0.141	0.519	-2.289
SX	8	U1	475.82	-0.08	0	-0.26	934.39	-4472.649
SX	9	U1	0	0.11	0	-0.356	0	1.967
SX	10	U1	214.63	-0.03	0	0.057	623.543	-1931.671
SX	All	All	19379.42	21.31	0	489.042	421709.412	173643.673
SY	1	U2	13.14	0.01	0	-0.211	290.544	-117.661
SY	2	U2	-17.05	17421.53	0	-400651.237	-331.366	324743.293
SY	3	U2	2	0.08	0	-1.813	34.76	-16.592
SY	4	U2	2.46	0	0	-0.035	2.102	-22.432
SY	5	U2	-3.43	0.01	0	-0.063	-16.118	30.788
SY	6	U2	2.82	5008.29	0	-26356.863	19.896	93290.226
SY	7	U2	0.04	0	0	-0.016	0.06	-0.265
SY	8	U2	-0.08	0	0	0	-0.161	0.772
SY	9	U2	0.11	1182.85	0	-3986.829	0.177	22037.363
SY	10	U2	-0.03	0	0	0	-0.073	0.226
SY	All	All	21.31	18184.27	0	401616.172	431.668	338941.9

/-----D1-----/ /-----D2-----/  
 DIRECTION-X DIRECTION-Y DIRECTION-X DIRECTION-Y  
 CQC           **19379.4**           **21.3**           **21.3**           **18184.3**

Vtx= **1937.9 Ton**                   **19379.4 kN**  
 Vty= **1818.4 Ton**                   **18184.3 kN**



9PC EDIFICIO TRADICIONAL  
 ARCHIVO ETABS: ME3-9PC.EDB  
 ANALISIS SISMICO

Modelo en kN-m

RESPONSE SPECTRUM ACCELERATIONS & TOTAL MODAL DAMPING

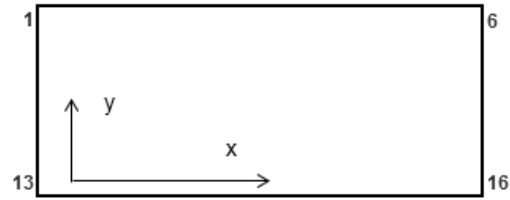
Spec	Mode	Period	DampRatio	SpecFactor	SPEC-ACC U1	SPEC-ACC U2	SPEC-ACC U3	Sa
SX	1	1.000646	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	2	0.588788	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	3	0.461564	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	4	0.284319	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	5	0.136127	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	6	0.129098	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	7	0.100354	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	8	0.080426	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	9	0.058752	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SX	10	0.053437	0.05	1	4.4145	0	0	0.450
SY	1	1.000646	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	2	0.588788	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	3	0.461564	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	4	0.284319	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	5	0.136127	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	6	0.129098	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	7	0.100354	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	8	0.080426	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	9	0.058752	0.05	1	0	4.4145	0	0.450
SY	10	0.053437	0.05	1	0	4.4145	0	0.450

9PC EDIFICIO TRADICIONAL  
 ARCHIVO ETABS: ME3-9PC.EDB  
 ANALISIS SISMICO

COORDINATES OF CENTERS OF CUMULATIVE MASS & CENTERS OF RIGIDITY

STORY LEVEL	DIAPHRAGM NUMBER	MASS		/---CENTER OF MASS---/ ORDINATE-X ORDINATE-Y						/--CENTER OF RIGIDITY--/ ORDINATE-X ORDINATE-Y	
		MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
CUBIERTA	D9	544.5938	544.5938	18.631	8.743	544.5938	544.5938	18.631	8.743	18.614	10.664
PISO9	D8	610.0839	610.0839	18.632	9.01	610.0839	610.0839	18.632	9.01	18.615	10.68
PISO8	D7	610.0839	610.0839	18.632	9.01	610.0839	610.0839	18.632	9.01	18.615	10.705
PISO7	D6	610.0839	610.0839	18.632	9.01	610.0839	610.0839	18.632	9.01	18.616	10.74
PISO6	D5	610.0839	610.0839	18.632	9.01	610.0839	610.0839	18.632	9.01	18.617	10.783
PISO5	D4	610.0839	610.0839	18.632	9.01	610.0839	610.0839	18.632	9.01	18.619	10.836
PISO4	D3	610.0839	610.0839	18.632	9.01	610.0839	610.0839	18.632	9.01	18.624	10.897
PISO3	D2	610.0839	610.0839	18.632	9.01	610.0839	610.0839	18.632	9.01	18.631	10.964
PISO2	D1	654.0852	654.0852	18.632	9.16	654.0852	654.0852	18.632	9.16	18.642	11.08

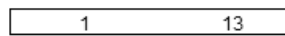
Esquema Estructural - Identificación de Nudos Para Revisión de la Irregularidad Torsional



REVISION DE LA IRREGULARIDAD TORSIONAL

SISMO EN X \_\_\_\_\_ Caso de Carga: 3 Δ = Deriva del análisis.

Columna Eje Vertical:



	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.24	1.15	1.43	1.67	NO	NO
PISO9	1.48	1.42	1.74	2.03	NO	NO
PISO8	1.73	1.73	2.08	2.42	NO	NO
PISO7	1.97	2.03	2.40	2.79	NO	NO
PISO6	2.15	2.27	2.65	3.09	NO	NO
PISO5	2.25	2.44	2.81	3.28	NO	NO
PISO4	2.22	2.47	2.82	3.29	NO	NO
PISO3	2.01	2.34	2.61	3.05	NO	NO
PISO2	1.80	2.44	2.54	2.97	NO	NO



	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	1.24	1.14	1.43	1.67	NO	NO
PISO9	1.48	1.42	1.74	2.03	NO	NO
PISO8	1.73	1.73	2.07	2.42	NO	NO
PISO7	1.97	2.03	2.40	2.80	NO	NO
PISO6	2.15	2.27	2.65	3.09	NO	NO
PISO5	2.26	2.43	2.81	3.28	NO	NO
PISO4	2.22	2.46	2.81	3.28	NO	NO
PISO3	2.01	2.34	2.61	3.05	NO	NO
PISO2	1.80	2.44	2.54	2.97	NO	NO

Columna Eje Vertical:

	1                      6					
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.92	0.92	1.11	1.29	NO	NO
PISO9	0.94	0.95	1.14	1.32	NO	NO
PISO8	0.95	0.95	1.14	1.33	NO	NO
PISO7	0.94	0.95	1.14	1.33	NO	NO
PISO6	0.90	0.91	1.09	1.27	NO	NO
PISO5	0.84	0.84	1.01	1.18	NO	NO
PISO4	0.73	0.73	0.88	1.02	NO	NO
PISO3	0.58	0.59	0.70	0.82	NO	NO
PISO2	0.53	0.53	0.64	0.74	NO	NO

	13                      16					
	$\Delta 1$ (cm)	$\Delta 2$ (cm)	$\frac{1.2*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	$\frac{1.4*(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$	Irregularidad Torsional	Irregularidad Torsional Extrema
CUBIERTA	0.99	0.99	1.19	1.38	NO	NO
PISO9	1.23	1.22	1.47	1.71	NO	NO
PISO8	1.49	1.49	1.79	2.09	NO	NO
PISO7	1.76	1.75	2.10	2.46	NO	NO
PISO6	1.96	1.96	2.35	2.74	NO	NO
PISO5	2.10	2.09	2.51	2.93	NO	NO
PISO4	2.13	2.13	2.56	2.99	NO	NO
PISO3	2.03	2.03	2.43	2.84	NO	NO
PISO2	2.11	2.10	2.53	2.95	NO	NO

IRREGULARIDADES EN PLANTA - (Ver tabla A.3-6 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Irregularidad Torsional	1aP		x
Irregularidad Torsional Extrema	1bP		x
Retrocesos excesivos en las Esquinas	2P	x	
Discontinuidades en el Diafragma	3P		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4P		x
Sistemas no Paralelos	5P		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9

$\alpha_p = 0.9$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\alpha_p$ )

- En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, la revisión de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP, 1bP, 3P y 4P (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 1aP y 1bP (Ver A.3.3.6 NSR-10)

IRREGULARIDADES EN ALTURA - (Ver tabla A.3-7 - NSR-10)

PARAMETRO	Tipo	Si	No
Piso Flexible (Irregularidad en Rigidez)	1aA		x
Piso Flexible (Irregularidad extrema en Rigidez)	1bA		x
Distribución de Masas	2A		x
Geométrica	3A		x
Desplazamiento del Plano de Acción	4A		x
Piso Débil (Discontinuidad en la resistencia)	5aA		x
Piso Débil (Discontinuidad extrema en la resistencia)	5bA		x

Factor de Reducción
0.9
0.8
0.9
0.9
0.8
0.9
0.8

$\alpha_a = 1.0$

(Si existen varias irregularidades se escoge el menor valor de  $\alpha_a$ )

- Cuando la deriva de cualquier piso es menor a 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1aA, 1bA, 2A ó 3A (Ver A.3.3.5.1 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica intermedia y para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I la evaluación de la irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A, 5aA y 5bA (Ver A.3.3.7 NSR-10)
- En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes al grupo de uso I y II, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades 5aA y 5bA (Ver A.3.3.6 NSR-10)

AUSENCIA DE REDUNDANCIA - (Ver A.3.3.8 - NSR-10)

PARAMETRO	Si	No
Ausencia de redundancia en el sistema sismo-resistente		x

Factor de Reducción
0.75

$\alpha_r = 1.00$

Factores - Resultado       $F_x = 1.12$   
 Análisis Sísmico           $F_y = 1.19$

Combinaciones de Carga:

1.0. CHEQUEO DE LA DERIVA

DER1	1.40 C.M.		
DER2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.	
DER3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.12 S.X.
DER4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.12 S.X.
DER5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 1.19 S.Y.
DER6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 1.19 S.Y.
DER7	0.90 C.M.		+ 1.12 S.X.
DER8	0.90 C.M.		- 1.12 S.X.
DER9	0.90 C.M.		+ 1.19 S.Y.
DER10	0.90 C.M.		- 1.19 S.Y.

C.M. = Carga Muerta  
 C.V. = Carga Viva  
 S.X. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en X  
 S.Y. = Fuerzas Sísmicas Elásticas en Y

$R_o = 5.00$       Pórticos de concreto - DMO  
 $\Omega_o = 3.00$

$\phi_a = 1.00$   
 $\phi_p = 0.90$   
 $\phi_r = 1.00$

$R_x = 4.50$   
 $R_y = 4.50$

$R_{cx} = 4.50$   
 $R_{cy} = 4.50$

2.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (FLEXIÓN)

D1	1.40 C.M.			
D2	1.20 C.M.	+ 1.60 C.V.		
D3	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	+ 0.08 S.Y.
D4	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.	- 0.08 S.Y.
D5	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.25 S.X.	+ 0.08 S.Y.
D6	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.25 S.X.	- 0.08 S.Y.
D7	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.07 S.X.	+ 0.27 S.Y.
D8	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.07 S.X.	+ 0.27 S.Y.
D9	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	+ 0.07 S.X.	- 0.27 S.Y.
D10	1.20 C.M.	+ 1.00 C.V.	- 0.07 S.X.	- 0.27 S.Y.
D11	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X.	+ 0.08 S.Y.
D12	0.90 C.M.		+ 0.25 S.X.	- 0.08 S.Y.
D13	0.90 C.M.		- 0.25 S.X.	+ 0.08 S.Y.
D14	0.90 C.M.		- 0.25 S.X.	- 0.08 S.Y.
D15	0.90 C.M.		+ 0.07 S.X.	+ 0.27 S.Y.
D16	0.90 C.M.		- 0.07 S.X.	+ 0.27 S.Y.
D17	0.90 C.M.		+ 0.07 S.X.	- 0.27 S.Y.
D18	0.90 C.M.		- 0.07 S.X.	- 0.27 S.Y.

3.0. DISEÑO DE COLUMNAS Y VIGAS (CORTANTE) -- Según literal C.21.3.3 (NSR-10)

COLUMNAS		$\Omega_0$ *(S.X.)	$\Omega_0$ *(S.Y.)	VIGAS		2*(S.X.)	2*(S.Y.)
DC1	1.40 C.M.			DV1	1.40 C.M.		
DC2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.			DV2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.		
DC3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.75 S.X.	+ 0.24 S.Y.	DV3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.50 S.X.	+ 0.16 S.Y.
DC4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.75 S.X.	-0.24 S.Y.	DV4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.50 S.X.	-0.16 S.Y.
DC5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.75 S.X.	+ 0.24 S.Y.	DV5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.50 S.X.	+ 0.16 S.Y.
DC6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.75 S.X.	-0.24 S.Y.	DV6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.50 S.X.	-0.16 S.Y.
DC7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.22 S.X.	+ 0.80 S.Y.	DV7	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.15 S.X.	+ 0.53 S.Y.
DC8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.22 S.X.	+ 0.80 S.Y.	DV8	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.15 S.X.	+ 0.53 S.Y.
DC9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.22 S.X.	-0.80 S.Y.	DV9	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.15 S.X.	-0.53 S.Y.
DC10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.22 S.X.	-0.80 S.Y.	DV10	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.15 S.X.	-0.53 S.Y.
DC11	0.90 C.M.	+ 0.75 S.X.	+ 0.24 S.Y.	DV11	0.90 C.M.	+ 0.50 S.X.	+ 0.16 S.Y.
DC12	0.90 C.M.	+ 0.75 S.X.	-0.24 S.Y.	DV12	0.90 C.M.	+ 0.50 S.X.	-0.16 S.Y.
DC13	0.90 C.M.	-0.75 S.X.	+ 0.24 S.Y.	DV13	0.90 C.M.	-0.50 S.X.	+ 0.16 S.Y.
DC14	0.90 C.M.	-0.75 S.X.	-0.24 S.Y.	DV14	0.90 C.M.	-0.50 S.X.	-0.16 S.Y.
DC15	0.90 C.M.	+ 0.22 S.X.	+ 0.80 S.Y.	DV15	0.90 C.M.	+ 0.15 S.X.	+ 0.53 S.Y.
DC16	0.90 C.M.	-0.22 S.X.	+ 0.80 S.Y.	DV16	0.90 C.M.	-0.15 S.X.	+ 0.53 S.Y.
DC17	0.90 C.M.	+ 0.22 S.X.	-0.80 S.Y.	DV17	0.90 C.M.	+ 0.15 S.X.	-0.53 S.Y.
DC18	0.90 C.M.	-0.22 S.X.	-0.80 S.Y.	DV18	0.90 C.M.	-0.15 S.X.	-0.53 S.Y.

4.0. CARGAS A CIMENTACION

C1	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	
C2	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.17 S.X.
C3	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	-0.17 S.X.
C4	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.19 S.Y.
C5	1.00 C.M. + 1.00 C.V.	-0.19 S.Y.

5.0 DISEÑO DE MUROS

M1	1.40 C.M.	
M2	1.20 C.M. + 1.60 C.V.	
M3	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.25 S.X.
M4	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.25 S.X.
M5	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	+ 0.27 S.Y.
M6	1.20 C.M. + 1.00 C.V.	-0.27 S.Y.
M7	0.90 C.M.	+ 0.25 S.X.
M8	0.90 C.M.	-0.25 S.X.
M9	0.90 C.M.	+ 0.27 S.Y.
M10	0.90 C.M.	-0.27 S.Y.

**CHEQUEO DE LA DERIVA DE PISO**

$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta_a$  = Deriva del análisis.

$\Delta_p$  = Deriva permitida.  
(0.01 h)

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta a$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.1680	0.0128	1.24	3.20	OK	0.39
PISO9	3.20	0.1557	0.0114	1.48	3.20	OK	0.46
PISO8	3.20	0.1410	0.0099	1.73	3.20	OK	0.54
PISO7	3.20	0.1238	0.0084	1.97	3.20	OK	0.61
PISO6	3.20	0.1042	0.0068	2.15	3.20	OK	0.67
PISO5	3.20	0.0828	0.0052	2.25	3.20	OK	0.70
PISO4	3.20	0.0603	0.0037	2.22	3.20	OK	0.70
PISO3	3.20	0.0381	0.0023	2.01	3.20	OK	0.63
PISO2	5.35	0.0180	0.0012	1.80	5.35	OK	0.34

<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		1 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta a$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0044	0.0733	0.92	3.20	OK	0.29
PISO9	3.20	0.0038	0.0641	0.94	3.20	OK	0.29
PISO8	3.20	0.0033	0.0547	0.95	3.20	OK	0.30
PISO7	3.20	0.0027	0.0452	0.94	3.20	OK	0.29
PISO6	3.20	0.0021	0.0358	0.90	3.20	OK	0.28
PISO5	3.20	0.0016	0.0268	0.84	3.20	OK	0.26
PISO4	3.20	0.0011	0.0184	0.73	3.20	OK	0.23
PISO3	3.20	0.0007	0.0111	0.58	3.20	OK	0.18
PISO2	5.35	0.0003	0.0053	0.53	5.35	OK	0.10

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta a$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.1680	0.0131	1.24	3.20	OK	0.39
PISO9	3.20	0.1557	0.0117	1.48	3.20	OK	0.46
PISO8	3.20	0.1410	0.0102	1.73	3.20	OK	0.54
PISO7	3.20	0.1238	0.0086	1.97	3.20	OK	0.61
PISO6	3.20	0.1042	0.0069	2.15	3.20	OK	0.67
PISO5	3.20	0.0828	0.0053	2.26	3.20	OK	0.70
PISO4	3.20	0.0603	0.0037	2.22	3.20	OK	0.70
PISO3	3.20	0.0381	0.0023	2.01	3.20	OK	0.63
PISO2	5.35	0.0180	0.0012	1.80	5.35	OK	0.34

<u>SISMO EN X</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 3			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta a$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.1680	0.0131	1.24	3.20	OK	0.39
PISO9	3.20	0.1557	0.0117	1.48	3.20	OK	0.46
PISO8	3.20	0.1410	0.0102	1.73	3.20	OK	0.54
PISO7	3.20	0.1238	0.0086	1.97	3.20	OK	0.61
PISO6	3.20	0.1042	0.0069	2.15	3.20	OK	0.67
PISO5	3.20	0.0828	0.0053	2.26	3.20	OK	0.70
PISO4	3.20	0.0603	0.0037	2.22	3.20	OK	0.70
PISO3	3.20	0.0381	0.0023	2.01	3.20	OK	0.63
PISO2	5.35	0.0180	0.0012	1.80	5.35	OK	0.34

<u>SISMO EN Y</u>		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:		6 5			
	Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta a$ (cm)	$\Delta p$ (cm)	CHQ	%
CUBIERTA	3.20	0.0044	0.0737	0.92	3.20	OK	0.29
PISO9	3.20	0.0038	0.0645	0.95	3.20	OK	0.30
PISO8	3.20	0.0033	0.0550	0.95	3.20	OK	0.30
PISO7	3.20	0.0027	0.0455	0.95	3.20	OK	0.30
PISO6	3.20	0.0021	0.0360	0.91	3.20	OK	0.28
PISO5	3.20	0.0016	0.0269	0.84	3.20	OK	0.26
PISO4	3.20	0.0011	0.0185	0.73	3.20	OK	0.23
PISO3	3.20	0.0007	0.0112	0.59	3.20	OK	0.18
PISO2	5.35	0.0003	0.0053	0.53	5.35	OK	0.10

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
% Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta a / \Delta p$

$$\Delta_a = \sqrt{(\delta_{x1} - \delta_{x2})^2 + (\delta_{y1} - \delta_{y2})^2}$$

$\Delta\alpha$  = Deriva del análisis.  
 $\Delta\rho$  = Deriva permitida.  
 ( 0.01 h )

SISMO EN X		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:			13 3		
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1545	0.0969	1.15	3.20	OK	0.36
PISO9	3.20	0.1439	0.0925	1.42	3.20	OK	0.44
PISO8	3.20	0.1311	0.0863	1.73	3.20	OK	0.54
PISO7	3.20	0.1159	0.0780	2.03	3.20	OK	0.63
PISO6	3.20	0.0984	0.0678	2.27	3.20	OK	0.71
PISO5	3.20	0.0791	0.0558	2.44	3.20	OK	0.76
PISO4	3.20	0.0587	0.0425	2.47	3.20	OK	0.77
PISO3	3.20	0.0383	0.0286	2.34	3.20	OK	0.73
PISO2	5.35	0.0192	0.0150	2.44	5.35	OK	0.46


SISMO EN Y		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:			13 5		
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1339	0.0828	0.99	3.20	OK	0.31
PISO9	3.20	0.1247	0.0792	1.23	3.20	OK	0.38
PISO8	3.20	0.1136	0.0740	1.49	3.20	OK	0.47
PISO7	3.20	0.1004	0.0670	1.76	3.20	OK	0.55
PISO6	3.20	0.0852	0.0582	1.96	3.20	OK	0.61
PISO5	3.20	0.0685	0.0480	2.10	3.20	OK	0.66
PISO4	3.20	0.0509	0.0366	2.13	3.20	OK	0.67
PISO3	3.20	0.0332	0.0247	2.03	3.20	OK	0.63
PISO2	5.35	0.0166	0.0130	2.11	5.35	OK	0.39

SISMO EN X		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:			16 3		
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1545	0.0963	1.14	3.20	OK	0.36
PISO9	3.20	0.1439	0.0920	1.42	3.20	OK	0.44
PISO8	3.20	0.1311	0.0858	1.73	3.20	OK	0.54
PISO7	3.20	0.1159	0.0776	2.03	3.20	OK	0.63
PISO6	3.20	0.0984	0.0674	2.27	3.20	OK	0.71
PISO5	3.20	0.0791	0.0555	2.43	3.20	OK	0.76
PISO4	3.20	0.0587	0.0423	2.46	3.20	OK	0.77
PISO3	3.20	0.0383	0.0285	2.34	3.20	OK	0.73
PISO2	5.35	0.0192	0.0150	2.44	5.35	OK	0.46

SISMO EN Y		Columna Eje Vertical: Caso de Carga:			16 5		
Alt. piso	$\delta x$ (m)	$\delta y$ (m)	$\Delta\alpha$ (cm)	$\Delta\rho$ (cm)	CHQ	%	
CUBIERTA	3.20	0.1339	0.0823	0.99	3.20	OK	0.31
PISO9	3.20	0.1247	0.0787	1.22	3.20	OK	0.38
PISO8	3.20	0.1136	0.0736	1.49	3.20	OK	0.47
PISO7	3.20	0.1004	0.0666	1.75	3.20	OK	0.55
PISO6	3.20	0.0852	0.0579	1.96	3.20	OK	0.61
PISO5	3.20	0.0685	0.0477	2.09	3.20	OK	0.65
PISO4	3.20	0.0509	0.0364	2.13	3.20	OK	0.67
PISO3	3.20	0.0332	0.0245	2.03	3.20	OK	0.63
PISO2	5.35	0.0166	0.0129	2.10	5.35	OK	0.39

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta\rho$

1. El análisis se realizó con la inercia de las vigas y las columnas completa.  
 % Indica INDICE DE FLEXIBILIDAD =  $\Delta\alpha/\Delta p$

			<u>Max en X</u>	0.77
			<u>Max en Y</u>	0.67
Max en x=	0.70		Max en x=	0.70
Max en y=	0.30		Max en y=	0.30
Max en x=	0.77		Max en x=	0.77
Max en y=	0.67		Max en y=	0.67

