

01121  
69

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

**OSCAR ADAO HERNÁNDEZ YINES**

CON TÍTULO:

**"ESTUDIO DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UN  
EDIFICIO QUE UTILIZA EL SISTEMA ESTRUCTURAL DE  
ARMADURAS VIERENDEEL ALTERNADAS"**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MÉXICO, D.F.

JUNIO, 2003



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**TESIS CON  
FALLA DE  
ORIGEN**



ANEXO 1  
 MINISTERIO DE EDUCACIÓN  
 2003

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
 DIRECCIÓN  
 FING/DCTG/SEAC/UTIT/028/03

Señor  
**OSCAR ADAO HERNÁNDEZ YINES**  
 Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. ENRIQUE MARTÍNEZ ROMERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"ESTUDIO DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UN EDIFICIO QUE UTILIZA EL SISTEMA ESTRUCTURAL DE ARMADURAS VIERENDEEL ALTERNADAS"**

- INTRODUCCIÓN
- I. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO
- II. GENERALIDADES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL
- III. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- IV. ELEMENTOS DE APUNTALAMIENTO
- V. COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES
- VI. CONCLUSIONES
- REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cd. Universidad a 11 Marzo 2003.

EL DIRECTOR

*[Firma manuscrita]*  
**M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO**  
 GFB/GMP/MSU

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: **OSCAR ADAO HERNÁNDEZ YINES**

FECHA: **25 JUNIO 03**

FIRMA: *[Firma manuscrita]*

---

## RECONOCIMIENTO

### A MIS PADRES:

QUE CON DEDICACIÓN, SACRIFICIO Y ORIENTACIÓN, A LO LARGO DE LA VIDA, HICIERON POSIBLE LA CULMINACION DE MIS ESTUDIOS. CON TODO MI AMOR.

### A MI HERMANA:

POR SUS CONSEJOS, CARIÑO Y AMOR SIEMPRE DEMOSTRADO.

### A TÍ BONITA:

POR TU COMPRENSIÓN, AMOR Y APOYO INCONDICIONAL

### A COMPAÑEROS Y PROFESORES EN ESPECIAL A :

#### M.I. ENRIQUE MARTÍNEZ ROMERO

POR SUS ENSEÑANZAS Y SABIOS CONSEJOS EN LA DIRECCIÓN DE ESTE PROYECTO.

#### M.I. ANTONIO ZEBALLOS CABRERA

POR SU ORIENTACIÓN, COMENTARIOS Y ATENCIONES PARA EL BUEN DESARROLLO DE ESTA OBRA.

A TODAS LAS PERSONAS, FAMILIARES Y AMIGOS QUE CON SU AYUDA DESINTERESADA HICIERON POSIBLE LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO. MI PROFUNDO AGRADECIMIENTO.

---

## CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

I. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	1
I.1 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO "CORPORATIVO DE OFICINAS"	1
I.2 IMPORTANCIA DE LA VINCULACIÓN DISEÑO ESTRUCTURAL – PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	3
I.2.1 Diseño Estructural	3
I.2.2 Procedimiento Constructivo	3
I.2.3 Vinculación Diseño Estructural – Procedimiento Constructivo: Constructividad	4
II. GENERALIDADES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	6
II.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO ESTRUCTURAL ORIGINAL (ALTERNATIVA EN CONCRETO)	6
II.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO ESTRUCTURAL DEFINITIVO (ALTERNATIVA EN ACERO- CONCRETO)	8
II.2.1 SISTEMA ESTRUCTURAL INNOVADOR: ARMADURAS VIERENDEEL ALTERNADAS	11
III. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	17
III.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	23
IV. ELEMENTOS DE APUNTALAMIENTO	56
IV.1 MODELACIÓN	60
IV.2 ANÁLISIS	64
IV.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS	70
IV.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS DE LOS RESULTADOS	77
IV.5 ANÁLISIS PARA EL RETIRO DE LOS ELEMENTOS TEMPORALES DE APUNTALAMIENTO.	84
V. COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES	90
V.1 COMENTARIOS ADICIONALES AL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	90
V.2 RECOMENDACIONES DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EDIFICIOS DE ARMADURAS VIERENDEEL ALTERNADAS	93
VI. CONCLUSIONES	95
REFERENCIAS	98

---

## INTRODUCCIÓN

La Ingeniería como actividad encausada hacia la solución de diversos problemas que aquejan al individuo, unitario o colectivamente, apoyada en el conocimiento de las leyes de la naturaleza, es en nuestro medio una muestra que con su quehacer puede ser parte fundamental del desarrollo continuo de una sociedad. De esta manera puede hablarse de la Ingeniería Civil y de las especialidades de Estructuras y Construcción que en el área de la Edificación, permiten dotar de servicios indispensables y dar soluciones a una serie de problemáticas que coadyuvan al buen funcionamiento de cualquier ciudad.

La Ciudad de México y su área metropolitana, en donde hoy viven alrededor de 20 millones de habitantes a un ritmo acelerado y contrastante, que se nota en la diversidad de actividades que transcurren en sus calles, automóviles en nervioso trayecto e innumerables peatones, es hoy sin duda una de las urbes más conflictivas del planeta.

Además, la cercanía con Estados Unidos ha convertido a la Ciudad de México en una Metrópolis que indudablemente resulta una buena opción para emprender negocios; es así que la ciudad se ha convertido en sede, sobre todo, de oficinas corporativas de grandes grupos empresariales y de compañías innovadoras y de alta tecnología, así como en el centro financiero del país.

Lo anterior implica establecer una infraestructura adecuada que permita a las empresas que decidan asentarse en esta urbe, desarrollar sus actividades de la mejor forma posible, atender sus elevadas necesidades y de esta forma pueda la Ciudad de México, ser un centro de negocios que compita con las ciudades más cosmopolitas del mundo.

Aunado a lo anterior, la Ciudad de México es reconocida en el mundo como una de las regiones frecuentemente sometida a sismos de magnitud elevada, lo cual ha originado la formulación de uno de los códigos de construcción más estrictos a nivel mundial, con el objeto de garantizar la seguridad estructural de los edificios y salvaguardar la vida de sus ocupantes. Esto a partir de los sismos presentados en el mes de septiembre de 1985, los cuales permitieron observar las deficiencias en el conocimiento relacionado con la magnitud de las fuerzas que se producen durante un sismo intenso y sus efectos en las estructuras, de suerte que el actual Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal fue adecuado para tratar de evitar las multimillonarias pérdidas materiales y sobre todo la gran cantidad de pérdidas humanas.

Como consecuencia de lo anterior la industria de la construcción se vio directamente afectada por el fuerte impacto económico de estas nuevas medidas de seguridad estructural, lo que impulsó a los ingenieros en estructuras a encontrar soluciones imaginativas, económicamente rentables y seguras, de manera que puedan resolver las demandas arquitectónicas de lograr edificaciones más eficientes y atractivas que permitan competir con ventaja sobre los diferentes complejos industriales, desarrollos empresariales y de bienes raíces de la actualidad; de esta forma han surgido sistemas constructivos que resolviendo el problema de la seguridad estructural, permitan dotar de amplios claros arquitectónicos que demandan el uso eficiente de las áreas de oficinas y produzcan resultados económicos ventajosos para su desarrollo.

Actualmente las necesidades de funcionalidad y los requerimientos de espaciabilidad a satisfacer, de clientes inversionistas y dueños de grandes empresas, son muy elevadas,

esto implica desarrollar edificaciones con diseños arquitectónicos y sobre todo estructurales, audaces e innovadores, que requieran la utilización de materiales y procedimientos constructivos eficientes de manera que se puedan cumplir con las expectativas y necesidades de una metrópoli de la magnitud que representa la Ciudad de México.

Es así que uno de estos sistemas estructurales constructivos que logra cumplir los objetivos anteriores, plantea la utilización de Armaduras del tipo Vierendeel de grandes claros y un piso de altura, que dispuestos de forma alternada entre los pisos y ejes de columnas subsecuentes, integra un conjunto estructural seguro, estable y económico en la edificación multipisos en las nuevas zonas de desarrollo urbano del Distrito Federal.

De esta forma en el capítulo inicial se realiza la presentación del proyecto que fue base y en el que se desarrollo dicho sistema, también se establece la importancia de comprender la necesaria vinculación entre las áreas de la construcción y las estructuras, la indispensable relación entre ambas, esto es, el diseño estructural y visualización del procedimiento constructivo de tal forma que se facilite la realización en general de la obra.

El capítulo siguiente presenta de manera general, y considerando que no es el tema central del presente trabajo, las partes innovadoras y benéficas de este sistema estructural, toda vez que resulta indispensable comprender el funcionamiento estructural de este sistema para resolver la problemática de su inestabilidad temporal; además, se analizan algunas ventajas respecto a otros sistemas de uso común, como lo es por ejemplo el de marcos rígidos.

Posteriormente se presenta de forma detallada el procedimiento constructivo para un edificio de Armaduras tipo Vierendeel Alternadas de varios niveles.

Enseguida, en el capítulo IV se estudia la fundamentación del procedimiento constructivo, analizando con la ayuda de modelos estructurales el comportamiento del edificio conforme se integran los elementos estructurales entre sí, analizando también, la inestabilidad temporal que se genera durante el montaje de la edificación.

Por último se establece una serie de recomendaciones producto del análisis teórico y de experiencias propias obtenidas durante el proceso de construcción, para finalmente terminar con un capítulo referente a las conclusiones que permitirán reflexionar sobre la eficiencia del procedimiento constructivo presentado y la utilización de un sistema estructural tan innovador.

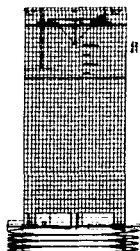
En suma, el presente trabajo tiene como objetivo principal, analizar la forma en que se puede resolver el procedimiento constructivo de una interesante e innovadora solución estructural que para integrarse en un conjunto seguro, económico y funcional requiere de un cuidadoso análisis que resuelva la inestabilidad temporal que se plantea en su fase de integración, esto es, una solución estructural y constructiva en materia de proyectos de edificación, de tal forma que en la Ciudad de México se realicen proyectos innovadores y cumplan con las exigentes expectativas de la sociedad mundial.



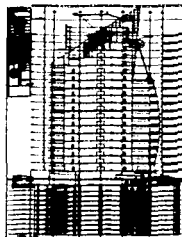
## I. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

### I.1 Presentación del proyecto "Corporativo de Oficinas"

El presente trabajo de tesis se basa en el proyecto "Corporativo de Oficinas AICON" ubicado en Santa Fe, en la Ciudad de México. El edificio consta de 17 niveles para oficinas, 1 mezanine, 1 helipuerto y 10 niveles de estacionamientos subterráneos; cuenta con una altura de aprox. 110 m a partir del nivel de banqueteta, en planta los niveles ocupan un área de 49.0 m x 30.0 m aproximadamente.



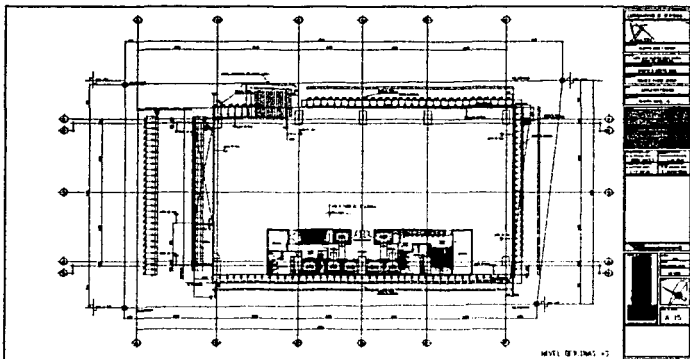
ELEVACIÓN ESQUEMATICA



Figuras I.1

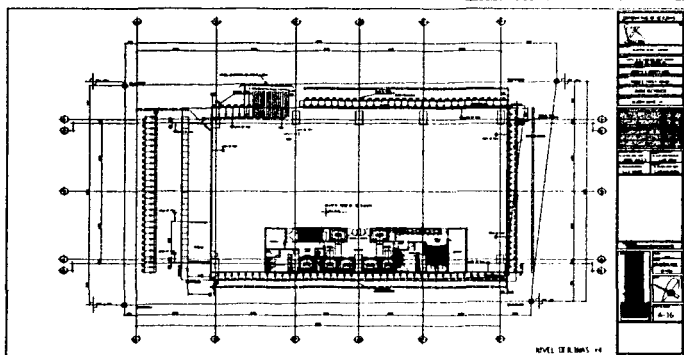
CORTE B - B

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



PLANTA NIVEL 3

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



PLANTA NIVEL 4

Figuras 1. 2

La idea de basarse en dicho proyecto es analizar una serie de problemáticas que se presentan en un edificio tan innovador como este, así como las soluciones adoptadas a lo largo de todo el proyecto, desde la concepción, estructuración y construcción de la obra; de esta manera, el presente trabajo analiza conceptos que resultaron de gran interés para las áreas de la ingeniería estructural y la construcción.

Cabe señalar que originalmente el edificio se proyectó en concreto, construyéndose inclusive los niveles de estacionamiento, debido aun retraso en el programa original de construcción originado por un excesivo tiempo de excavación para la cimentación, se pensó en analizar otra alternativa que permitiera concluir el proyecto lo más pronto posible y retomar así, el programa original; es así que aprovechando la facilidad y rapidez con que se puede construir un edificio de estructura metálica, surge la alternativa de acero y la idea de presentar una estructuración innovadora apareciendo de esta manera la estructuración de **Armaduras Vierendeel Alternadas** que posteriormente se analizará.

Antes de adentrarse en el mencionado sistema estructural es conveniente resaltar que dicha estructuración requiere la necesidad de vincular de manera muy directa el Diseño Estructural y el Procedimiento Constructivo, por lo que es necesario analizar detenidamente dicha relación.

## 1.2 Importancia de la vinculación Diseño Estructural – Procedimiento Constructivo

### 1.2.1 Diseño Estructural

*El diseño estructural es el proceso en el cual se determina el arreglo y dimensionamiento de las estructuras y sus partes, de tal manera que las mismas soporten satisfactoriamente las cargas colocadas sobre ellas. En particular, el diseño estructural implica: la disposición general de las estructuras; estudio de los posibles tipos o formas estructurales que representen soluciones factibles; consideración de las condiciones de carga; análisis y diseño preliminares de las soluciones posibles; selección de una solución y análisis y diseño estructural final de la estructura, incluyendo la preparación de planos<sup>1</sup>.*

### 1.2.2 Procedimiento Constructivo

*Procedimiento en el cual se conjunta materiales, herramientas, equipo y mano de obra de manera que se establezcan una serie de actividades las cuales realizadas de manera secuencial permitirán la construcción de todo tipo de estructuras.*

Se observa desde las definiciones de ambos conceptos una deficiencia en cuanto a la vinculación que debiera existir en todo proyecto de ingeniería civil. Al pensar en cualquier proyecto, el primer paso es plantear a un grupo de arquitectos la idea y necesidades requeridas, quienes a su vez presentarán un proyecto arquitectónico que se adapte y cumpla las necesidades del cliente; posteriormente continua el diseño estructural del edificio en donde se determinan formas y tamaños de los elementos del proyecto, en esta etapa del proyecto existe una cierta vinculación que en muchas ocasiones resulta obligada entre el arquitecto y el ingeniero estructurista debido a problemas de

<sup>1</sup> McCORMAC, J., Estructuras. Análisis y Diseño T1, p.1

interpretación de planos, confusiones en dibujos etc., incluso pudiese existir cambios en el proyecto arquitectónico ya que ocasionalmente las formas arquitectónicas resultan prácticamente imposibles resolver estructuralmente, en este sentido la vinculación o el seguimiento a lo largo del proyecto existe y es adecuada; pero el problema radica al concluir el proyecto estructural y entregarlo al grupo de constructores.

Al terminar el proyecto estructural pareciese que se transfiere la responsabilidad al siguiente grupo de profesionales: Los constructores. Esto puede suceder a tal grado que si no existiese supervisión alguna dentro de la construcción, se pudiera presentar un cambio en algunos detalles de la estructuración por parte de constructor con el objeto de lograr una mayor facilidad y rapidez de construcción quedando de esta manera olvidadas las posibles consideraciones por parte del ingeniero estructurista. Es así que la relación entre ambas áreas de la ingeniería civil no es la adecuada o no se lleva acabo como debiera, de manera que resulta indispensable promover dicha vinculación con el objeto de lograr proyectos de ingeniería civil mejor diseñados y con procedimientos constructivos eficientes.

### 1.2.3 Vinculación Diseño Estructural – Procedimiento Constructivo: Constructividad

En un muchas ocasiones se ha mencionado que el ingeniero estructural no facilita al constructor e indirectamente al cliente, el máximo aprovechamiento de su inversión en cuanto a la eficiencia constructiva. Esto hace necesario pensar y elaborar procedimientos en donde el ingeniero estructural realice proyectos que permitan una eficiencia constructiva elevada, esto es, una buena Constructividad.

Por lo anterior es necesario entender que es la CONSTRUCTIVIDAD y para ello se pueden considerar dos vertientes.

En la primera se debe entender que un proyecto puede tener una buena o una mala constructividad, considerando como buena aquel proyecto en el que se toma en cuenta el modo y procedimiento de construcción del edificio, así como las condiciones practicas que actúan en dicho procedimiento; mientras que una mala constructividad es el proyecto en el cual no se consideran las realidades practicas del procesos o peor aun, contiene aspectos refidos con ellas.

La segunda vertiente de la definición de constructividad es que cualquier edificio tiene unos requisitos generales que exigen aceptar una constructividad menos buena por ejemplo, la demanda de un cliente de que el edificio tenga apariencia de calidad puede entrar en conflicto con la mejor solución constructiva, que habría por ende que modificar. La constructividad es solamente uno de los criterios por los que se debe juzgar un proyecto de edificio aunque es una consideración vital y tal vez infravalorada.<sup>2</sup>

Una vez analizado lo anterior es posible establecer una serie de conclusiones respecto a la Constructividad de un proyecto

1. Una buena Constructividad generalmente conducirán a clientes, proyectistas y constructores, a la realización de un proyecto en donde se tenga un avance acelerado de la obra, se eleve la calidad y se reduzcan costos, lo cual a su vez repercutirá en una mayor rentabilidad del proyecto.

<sup>2</sup><http://ico.almagro-sur.ucestral/secreest/malla/204/Apuntes/TextoConstr.html>

2. Contrario a lo anterior, la poca Constructividad de un proyecto acompañada de planos de construcción deficientes no solo traerán problemas al constructor sino que generaran gastos y pérdida de tiempo para el proyectista por las consultas que le harían de la obra, esto aumenta la necesidad de una supervisión en la construcción de la edificación. El tiempo o los gastos que se ahorran en la fase de proyecto por no prestar la debida atención a la constructividad, se pierden multiplicados durante la construcción.<sup>3</sup>

3. Para concebir un proyecto con buenas características de Constructividad es necesario que los proyectistas y constructores sean capaces de contemplar la totalidad del proyecto a través de los ojos del otro.

De esta forma el ingeniero estructural además de idear una obra estructuralmente eficiente, siempre cumpliendo con los requisitos arquitectónicos, es muy importante que tenga un conocimiento de la fabricación y montaje, en caso de una estructura metálica, de los materiales, así como un completo conocimiento de las operaciones que se realizan para dicho montaje.

El proyectar con criterio constructivo exige ingenio, previsión, conocimientos y experiencias en la construcción. Se deben realizar planos que contengan detalles simples y ejecutables para obtener soluciones óptimas. Además el proyecto será más constructivo si el proyectista está dispuesto a entender y prever los problemas del constructor y si éste se esfuerza por entender lo que se propone el proyectista.

Finalmente una construcción realizada sin tropiezos con buenas relaciones entre el proyectista y el constructor animada por un intercambio amistoso y colaborador, es más satisfactoria y más rentable económicamente que una que tropieza continuamente con obstáculos, acompañado de agrias recriminaciones entre las dos partes.

El tener en cuenta la constructividad al estar diseñando un edificio indudablemente generará mayores beneficios a los clientes, reduciendo tiempos de ejecución y evidentemente un ahorro en la inversión.

---

<sup>3</sup> ibidem

## II. GENERALIDADES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

### II.1 Descripción general del Proyecto Estructural original (Alternativa en Concreto)

El "Corporativo de Oficinas AICON" originalmente fue proyectado a base de marcos rígidos de concreto en ambas direcciones, en dirección longitudinal con 5 columnas y en dirección transversal 3 columnas de concreto.

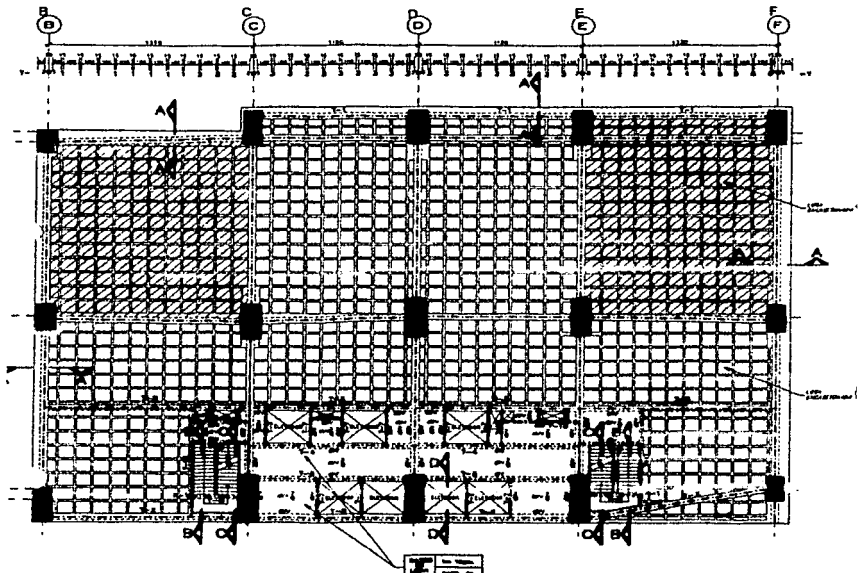
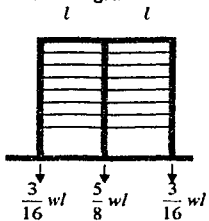


Fig. II.1 PLANTA NIVELES 5,6,7.

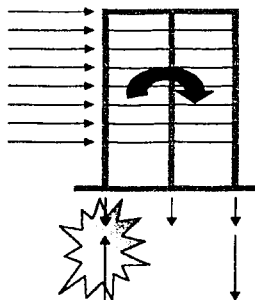
Considerando dicha estructuración surge una posible primera problemática debida a la presencia de la columna central del edificio en sentido transversal.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

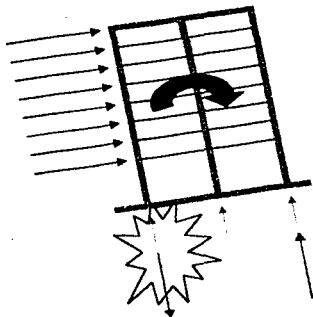
Analizando por cargas verticales se logra observar:



Pero al presentarse las cargas laterales



Provocándose:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

REACCIONES POR GRAVEDAD

REACCIONES POR MOMENTO  
DE VOLTEO

Al ser solicitado el edificio por la acción del sismo el momento de volteo produce un par reaccionante en la base tal que podría ocasionar un volcamiento si la fuerza resultante de volteo, excede la resultante de gravedad de la carga existente. De esta manera esta estructuración podría resultar inadecuada para el correcto funcionamiento de la estructura.

Aunado a lo anterior, se tenía la limitante del tiempo, en este sentido el tiempo de ejecución para elaborar la construcción del edificio rebasaba por mucho lo establecido originalmente, obligando a pensar en otra alternativa que lograra cumplir con las exigencias del proyecto, esto es, una alternativa que solucionara el posible problema del volcamiento y sea ejecutada dentro del tiempo establecido.

## II. 2 Descripción General del Proyecto Estructural definitivo (Alternativa en Acero-Concreto)

La solución al posible problema del volcamiento del edificio obligo en primera instancia en pensar introducir una cuarta columna en sentido transversal, originando que se tuvieran claros pequeños que no cumplieran con las expectativas arquitectónicas de los dueños, por tal motivo el pensar en eliminar la columna central, posible causante de dicho volcamiento, permitió establecer una estructuración que pese a ser riesgada lograría cumplir con las necesidades del edificio.



Por otra parte y debido a la limitante en tiempo para construir el edificio y aprovechando una de las ventajas de la construcción en acero, el corto tiempo para montar una estructura, permitió presentar la alternativa en acero-concreto, siendo ésta exitosamente aceptada.

De esta manera se presentó una estructura metálica para el edificio consistente de dos marcos longitudinales de 5 columnas y cinco marcos transversales de dos columnas. Las columnas son elementos de concreto reforzado con una perfil metálico de acero el cual ayudaría para el montaje del edificio.



Los marcos longitudinales presentan una separación entre columnas del orden de 13 m, mientras que en sentido transversal la separación entre las dos columnas de aproximadamente de 30 m.

Con el objeto de rigidizar los marcos transversales se colocaron 2 postes metálicos de piso a piso a lo largo del claro en entrepisos alternados, estos elementos constituyen los montantes de una armadura de nudos rígidos de un entrepiso de peralte. Dichas armaduras permitiría eliminar columnas centrales en niveles alternados, además de lograr maximizar los espacios arquitectónicos, con áreas libre de 28 m x 30 m.

Es así como surge la estructuración **Armaduras Vierendeel Alternadas**

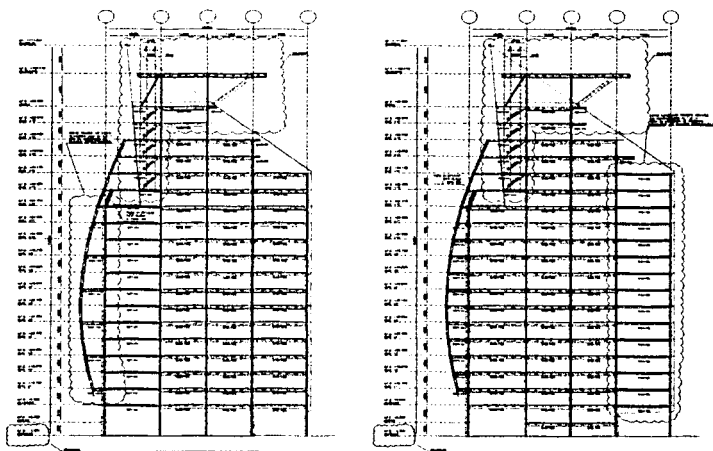


Fig. II.2 ELEVACIONES ESTRUCTURALES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

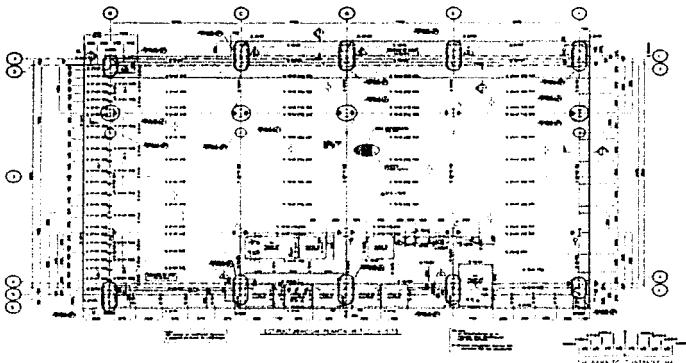


Fig. II.3 ESTRUCTURACIÓN PLANTA NIVEL 1

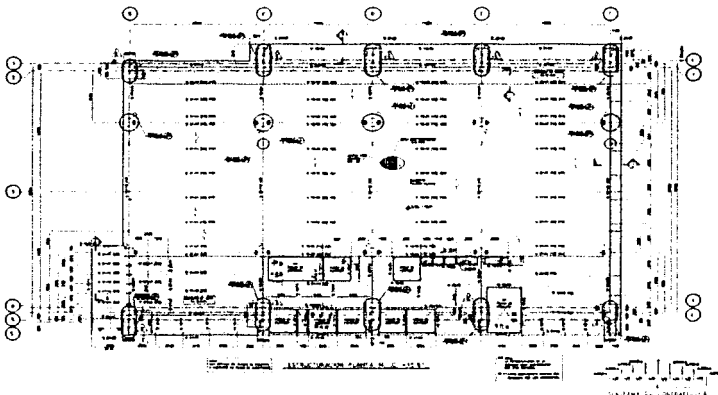
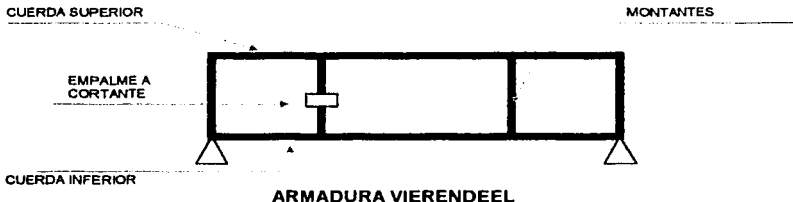


Fig. II.4 ESTRUCTURACIÓN PLANTA NIVEL 2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### II.2.1 Sistema Estructural Innovador: Armaduras Vierendeel Alternadas

La Armadura Vierendeel es frecuentemente empleada en Europa y Actualmente en los Estados Unidos, fue desarrollada por M. Vierendeel en 1896. La característica principal de esta armadura y que la hace diferente a las demás es que es una armadura que por carecer de elementos diagonales exige nudos resistentes a momentos, es decir esta conectada mediante nudos rígidos. Las cargas están soportadas mediante la resistencia a la flexión de sus elementos cortos y fuertes, se trata de una estructura bastante eficiente.<sup>4</sup>



En el caso de estructurar un edificio con Armaduras Vierendeel Alternadas es concebir armaduras de acero que soportan entrepisos de vigas metálicas que van de la cuerda inferior de una armadura a la cuerda superior de la misma y nuevamente a la cuerda inferior de la armadura contigua, recibiendo una lamina corrugada transversal que sirve a la losa de concreto, que posteriormente será colada sobre ella, de cimbra; proporcionando a la vez área de acero participativa en la resistencia de la losa, mediante indentaciones de la lamina que incrementa la adherencia entre estos materiales con anclaje mecánicos.

De igual manera, la presencia de conectores mecánicos de cortante soldados al patín superior de las vigas de soporte y de las cuerdas de la armadura, a través de la lamina corrugada, originan que la losa de concreto al fraguar tenga un anclaje mecánico que impida deslizarse relativamente de la viga que la soporta, formando una nueva viga compuesta por la sección de acero y una franja de losa de concreto que soporta, que resulta considerablemente más rígida y resistente que la propia viga de acero original, en lo que se denomina en lenguaje técnico: "Construcción Compuesta".



Fig. II.5 Armadura Vierendeel

<sup>4</sup> McCORMAC, J., op. Cit., p.313

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Por otra parte la alternación de las Armaduras Vierendeel permite aprovechar al máximo los espacios y dotar de una considerablemente grande área rentable, un aspecto de importancia en la actualidad en cuanto a competencia inmobiliaria; en este sentido la mencionada alternación de los montantes de las armaduras permite tener claros del doble de la separación entre columnas, como puede observarse en la siguiente figura.

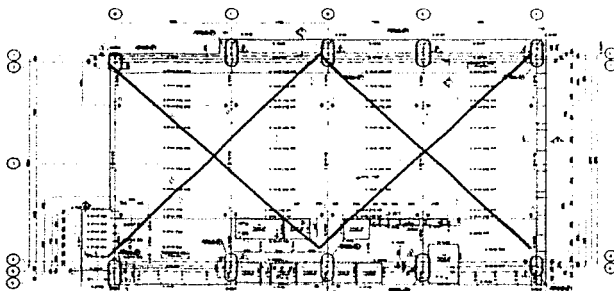


Fig. II.6 ESTRUCTURACIÓN PLANTA NIVEL 2

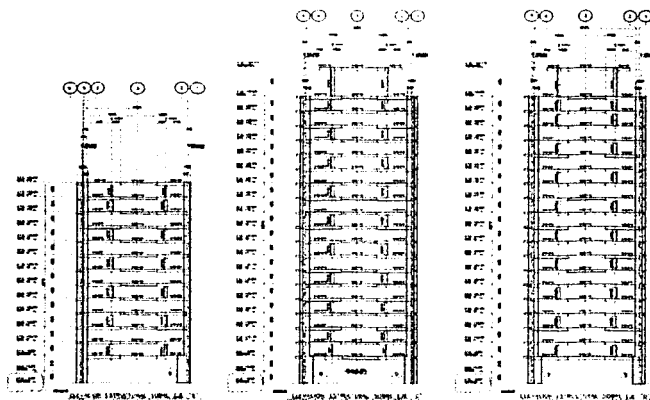


Fig. II.7 ELEVACIONES ESTRUCTURALES

Es por ello que en la actualidad éste sistema ha permitido cumplir con las necesidades cada vez más audaces de los arquitectos y los dueños de edificios importantes en todas las ciudades del mundo.

### Crescent Ridge Corporate Center, Minnetonka, MN



Fig. 11.8

*CRESCENT RIDGE CORPORATE CENTER WAS CREATED TO MEET THE HIGH DEMANDS FOR OFFICE SPACE IN THE BUSINESS COMMUNITY.<sup>5</sup>*

Es así como las Armaduras Vierendeel se integran al sistema estructural del entrecapado ya endurecido para formar asimismo cuerdas cuya fortaleza y rigidez es considerablemente mayor que la del elemento estructural original, pudiéndose decir de una manera análoga a las vigas de entrecapado que las cuerdas y por ende las armaduras Vierendeel, trabajan en construcción compuesta con la losa de concreto.

La economía de este sistema estructural constructivo se logra cuando la estructura de acero de armaduras y vigas durante su montaje tiene la suficiente resistencia y rigidez para soportar el peso del concreto fresco por sí solas, de manera que una vez endurecido el mismo, permita recibir tanto las cargas muertas complementarias y vivas reglamentarias trabajando dentro de los límites de seguridad y servicio establecidos por el reglamento.

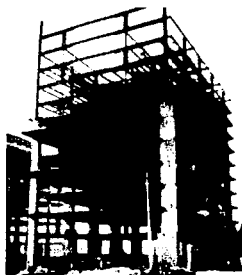
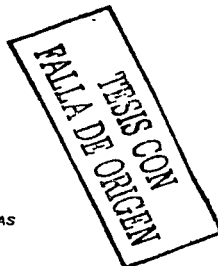


Fig. 11.9 ARMADURAS VIERENDEEL ALTERNADAS



<sup>5</sup> <http://www.bkbm.com/crescent.htm>

En el caso del "Corporativo de Oficinas AICON" se presentaron algunos detalles importantes que complementan la estructuración, de manera que resulte económica y estructuralmente más eficiente.

Los detalles que complementan la estructuración son los siguientes:

#### 1. Shear Link (Elemento de liga por cortante)

En los perfiles metálicos que trabajan como montantes dentro de la estructura se decidió establecer un Shear Link (liga de Cortante) a la mitad de su altura, esto con la finalidad de obligar que en dicho punto el momento flexionante sea igual a cero y tener una distribución de momentos de igual magnitud en los extremos del montante de manera que distribuir uniformemente los esfuerzos y optimizar la sección.

Pese a ello como se puede observar en la fotografía el shear link se realizó con un número considerable de tornillos, pero se pudo lograr el objetivo. Nótese que éstos elementos no transmiten carga vertical



Fig. II.10 Shear Link

#### 2. Reducción de la sección en las cuerdas de la armadura

Debido a la configuración de los momentos flexionantes que se presentan en la armadura, la sección comprendida aproximadamente en el tercio medio de las cuerdas de la armadura, permita una reducción del elemento debido principalmente que en la zona de momento positivo la fosa ayuda arriostrando y dando rigidez de manera que esta ayuda se pudiera aprovechar reduciendo la sección, peso y como consecuencia costo en la estructuración del edificio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

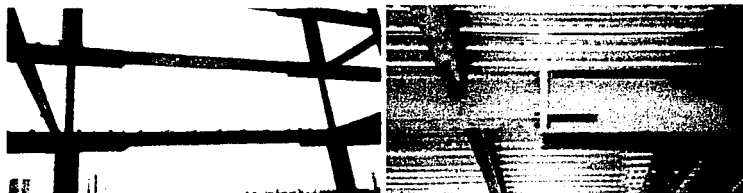


Fig. II.11 Reducción de la sección

### 3. Ensamble de piezas conjuntas comprendidas de cuerda – montante de la armadura

Debido a que los momentos que se tienen en los extremos del montante resultaron considerablemente grandes, del orden de 300 t-m se optó por realizar la conexión en el taller, es decir, se conectó parte de la cuerda tanto inferior como superior y su correspondiente sección de montante, ya que el control que se tiene en taller permite tener mejor conectado el ensamble.

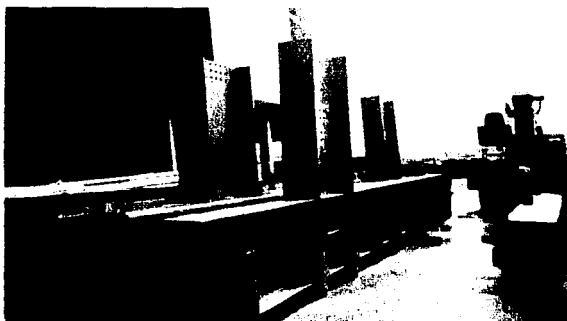


Fig. II.12 Ensamble

De esta forma es como quedo determinada y aceptada la estructuración del "Corporativo de Oficinas AICON" teniendo una estructuración que pese a ser muy audaz resulta ser muy eficiente cumpliendo así con los requisitos de seguridad y servicio del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y excediendo las expectativas de los clientes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



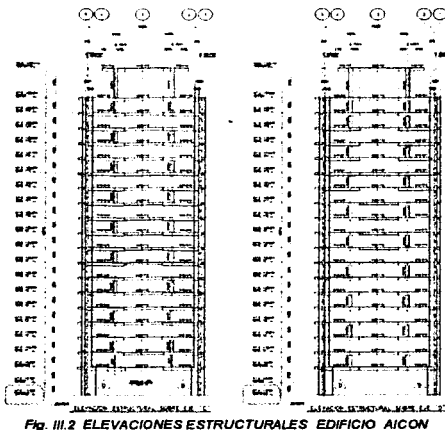
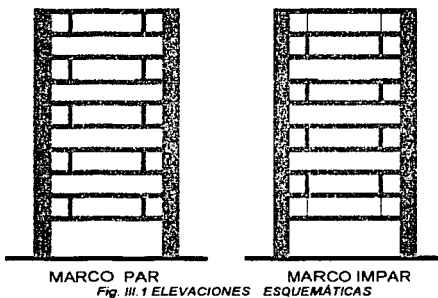
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. II.13 Corporativo de Oficinas AICON



### III. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Un edificio estructurado a base de Armaduras Vierendeel Alternadas se puede observar en la siguiente figura:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se ha mencionado que una vez estando el concreto endurecido se forman cuerdas y a su vez armaduras que por trabajar en construcción compuesta resultan tener una fortaleza y rigidez considerablemente mayor que la de elementos estructurales originales, pero esta consideración obliga a depender del fraguado de la losas de piso para adquirir la rigidez y resistencia de diseño por lo que es importante señalar que indudablemente las armaduras y vigas de acero durante su montaje deben tener la suficiente resistencia y rigidez para soportar el peso del concreto fresco para que una vez que este fraguó se cumpla con el objetivo planteado.

De esta manera es necesario dotar de las vigas o mejor dicho cuerdas de las Armaduras Vierendeel de dichas características y eliminar así la inestabilidad temporal que surge durante su montaje y en general durante toda la etapa de construcción del edificio.

Aunado a lo anterior durante el montaje, la armadura completa debe ser estabilizada lateralmente en sus dos cuerdas, y esta acción puede ser realizada únicamente en su cuerda inferior, ya que para estabilizar la cuerda superior se requiere la siguiente armadura (de a lado) para poder sujetarla; de esta manera el sistema estructural durante su etapa de conformación resulta inestable, por lo que la colocación elementos temporales de apuntalamiento, instalados alternadamente, en los nudos de las cuerdas con los montantes, resulta indispensable para cumplir con la función antes mencionada y se pueda plantear, ahora si, un procedimiento constructivo adecuado y eficiente.

Antes de establecer el procedimiento constructivo de dichas armaduras, es necesario comentar los aspectos importantes al montar y construir un edificio de estructura constituida de acero con columnas de concreto, siendo esta la estructuración del edificio a analizar. En este sentido dichos aspectos son los siguientes:

#### 1. Verificación de elementos y ensambles en la obra.

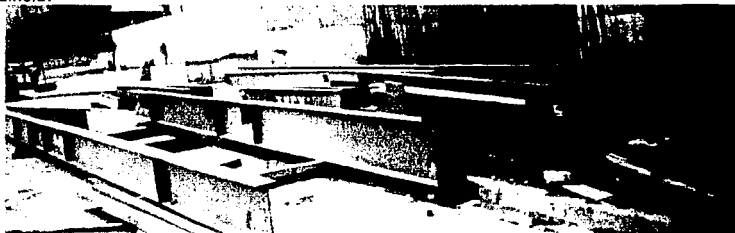
Al llegar los elementos de acero a la obra es necesario realizar una inspección y verificación de cada uno de los elementos de manera que se cumpla con lo especificado en los planos de taller, tipo y número del elemento, tamaño y número de agujeros etc.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2. Determinación de la sección a montar.

Para la realización del montaje del edificio se debe elaborar previamente un procedimiento de montaje, realizado de tal forma que la colocación de un elemento no interfiera en el montaje de otro; es por ello que se debe observar detenidamente que tipo de sección es la siguiente a montar para continuar correctamente con el montaje del edificio.



3. Izado con grúa, montado y semi conectado de la sección.

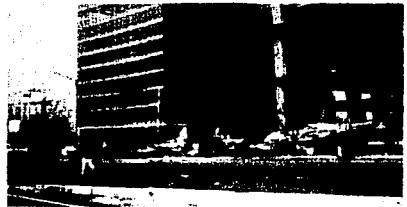
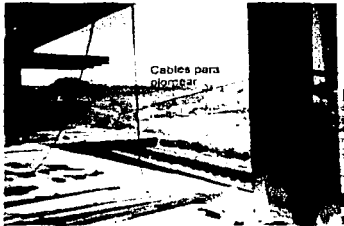
Una vez determinada la sección a montar continúa el montaje del elemento en el lugar antes determinado para posteriormente realizar una semi-conexión del elemento.



4. Plomeado de la estructura

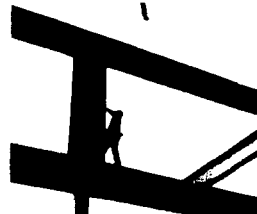
Después de haber montado la estructura principal es necesario que estos elementos cumplan con los niveles y coordenadas correspondientes, de esta forma se hace necesario realizar con la ayuda de equipo topográfico el plomeo y nivelación de la estructura.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### 5. Torqueo o apriete final

Una vez plomeada la estructura se montan los elementos restantes, es decir la estructuración secundaria, para posteriormente conectar, atornillando definitivamente todos los elementos que constituyen la estructura del edificio.



TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

### 6. Colocación lámina de losacero

Como se mencionó anteriormente en la mayoría del edificios de acero el sistema de piso es utilizando el sistema losacero, en este sentido posterior al montaje de los elementos metálicos, se necesario el tendido de la lamina considerando siempre la orientación y el tamaño como lo indiquen los planos constructivos.



### 7. Colocación de conectores de cortante

La integración en el plano que forman la losa de concreto con la viga de acero se logra mediante la colocación de conectores de cortante generalmente del tipo "Nelson" los cuales transmiten el esfuerzo cortante horizontal al ser conectados al patín superior de la viga de acero y estar embebidos en el concreto, de esta forma evitar el desplazamiento relativo de la losa con la viga que la soporta; además de permitir la formación de "Vigas Compuestas". El número y la separación entre conectores se debe realizar nuevamente considerando lo indicado en los planos.



### 8. Tendido de malla de refuerzo

Se recomienda que en el sistema de piso de losacero se coloque un refuerzo que ayude a soportar los esfuerzos de tensión y temperatura presentes en la estructura, de esta forma se realiza la instalación de una malla electrosoldada que cumpla con dicha función, además de minimizar el área de acero necesaria.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 9. Colado de losa de piso

Finalmente y considerando todos los pasos anteriores así como la terminación en el armado de las columnas se realiza el colado de la losa de piso, es importante señalar que esta operación que debe realizarse cuando la estructura se encuentra adecuadamente apuntalada y evitar así deformaciones excesivas.



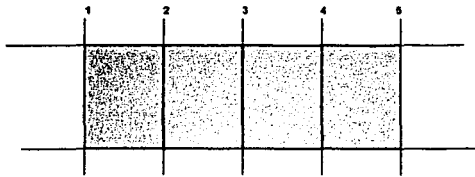
De esta forma se cuenta con los pasos necesarios a realizar en cada nivel del edificio.

Es importante señalar que para efectos de la descripción detallada del procedimiento constructivo de un edificio de Armaduras Vierendeel Alternadas se presentan dos marcos, uno en ejes pares y otro en ejes impares, así como únicamente 10 niveles. Además la descripción del procedimiento de montaje de la estructura secundaria se hace únicamente en el primer tramo, esto considerando que en los tramos sucesivos el procedimiento de montaje de estructura secundaria en los diferentes niveles es el mismo.










Considerando los aspectos interesantes de la estructuración antes mencionados, el Procedimiento Constructivo de un Edificio Estructurado a base de Armaduras Vierendeel Alternadas se describe a continuación:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

III.1 Descripción del Procedimiento Constructivo

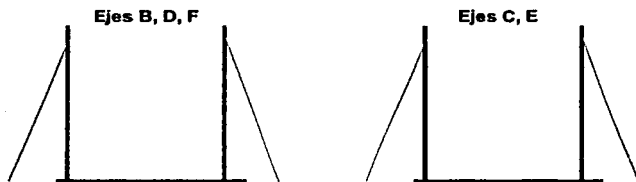


PLANTA ESQUEMÁTICA

-  COLUMNA
-  VIGA EXTERIOR
-  VIGA CENTRAL
-  MONTANTE
-  ESTRUCTURA EXTERIOR (CUERDA SUPERIOR Y MONTANTE)
-  ESTRUCTURA EXTERIOR (CUERDA INFERIOR Y MONTANTE)
-  TENSOR
-  PUNTAL TEMPORAL
-  LOSA DE CONCRETO

ESTRUCTURA CON  
FALLA DE ORIGEN

**ESTUDIO DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UN EDIFICIO DE ARMADURAS VIERENDEEL ALTERNADAS**



**1. MONTAJE DE COLUMNAS**



**2. MONTAJE DE ESTRUCTURA PRINCIPAL LONGITUDINAL NIVEL 1**



**3. MONTAJE DE PUNTALES 1ER. ENTREPISO**



**4. MONTAJE DE ESTRUCTURA EXTERIOR 1ER. NIVEL**

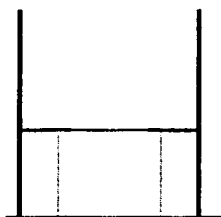
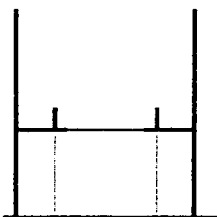


Ejes B, D, F

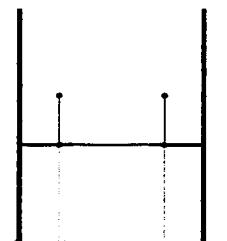
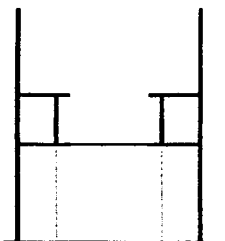
Ejes C, E



5. MONTAJE DE LARQUERDES PARA RIGIDIZAR ESTRUCTURAS EXTERIORES EN NIVEL 1



6. MONTAJE DE VIGA CENTRAL 1ER. NIVEL



7. MONTAJE DE ESTRUCTURA EXTERIOR N-2

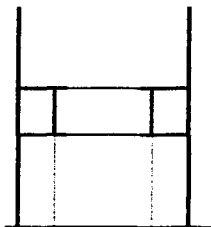
8. MONTAJE DE TENSORES 2º ENTREPISO



9. MONTAJE DE ESTRUCTURA PRINCIPAL LONGITUDINAL P/RIGIDIZAR N-2

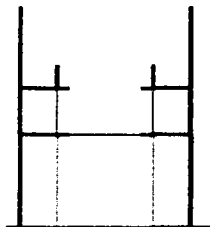
TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

Ejes B, D, F

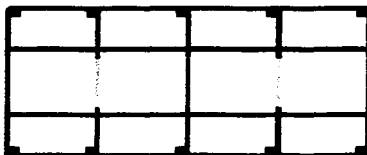


10. MONTAJE DE VIGA CENTRAL N-2

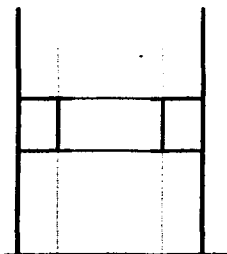
Ejes C, E



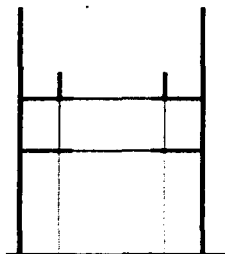
11. MONTAJE DE ESTRUCTURA EXTERIOR EN N-2



12. MONTAJE DE LARGUEROS P/RIBIDIZAR N-2

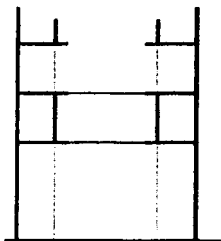


13. MONTAJE DE PUNTALEO ENTREPIESO



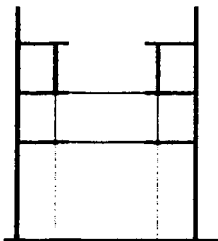
14. MONTAJE DE VIGA CENTRAL N-2

Ejes B, D, F



15. MONTAJE DE ESTRUCTURA EXTERIOR N-3

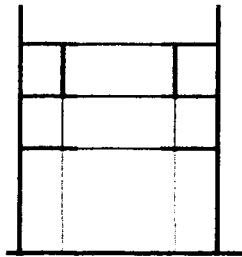
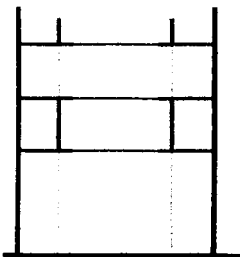
Ejes C, E



16. MONTAJE DE ESTRUC. EXT. N-3

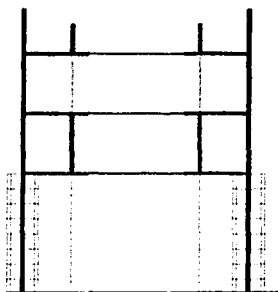


17. MONTAJE DE LARGUEROS P/RIGIDIZAR N-3

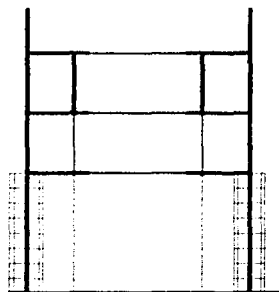


18. MONTAJE DE VIDA CENTRAL. N-3

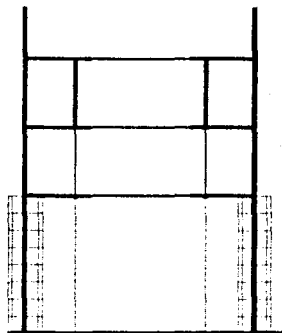
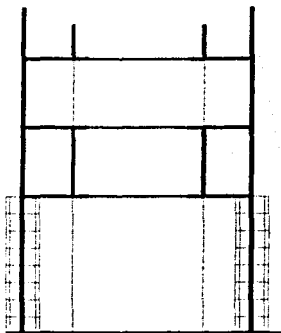
Ejes B, D, F



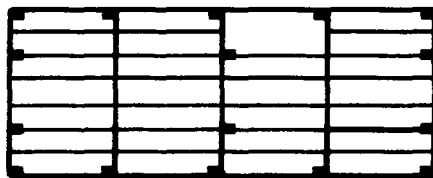
Ejes C, E



19. ARMADO DE COLUMNAS 1ER ENTREPISO

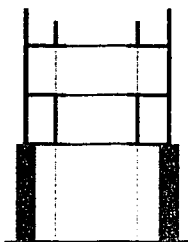


19. PLOMEADO DE ELEMENTOS PRINCIPALES EN NIVELES 1 - 3

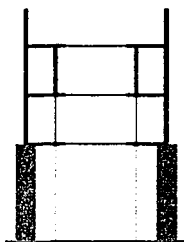


20. MONTAJE DE ESTRUCTURA SECUNDARIA EN NIVELES 1 AL 3

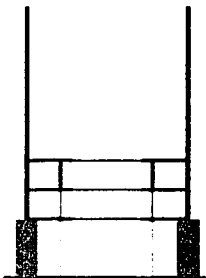
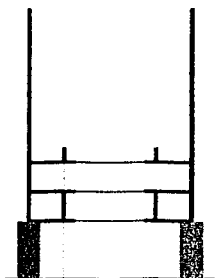
Ejes B, D, F



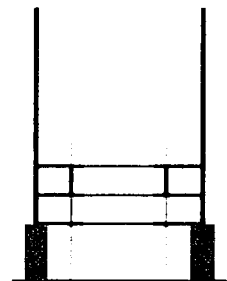
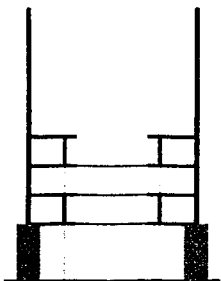
Ejes C, E



20. COLADO DE COLUMNAS 1ER. ENTREPISO



21. MONTAJE DE COLUMNAS 2 DO. TRAMO

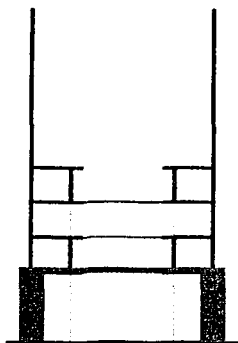


22. MONTAJE DE ESTRUCTURA EXTERIOR N-4

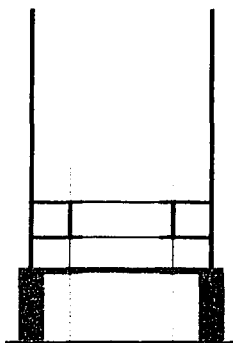
23. MONTAJE DE PUNTALENTREPISO 4

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

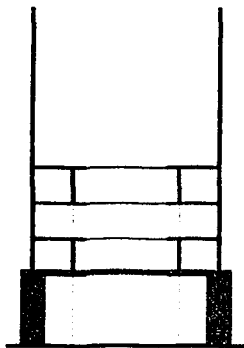
Ejes B, D, F



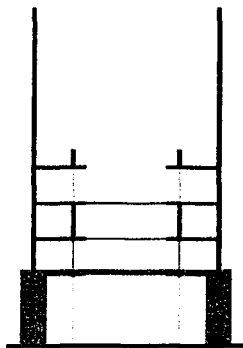
Ejes C, E



24. COLADO DE LOSA 1ER NIVEL



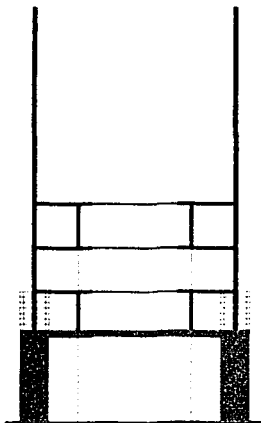
24. MONTAJE VIGA CENTRAL NIVEL 4



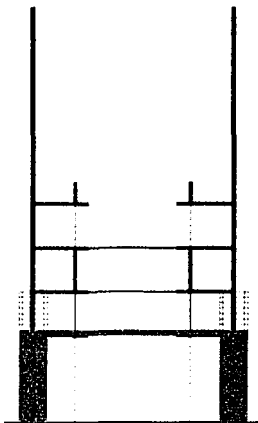
25. MONTAJE ESTR. EXTERIOR NIVEL 4

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

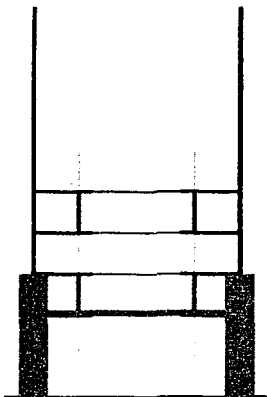
Ejes B, D, F



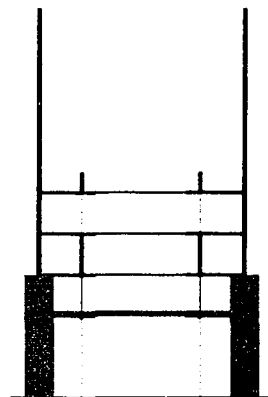
Ejes C, E



26. ARMADO COLUMNAS 2 DO ENTREPISO

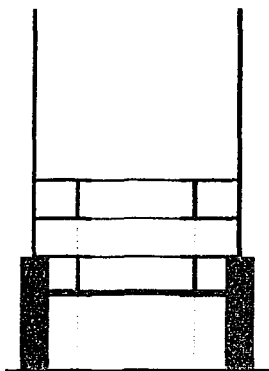


26. MONTAJE DE PUNTAL 5 TO ENTREPISO

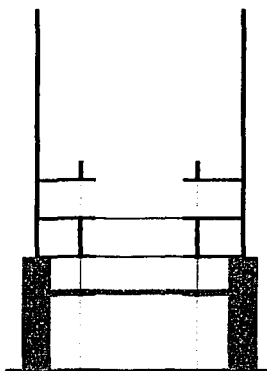


27. MONTAJE VIGA CENTRAL NIVEL 4

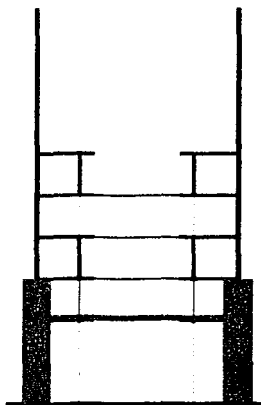
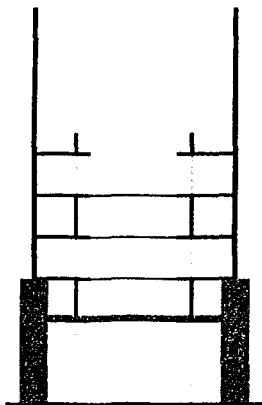
Ejes B, D, F



Ejes C, E



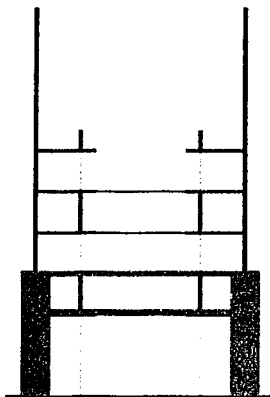
28. COLADO DE COLUMNAS 2 DO ENTREPISO



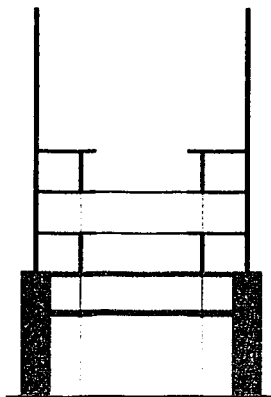
28. MONTAJE ESTRUCTURA EXTERIOR NIVEL 5



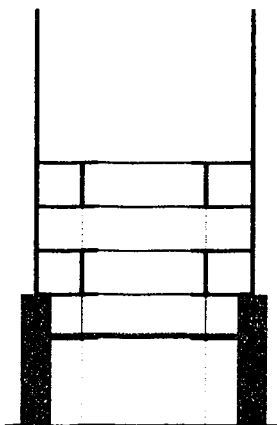
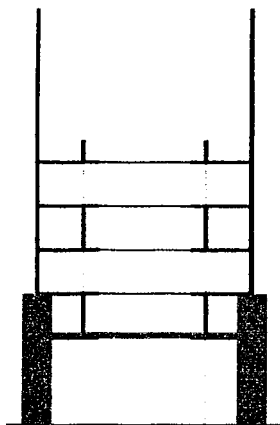
Ejes B, D, F



Ejes C, E



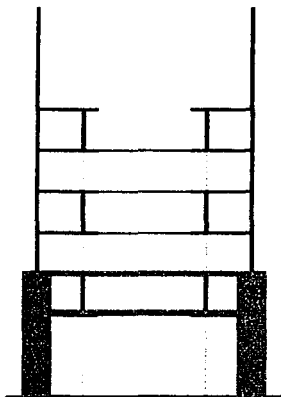
29. COLADO DE LOSA NIVEL 2



29. MONTAJE DE VIGA CENTRAL NIVEL 2

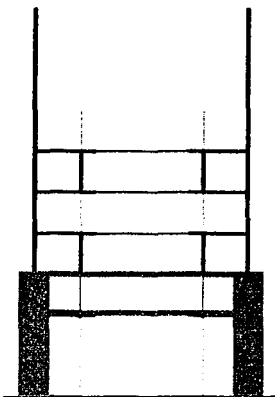
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Ejes B, D, F

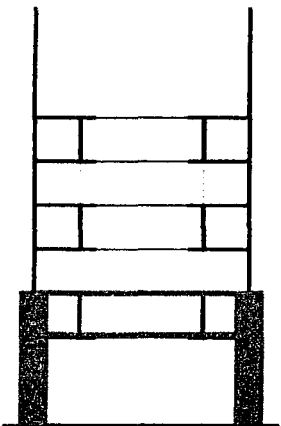


30. MONTAJE ESTR. EXTERIOR NIVEL 6

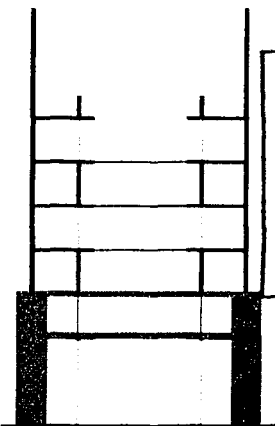
Ejes C, E



31. MONTAJE DE PUNTALENTREPISO 6



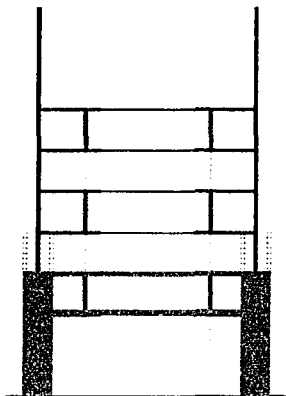
32. MONTAJE VISA CENTRAL NIVEL 6



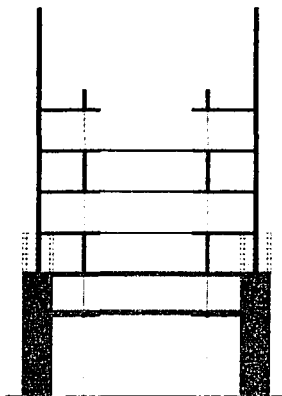
33. MONTAJE DE ESTRUC. EXTERIOR NIVEL 6

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

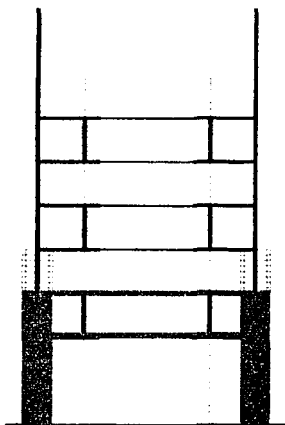
Ejes B, D, F



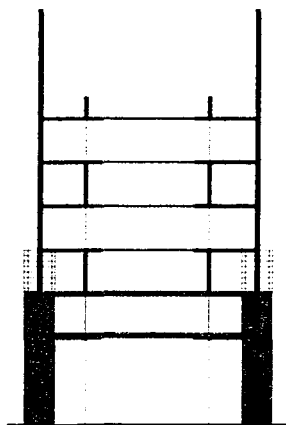
Ejes C, E



33. ARMADO DE COLUMNAS ENTREPISO 3



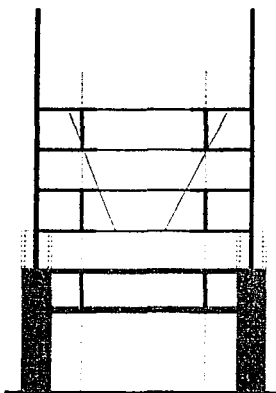
34. MONTAJE PUNTALE ENTREPISO 7



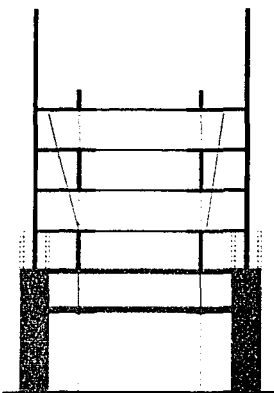
35. MONTAJE DE VIGA CENTRAL NIVEL 6

TESIS CON  
PALLA DE ORIGEN

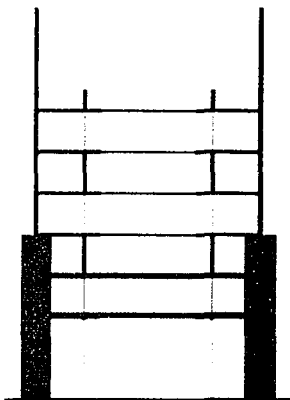
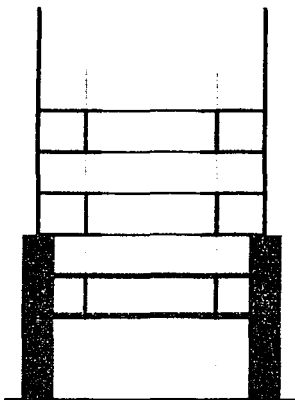
Ejes B, D, F



Ejes C, E

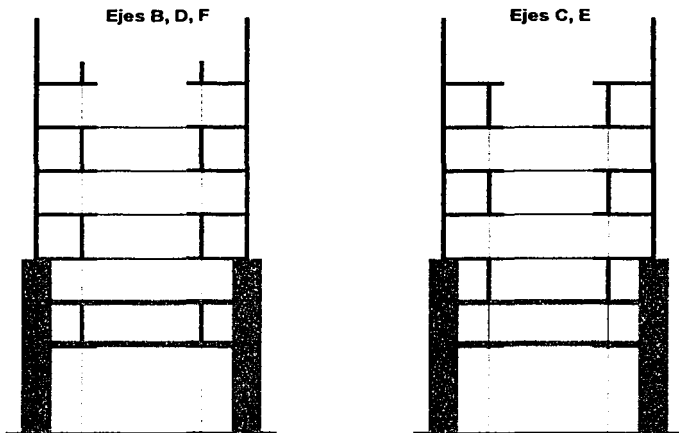


36. PLOMEADO DE NIVELES 4 A 6

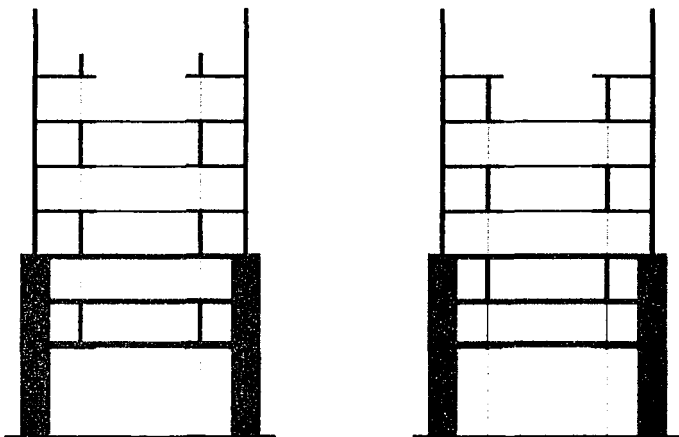


36. COLADO DE COLUMNAS ENTREPIED 3

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



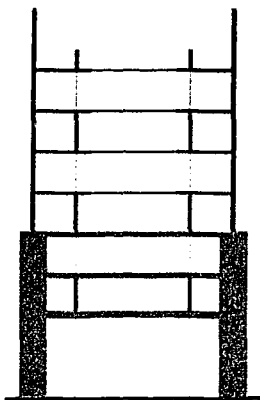
37. MONTAJE DE ESTRUCTURA EXTERIOR NIVEL 7



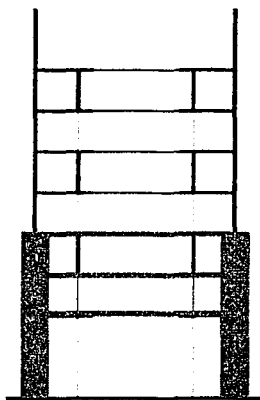
37. DOLADO DE LOSA NIVEL 3

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

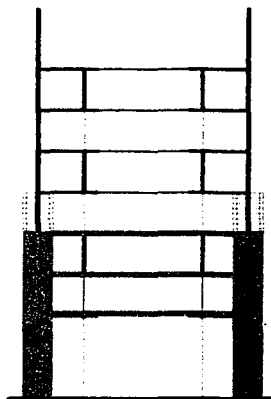
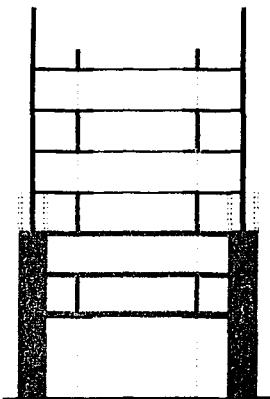
Ejes B, D, F



Ejes C, E

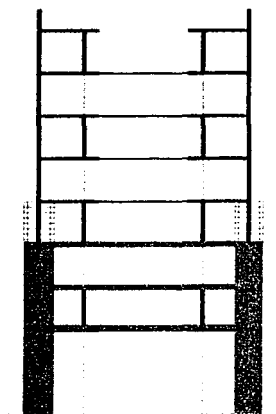


38. MONTAJE VIGA CENTRAL NIVEL 7



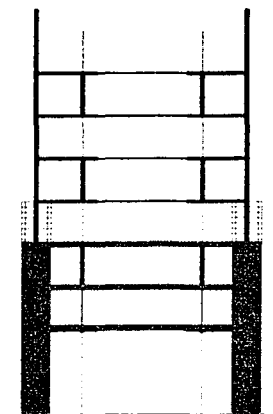
39. ARMADO DE COLUMNAS ENTREPISO 4

Ejes B, D, F

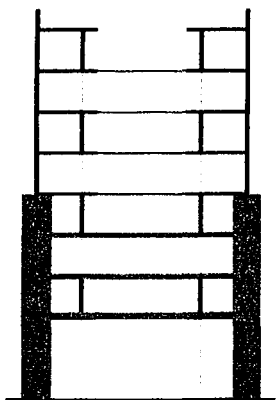


39. MONTAJE ESTR. EXTERIOR NIVEL 9

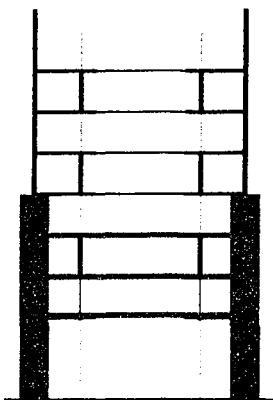
Ejes C, E



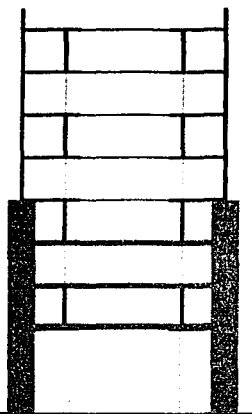
40. MONTAJE DE PUNTAL ENTREPISO 9



40 COLADO DE COLUMNAS ENTREPISO 4

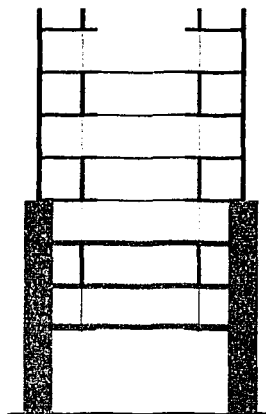


Ejes B, D, F

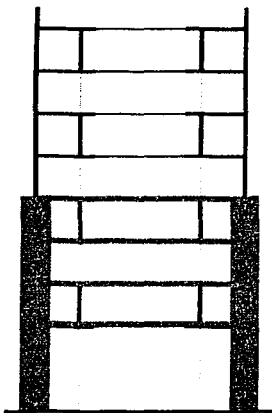


41. MONTAJE VIGA CENTRAL NIVEL B

Ejes C, E



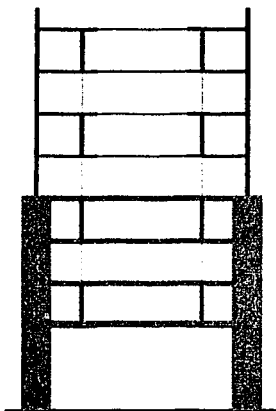
42. MONTAJE ESTR. EXTERIOR NIVEL B



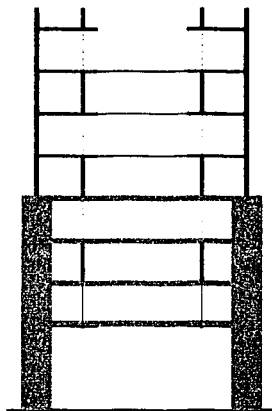
42. COLADO DE LOSA NIVEL 4



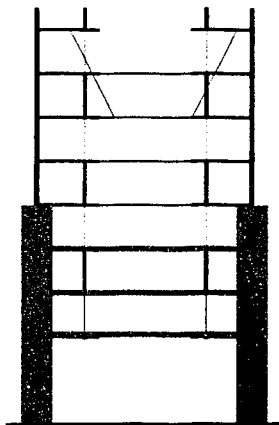
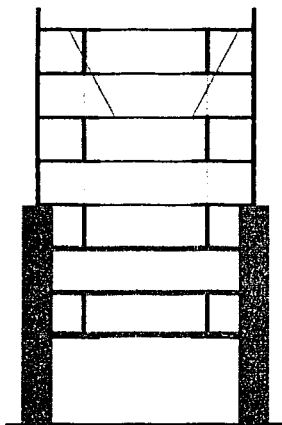
Ejes B, D, F



Ejes C, E

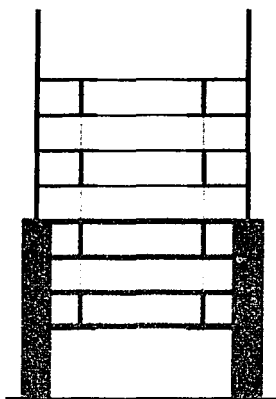


43 RETIRO DEL PUNTAL 1ER ENTREPISO

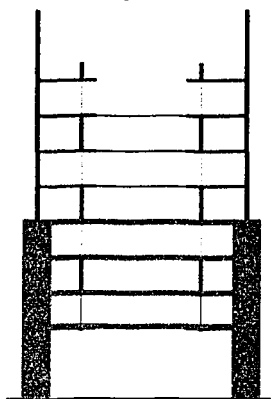


44. PLOMEADO DE NIVELES 7 Y 8

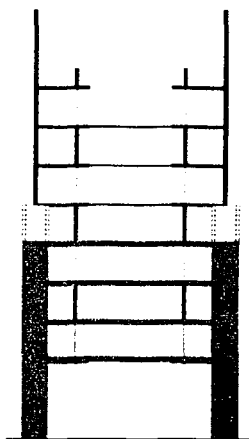
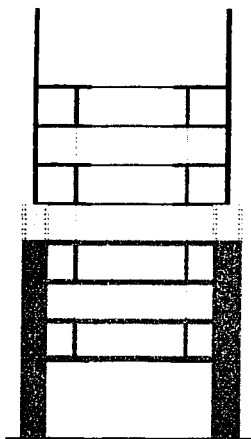
Ejes B, D, F



Ejes C, E

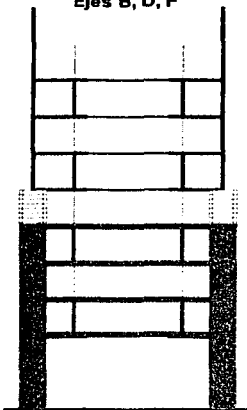


45. MONTAJE COLUMNAS 3ER. TRAMO (FINAL)



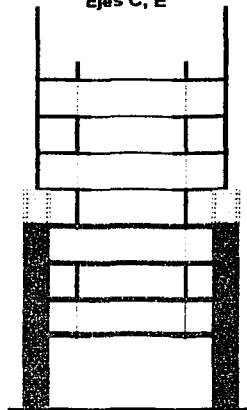
45. ARMADO DE COLUMNAS ENTREPISO 5

Ejes B, D, F

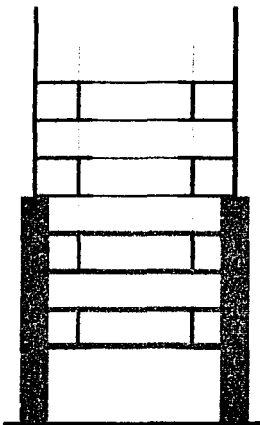


46. MONTAJE PUNTALE ENTREPIESO 9

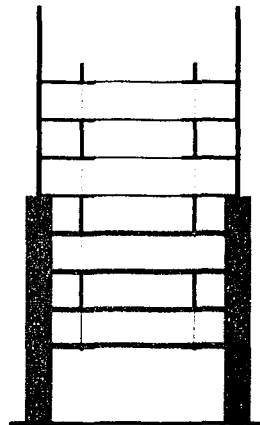
Ejes C, E



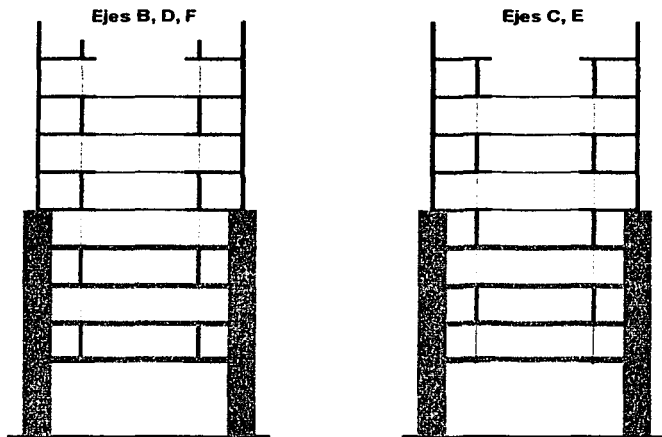
47. MONTAJE DE VIGA CENTRAL NIVEL B



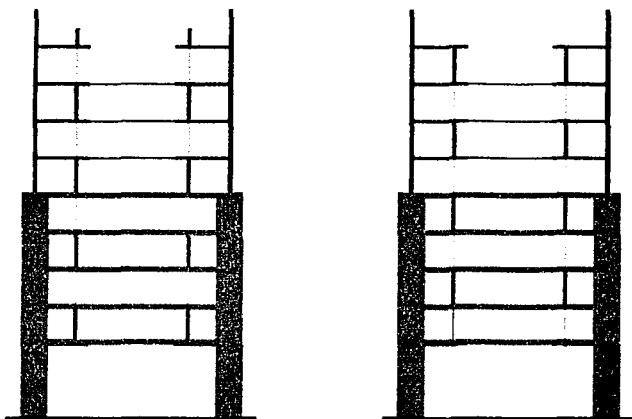
47. COLADO DE COLUMNAS ENTREPIESO 5



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

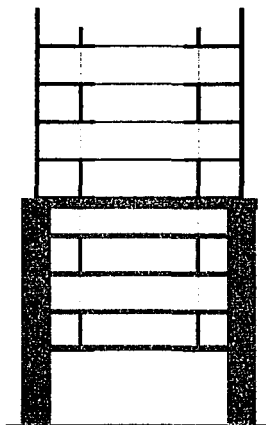


48. MONTAJE DE ESTRUCTURA EXTERIOR NIVEL 9

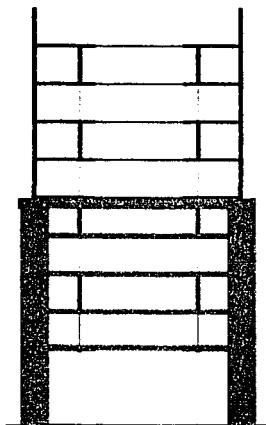


48. COLADO DE LOSA NIVEL 5

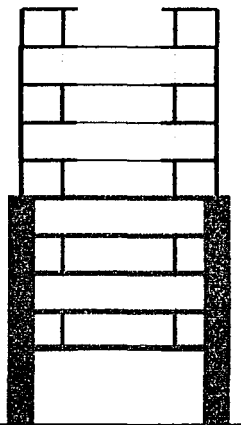
Ejes B, D, F



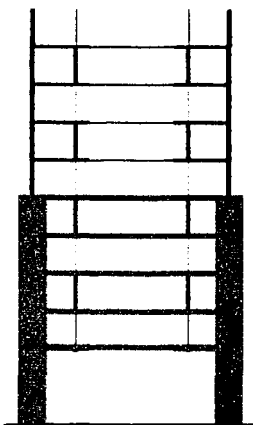
Ejes C, E



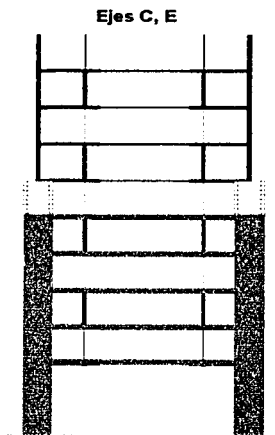
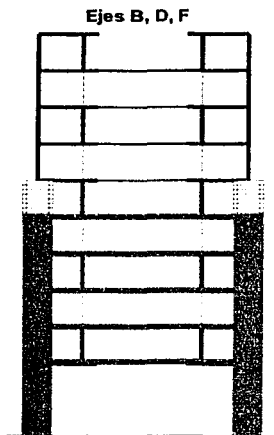
49. MONTAJE DE VIGA CENTRAL NIVEL 9



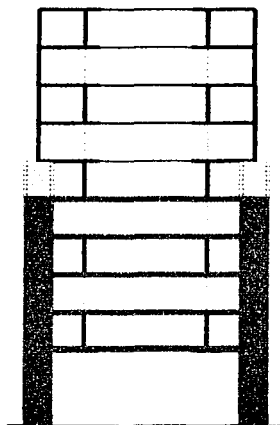
50. MONTAJE DE EST. EXTERIOR NIVEL 10



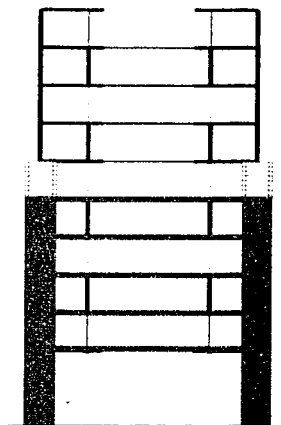
51. MONTAJE DE POSTE ENTREPISO 10



51. ARMADO DE COLUMNAS ENTREPISO 6

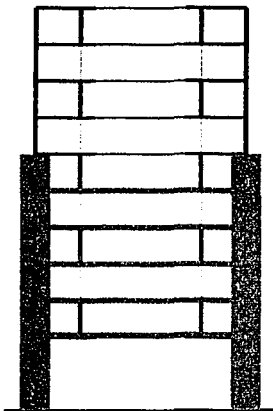


52. MONTAJE DE VIGA CENTRAL NIVEL 10.

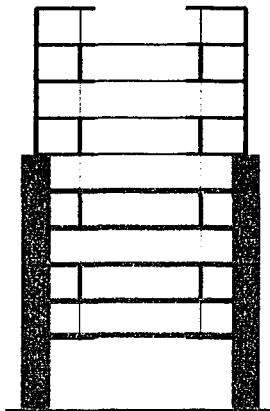


53. MONTAJE DE VIGAS EXTERIORES N-10

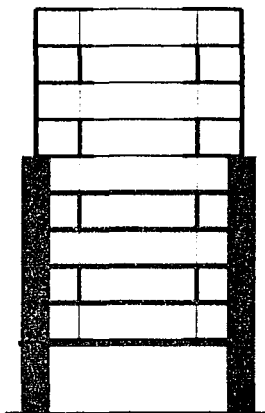
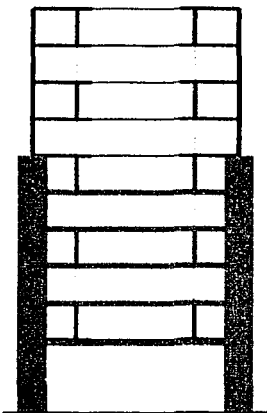
Ejes B, D, F



Ejes C, E

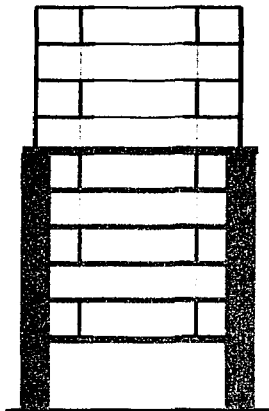


53. COLADO DE COLUMNAS ENTREPIOS

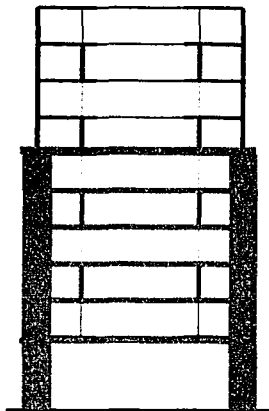


53. MONTAJE DE VIGA CENTRAL NIVEL 10

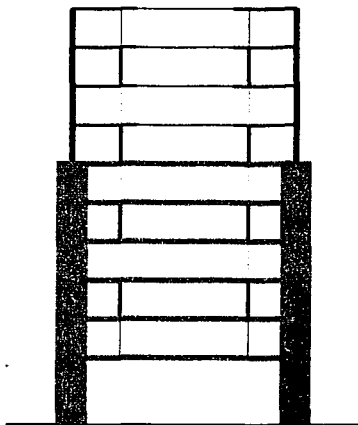
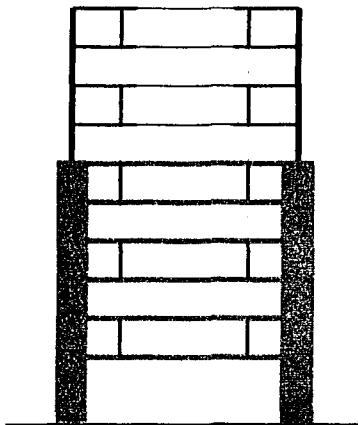
Ejes B, D, F



Ejes C, E



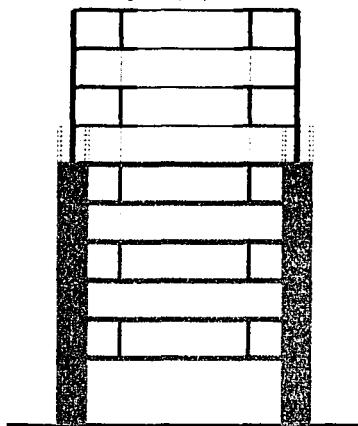
54. COLADO DE LOSA NIVEL 6



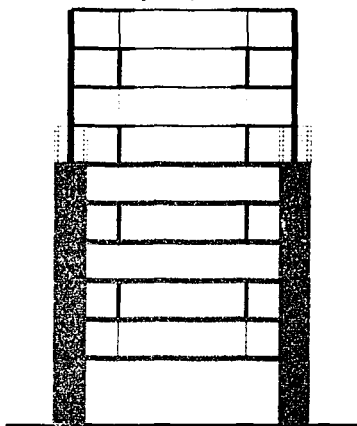
55. RETIRO DE PUNTAL 3 ER ENTREPISO



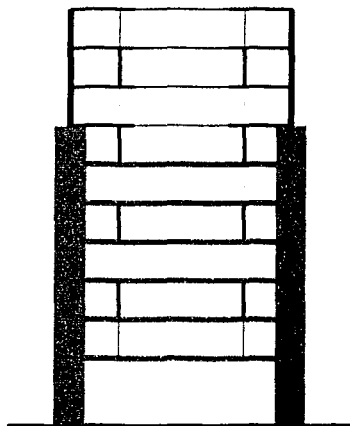
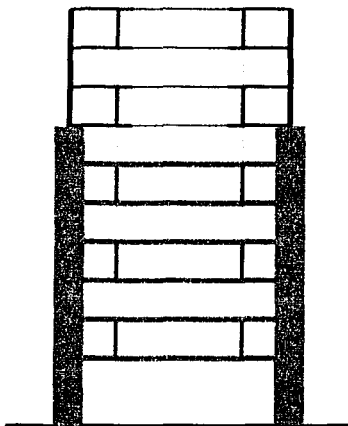
Ejes B, D, F



Ejes C, E

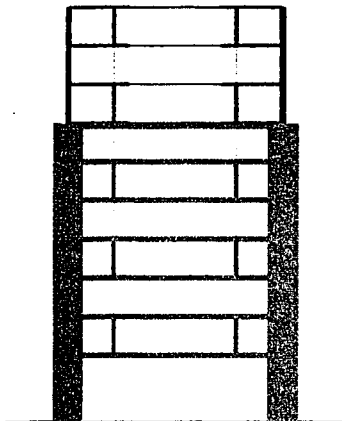


55. ARMADO DE COLUMNAS ENTREPISO 7

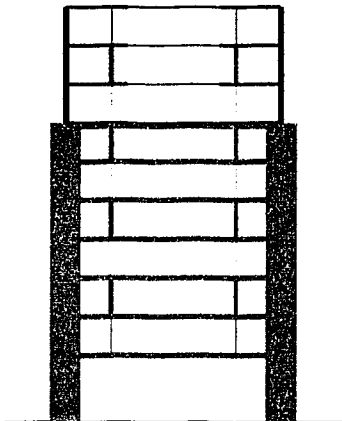


56. COLADO DE COLUMNAS ENTREPISO 7

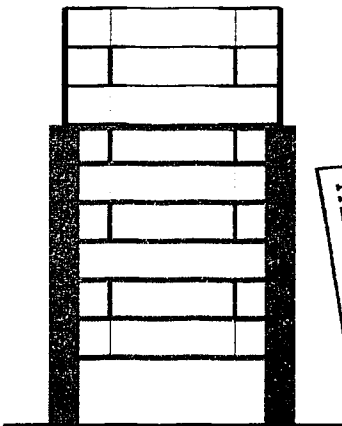
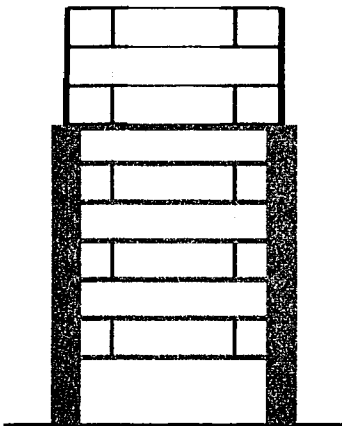
Ejes B, D, F



Ejes C, E



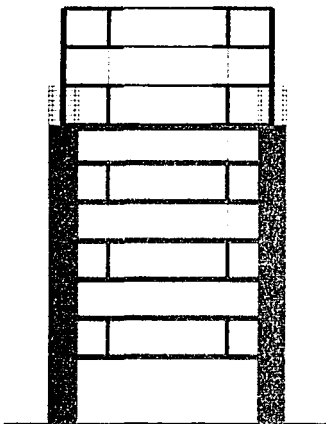
57. COLADO DE LOSA NIVEL 7



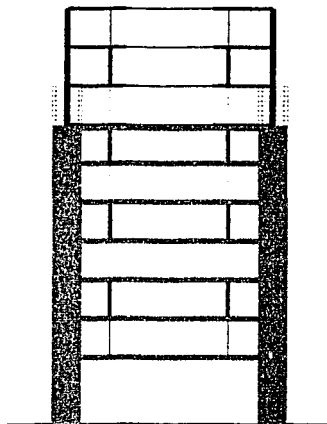
58. RETIRO PUNTALES ENTREPIED 4

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

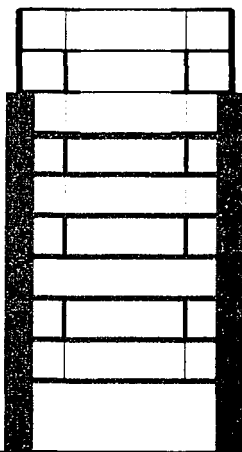
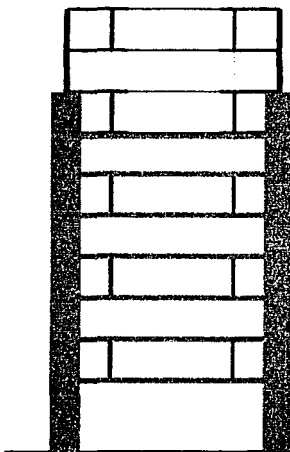
Ejes B, D, F



Ejes C, E

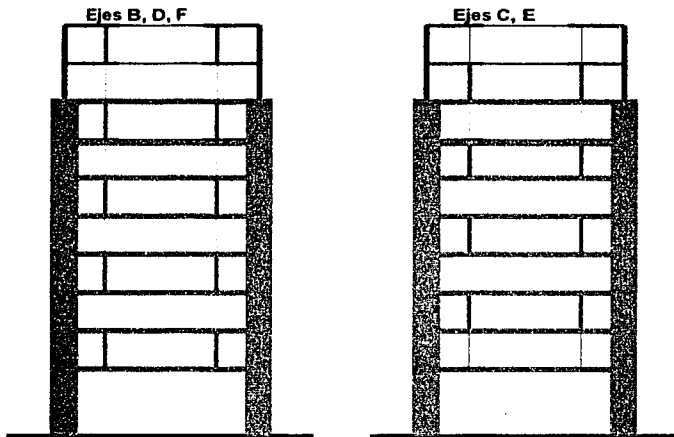


58. ARMADO DE COLUMNAS ENTREPIÑO B

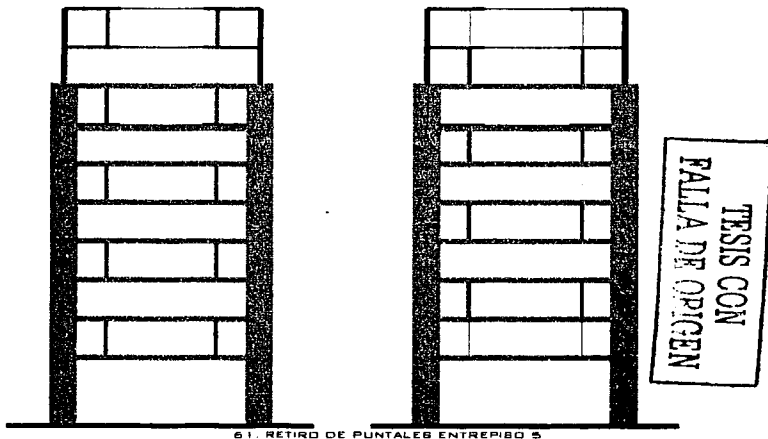


59. COLADO DE COLUMNAS ENTREPIÑO B

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

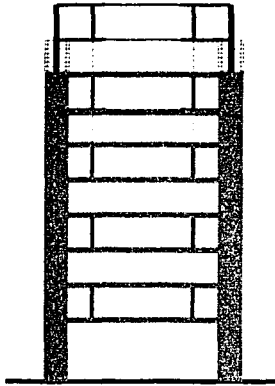


60. COLADO DE LOSA NIVEL 9

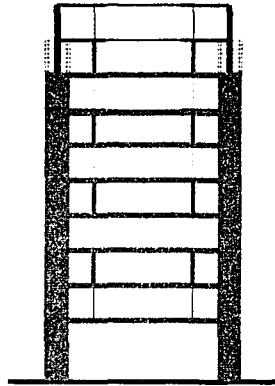


61. RETIRO DE PUNTALES ENTREPISO 5

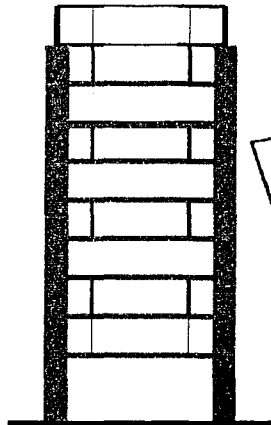
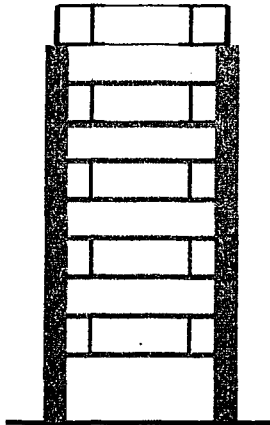
Ejes B, D, F



Ejes C, E

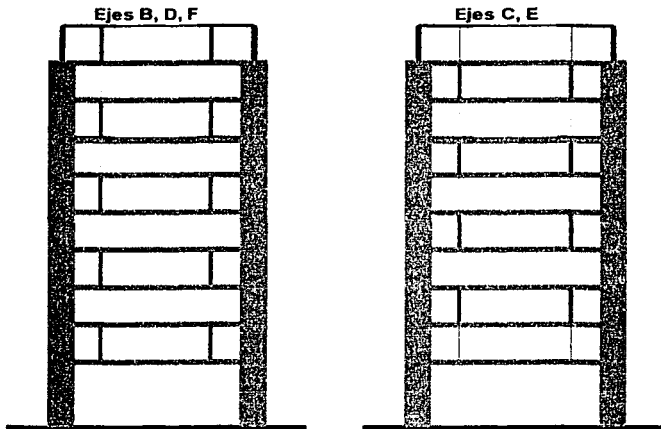


61. ARMADO DE COLUMNAS ENTREPISO 9

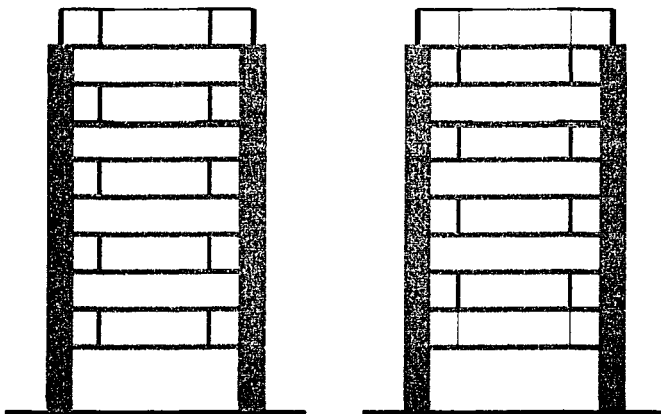


62. COLADO DE COLUMNAS ENTREPISO 9

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



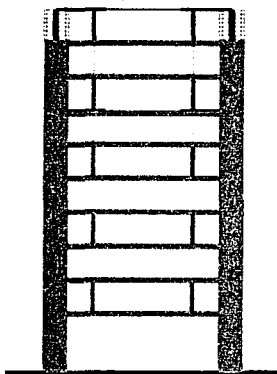
63. COLADO DE LOSA NIVEL 9



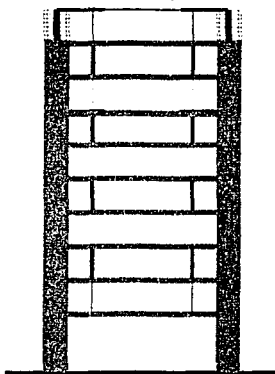
64. RETIRO DE PUNTALES ENTREPISO 6

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

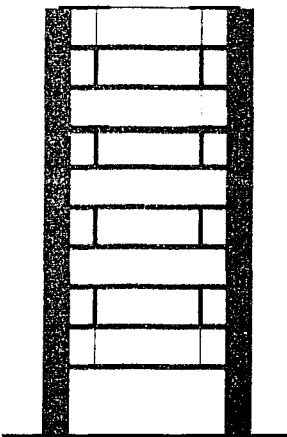
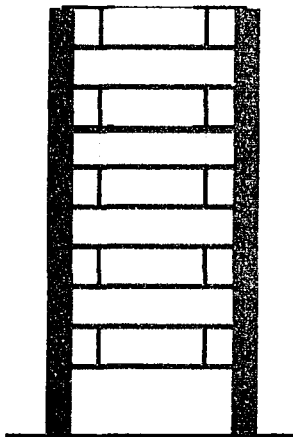
Ejes B, D, F



Ejes C, E



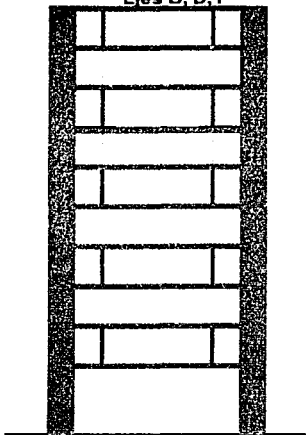
64. ARMADO DE COLUMNAS ENTREPISO 10



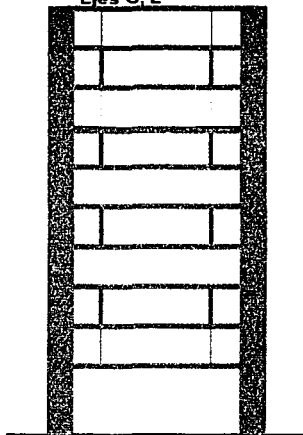
65. COLADO DE COLUMNAS ENTREPISO 10

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

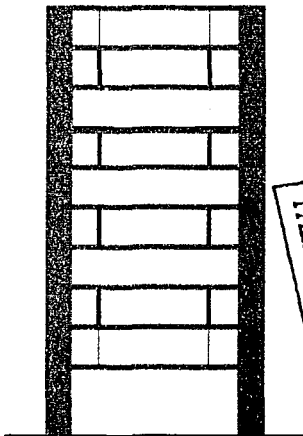
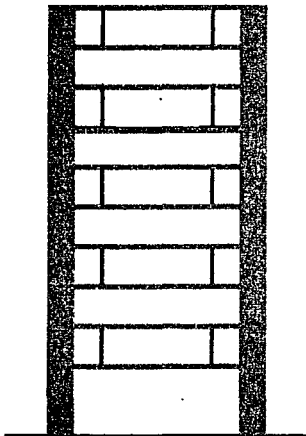
Ejes B, D, F



Ejes C, E



66. COLADO DE LOSA NIVEL 10

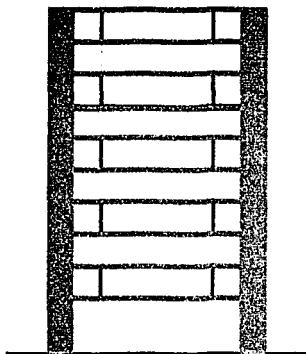


67. RETIRO DE PUNTAL ENTREPISO 7

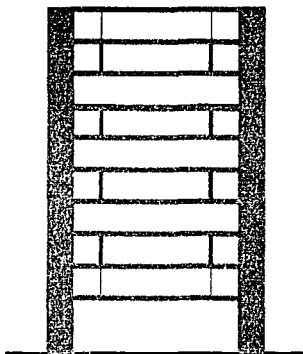
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



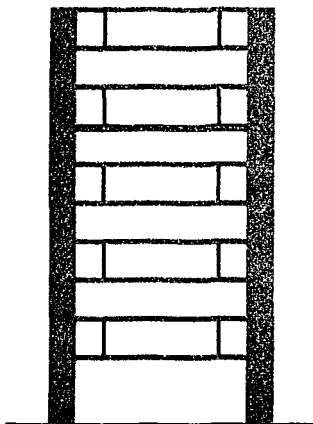
Ejes B, D, F



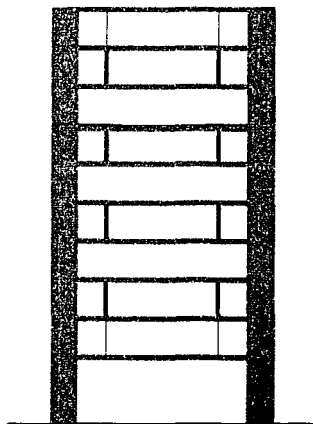
Ejes C, E



68. RETIRO DE PUNTALEO ENTREPIEDO B



69. RETIRO DE PUNTALEO ENTREPIEDO 9



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### IV. ELEMENTOS DE APUNTALAMIENTO

Como se ha mencionado, la colocación de elementos temporales para el montaje de la estructura resulta de gran importancia para la formación de las armaduras conforman éste sistema estructural y en general para permitir la construcción compuesta una vez que el concreto ha fraguado. A continuación se determinará qué tipo de elementos es conveniente colocar para el buen desarrollo del procedimiento constructivo y el adecuado funcionamiento estructural del edificio.

Se ha observado que los puntales o elementos temporales de montaje se colocan para sostener, dar resistencia y rigidez a las vigas que a su vez formarán la cuerda inferior de la Armadura Vierendeel, eliminando así la presencia de la inestabilidad temporal generada en la etapa de construcción, considerando que se trata de armaduras alternadas se alternará la colocación de los puntales tanto en ejes como en niveles. La siguiente figura muestra dicha alternación.

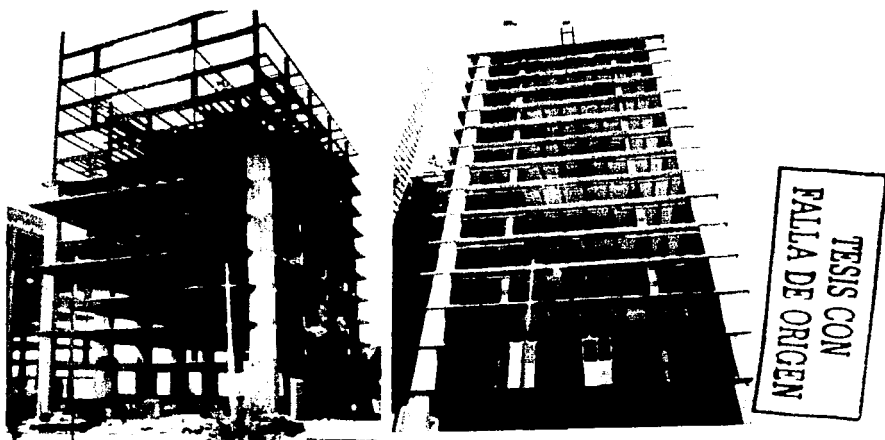


Fig. IV 1 Alternación en la colocación de elementos de apuntalamiento

Por otra parte, una vez formadas las armaduras y para lograr que éstas trabajen satisfactoriamente se requiere retirar los elementos de apuntalamiento de manera gradual, por lo tanto es necesario analizar dichos puntales de tal forma que su retiro no afecte el comportamiento de la estructura.

Además es importante considerar que el puntal debe permitir que la armadura vaya trabajando gradualmente, esto es, al formarse la armadura ésta deberá tomar la carga de forma paulatina, mediante la deformación del puntal, de esta manera permitir que el

elemento de apuntalamiento deje de tomar carga, la transfiera y haga que la armadura comience a trabajar gradualmente.

En el caso del Corporativo de Oficinas AICON, los elementos colocados correspondieron a perfiles W, los cuales después de una búsqueda en el almacén del taller fabricante de la estructura metálica se observó una sobre producción de elementos W 12" por lo que se determinó colocar elementos W12x40 considerando las características geométricas de dicho elemento.

Realmente y para lograr la gradual disminución en la toma de carga del puntal, se debiera colocar un elemento esbelto tal que soporte como mínimo el peso muerto del edificio y una carga viva de construcción hasta haberse formado una armadura en los marcos de los ejes más desfavorables, siendo estos aquellos en los cuales se ha colocado el tensor en el primer entrepiso. A partir de ese momento el puntal debe dejar de tomar carga y hacer que la armadura vaya trabajando.

Esto es un elemento de apuntalamiento cuya carga crítica de pandeo esté en función del peso de la armadura que va recibiendo durante el proceso constructivo.

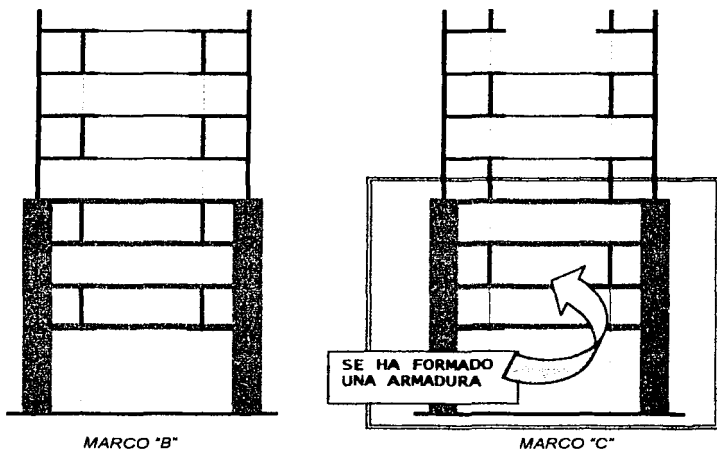


Fig. IV.2 Procedimiento constructivo edificio AICON

Es conveniente resaltar que en el caso de AICON, y en general en la mayoría de los edificios, la altura del primer entrepiso es mayor a la altura en los niveles superiores, por lo que dicho puntal resultaría el elemento crítico.

## IV.1 Modelación

La modelación del edificio para realizar el análisis de los elementos de apuntalamiento se realizó con ayuda del programa MASTAN2 V.1, el cual está soportado por MATLAB, teniendo un ambiente semigráfico, en donde se le alimenta de coordenadas, cargas, restricciones en los apoyos, secciones de los elementos y todo lo necesario para la correcta modelación.



Fig. IV.3 Programa MASTAN2 V.1

El programa MASTAN2 V.1 permite analizar y obtener resultados en distintos niveles de carga, esta característica resultó de gran ayuda ya que permitió establecer intervalos de carga, y así obtener y analizar resultados en las distintas fases de la construcción.

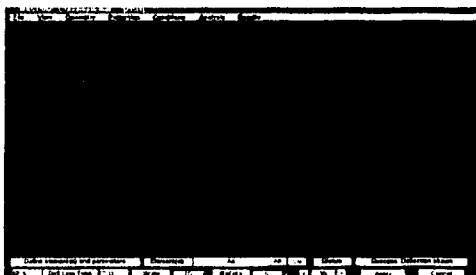


Fig. IV.4 Representación de un análisis en MASTAN2 V.1

Para el caso del "Corporativo de oficinas AICON" Se realizaron modelos de marcos planos de los diferentes ejes, considerándose el más crítico el eje C, para tal modelación fue necesario cuantificar la carga que soportaría dicho marco con cuatro niveles, los cuales se determinaron considerando la formación de una armadura en dicho marco y un margen de seguridad de un nivel más, además de considerar que la construcción del edificio es por niveles pares debido a la formación de armaduras; paso siguiente fue la determinación del peso total del marco obteniéndose los siguientes datos:

Peso total del marco C (4 niveles) =	496.00 ton
Estructura de acero (4 niveles) =	111.94 ton
Estructura de concreto (4 niveles) =	383.68 ton

## Cuantificación del peso del edificio

ESTRUCTURA	METÁLICA		CONCRETO	
	TON	ACUM. (TON)	TON	ACUM. (TON)
				111.94
N-1	25.71		95.92	
		25.71		207.86
N-2	27.64		95.92	
		53.35		303.78
N-3	31.52		95.92	
		84.87		399.70
N-4	27.07		95.92	
	111.94	111.94	383.68	496.00

A partir de dicho peso se determinó una relación entre concreto/acero, con el objeto de poder determinar el número de incrementos de carga en que se analizara el edificio, obteniéndose:

$$\frac{\text{CONCRETO}}{\text{ACERO}} = \frac{383.68}{111.94} = 3.4 \Rightarrow 1:3.4 \Rightarrow 2:7$$

Esta relación representa que dos intervalos representarán la carga del montaje de un nivel de estructura metálica, mientras que siete intervalos más, representarán la carga originada por la losa. Por lo anterior se pueden considerar 9 etapas de carga por nivel, por lo tanto el número de intervalos o incrementos a considerar fueron de 36 incrementos de carga.

Además, a partir del peso total de 496.00 ton se determino la carga lineal que soportaría cada nivel:

$$\text{Peso por nivel} = \frac{496}{4} = 124 \text{ ton.}$$

Considerando una longitud aproximada de 32.2 m del marco se determino

$$\omega = \frac{124}{32.2} = 3.85 \text{ ton/m} = 38.5 \text{ kg/cm}$$

De esta forma es posible generar la siguiente tabla:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Historia de cargas considerando cuatro niveles del edificio

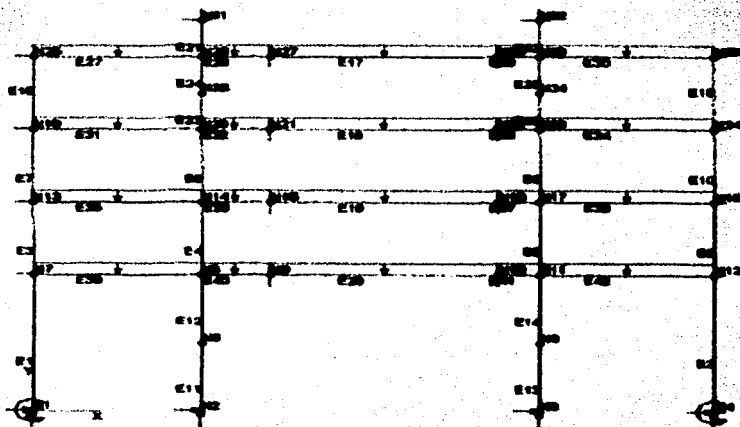
INT		Kg/cm		TON	
1		1.07	*4*3220cm / 1000	13.78	
2		2.14		27.56	estruct. N-1
3		3.21		41.34	
4		4.28		55.13	estruct. N-2
5		5.35		68.91	
6		6.42		82.69	estruct. N-3
7		7.49		96.47	
8		8.56		110.25	estruct. N-4
9		9.63		124.03	
10		10.7		137.82	
11		11.77		151.60	
12		12.84		165.38	
13		13.91		179.16	
14		14.98		192.94	
15		16.05		206.72	concr. N-1
16		17.12		220.51	
17		18.19		234.29	
18		19.26		248.07	
19		20.33		261.85	
20		21.4		275.63	
21		22.47		289.41	
22		23.54		303.20	concr. N-2
23		24.61		316.98	
24		25.68		330.76	
25		26.75		344.54	
26		27.82		358.32	
27		28.89		372.10	
28		29.96		385.88	
29		31.03		399.67	concr. N-3
30		32.1		413.45	
31		33.17		427.23	
32		34.24		441.01	
33		35.31		454.79	
34		36.38		468.57	
35		37.45		482.36	
36		38.5		496.00	concr. N-4

Los datos anteriores, además de las secciones establecidas y la geometría fue lo necesario para modelar el marco en el cual se analizarían los puntales.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los modelos realizados fueron los siguientes:

MODELO	NOMBRE	OBSERVACIONES
1	MARCO C8	Marco eje C, 4 niveles, incluyendo puntales
2	MARCO C9	Marco C, 4 niveles, quitando los puntales del primer entrepiso
3	PUNTAL AISLADO	Únicamente el puntal aplicándose una carga axial de 90 ton.
4	MARCO C10	Marco C, 5 niveles, incluyendo puntales
5	MARCO C11	Marco C, 5 niveles, quitando los puntales del primer entrepiso
6	MARCO C12	Marco C, 6 niveles, incluyendo puntales
7	MARCO C13	Marco C, 6 niveles, quitando los puntales del primer entrepiso
8	MARCO C14	Marco C, 8 niveles, incluyendo puntales
9	MARCO C15	Marco C, 8 niveles, quitando los puntales del primer entrepiso
10	MARCO C16	Marco C, 19 niveles, incluyendo puntales
11	MARCO C17	Marco C, 19 niveles, quitando los puntales del primer entrepiso
12	MARCO B	Marco eje B, 4 niveles, incluyendo puntales
13	MARCO D	Marco eje D, 4 niveles, incluyendo puntales



ACORR MODELO ARMADURA VIERENDEEL

Fig. IV.5 Imagen del modelo del marco C. Aicon

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### IV.2 Análisis

El tipo análisis realizado a los diferentes marcos fue un **Análisis de 2° Orden Inelástico** esto principalmente para analizar el comportamiento elasto-plástico del elemento temporal de apuntalamiento, considerar los efectos ( $P-\Delta$  y  $P-\delta$ ), de tal forma que se lograra obtener una curva de carga-deformación completa y una buena aproximación a la resistencia máxima del puntal.

El análisis se realizó con un tamaño de incremento de carga tal que permitiera aplicar los 36 incrementos en todo el marco, de esta manera se lograría tener información en todos y cada uno de los intervalos de carga que corresponderían a diferentes etapas durante la construcción del edificio.

Es importante mencionar que en el programa MASTAN2 V.1 el análisis se hace mediante incrementos de carga hasta que se encuentra deformaciones excesivas en un elemento, o la estructura se vuelve inestable, cuando se presenta alguna de dichas condiciones el análisis se detiene.

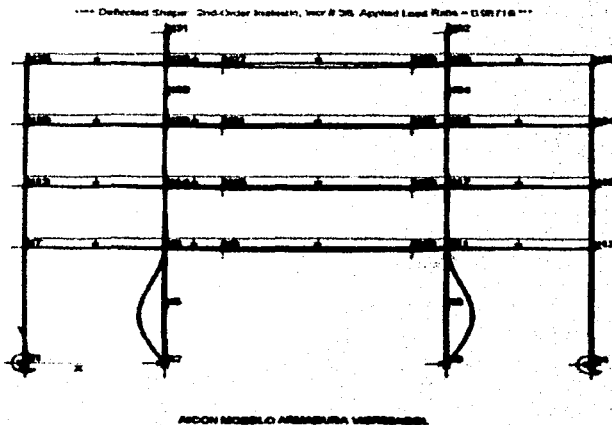
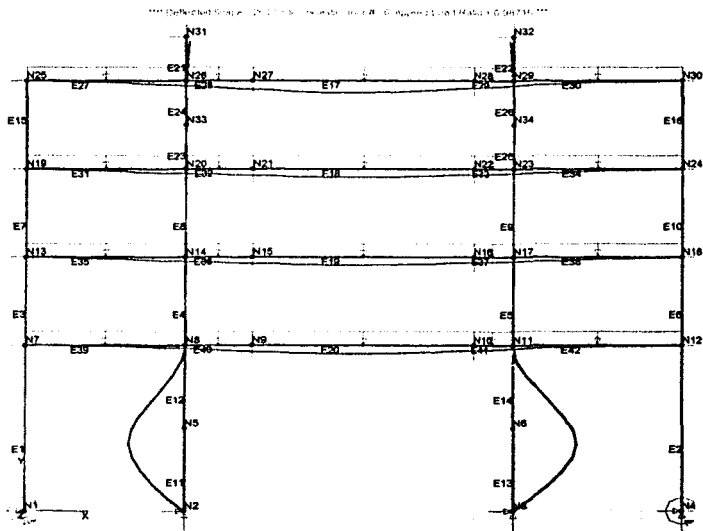


Fig. IV.6 Análisis marco "C". Aicon

Para los restantes modelos se realizó el mismo método de análisis, **2° Orden Inelástico**, variando el número de incrementos y el tamaño de los mismos en función del número de niveles. Considerando la misma relación de 2:7, es decir 9 incrementos de carga por nivel.



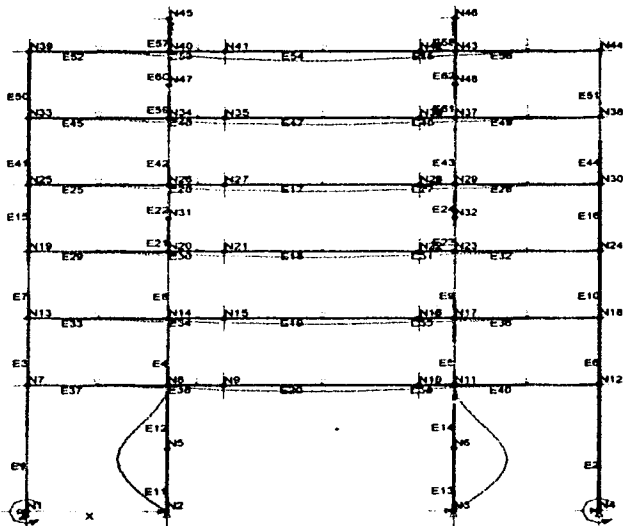
**Análisis de 2° Orden Inelástico en marco C, 4 niveles**  
**"Corporativo de Oficinas Aicon"**



AICON MODELO ARMADURA VIERENDEEL

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Análisis de 2° Orden Inelástico en marco C, 6 niveles  
"Corporativo de Oficinas Aicon"

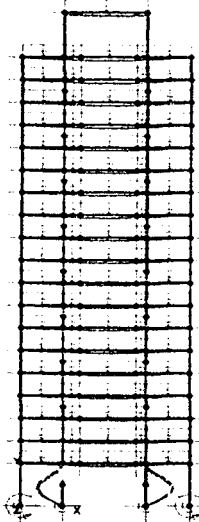


AICON MODELO ARMADURA VIERENDEL

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Análisis de 2° Orden Inelástico en marco C, 19 niveles**  
**"Corporativo de Oficinas Aicon"**

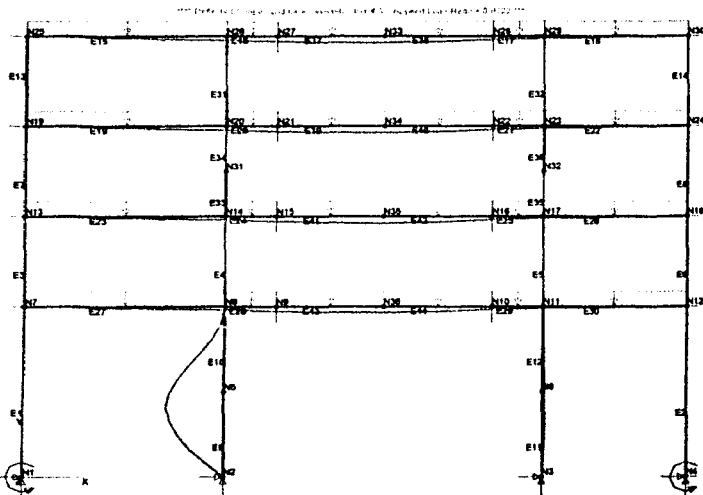
\*\*\* Deflected Shape - 2nd Order Inelastic - Iter # 111 - Applied Load Ratio: 0.59243 \*\*\*



AICON MODELO ARMADURA VIERENDEEL

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

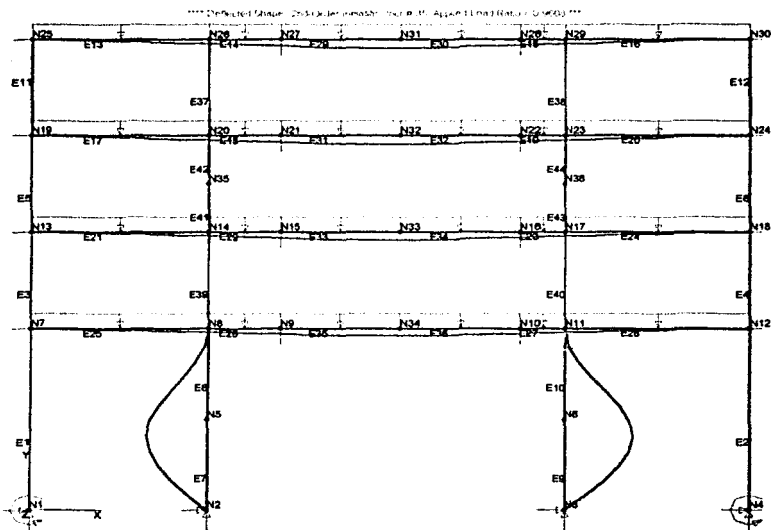
Análisis de 2° Orden Inelástico en marco B, 4 niveles  
"Corporativo de Oficinas Aicon"



AICON MODELO ARMADURA VIERENDEEL

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Análisis de 2° Orden Inelástico en marco D, 4 niveles  
"Corporativo de Oficinas Aicon"



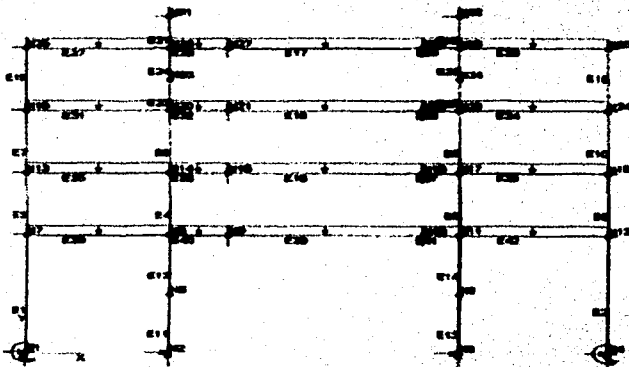
AICON MODELO ARMAURA VIERENDEEL

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## IV.3 Resultados del Análisis

Para cada uno de los modelos se obtuvo una serie de gráficas, curvas de carga-deformación, reacciones en los apoyos y elementos mecánicos.

Como se mencionó anteriormente el marco considerado crítico fue el marco C por lo que se presentarán y analizarán los resultados obtenidos para dicho modelo.



ACORREROS DEL MODELO ARMADURA VIERENDEEL.

Fig. IV.7 Imagen del modelo del marco C. Alcon

REACCIONES (Kg)

INCREMENTO	NUDO1	NUDO 2	NUDO 3	NUDO 4
2	6720	6079	6200	6735
4	13440	12160	12400	13470
6	20160	18240	18800	20200
8	26880	24320	24800	26940
15	50390	45610	46520	50500
22	73890	66900	68230	74050
29	97840	87830	89190	98280
36	136800	91100	91170	138200

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FUERZA EN ELEMENTO 13 (PUNTAL )

INTERVALO	P (Kg)
	(-) compr.
1	3100
2	6200
3	9301
4	12400
5	15500
6	18600
7	21700
8	24800
9	27910
10	31010
11	34110
12	37210
13	40310
14	43410
15	46520
16	49620
17	52720
18	55820

ESTR N-1

ESTR N-2

ESTR N-3

ESTR N-4

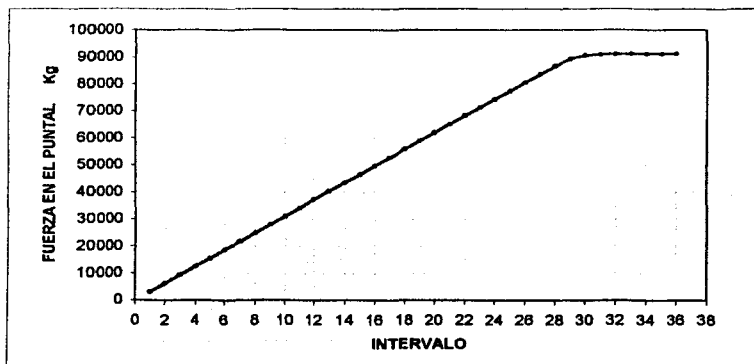
CONC N-1

INTERVALO	P (Kg)
19	58930
20	62030
21	65130
22	68230
23	71330
24	74430
25	77520
26	80590
27	83640
28	86680
29	89190
30	90530
31	90910
32	91060
33	91130
34	91150
35	91160
36	91150

CONC N-2

CONC N-3

CONC N-4



TESIS CON  
FALLA DE CONTROL

FUERZA EN ELEMENTO 5 (TENSOR)

INTERVALO	P (Kg)
	(-) compr.
1	1889
2	3779
3	5668
4	7558
5	9448
6	11340
7	13230
8	15120
9	17010
10	18900
11	20790
12	22680
13	24570
14	26460
15	28350
16	30240
17	32130
18	34020

EST N-1

EST N-2

EST N-3

EST N-4

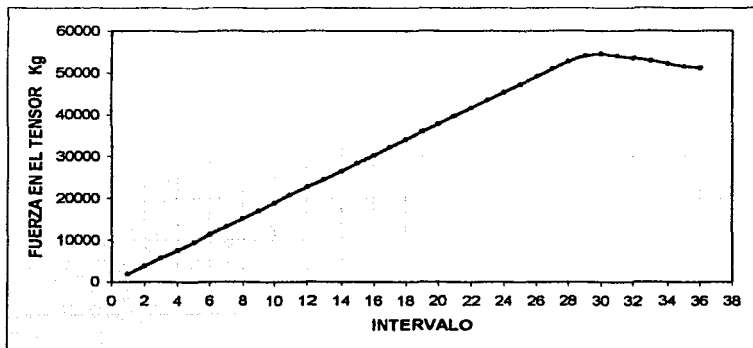
CONC N-1

INTERVALO	P (Kg)
	(-) compr.
19	35910
20	37790
21	39680
22	41570
23	43450
24	45330
25	47200
26	49060
27	50880
28	52620
29	54040
30	54440
31	54020
32	53440
33	52810
34	52160
35	51500
36	51150

CONC N-2

CONC N-3

CONC N-4



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



DESPLAZAMIENTO NUDO 6

INTERVALO	D (cm)
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	0.04
5	0.05
6	0.06
7	0.07
8	0.09
9	0.10
10	0.12
11	0.13
12	0.15
13	0.17
14	0.19
15	0.22
16	0.24
17	0.27
18	0.31

EST N-2

EST N-3

EST N-4

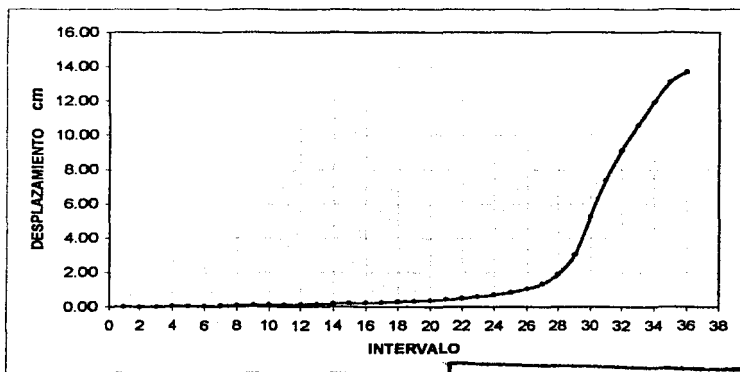
CONC N-1

INTERVALO	D (cm)
19	0.35
20	0.39
21	0.45
22	0.51
23	0.60
24	0.70
25	0.84
26	1.04
27	1.35
28	1.90
29	3.05
30	5.27
31	7.37
32	9.10
33	10.59
34	11.91
35	13.10
36	13.70

CONC N-2

CONC N-3

CONC N-4



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CURVA FUERZA-DEFORMACION

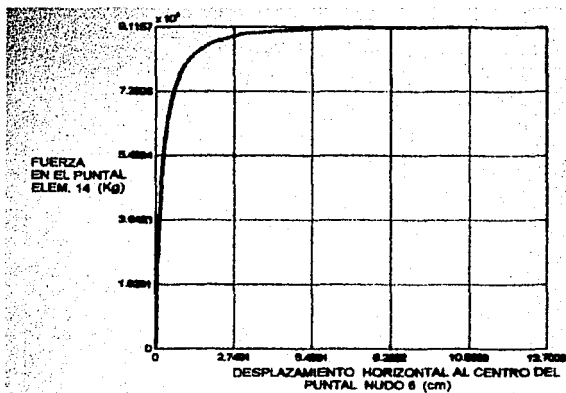


Fig. IV.8 Curva completa Fuerza-Deformación en el puntal

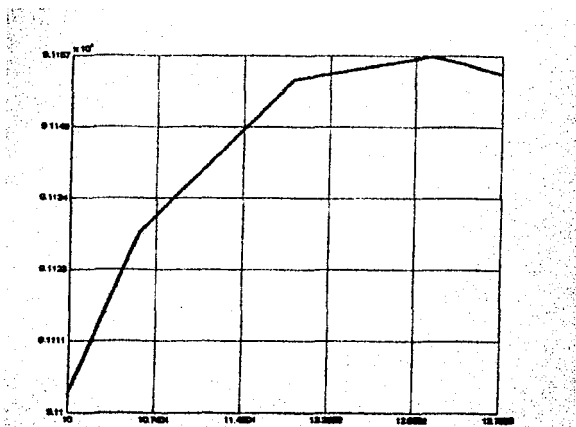
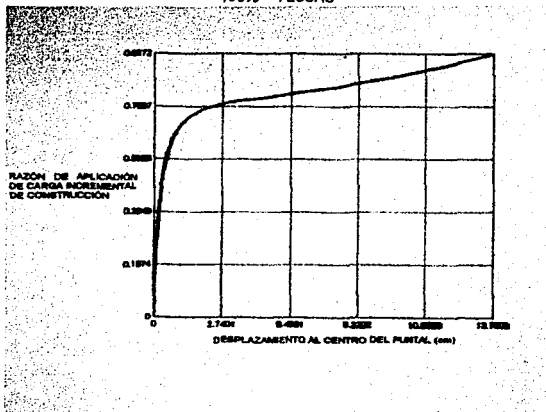
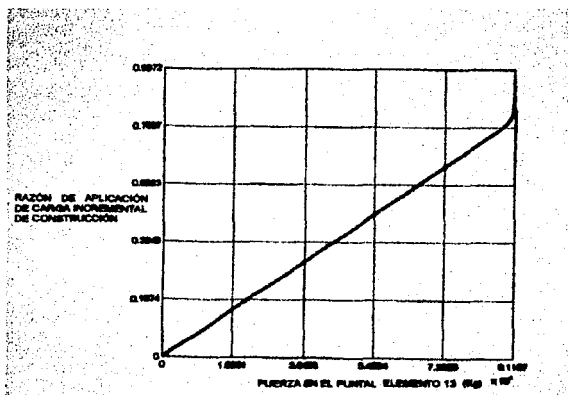


Fig. IV.9 Acercamiento en sección final de Curva Fuerza-Deformación en el puntal

CURVA DE CARGA INCREMENTAL DE CONSTRUCCIÓN vs DESPLAZAMIENTO O DEFORMACIÓN DEL PUNTAL  
100% = 4 LOSAS



CURVA DE CARGA INCREMENTAL DE CONSTRUCCIÓN vs FUERZA EN EL PUNTAL



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

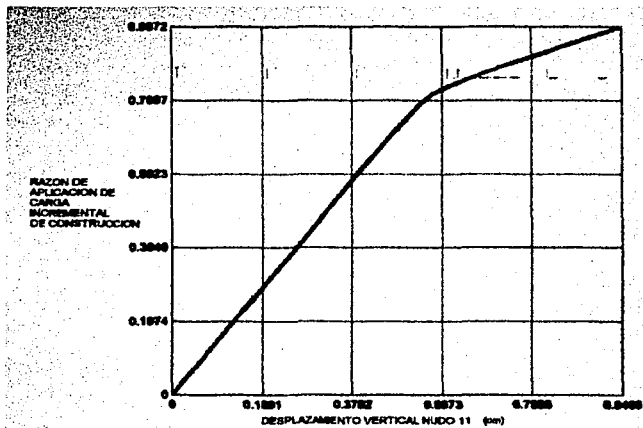


Fig. IV.10 Curva razón de aplicación de la carga – desplazamiento vertical.

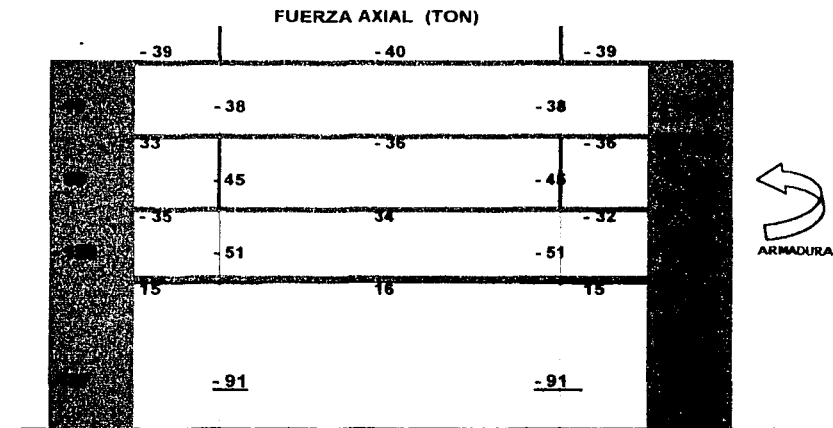


Fig. IV.11 Representación de la fuerza Axial ejercido en el marco "C".

#### IV.4 Análisis y comentarios de los Resultados

Con base en los análisis realizados a los diferentes modelos, y específicamente al modelo correspondiente al Marco "C" se pueden hacer los siguientes comentarios:

Como se mencionó anteriormente uno de los aspectos por el que el programa detiene el análisis es la presencia de deformaciones excesivas en algún elemento de la estructura, este fue el caso del elemento 13, en donde adicionalmente se presentó la formación de una articulación plástica en el extremo superior del puntal por el esfuerzo ejercido sobre dicho elemento; conjuntamente con el elemento 11 resultan ser los mas esforzados del marco "C" del edificio AICON, hecho que concuerda totalmente con lo observado en la obra. Al detenerse el análisis el puntal se encontraba bajo un esfuerzo de 91 ton en carga axial, cabe mencionar que el análisis se vio detenido al aplicarse prácticamente el total de la carga, 98.7 %, lo que demuestra que los cuatro niveles considerados fue correcto. La siguiente figura demuestra que la teoría se apego correctamente a la realidad en el edificio.

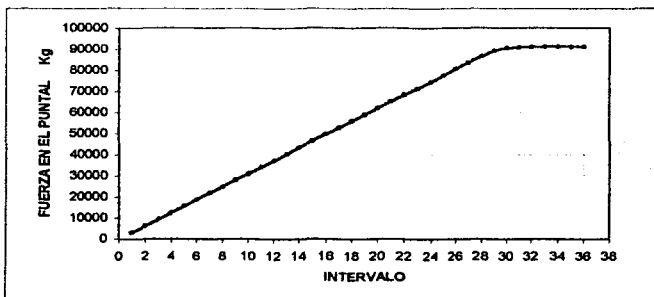


Fig. IV.12 Elementos de apuntalamiento pandeados en primer entrepiso.  
(1.- Puntales en eje B, 2.- Ejes D,C y B, 3.- Eje E, 4.- puntales en eje C)

A partir de los resultados arrojados por el análisis se logró elaborar tablas y graficas, de las cuales se puede mencionar lo siguiente:

La tabla en la que se representa la evolución de las reacciones en los apoyos del marco, no demuestra valores significativos, se esperaba que a mayor intervalo de carga, las reacciones en los puntales fuera disminuyendo con respecto a las reacciones en las columnas de concreto, pero no fue así, se puede mencionar que si se tuviera más información del análisis posterior al pandeo o deformación excesiva del puntal, es cuando se hubiera podido observar dicha variación en las reacciones.

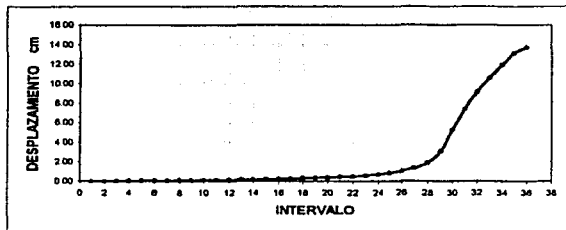
Respecto a la curva Incremento de carga vs fuerza en el puntal



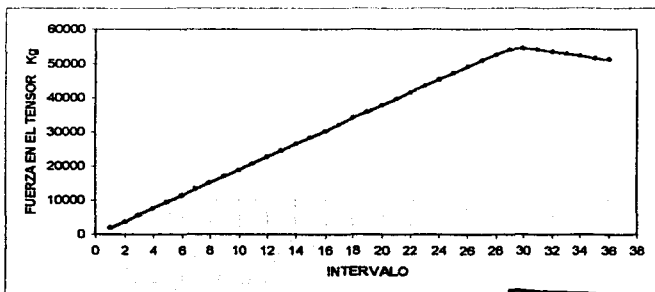
Se logra observar que a partir del incremento 30, (durante el proceso de colado de losa 4to. Nivel), la carga ya no aumenta en gran medida y es en el incremento 36 (concluida la losa nivel 4) en donde se observa una pérdida de carga en el puntal pasando de 91.16 ton a 91.15 ton de fuerza axial. Esto demuestra que al presentarse dicha caída en la toma de carga del puntal éste se puede considerar fallado.

Respecto a la grafica que representa el desplazamiento lateral del punto al centro del puntal vs el incremento de carga, se puede observar que es a partir del incremento 30 en donde la deformación se dispara totalmente hasta llegar alrededor de los 14 cm que a la postre origina la detención del análisis considerándose una deformación excesiva. En este sentido lo observado en la obra difiere ampliamente de la teoría, rescatándose la evidencia de que esta dejando de tomar carga, ha perdido mucha rigidez y su aportación para resistir el peso de las losa coladas es poco significativa, pudiendo ser removido.

TESIS CON  
FALLA DE ORDEN



Por otra parte, respecto al esfuerzo en el tensor, se observa que debido al elemento de apuntalamiento en el nivel inferior, el elemento que teóricamente estaría sometido bajo esfuerzos de tensión, se encuentra en un esfuerzo de compresión tal, que esta por debajo de su esfuerzo de fluencia por lo que no representa un riesgo en el montaje de la estructura. En la grafica de fuerza en el tensor vs intervalo se observa que es nuevamente a partir del incremento 30 en donde el tensor disminuye la carga que toma en compresión esto originado por la perdida de carga del puntal inmediatamente inferior, lo que origina que el elemento superior (tensor) se relaje en compresión paulatinamente para posteriormente trabajar a tensión. Es conveniente señalar que en la obra fue colocado junto al tensor un elemento de ayuda que tomara los esfuerzos de compresión, este elemento no fue considerado en el análisis por lo que se puede mencionar en primera instancia que el elemento estuvo de sobra en el montaje.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

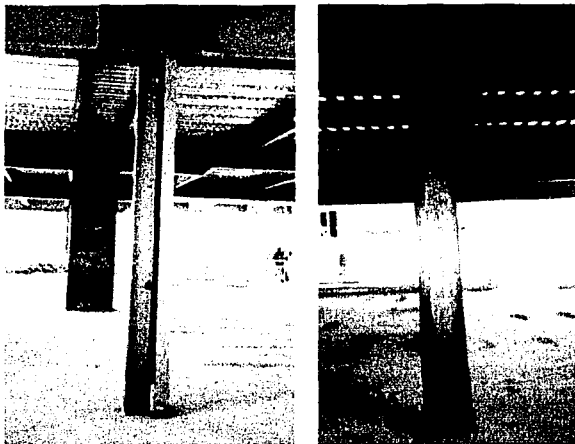


Fig. IV.13 Elemento tensor y elementos de apuntalamiento en entrespiso 2.

En relación a las gráficas proporcionadas directamente por el programa el aspecto más importante se presenta en la curva fuerza vs deformación. Teóricamente la *Carga Crítica de Euler* del puntal analizado, elemento W12x40 es la siguiente:

W12x40

$$I_x = 12903 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1836 \text{ cm}^4$$

$$E = 2.039 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$l = 915 \text{ cm}$$

$$k = 0.8$$

$$P_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 EI}{(kl)^2} = \frac{\pi(2.039 \times 10^6)(1836)}{[(0.8)(915)]^2} = 69 \text{ ton}$$

Ahora bien, recordando que el valor de la *Carga Crítica de Euler* es válida únicamente en el rango elástico en el cual la curva esfuerzo vs deformación es de forma lineal, se observa una clara coincidencia con la curva proporcionada del análisis como se puede observar en la siguiente figura:

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



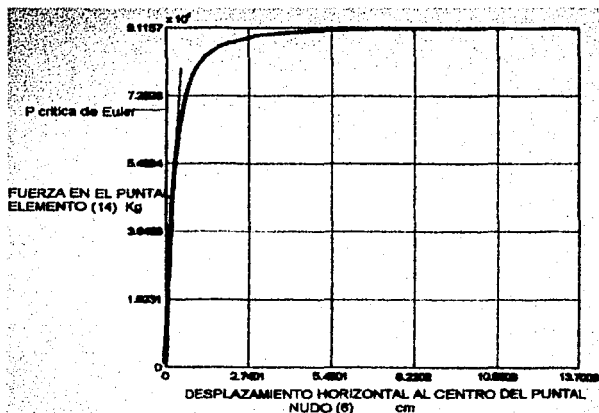


Fig. IV.14 Curva Deformación en el puntal vs fuerza en el elemento .

En la figura anterior se observa que es a partir del cambio brusco de pendiente de la curva en donde se localizaría la *Carga Crítica de Euler*, esto en la proximidad de las 70 toneladas, coincidiendo con los cálculos obtenidos.

En las últimas curvas proporcionadas por el programa se observa de nueva cuenta que a partir del 78 % de la aplicación de la carga (aproximadamente incremento 30) se presenta una variación significativa de dichas curvas, en donde resalta el desplazamiento vertical máximo de 0.95 cm en la vecindad a los puntales, un desplazamiento mínimo y por lo tanto, aceptable.

Finalmente la fig. V.10, permite comprobar el correcto funcionamiento de la armadura, trabajando a compresión en la cuerda superior y en cuerda inferior a tensión siendo esta la correcta distribución de los esfuerzos de la armadura.

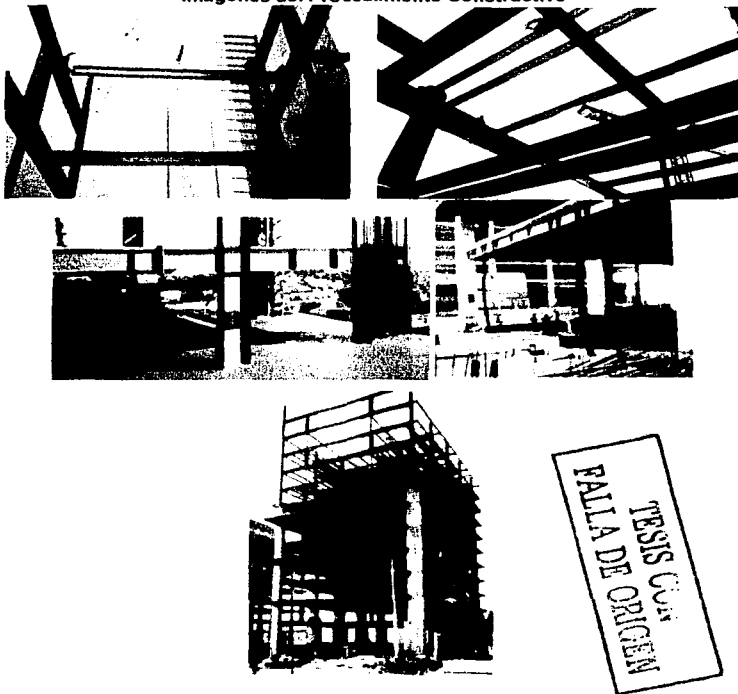
Este tipo de análisis de resultados se elaboraron para cada uno de los modelos analizados, en los cuales lo importante a mencionar es que en todos los modelos con 5, 6, 8 y 19 niveles, los resultados no variaron significativamente manteniéndose el puntal en la proximidad a las 91 toneladas de carga. Debido a que el análisis de la estructura no es el tema principal de este trabajo se obviaron los comentarios respecto a los análisis de los marcos restantes limitándose hasta lo presentado hasta el momento.

Resulta importante señalar que la teoría se apego de una forma adecuada a la realidad en el edificio, el pandeo se comenzó a presentar a aproximadamente a partir de colar la losa del segundo nivel que coincide con los resultados del programa, y pese a que la deformación total presentada en el puntal rebasaba de manera significativa los 14 cm de

la teoría, siendo en realidad en la proximidad de los 50 – 60 cm, el comportamiento de la estructura era adecuado, además con base en resultados topográficos a partir de la losa 4 la variación de la deformación en el puntal era prácticamente nula indicando que el puntal no estaba tomando mas carga obligando a establecer un procedimiento de retiro de elementos de apuntalamiento. Es por ello que lo analizado anteriormente permite corroborar que el montaje de la estructura es el adecuado colocando elementos de apuntalamiento que gradualmente van a ir perdiendo carga de manera que las armadura empecen a trabajar.

De esta manera y con base en todo el análisis anterior se puede comentar que las hipótesis en el comportamiento del edificio durante la realización del montaje de la estructura concuerda con las observaciones hechas en la obra, por lo que el procedimiento constructivo planteado es valido y de resultados satisfactorios.

### Imágenes del Procedimiento Constructivo





TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

## IV.5 Análisis para el retiro de los Elementos Temporales de Apuntalamiento.

Una vez analizado el procedimiento de montaje de la estructura, se hace necesario remover los elementos temporales de apuntalamiento, para tal efecto se requiere de un análisis posterior al montaje o mejor dicho una análisis en un modelo en donde se hayan retirado previamente los puntales, esto con el objeto de observar y analizar el comportamiento de los elementos estructurales una vez retirados los elementos temporales.

Para la realización del análisis se analizaron los modelos sin puntal en el primer entrepiso, para mantener una congruencia en los resultados, el análisis utilizado fue el mismo para los modelos que incluan los puntales, es decir, **2° Orden Inelástico**. Se obtuvieron la misma serie de resultados que en los análisis anteriores manteniéndose como marco crítico el marco "C".

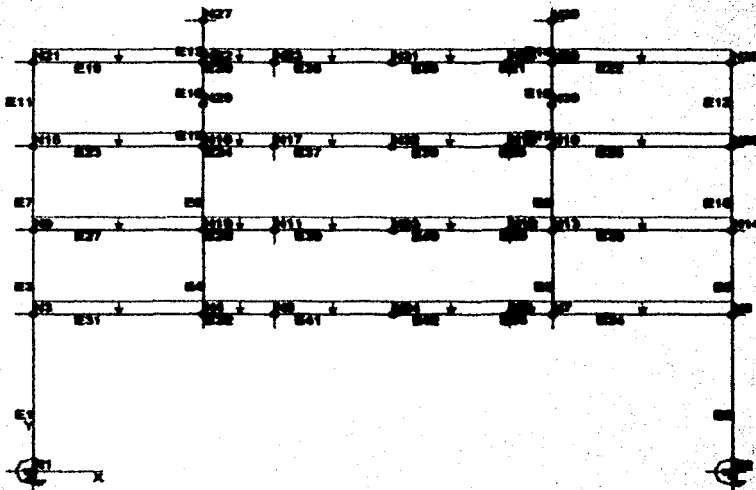


Fig. IV. 15 Modelo marco "C" sin puntales 1er. Entrepiso, Edificio AICON.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De los resultados obtenidos resalta la curva que relaciona la razón de aplicación de la carga y el desplazamiento vertical en uno de los nudos a donde llegaba el puntal y principalmente la figura V.17 en donde se representa la variación de la fuerza axial en el marco analizado.

La curva y figura antes mencionadas se presentan a continuación:

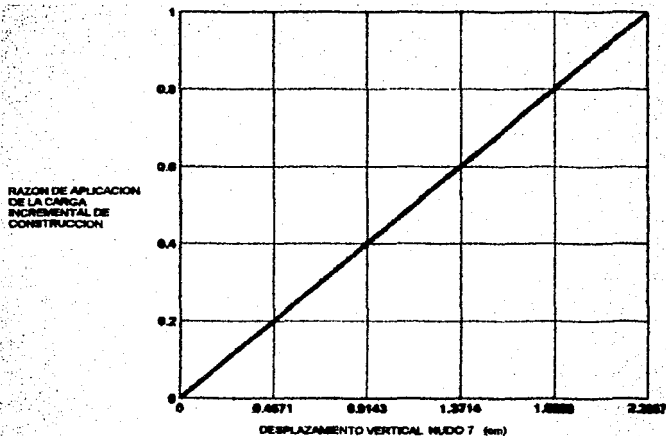


Fig. IV.16 Curva Razón de aplicación vs desplazamiento vertical en el marco "C".

Al retirar los elementos de apuntalamiento el desplazamiento vertical en los nudos vecinos a los puntales se elevó de 0.95 a 2.3 cm, deformación que se encontraba dentro de los límites permitidos, por lo que en este sentido el retiro de los puntales no afectaría el comportamiento de la estructura.

En contraparte los resultados del análisis que permitieron elaborar la figura V.17, en la cual nuevamente se corrobora la correcta distribución de los esfuerzos, el correcto funcionamiento de la armadura del tercer entrepiso y en general de toda la estructura, se observa que el esfuerzo en el elemento tensor es de manera correcta alrededor de las 20 ton de tensión a diferencia de las 51 ton a compresión que soportaba el tensor cuando existía el elemento temporal; en este sentido se observa una variación de 71 toneladas, si dicha variación se presentara de forma repentina se afectaría significativamente a la estructura, ya que este cambio súbito provocaría una amplificación de los esfuerzos en toda la estructura hasta el grado de presentarse una falla en alguno de los elementos estructurales.

TESIS CON  
FALLA DE OBTEN

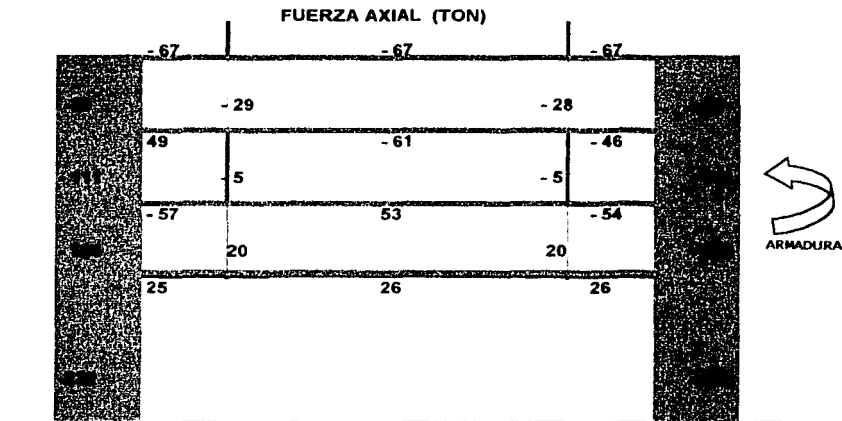


Fig. IV.17 Representación de la fuerza Axial ejercido en el marco "C" .

De esta manera se observa que el retiro de los elementos temporales de apuntalamiento se debe realizar de manera que los esfuerzos varíen paulatinamente para evitar dicha amplificación, por lo que se decidió establecer el siguiente criterio de retiro:

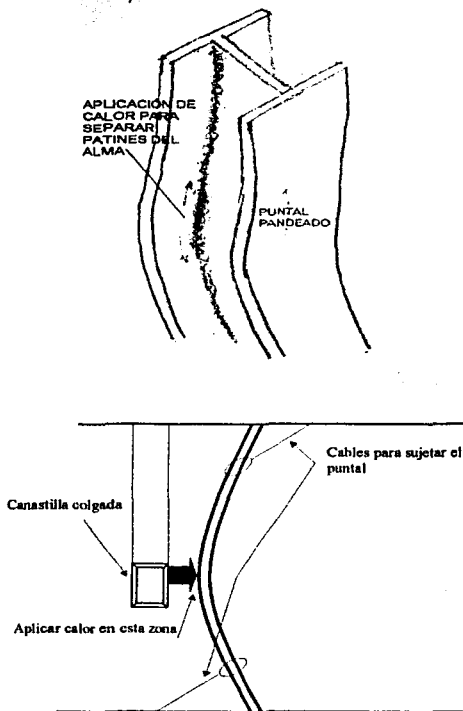
Considerando que la mayoría de los puntales se conectaron a base de soldadura en sus extremos, y solo algunos se conectaron mediante tornillos de alta resistencia, la primera consideración fue el retiro mediante la aplicación de calor en ambos extremos, o en su caso la desconexión de los tornillos, pero dicha aplicación no permitiría la variación gradual en los esfuerzos principalmente en el tensor, ya que al desconectar el extremo superior del puntal de la viga principal el cambio sería súbito y afectaría el comportamiento de la estructura, por lo que dicho procedimiento fue descartado.

La siguiente idea a considerar fue nuevamente la aplicación de calor en el elemento tal que se presentara una separación de los patines respecto al alma, y que ambos elementos pandearan hasta el colapso del puntal. Además, la aplicación de calor se realizaría en la zona más esforzada, la de mayor deformación, aproximadamente a media altura del puntal, esto debido a que en dicha zona lograr la separación de los patines y el alma resultaría más sencilla, una vez aplicado calor en dicha zona se procedería a desconectar tanto de la viga superior como de la placa inferior al puntal.

Por otra parte considerando que se tenía una altura considerablemente grande, 9.15 m, sería necesario que el personal fuera asegurado para evitar accidentes y pudiera aplicar calor adecuadamente; conjuntamente es necesario sujetar mediante cables el elemento en ambos extremos para evitar que al ser liberado de la carga el puntal saliera despedido.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El siguiente esquema muestra el procedimiento anteriormente mencionado.



Mediante la realización de dicho procedimiento de retiro de elementos temporales se aseguraría el correcto funcionamiento de la estructura, además de concluir finalmente el "Procedimiento Constructivo de un Edificio Estructurado a base de Armaduras Vierendeel Alternadas"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

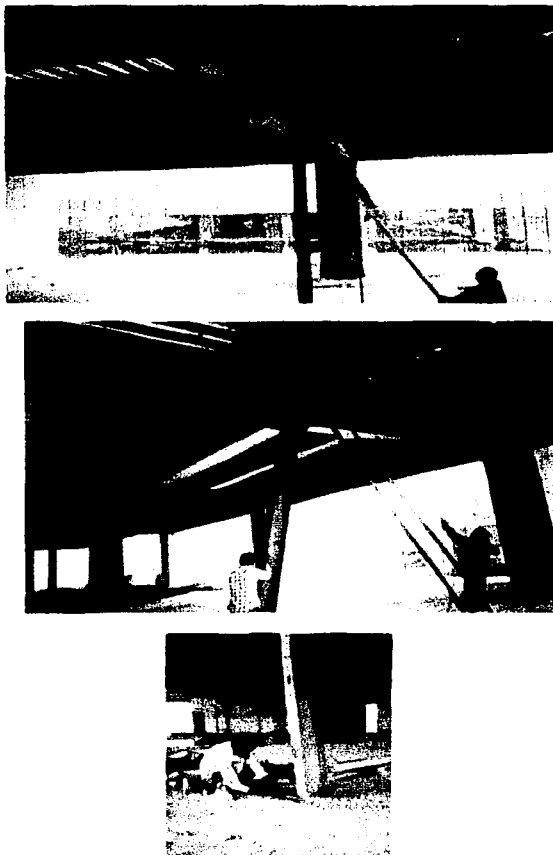


Fig. IV.18 Retiro de Elementos Temporales de Apuntalamiento niveles superiores



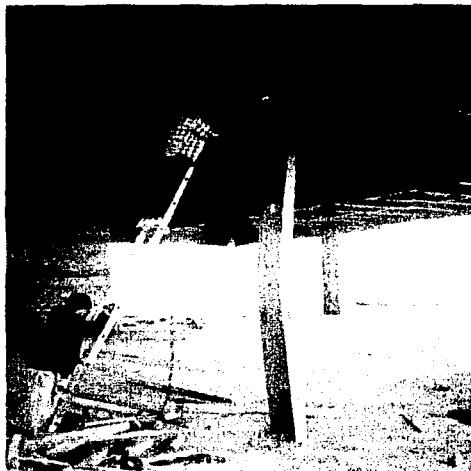


Fig. IV.19. Aplicación de calor para desconectar puntal en niveles superiores



Fig. IV.20. Retiro de puntales niveles superiores edificio AICON

## V. COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

### V.1 Comentarios adicionales al Procedimiento Constructivo

Una vez presentado el procedimiento constructivo de una edificio de armaduras Vierendeel Alternadas, tomando como base el análisis y construcción del Corporativo de Oficinas AICON, es posible realizar comentarios complementarios de sucesos ocurridos dentro de dicho edificio y tratar de establecer una serie de recomendaciones que se pudieran adaptar a diferentes edificaciones en las cuales sea aceptable y se requiera de una sistema estructural de esta naturaleza.

Se ha analizado y obtenido resultados de los elementos de apuntalamiento del primer entrespacio, que como se mencionó anteriormente por lo general son los de mayor altura y por lo tanto resultan ser los más desfavorables por su menor carga crítica; pero ¿Qué sucede con los elementos de apuntalamiento de los niveles superiores?

Es necesario señalar que en el caso del edificio AICON los elementos de apuntalamiento de los niveles superiores consistieron de igual manera de W12X40 los cuales, en menor medida que los puntales del primer entrespacio pero también, se deformaron. Indudablemente si se tiene una altura de entrespacio en niveles superiores o en este caso una longitud del elemento de apuntalamiento, de un poco mas de la mitad del elemento antes analizado, es decir, 4.88 m, la carga crítica que soportaría dicho elemento en niveles superiores sería alrededor de 245 ton; es por ello que resulta interesante analizar ¿por qué se presentó dicha deformación?, ¿por qué la deformación se presentaba indistintamente hacia una lado o hacia otro?

Sin duda alguna para establecer las respuestas exactas a las preguntas establecidas se requeriría de un análisis semejante al realizado a los elementos de apuntalamiento del primer entrespacio, principalmente para determinar de forma exacta cuanta carga están soportando cada uno de los puntales superiores, pero evidentemente ninguna estaría cercano a las 245 ton que causaría la deformación del elemento.

De un análisis basado principalmente en observaciones durante el proceso constructivo de la obra, mediciones hechas en los elementos del edificio, así como de algunos cálculos realizados, se puede establecer lo siguiente:

- 1.- La deformación de los elementos de apuntalamiento superiores se pudiera deber a que los puntales montados no correspondían exactamente a W12X40, como se puede observar en la siguiente tabla, de tal manera que la carga crítica de Euler no corresponde a las 245 ton establecidas anteriormente, por lo que es una de las principales causas de la deformación en elementos superiores, deformación que como se ha observado anteriormente beneficia a desarrollar de manera adecuada el comportamiento de la estructura.

Seccion todo en cm	d	tw	bf	tf	eje neutro x	hw	lx	eje neutro y	ly	H de entrepiso	Pcrit. Kg
12x40	30.3	0.75	20.3	1.31	15.15	27.88	12,507.75	10.15	1,827.42	915	69,644.06
12x40	30.3	0.75	20.3	1.31	15.15	27.88	12,507.75	10.15	1,827.42	488	244,842.38
nivel 6 eje C puntal derecho NO pandeado	40.5	1.2	18.2	1.3	20.25	37.9	23,629.11	9.1	1,311.85	488	175,737.38
nivel 6 eje C puntal izquierdo SI pandeado	34.5	1	13.2	0.8	17.25	32.9	8,985.18	6.8	308.40	488	41,484.83
nivel 6 eje E puntales derecho e izquierdo NO pandeados	26	1.2	14.8	1	13	24	6,006.87	7.4	543.75	488	72,883.44
nivel 7 eje B puntal izquierdo SI pandeado	40	0.4	14	0.8	20	38.4	10,483.82	7	366.07	488	49,047.06
nivel 7 eje B puntal derecho SI pandeado	40	0.4	14	0.8	20	38.4	10,483.82	7	366.07	488	49,047.06
nivel 7 eje D puntal derecho SI pandeado	35	0.3	13.1	0.8	17.5	33.4	7,081.52	8.55	299.82	488	40,170.82
nivel 7 eje D puntal izquierdo SI pandeado	26	0.8	14.8	0.8	13	24.4	4,729.15	7.4	433.28	488	68,061.80
nivel 7 eje F puntal izquierdo y derecho NO pandeado	40.5	1.2	18	1.1	20.25	38.3	20,990.55	9	1,074.72	488	143,882.88

- 2.- Otra de las causas posibles de dicha deformación se pudiera deber a la acumulación de carga, por ejemplo de concreto durante el proceso de colado, dicha acumulación origina una flexión en los elementos, la cual si se encuentra rigidamente conectado el puntal con la viga, el giro inducido por la flexión en la viga provoca que el nudo también gire y flexione el elemento temporal de apuntalamiento como se muestra en la figura; adicionalmente la dirección de la deformación se pudiera deber de igual manera al giro en la estructura y es claramente entendible en los puntales extremos, es decir de los marcos B y F, pandeándose los puntales hacia fuera.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Fig. IV.21. Acumulación de concreto y efectos

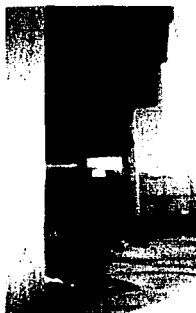


Fig. IV.22. Pandeo ejes B y C D

Básicamente son los principales aspectos que se presentaron adicionalmente durante el procedimiento constructivo del edificio y se han establecido respuestas que aunque parecieran superficiales se apegan de forma significativa a la realidad respecto al comportamiento estructural del edificio.

TESIS CON  
PARRAFO DE

## VI.2 Recomendaciones del Procedimiento Constructivo para Edificios de Armaduras Vierendeel Alternadas

### PARA LA SELECCION DEL ELEMENTO TEMPORAL DE APUNTALAMIENTO:

- Durante el desarrollo del presente trabajo se ha observado el beneficio de establecer como elemento temporal de apuntalamiento secciones W considerando entre otras características, que se tiene un eje de menor resistencia; además se considera la facilidad que en el momento del retiro se permita la separación de los patines y el alma del elemento y de esta manera lograr paulatinamente la separación del puntal.
- Un aspecto importante es el relacionado con la dimensiones del elemento a seleccionar, en este sentido y siguiendo con la hipótesis establecida, se recomienda realizar una cuantificación de la carga total de cuatro niveles del edificio, considerando que el método presupone un avance constructivo de niveles pares de manera que fomen las armaduras, es por ello que una vez realizada la bajada de cargas será posible determinar la carga teórica que tomará el puntal y de esta forma seleccionar un elemento que tenga una carga crítica tal, que se encuentre ligeramente debajo de la carga teórica establecida.
- Teóricamente y siguiendo la hipótesis de este procedimiento constructivo, en donde se intenta mediante la deformación del elemento temporal la transferencia de carga a las armaduras; en los niveles superiores se debiera colocar elementos de sección mas pequeña, esto es, realizar una cuantificación similar al puntal crítico con el mismo criterio de seleccionar, establecer el elemento de apuntalamiento en los niveles superiores que evidentemente será de sección menor que el anterior y así lograr el objetivo planteado.

### PARA EL MONTAJE DEL ELEMENTO TEMPORAL DE APUNTALAMIENTO:

- Un aspecto importante a cuidar durante el montaje de elemento temporal de apuntalamiento es el relacionado con la conexión de dicho elemento con las vigas o cuerdas de la armadura. El realizar una conexión rígida, como pudiera ser con soldadura se ha observado que podría originar que en una posible acumulación de esfuerzos conduzca a un giro inesperado de los elementos estructurales y a su vez una deformación no considerada en el análisis de los puntales, de tal forma que la conexión recomendable sería conexión atornillada.

### PARA EL RETIRO DEL ELEMENTO TEMPORAL DE APUNTALAMIENTO:

- Evidentemente el aspecto a resaltar en la fase de retiro del elemento de apuntalamiento es establecer un proceso en donde se evite la presencia de una amplificación de los esfuerzos por el retiro súbito del puntal, para tal efecto la recomendación en la selección del elemento puntal debe ser considerada y si no fuera así establecer una procedimiento de retiro gradual y no afectar el comportamiento de la estructura.



- Finalmente se realiza una sugerencia relacionado con la seguridad del personal encargado del retiro de los elementos temporales de apuntalamiento principalmente en alturas de entrepiso grandes como es el caso del corporativo de oficinas analizado, es recomendable asegurar además del personal mediante cuerdas y arneses, al puntal con cables y así evitar que este salga disparado en su retiro.

Es así que estas pudiesen ser algunas de las recomendaciones más importantes que debiesen ser tomadas en cuenta al desarrollar un procedimiento constructivo de edificios de esta naturaleza, esto con el objeto de garantizar el adecuado comportamiento estructural del edificio y eficientar el procedimiento de construcción.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## VI. CONCLUSIONES

Es un hecho que el ramo de la edificación es inmensamente extenso y permite el desarrollo de diversos sistemas estructurales y de procedimientos constructivos innovadores de manera que sea una vez mas la ingeniería quien dirija y oriente el desarrollo de una sociedad.

Indudablemente existirán interrogantes sin resolver en el trabajo aquí presentado, pero el análisis y el procedimiento constructivo propuesto es una de las posibles soluciones por adoptar para resolver las demandas arquitectónicas de la actualidad.

Es así que la idea de establecer el Sistema de Armaduras Vierendeel Alternadas es, sin duda, una solución muy factible en la construcción de edificios en la Ciudad de México, además, se ha logrado aprovechar al máximo todas las ventajas de la ingeniería estructural de tal manera que se lograron adoptar detalles estructurales con el objeto de tener un diseño funcional y económicamente más eficiente.

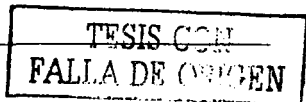
Sin embargo, mas que resolver claros grandes, el estudio aquí presentado permitió adentrarse y resolver exitosamente el inconveniente de la inestabilidad temporal generada en la etapa de integración de un edificio de esta naturaleza, de esta forma al instalar elementos temporales de apuntalamiento condujo a cumplir cabalmente la hipótesis establecida referente al comportamiento estructural del edificio.

Es así que pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- En la actualidad resulta prácticamente indispensable relacionar de manera muy directa el diseño arquitectónico, diseño estructural y procedimiento constructivo, enfatizando en los dos últimos. Es necesario que el ingeniero estructurista proyecte con una buena Constructividad, esto es, que tenga la capacidad de tomar en cuenta el modo y procedimiento de construcción, es así que, además de cumplir con todos los requisitos arquitectónicos y de seguridad estructural, deberá contar con ingenio, previsión y conocimientos de fabricación y montaje, que a su vez le permitan imaginar los posibles problemas del constructor y, así mismo, este ultimo, debe esforzarse por entender y llevar a cabo los detalles que marca el estructurista con el objeto de evitar consultas y riñas entre ambos y lograr así, un avance acelerado de la obra que indudablemente repercutirá en tiempos, costos y generará mayores beneficios a lo largo de todo el proyecto.
- Durante la transformación del proyecto original a la alternativa en construcción compuesta, si bien se logró eliminar el problema de volcamiento que podría originar la línea de columnas centrales de concreto, se presentó un problema de mayor envergadura, el librar un claro de 30 m entre las columnas externas y peor aún, el resolver inestabilidad temporal presente durante la etapa de conformación del edificio.
- La idea de establecer Armaduras Vierendeel en las cuales los montantes estarán establecidos por unas "ligas de cortante" (Shear-link) permitió redistribuir los momentos en la estructura y establecer una estructura más eficiente y económicamente más rentable, considerando los detalles de la estructuración producto de las ventajas de la ingeniería estructural



- Así mismo, el sistema de piso en el cual, tanto los largueros como las cuerdas de la armadura que se integran a la losa mediante conectores mecánicos de cortante, permite que al fraguar la losa de concreto tenga un anclaje tal, que impida el deslizamiento relativo de la viga que la soporta, además de trabajar de igual manera en construcción compuesta.
- En cuanto a la alternación de las armaduras al momento de ser formadas, los tramos de columna o entrepisos que forman parte de ellas se encuentran rigidizados, mientras que los que no forman parte de dichas armaduras no lo están, por lo que se pensó en desfazar ese tramo de columna al otro entreje, para volver a la configuración original en el entreje o marco siguiente, estableciendo una alternación tanto en niveles como en ejes logrando así eliminar la distribución no uniforme de rigideces, además de dotar de áreas rentables verdaderamente amplias, siempre atractivas para cualquier inversionista y punto extra importante en la competencia inmobiliaria.
- El sistema es económico y eficiente cuando se logra que la estructura de vigas y armaduras, durante su montaje, tenga la suficiente resistencia y rigidez para soportar las cargas del concreto fresco y vivas de construcción, por sí solas, de tal forma que al fraguar se tendrá una sistema con mayor resistencia y rigidez que el sistema original y pueda recibir las cargas muertas complementarias y vivas reglamentarias.
- Es por ello la importancia de establecer elementos temporales de apuntalamiento que de lo contrario, originaría vigas verdaderamente grandes y una vez que se tiene el concreto endurecido resultarían excedidas, en este sentido los elementos temporales permiten cumplir con las funciones anteriormente descritas de dar rigidez y resistencia a la cuerdas además de estabilizarlas lateralmente, resolviendo así, la inestabilidad temporal durante la etapa de construcción de la estructura.
- Debido a la magnitud de los elementos es recomendable, si así se requiriera, el tener un control total de los detalles de conexiones entre elementos, el revisar cada uno de los ensambles a montar, así como planos de taller adecuados, de manera que pueda establecerse un plan de montaje eficiente, de tal forma que se tenga avance adecuado en el montaje de la estructura.
- Tratándose de armaduras de un piso de peralte deben montarse en niveles pares, esto con el objeto de formar las armaduras completas, permitir la colocación de elementos temporales de apuntalamiento y evitar la posible inestabilidad, por falta de estabilización lateral de las armaduras.
- Los elementos temporales de apuntalamiento deben ser columnas esbeltas, en donde su carga crítica de pandeo esté en función del peso que la armadura va recibiendo durante su etapa de construcción, considerando que cada armadura se forma con dos o tres niveles tomando en cuenta el entreje o marco crítico (tensor). En este sentido, se ha propuesto elementos W (1) aprovechando algunas características geométricas como lo es la existencia de un menor eje resistente, obligando la dirección del pandeo.
- Pese a que el presente trabajo deja a un lado el análisis de los elementos temporales de apuntalamiento superiores considerando únicamente el análisis del puntal crítico, es conveniente realizar una cuantificación similar en niveles superiores, con objeto de establecer un procedimiento de mayor eficiencia que el aquí adoptado, es decir,





colocar el puntal adecuado de manera que se pueda seguir con la hipótesis del pandeo y la transferencia gradual de carga a las armaduras.

- Con base en los resultados analizados en el presente trabajo, es recomendable el tratar de no conectar rígidamente el puntal a las cuerdas de las armaduras de manera que se puedan evitar acumulación de esfuerzos en los elementos del sistema de piso y que a su vez induzcan giros en los nudos que puedan provocar un pandeo no considerado.
- Una vez pandeado el puntal y haber montado los niveles establecidos en la cuantificación que aseguren que el elemento temporal no toma más carga, que está cediéndola y peor aun que éste ha fallado, es necesario el retiro.
- El retiro de los elementos temporales de apuntalamiento requieren de sumo cuidado, y tomar en cuenta recomendaciones de seguridad y eficiencia en cuanto al desprendimiento del mismo con respecto a las cuerdas.
- Se logro observar que al aplicar calor en la zona más deformada del elemento de apuntalamiento, resulta más fácil el desprendimiento de los patines con respecto al alma y así permitir un retiro no súbito que podría originar una amplificación de los esfuerzos, una deformación vertical de la cuerdas de la armadura, se afecte el sistema de piso y en general a todo el sistema estructural.

Es así que la conclusión al presente trabajo conduce a aceptar que se cuenta con un sistema totalmente confiable, con comportamiento y resultados esperados, los cuales concuerdan ampliamente con lo observado en la obra.

Finalmente el presente trabajo logró cumplir con los objetivos principales, el presentar aunque de manera general, un sistema estructural innovador, audaz y seguro, analizando sus principales características y ventajas; por otro lado el resolver el problema de la inestabilidad temporal producto del comportamiento de dicho sistema, con el objeto de obtener una solución estructural confiable, económica y funcional en materia de proyectos de edificación en la Ciudad de México.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**REFERENCIAS**

- ESTRUCTURAS. ANALISIS Y DISEÑO . V.1  
McCormac Jack  
Ed. Alfaomega  
Clemson University. E.U. 1994
  
- <http://ico.almagro-sur.ucentral/secreest/malla/204/Apuntes/TextoConstr.html>
  
- <http://www.bkbn.com/crescent.htm>
  
- Software: MASTAN2 V.1.0  
Zienkiewicz Ronald D., McGuire William  
John Wiley & Sons, INC.  
New York, E.U. 2000

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**